



Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 6



**TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN CIENCIAS
INFORMÁTICAS**

Título: *“Módulo de análisis basado en métodos de interpolación para
GeneSIG”*

Autor(es):

Celia Torres Reyes

Arletty Silvera Boffill

Tutor:

MSc. Gilberto Arias Naranjo

Ing. Lilianne Martínez Ledea

Co-Tutor:

Ing. Laritza Asán Caballero

La Habana, junio de 2014



*“Solo llegarán a la cima, los que en su empeño pongan
fé”*

Ché

Declaramos ser las autoras de la presente tesis y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo. Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de _____ del año _____.

Celia Torres Reyes

Firma del Autor

Arletty Silvera Boffill

Firma del Autor

Gilberto Arias Naranjo

Firma del Tutor

Lilianne Martínez Ledea

Firma del Tutor

Laritza Asán Caballero

Firma del Co-Tutor

Síntesis del Tutor

MSc. Gilberto Arias Naranjo (gilbertoa@uci.cu)

Profesor Asistente. Centro de Estudios de Matemática Computacional.

Máster en Bioinformática (2008)

Licenciado en Ciencias de la Computación (2005)

Síntesis del Tutor

Ing. Lilianne Martínez Ledea (lledea@uci.cu)

Ingeniera en Ciencias Informáticas.

Especialista General.

Analista principal de la LPS Aplicativos_SIG, perteneciente al centro:

Geoinformática y Señales Digitales de la Facultad 6.

Año de graduado: 2010.

Síntesis del Co-Tutor

Ing. Laritza Asán Caballero (lasan@uci.cu)

Ingeniera en Ciencias Informáticas.

Recién graduado en adiestramiento.

Desarrollador de la LPS Aplicativos_SIG, perteneciente al centro:

Geoinformática y Señales Digitales de la Facultad 6.

Año de graduado: 2013.

Síntesis del Autor

Arletty Silvera Boffill (asilvera@estudiantes.uci.cu)

Síntesis del Autor

Celia Torres Reyes (ctreyes@estudiantes.uci.cu)

Quisiera primeramente agradecer a Dios por haberme permitido lograr hacer realidad este sueño.

A mis padres por ser los mejores del mundo, por estar siempre ahí cuando los he necesitado, por guiarme durante estos 23 años, por cada consejo, cada momento a mi lado, cada sonrisa y cada sacrificio que han hecho por mí.

A mis hermanitos por inspirarme a ser mejor cada día para poder darles mi ejemplo.

A mi esposo por su apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado, por quererme tanto y compartir cada uno de sus días a mi lado.

A mi compañera de tesis por los buenos y malos momentos que compartimos juntas para poder llegar hasta aquí.

A mis tutores Liliianne, Laritza y Gilberto gracias por su tiempo y dedicación, por contribuir a hacer realidad este sueño, este logro es también de ustedes.

A mi jefe de proyecto Alain por sacar tiempo de donde no había para aclarar nuestras dudas.

A mis abuelos Celina, Manuel, Marlenis y Gustavo por darme dos padres inigualables.

A mi familia, pero en especial a mi tío Leonel por preocuparse tanto por mis estudios.

A Lizzy por ser más que mi amiga, mi compañera y hermana de la universidad.

No quiero dejar pasar por alto a aquellas personas que durante los 5 años de mi carrera pasaron a formar parte de mi vida, mis amigos: Yuni, René, Mirta, Rosa, Frank, Yoilán, Hubert, Barriel, Cotto, Yanet, Carlos, Yadira, Wilfredo, Aymé, Mavis y a mis compañeros de aulas. A todos muchas gracias.

Celia Torres Reyes

Esta es la primera vez que realizo una investigación formal que representa la hora de dejar atrás una etapa difícil pero especial en mi vida.

Mi familia:

A mis padres por ser las personas más comprensivas que conozco. Por darme su apoyo en cada decisión aunque sepan que no es la correcta, de este modo me regalaron la oportunidad de equivocarme muchas veces y reconocer mis errores.

A mi hermana por ser mi compañera de vida y permitirme tomarle la mano para seguir un camino largo que nos queda por recorrer.

A mis abuelos Amelia y Migdonio por sus consejos y por siempre estar pendiente de mí.

A la familia que Dios nos permite escoger, a mis amigos:

A todos mis amigos: Yosvany, Rachel, Danay, Elizabeth, Dariel, Yassiel, Guillermo, Osleydis en fin, aquellos que han tendido su mano en los momentos difíciles, muchas gracias.

A mi jefe Alain y mis tutores Lilianne, Laritza y Gilberto por guiarme en un proceso difícil pero que al final se convirtió en una tarea compleja y bonita.

A mi familia Yaíma y Pacheco, que me enseñaron muchas de las cosas buenas que hoy me llevo de esta universidad.

A mi potín Aymé que sabe que es mi vida, con ella me llevo los momentos de tristeza y de alegría más intensos de mi estancia en la UCI. A mi hermana del alma Thay por acompañarme en 8 años y nunca dudar de nuestra amistad.

A mi compañera de Tesis por su comprensión y apoyo en la tarea que se nos encomendó. A mis hermanos: Yadira, Mavis, Ana, Rainer, Deylert, Enier, Dany, Tan que son parte especial en mi vida. A mi grupo que aunque intenten separarlo es imposible del 9101 hasta el 6501 siempre será el grupo más completo del año.

A personas muy importantes que marcaron mi estancia en la universidad, que mi corazón estará sellado por sus pasos: A Manuel Alejandro, Yoilán, Adrián y Victor Manuel.

Arletty Sílviera Boffill

Este trabajo es el fruto de innumerables esfuerzos y sólo ha sido posible gracias al apoyo de las personas que amo y que han estado a mi lado, es por ello que quiero dedicarlo:

A mis padres Luis Enrique Torres Gonzáles y Magalys Reyes Torres, a quienes les debo todo lo que soy.

A mis hermanos Anniel y Zenia, estudien para que sigas mis pasos, son el tesoro máspreciado que tengo.

A mi esposo Deylert por ser una parte muy importante de mi vida, por haberme apoyado en todo momento y sobre todo por su amor incondicional.

Celia Torres Reyes

Quiero dedicar estos años de sacrificio y esfuerzo a quien no se rinde conmigo y no me abandona, a quien siempre me guía y me levanta:

Dios: por estar presente en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, muchas gracias.

Madre: por ser la persona más maravillosa y paciente de este mundo, por regalarme la vida y con ello la oportunidad de darte este pequeño regalo. Porque aunque siga tus pasos e intente imitarte es imposible verme convertida en la mujer tan maravillosa que eres, para mí la persona más especial que alguna vez tocará mi alma.

Arletty Silvera Boffill

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo dar a conocer la relevancia del *“Módulo de análisis basado en métodos de interpolación”*. Dicho módulo surge de la necesidad de contar con una herramienta que permita visualizar los datos obtenidos de la tematización de la forma más exacta posible. En su desarrollo se tuvo en cuenta la soberanía tecnológica por la que aboga hoy Cuba, por lo que se utilizaron herramientas y tecnologías libres teniendo como base la plataforma soberana GeneSIG creada en la Universidad de las Ciencias Informáticas. Este módulo brinda la posibilidad de realizar tematizaciones mediante el empleo de métodos de interpolación, garantizando obtener resultados precisos y confiables sobre los datos analizados; permitiendo de este modo, contribuir al proceso de toma de decisiones en las personalizaciones de los Sistemas de Información Geográfica desarrollados sobre GeneSIG.

Palabras clave: Interpolación, Plataforma GeneSIG, Sistemas de Información Geográfica y Tematizaciones.

Abstract

The purpose of this research is to present the relevance of the analysis module based on methods of interpolation. This module arises from the need of a tool able to visualize data obtained from theming as accurately as possible. In its development it was taken into account the technological sovereignty supported by Cuba today, so free tools and technologies are used on the basis of the sovereign GeneSIG platform created at the University of Informatics Sciences. This module provides the possibility of them by using interpolation methods, ensuring to get accurate and reliable results on the data analyzed; allowing thus to contribute to the decision making process in the customizations of the Geographic Information Systems developed on GeneSIG.

Keywords: GeneSIG Platform, Geographic Information Systems, Interpolation and Theming.

Índice General

Introducción	1
Capítulo 1: Análisis espacial basado en métodos de interpolación	7
1.1 Conceptos asociados al dominio del problema.....	7
1.2 Caracterización del análisis espacial basado en métodos de interpolación	10
1.3 Descripción de proceso de interpolación	11
1.4 Caracterización de los principales métodos de interpolación.....	11
1.5 Selección de la biblioteca	14
1.6 Análisis de las soluciones existentes.....	16
1.6.1 Caracterización de las soluciones existentes en el mundo.....	16
1.6.2 Caracterización de las soluciones existentes en Cuba.....	18
1.7 Conclusiones del capítulo.....	21
Capítulo 2: Tendencias y tecnologías	22
2.1 Metodología de desarrollo de software	22
2.1.1 Proceso Unificado de Desarrollo (RUP)	22
2.2 Lenguaje Unificado de Modelado (UML) 2.0.....	23
2.3 Herramientas CASE Visual Paradigm for UML Enterprise Edition 8.0	24
2.4 Lenguajes de Programación.....	24
2.5 Framework de JavaScript.....	25
2.6 Entorno de Desarrollo Integrado (IDE).....	25

2.7 Editor de Cartografía Quantum GIS (QGIS) 1.7.5.....	26
2.8 Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) PostgreSQL 9.1	27
2.9 Servidor Web Apache 2.2.....	27
2.10 Servidor de Mapas MapServer 6.0	27
2.11 Conclusiones del capítulo.....	28
Capítulo 3: Presentación de la solución propuesta.....	29
3.1 Modelo del Dominio.....	29
3.1.2 Breve descripción del diagrama	30
3.2 Técnicas de captura de requisitos	31
3.3 Requisitos del software	31
3.3.1 Requisitos Funcionales (RF).....	31
3.3.2 Requisitos No Funcionales (RNF).....	32
3.4 Modelo de Casos de Usos del sistema.....	34
3.4.1 Actores de Casos de Uso.....	34
3.5 Especificación de CU	35
3.5.1 CU arquitectónicamente significativo	37
3.6 Conclusiones del capítulo.....	37
Capítulo 4: Construcción de la solución propuesta.....	38
4.1 Arquitectura del software	38
4.1.1 Estilos Arquitectónicos	41

4.1.2 Patrones Arquitectónicos	41
4.2 Patrones de Diseño	43
4.3 Modelo de diseño	44
4.3.1 Diagrama de Clases del Diseño (DCD)	45
4.4 Diseño de la Base de Datos	45
4.4.1 Clases persistentes	46
4.4.2 Modelo entidad-relación	47
4.5 Modelo de Implementación	47
4.5.1 Diagrama de Componentes	47
4.6 Modelo de despliegue	48
4.7 Resultados alcanzados	49
4.8 Pruebas de software	50
4.8.1 Pruebas de Caja Negra	51
4.9 Conclusiones Parciales	55
Conclusiones Generales	56
Recomendaciones	57
Referencias Bibliográficas	58
Anexos	64
Glosario de términos	65

Índice de Figuras

Fig. 1 Resultados sobre la disponibilidad de los almacenes de LABIOFAM arrojados mediante la tematización por coropletas en la plataforma GeneSIG.	2
Fig. 2 Resultados de los epicentros arrojados mediante la tematización por símbolos proporcionales en la plataforma GeneSIG.	3
Fig. 3 Mapa resultado de media mensual de temperaturas medias (PESQUER, y otros, 2007).....	17
Fig. 4 Interfaz de Saga SIG (McCloy, y otros, 2006)	18
Fig. 5 Interfaz de PROYECTO SIG (León, 2013)	19
Fig. 6 Visor de mapas del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (Minerva, y otros, 2012)	20
Fig. 7 Ciclo de vida de la metodología RUP (ADSI, 2010).....	23
Fig. 8 Diagramas de clases del dominio.....	30
Fig. 9 Diagrama de Casos de Uso del Sistema.....	34
Fig. 10 Estructura de CartoWeb.....	39
Fig. 11 Estructura de GeneSIG	40
Fig. 12 Estructura de un plugin en GeneSIG.....	40
Fig. 13 Diagrama de clases del diseño	45
Fig. 14 Diagrama de clases persistentes	46
Fig. 15 Modelo entidad-relación	47
Fig. 16 Diagrama de componentes	48
Fig. 17 Diagrama de despliegue	49
Fig. 18 Tematización de la provincia La Habana por métodos de interpolación	50
Fig. 19 Resultado de las pruebas de caja negra	55

Índice de Tablas

Tabla 1: Descripción de los actores del sistema	35
Tabla 2: Descripción de CU del sistema	35
Tabla 3: Secciones a probar del caso de uso.....	51
Tabla 4: Descripción de las variables de entrada.....	53
Tabla 5: Matriz de datos.....	53

Introducción

La necesidad de representar y gestionar el gran volumen de datos que se genera diariamente en las empresas, ha posibilitado que se desarrollen los Sistemas de Información (SI) y las tecnologías computacionales, cambiando progresivamente la forma de procesar los resultados obtenidos. Una de las áreas de mayor aplicación de estos sistemas son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales constituyen una herramienta indispensable para el estudio, gestión y análisis territorial.

(Gianfelici, 2008) define a los Sistemas de Información Geográfica como *“la integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información geográficamente referenciada”*.

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica ha tenido una importante representación en el área del análisis espacial, nutriéndose de investigaciones del campo de las matemáticas y la estadística. Algunos de sus aportes en dicha área son utilizados para realizar exploraciones de los datos geográficos posibilitando extraer información adicional que podría no ser evidente observando el mapa simplemente.

La evolución de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) ha propiciado el perfeccionamiento del análisis espacial de los datos; conllevando al hombre a realizar disímiles estudios encaminados a mejorar temas relativos a la representación de la información geográfica. La necesidad de potencializar el uso de las TIC en la sociedad cubana, posibilitó que fueran informatizadas varias de sus esferas, como es el caso de las ciencias geográficas. Un papel protagónico en esta área lo desempeña la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), la que cuenta con el centro de desarrollo Geoinformática y Señales Digitales (GEySED).

Entre los productos desarrollados por el centro se encuentra la plataforma GeneSIG, realizada íntegramente con tecnologías libres, en cuyo desarrollo participan actualmente tres entidades: grupo empresarial GEOCUBA (encargándose del suministro cartográfico), las Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR) y la UCI. Esta plataforma fue creada para el desarrollo de aplicaciones SIG en entornos web y cuenta con las funcionalidades comunes de estos sistemas, pudiendo ser personalizada como aplicación a la medida, incluyéndosele nuevas funcionalidades en caso de ser necesario.

GeneSIG cuenta actualmente con tres formas de realizar tematizaciones para el análisis de la información

que se representa en el mapa: coropletas, símbolos proporcionales y gráficas dinámicas. Aun cuando estas son ampliamente utilizadas, algunas presentan problemas que condicionan los resultados en dependencia del criterio de análisis sobre el que se esté trabajando.

Por ejemplo, las tematizaciones por coropletas posibilitan a los especialistas obtener una representación detallada mediante el uso de colores, permitiendo de este modo definir las distintas áreas visualizadas en el mapa, a pesar de esto presenta las siguientes inconvenientes:

- Se limita a colorear polígonos (ver Fig.1), esto significa que siempre la tematización se realizará coincidiendo con los límites definidos en el mapa según las características del mismo. Por lo que no se podría dibujar una de estas áreas formando diferentes zonas de colores en función de los datos socioeconómicos que se tengan, que facilitarían el análisis de indicadores tales como la distribución poblacional.

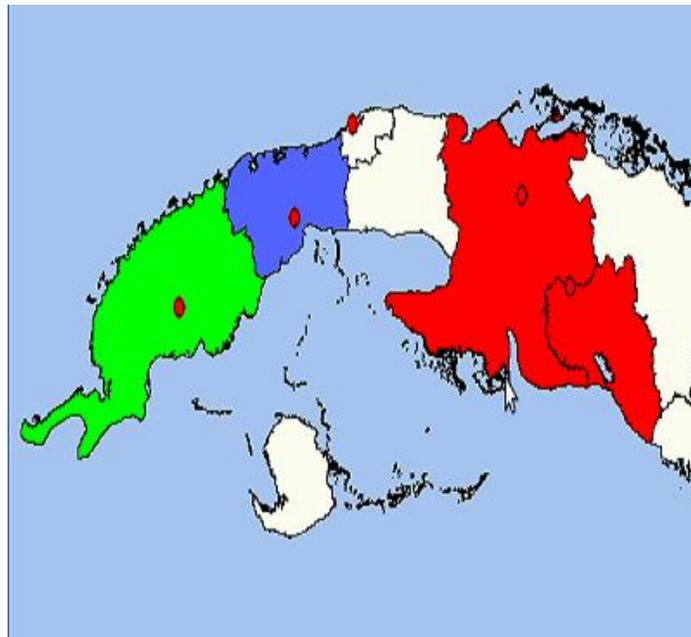


Fig. 1 Resultados sobre la disponibilidad de los almacenes de LABIOFAM arrojados mediante la tematización por coropletas en la plataforma GeneSIG.

- No presenta el mismo nivel de detalle de la información en áreas grandes que en áreas pequeñas, lo que significa que cuando se realiza la representación de un elemento en el mapa, por ejemplo un municipio con gran cantidad de población, se muestra abundante información sobre los barrios

y consejos populares. Sin embargo en los municipios poco poblados, habitualmente es atípico encontrar mapas con la representación de la información sobre sus barrios y consejos populares.

Los símbolos proporcionales se encargan al igual que otras tematizaciones de visualizar las características del mapa analizado, pero a diferencia de las demás su representación es mediante símbolos significativos (círculos, cuadrado, triángulos o la combinación entre ellos), permitiendo así una vista más detallada del mapa. Su uso se fundamenta en el tamaño de la variable que se va a tematizar, la que resulta ser más representativa para variables cuantitativas y para la representación de valores absolutos.

En variables cuya diferencia entre el valor mínimo y máximo sea muy grande, puede provocar que algunos símbolos resulten prácticamente imperceptibles (ver Fig.2), lo que determina que las entidades con muy poca información a representar en el mapa sean casi inapreciables frente a las más populosas.

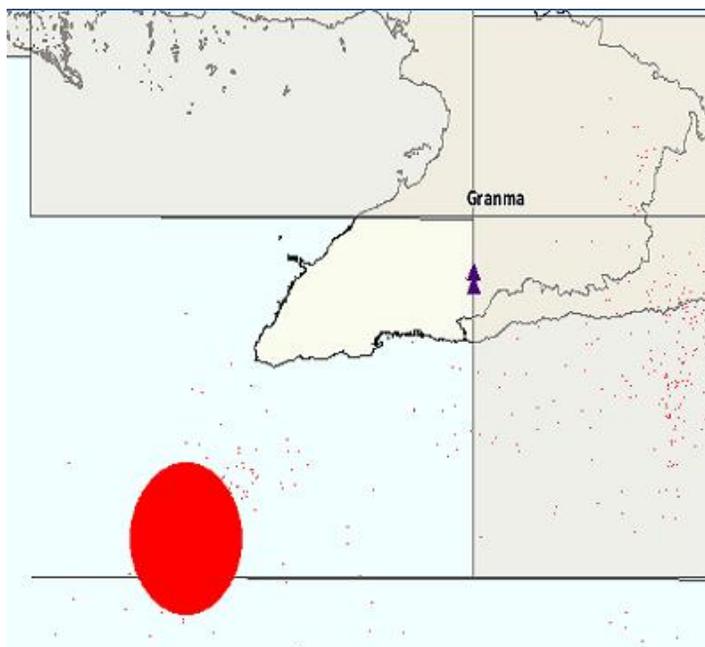


Fig. 2 Resultados de los epicentros arrojados mediante la tematización por símbolos proporcionales en la plataforma GeneSIG.

Los resultados arrojados por mapas que utilizan coropletas y símbolos proporcionales como parte de su proceso de visualización, pueden influir gravemente en la toma de decisiones y el análisis erróneo en la solución de determinada situación tendría secuelas negativas.

Las gráficas dinámicas como su nombre lo indica están destinadas a mostrar los datos obtenidos mediante gráficas de barras o pastel, logrando así que los especialistas puedan entender el resultado visualizado mediante una de las formas más utilizadas actualmente como método representativo. Estas no evidencian ningún inconveniente debido a que no se representan sobre el mapa y no afectan la correcta visualización de los datos en él.

Después de analizar la situación problemática descrita anteriormente, se plantea el siguiente **problema a resolver**: ¿Cómo mejorar la precisión del visualizado de los datos espaciales en las tematizaciones sobre la plataforma GeneSIG?

Definiéndose como **objeto de estudio**: Análisis espacial basado en métodos de interpolación.

Tomando como **campo de acción**: Métodos de interpolación para la creación de mapas temáticos. Estableciéndose como **objetivo general**: Desarrollar un módulo para la plataforma GeneSIG que permita realizar mapas temáticos utilizando métodos de interpolación.

Para facilitar la solución del problema a resolver se generan las siguientes **preguntas de la investigación**:

- ¿Cómo se lleva a cabo actualmente el proceso de representación de los datos espaciales en la plataforma GeneSIG?
- ¿Cuáles son las dificultades que presenta la visualización de los datos espaciales?
- ¿Qué método o proceso debe ser aplicado para mejorar la precisión de la información representada?
- ¿Qué herramientas y tecnologías deben ser empleadas en el desarrollo del sistema a implementar?
- ¿Cuáles son las características con las que debe contar el componente para garantizar la precisión de la visualización de los datos espaciales en la plataforma GeneSIG?
- ¿Cómo determinar que el sistema cumple con las funcionalidades necesarias para llevar a cabo el correcto proceso de representación de los datos espaciales?

Para darle cumplimiento al objetivo general se proponen las siguientes **tareas investigativas**:

- Caracterizar los métodos de interpolación existentes.
- Comparar las bibliotecas que implementen métodos de interpolación.
- Valorar las soluciones existentes que responden al problema de la investigación.
- Caracterizar las tecnologías y herramientas a utilizar en la solución.
- Identificar las principales funcionalidades con las que contará el módulo a desarrollar.
- Modelar la solución propuesta a partir de la metodología definida y el lenguaje de modelado.
- Implementar el módulo en correspondencia con los requisitos identificados.
- Validar el módulo desarrollado mediante el empleo de pruebas funcionales.

Una vez concluida la investigación se espera obtener como **resultado**:

- Módulo de análisis basado en métodos de interpolación.
- Documentación técnica asociada al proceso de creación del módulo.

Para el desarrollo de la investigación se emplearon varios métodos científicos que permiten obtener una idea más detallada de lo que se quiere lograr.

Métodos teóricos:

- Modelación: Se utilizó para la confección de los diagramas correspondientes a la fase de análisis y diseño, convirtiéndose en una guía para la implementación de la solución propuesta.
- Analítico-sintético: Empleado para analizar la bibliografía correspondiente a la investigación y extraer los elementos significativos para el diseño e implementación del módulo.
- Histórico-lógico: Permitió guiar un estudio sobre los SIG que emplean la interpolación espacial; observando el funcionamiento de los mismos y su aportes a la sociedad.

Métodos empíricos:

- Entrevista: Esta técnica se utilizó con el objetivo de conocer los elementos necesarios para la implementación del módulo de análisis; lo que fue posible a través de entrevistas realizadas a miembros del centro GEySED que han trabajado con la interpolación espacial y la plataforma GeneSIG.

Para la correcta aplicación del método se seleccionó como población a los profesores del departamento de Geoinformática, tomándose como muestra el jefe de proyecto Aplicativos-SIG (Alain León Companioni) y al especialista (Eddy Dangel Quesada Rodríguez), permitiendo obtener la información necesaria para dar solución al problema planteado.

La selección de la muestra se realizó utilizando la técnica de muestreo no probabilístico, específicamente el muestreo intencional, lo posibilita escoger los integrantes de la muestra, permitiendo de este modo seleccionar los elementos que puedan brindar mayor cantidad de información.

El presente documento está estructurado en cuatro secciones: resumen, introducción, desarrollo y conclusiones. El desarrollo a su vez está compuesto por cuatro capítulos organizados de la siguiente manera:

Capítulo 1: Análisis espacial basado en métodos de interpolación

Se realiza un estudio de los conceptos asociados a la investigación, se establece una comparación detallada de las bibliotecas que realizan dicho procedimiento logrando de este modo poder seleccionar la más adecuada. Por último se hace un análisis exhaustivo de las soluciones existentes que utilizan la interpolación en la representación de tematizaciones, para seleccionar las que más se relacionan a las condiciones actuales de la plataforma GeneSIG.

Capítulo 2: Tendencias y tecnologías

Este capítulo abordará las tendencias y tecnologías definidas para el desarrollo del software, donde se establece las características de cada una de estas definiendo las ventajas de utilizarlas.

Capítulo 3: Presentación de la solución propuesta

Presentará la solución propuesta definiendo el modelo de dominio, la identificación de requisitos y su descripción, el modelado del módulo y los artefactos asociados al mismo.

Capítulo 4: Construcción de la solución propuesta

Está basado en la construcción de la solución propuesta, donde se expone todo lo relacionado a los procesos de implementación y pruebas del sistema.

Capítulo 1: Análisis espacial basado en métodos de interpolación

El presente capítulo expone el fundamento teórico, estrechamente relacionado con la solución dada al problema. Para dar cumplimiento al objetivo propuesto se hace un estudio de los conceptos fundamentales asociados a la investigación y se detallan las principales características del objeto de estudio. Se profundiza en las causas esenciales que originan la investigación y se realiza un análisis de las soluciones existentes.

1.1 Conceptos asociados al dominio del problema

Cartografía

“La cartografía es la ciencia que se encarga del estudio y elaboración de los mapas geográficos, territoriales y de diferentes dimensiones lineales. Consiste en la aplicación de métodos, técnicas, instrumentos y conocimiento para el diseño de cartografía básica, cartografía digital y sistemas de información territorial; constituye un instrumento fundamental para la comunicación de información espacial y la toma de decisiones” (Alfaro, 2013).

Se entiende por cartografía a la ciencia encargada de realizar el estudio y trazado de los mapas, con el objetivo de obtener información útil de ellos.

Datos Espaciales

“Los Datos Espaciales son el componente fundamental de cada proyecto o aplicación SIG. Contienen las ubicaciones y formas de características cartográficas. Son también conocidos como Datos Cartográficos Digitales, el tipo de datos necesarios para crear mapas y estudiar relaciones espaciales. Dentro de su contexto, almacenan información sobre la localización, las formas de un objeto geográfico y las relaciones entre ellos, normalmente con coordenadas y topología” (Pérez, 2008).

Análisis Espacial

Se define en *“Geographic Information Systems and Science”* como Análisis Espacial *“...todas las transformaciones, la administración, y los métodos que pueden ser aplicados a los datos geográficos para agregarles valor para el soporte de decisiones, mostrar y revelar patrones y anomalías que no son inmediatamente obvias”* (Longley, y otros, 2001). En otras palabras, el análisis espacial es el proceso en

el cual se convierten los datos iniciales en información útil.

Debido a la gran cantidad de campos de investigación y los diferentes enfoques que los datos pueden tomar es muy difícil clasificar las técnicas de análisis espacial, por lo tanto la investigación se centra en el estudio realizado en el Seminario Técnicas y Métodos de Análisis Espacial por la especialista Nathaly de los Ángeles Mazo desarrollado en Septiembre del 2010.

➤ **Principales enfoques del Análisis Espacial:**

Estadística Espacial y Geoestadística

- Análisis exploratorio de datos espaciales
- Autocorrelación espacial
- Agrupaciones espaciales o Clúster
- Filtros espaciales
- Variograma y Krigging

Econometría Espacial

- Modelos econométricos espaciales
- Modelos de panel de datos espaciales
- Métodos para modelación de origen destino de flujos
- Modelo multinivel
- Método de expansión, dependencia y multimodelación

El desarrollo de esta investigación se basa en *estadística espacial y geoestadística*, principalmente en la técnica *Análisis exploratorio de datos espaciales*.

Geoestadística

(Olmo, y otros, 1995) plantean que la Geoestadística se basa en conceptos y herramientas ya existentes en otros campos de la estadística como procesos estocásticos estacionarios, técnicas de análisis de la varianza y predicción por mínimos cuadrados, con una extensión al caso de funciones aleatorias en dos o más dimensiones.

Se define como la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio,

siendo una herramienta útil para analizarlas. Su punto de partida es asumir una intuición topo-probabilista (Cuador, 2002).

Análisis exploratorio de datos espaciales

El análisis de los datos espaciales es una de las primeras etapas que se lleva a cabo, realizándose la descripción de distribución y cálculo de estadísticas básicas; de esta manera se verifica si ellos cumplen con las condiciones de base para la aplicación de un determinado modelo (Salas, 2003).

Cartografía temática

La ley de Ordenación de la Cartografía plantea que la *“Cartografía Temática utiliza como soporte la cartografía básica y desarrolla algún aspecto concreto de la información adicional específica.”* Por lo tanto, los mapas temáticos los define como aquellos que muestran las características estructurales de la distribución espacial de un fenómeno geográfico particular. Esto supone que en el proceso cartográfico es necesario transformar los datos observados en formas cartografiables, para así poderlos codificar gráficamente (LatinGEO, 2013-2014). La cartografía temática es un componente imprescindible dentro del análisis exploratorio de los datos espaciales, ya que este posibilita la visualización de los resultados del modelo.

Coropletas

Es una forma de tematizar que se basa en la representación de los datos a partir de los límites administrativos. Es un producto social, el cual diferencia sus valores mediante la gradación de colores, asignando un valor a toda la superficie de la división administrativa (Reques, y otros, 1998).

Símbolos proporcionales

Los símbolos proporcionales son utilizado en la cartografía para confeccionar tematizaciones. La representación en un mapa a partir de ellos, permite seleccionar una figura (círculos, cuadrados, triángulos o la combinación entre ellos) con la que se va a trabajar y esta varía su tamaño en dependencia de la cantidad relativa de valores que representa en ese punto para una propiedad determinada.

Interpolación espacial

La interpolación espacial es un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo en una localidad específica a partir de valores obtenidos de puntos vecinos a él (Salas, 2003).

Entre los disímiles métodos de interpolación espacial se encuentran:

- El Vecino más Cercano
- Método de la distancia inversa ponderada (IDW)
- Redes irregulares de triángulos (TIN)
- Funciones de base radial (RBF)
 - Función de placa delgada (*Thin Plate Spline*)
 - Función lineal
 - Función gaussiana
 - Función inversa
 - Función multicuadrática
 - Función cúbica
- Spline Cúbico
- Interpolación lineal

1.2 Caracterización del análisis espacial basado en métodos de interpolación

Uno de los objetivos que persigue el análisis espacial de los datos es obtener información temática cartográfica, representada a través de mapas que reflejen de la forma más precisa el área de estudio.

Se coincide con (Olmo, y otros, 1995) en dos cuestiones que llaman la atención debido a su importancia en el estudio del análisis espacial de los datos:

1. Los datos: aquella parte de la realidad desconocida a la cual podemos acceder experimentalmente.
2. Los métodos de análisis numéricos: se aplican al estudio de los datos obtenidos.

En esencia el análisis espacial de los datos posibilita identificar los componentes del espacio analizado (datos); luego se realiza un procedimiento o conjunto de estos (métodos de análisis numérico) que permitan comprender la funcionalidad de los componentes obtenidos. Es por ello que el resultado alcanzado depende de la selección del método utilizado.

El empleo de métodos de análisis numérico provocado por el creciente avance de las TIC ha posibilitado que las ciencias sean usadas en el desarrollo de la computación. La interpolación espacial es uno de los procesos que se desarrolla sobre bases matemáticas, lo que posibilita exactitud en los resultados.

Cuando se refiere a interpolación espacial se puede definir como la estimación de los valores que alcanza

una variable Z en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas (X, Y). Los SIG emplean la interpolación espacial para obtener capas que constituyen la variable a interpolar. Por lo que cada celdilla en la capa se convierte en un punto a interpolar.

Todos los métodos de interpolación se basan en la semejanza que tomarán los valores de cualquier variable cuantitativa que se midan en dos puntos, mientras más cercanos estén estos. No se puede afirmar que un método es superior a otro, ya que cada uno cumple una función determinada. El empleo de un método en específico está en dependencia de la situación espacial existente.

1.3 Descripción de proceso de interpolación

Para la realización de una correcta interpolación espacial se debe primeramente construir la grilla o malla que permite la regularización de los valores de Z, de forma que la estimación para el punto de grilla sea lo más cercano posible al valor esperado de Z.

Al construir la malla se forma una cuadrícula, la que se realiza mediante la utilización de un método de interpolación que en el caso de esta investigación puede ser mediante la función lineal o Spline Cúbico.

Cuando los valores están regularizados se realiza la interpolación aplicando un método que puede ser el mismo que se empleó para construir la grilla u otro de los mencionados anteriormente. Este método utiliza funciones matemáticas que permiten establecer la estimación de los valores que alcanza una variable Z (valores a interpolar) en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas (X, Y); obteniendo como resultado final una función que pase lo más cerca posible por los valores resultantes del proceso. Una vez formada la función que recorre todos los puntos se realiza el suavizado de contornos para mejorar la visualización de los resultados.

1.4 Caracterización de los principales métodos de interpolación

Método de la distancia inversa ponderada (IDW)

Usa una función inversa de la distancia; se basan en la auto-correlación espacial de los puntos para la predicción y generación de superficies continuas, por lo que parte de la teoría que las cosas que están más cerca son más parecidas y por tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar. (Murillo, y otros, 2012).

“La ventaja de IDW es que es intuitiva y eficiente. Esta interpolación funciona mejor con puntos

distribuidos uniformemente" (Tempe, 2000).

El Vecino más Cercano

Es uno de los métodos de interpolación más sencillos que existen. Su funcionamiento consiste en tomar el valor del nodo más cercano a él. Para hallar cual es el nodo más próximo mide las distancias que existen entre estos mediante el empleo de la distancia euclidiana. Es conveniente emplearlo para las condiciones que se describen por categorías, tales como el uso del suelo (Roldan, y otros, 2010).

Redes Irregulares de Triángulos (TIN)

Es un modelo que está basado en redes de triángulos irregulares a partir de puntos donde se conoce el valor de una magnitud dada. A cada vértice constituyente del TIN se le asigna un valor que con frecuencia, es la elevación en ese vértice. Por ello suele utilizarse para representar el terreno y permitir así, análisis de diversos tipos; por ejemplo de visibilidad o simples representaciones tridimensionales en regiones de interés. Este algoritmo es útil no solamente para visualizar modelos digitales en el terreno, sino que puede ser también usado para representar cualquier otra característica que varíe continuamente en la región analizada (Taboada, y otros, 2005)

Funciones de base radial (RBF)

Permite que la superficie pase a través de cada valor en la muestra, debido a que emplea varias funciones que posibilitan realizar interpolación exacta. Este método es empleado para producir superficies lisas de un gran número de puntos, lo que posibilita controlar la suavidad del plano. El resultado obtenido por el proceso de interpolación llevado a cabo dependerá de la función que se emplee en el mismo (ArcGIS, 2012).

Entre las diversas funciones empleadas por este método se encuentran:

➤ **Función de placa delgada (Thin Plate Spline)**

Es empleada mayormente para visualizar la información en dos dimensiones (2D). Permite representar cambios entre una forma y otra como deformación continua. Se basa en la metáfora de una placa de metal infinitamente delgada donde se encuentra localizada una configuración de puntos de control. Si se desea transformar la forma definida por esta configuración en otra, habría que sobreponer los puntos homólogos de ambas placas, manteniendo una fija (Toro, y otros, 2010).

➤ **Función inversa**

La función inversa garantiza la búsqueda de los valores de la función en una malla regular de puntos, a partir de la cual se puede extraer valores dados de la función en puntos espaciados irregularmente por la interpolación. Es muy utilizada para trabajar con datos dispersos y realiza el proceso de regularización de los datos con gran exactitud (Rojas, 2013).

➤ **Función gaussiana**

Es una función sensible a la elección del parámetro de suavizado. La matriz de interpolación gaussiana es definida positiva si los centros son distintos, y también es adecuado su uso en con valores de muestra dispersos. No es muy empleada, ya que presenta ausencia de interacciones de largo alcance debido a la disminución exponencial de las gaussianas con distancia de sus centros (Melo, 2012).

➤ **Función lineal**

Está basada en la distancia euclidiana, la cual es apropiada para datos cualitativos. Se crea al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmento de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de los puntos de control, de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia (Téllez, 2008).

➤ **Función multicuadrática**

Es una variación de la función cuadrática que construye una función continua representando la superficie. Esta función de base radial puede proporcionar excelentes aproximaciones, incluso cuando el número de centros (vecinos más cercanos) es pequeño (Melo, 2012).

➤ **Función cúbica**

Es conocida como polinomio cúbico o de grado tres, que describe tanto la tendencia como la magnitud de una línea. Se considera apropiado para superficies que varían en forma gradual tales como elevación, precipitación, temperatura y profundidad. Cuando los cambios son muy abruptos no se recomienda utilizar esta función de interpolación (Fallas, 2007).

Spline Cúbico

Estima valores analizados usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos de entrada. Este método es el mejor para suavizar superficies distintas, como la elevación, la altura de la capa freática, o las concentraciones de contaminación (GIS_Resources, 2013).

Ofrece un resultado continuo, suave y adaptable, si se ajustan adecuadamente sus parámetros se suele llegar a una interpolación de mayor precisión (PESQUER, y otros, 2007).

Interpolación lineal

La interpolación lineal es un método relativamente sencillo que se basa en la suposición de que la tasa de cambio entre los valores conocidos es constante y puede calcularse a partir de estos valores utilizando la fórmula de la pendiente simple. Entonces, un valor desconocido entre los dos puntos conocidos se puede calcular usando uno de los puntos y la tasa de cambio. Proporciona resultados de forma rápida y sencilla, debido a que solo realiza el cálculo de trayectoria de dos puntos. (IRI/LDEO, 2006).

Estos métodos son utilizados por varias bibliotecas las cuales tienen como objetivo principal hacer la programación menos tediosa e improductiva. La utilización de una biblioteca para el desarrollo de cualquier sistema proporciona ventajas como las que se presentan a continuación:

- No hay necesidad de volver a escribir el código.
- El código ya está compilado por lo que estará probado y será fiable.

1.5 Selección de la biblioteca

Para seleccionar la biblioteca que cumple con los requerimientos necesarios se realizó un análisis de las funcionalidades, ventajas y desventajas de cada una; garantizando que en su desarrollo de trabajo utilice métodos de interpolación y funciones matriciales. A continuación se enumeran las analizadas:

1.5.1 Generic Mapping Tools (GMT)

Es un conjunto de herramientas de línea de comandos para trabajar con datos espaciales y la creación de mapas. Posibilita el análisis y visualización de datos de geociencias, permitiendo realizar análisis, interpolación, filtrado y manipulación de los datos georreferenciados. Genera mapas en formato postscript compuestos por: la cabecera, código para la representación de diversos elementos y el cierre (Wessel, y otros, 2011).

Ventajas:

- Puede ayudar a crear mapas, plotear datos en diversos formatos (x, y, z; map plots; contour maps).
- Proporciona una base de datos completa de alta resolución de líneas de costa, límites de países, ríos, lagos y otros, permitiendo la creación de mapas simples y/o compuestos en distintos tipos de proyecciones geográficas.
- Permite obtener productos de alta calidad (formato vectorial).

Desventajas:

- La manipulación de los elementos de la imagen no es posible sino hasta que se cree el postscript.
- GMT responde a comandos y a veces su interfaz no es muy intuitiva.

1.5.2 Sistema de Soporte de Análisis de Recursos Geográficos (GRASS)

Es una biblioteca desarrollada en lenguaje C; contiene un conjunto de módulos para confeccionar mapas, manipular datos ráster o vectoriales. Puede conectarse a bases de datos posibilitando gestionar la información existente. Realiza el proceso de interpolación mediante el empleo de otra biblioteca (SciPy). (GRASS_GIS, 2012).

Ventajas:

- El código está ampliamente documentado.

Desventajas:

- Presenta dificultades propias de organización y complejidad, debido a que no emplea la POO.

1.5.3 SciPy

Es un conjunto de algoritmos científicos para python; está organizada en sub-paquetes que cubren diferentes dominios de la computación científica como son: funciones especiales, integración, optimización, interpolación, transformada de Fourier, procesamiento de señales, álgebra lineal, estadística y procesamiento de imágenes (SciPy, 2013).

Ventajas:

- Posee módulos para optimización de funciones.

- Cubre gran parte de las necesidades básicas de un software científico.
- Es ampliamente utilizada.
- Emplea disímiles funciones de Matlab que pueden ser utilizadas en el procedimiento de interpolación, logrando obtener exactitud en los resultados.

Desventajas:

- La documentación es escasa.

1.6 Análisis de las soluciones existentes

En el desarrollo de esta investigación se analizaron varios sistemas creados en Cuba y el mundo, que utilizan la interpolación espacial para la representación de los resultados obtenidos. Los sistemas analizados son: RegMult, Saga SIG, PROYECTO SIG para la meteorología y el Sistema de Información Ambiental “Bahía de Cienfuegos”.

1.6.1 Caracterización de las soluciones existentes en el mundo

RegMult

Es un módulo híbrido dentro del SIG MiraMon; encadena adecuadamente procedimientos de regresión, interpolación, álgebra de mapas y transferencia de atributos. Desarrollado para la modelización de variables meteorológicas del Servei Meteorologic de Catalunya (SMC), permitiendo generar mapas de distintas temperaturas y precipitación acumulada.

Realiza la interpolación de residuos mediante el empleo de métodos: IDW y Spline Cúbico. Trabaja con capas en formato ráster y brinda al usuario la posibilidad de seleccionar los datos que conforman la muestra y elegir entre los dos criterios de interpolación cual desea utilizar (PESQUER , y otros, 2007).

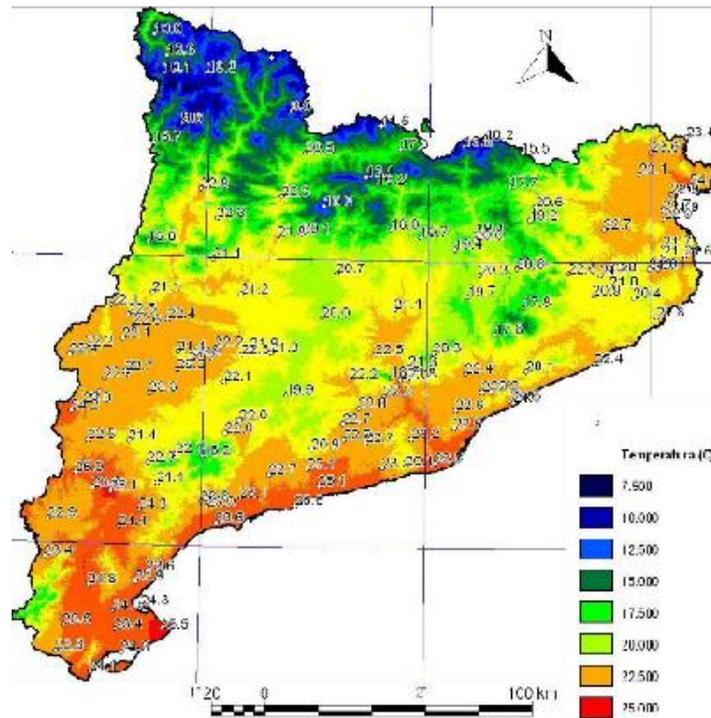


Fig. 3 Mapa resultado de media mensual de temperaturas medias (PESQUER, y otros, 2007)

No existe información pública de las herramientas y tecnologías empleadas en el desarrollo de este sistema. Es un módulo que se utiliza como ejemplo en la forma de obtención de los resultados mediante la utilización de los métodos IDW y Spline Cúbico, pero no se pudo usar para la solución de la investigación debido a que es una aplicación de escritorio donde los datos obtenidos no serán migrados a la web. A pesar de que no es empleado en el desarrollo de la solución propuesta se utilizaron algunas de sus características en la misma como: permitir al usuario la posibilidad de seleccionar los datos que conforman la muestra y elegir entre los criterios de interpolación que método es el más adecuado a aplicar.

Saga SIG

Sistema de Análisis Geocientíficos Automatizados (SAGA) es un SIG de código abierto usado para editar y analizar datos espaciales, desarrollado por el Instituto de Geografía de la Universidad de Hamburgo. Incluye un gran número de módulos para análisis de datos vectoriales (puntos, líneas y polígonos), tablas, mallas (*grids*) e imágenes para analizar el desarrollo paisajístico.

Está implementado en el lenguaje de programación C ++, tiene un diseño orientado a objetos. Para el análisis espacial emplea como métodos de interpolación: el vecino más cercano, la triangulación y

kriging. Guarda los archivos generados en los formato (*. Sgrd) y shapefiles (*. Shp) (McCloy, y otros, 2006)

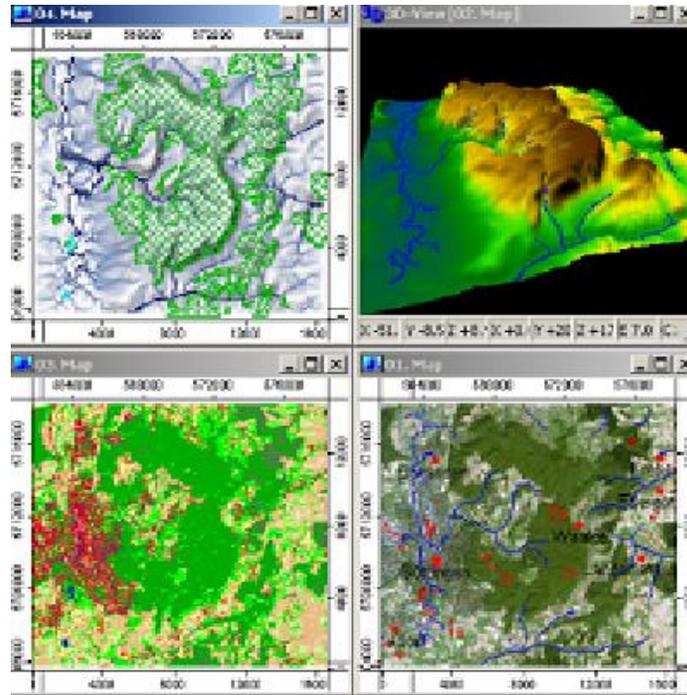


Fig. 4 Interfaz de Saga SIG (McCloy, y otros, 2006)

No existe información pública de las tecnologías que se emplearon en la implementación de este sistema. Es un SIG que sirve como muestra en la forma en que ellos trabajan con los datos en formato vectorial y en el uso de la POO.

1.6.2 Caracterización de las soluciones existentes en Cuba

PROYECTO SIG

Permite valorar el medio ambiente del territorio cubano y la incidencia que sobre el mismo presentan los ciclones tropicales como principal fenómeno de carácter hidrometeorológico. Parte del supuesto que todo evento natural es susceptible de ser sometido al procesamiento estadístico. En este sentido, se realizaron procedimientos propios del tratamiento matemático de información cartográfica vinculados con los procesos de interpolación obteniéndose las mallas (grids) correspondientes a cada uno de los mapas ráster.

Es usado para trabajar con los criterios de análisis: probabilidad de afectación, velocidad promedio de los

vientos, mes con mayor frecuencia de ocurrencia y el número promedio de horas de afectación. Para el desarrollo de este proyecto se emplearon las herramientas: Microsoft Excel, Surfer, Adobe Photoshop, MapInf, ArcView 3.3 y como base la cartográfica digital de Cuba escala 1:250 000 elaborada por GEOCUBA (León, 2013).

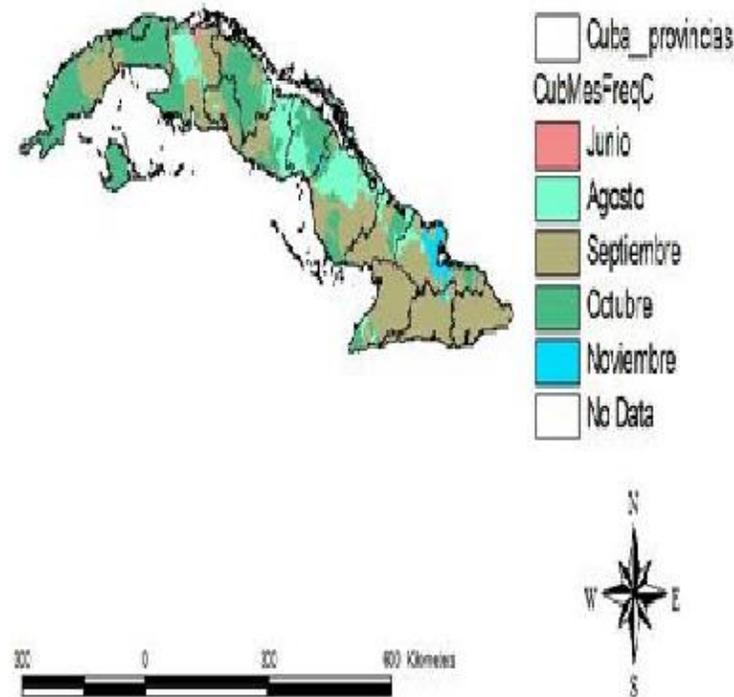


Fig. 5 Interfaz de PROYECTO SIG (León, 2013)

Este SIG aportó al Módulo de análisis de la plataforma GeneSIG en la forma de representar la información en el mapa mediante la utilización del método: IDW; lo que posibilitó realizar un estudio de la visualización de los datos obtenidos y el criterio de análisis empleado (ciclones tropicales) permitiendo identificar si sería conveniente emplear IDW en el desarrollo del sistema propuesto.

Se desarrolló utilizando tecnologías privativas las cuales no son convenientes utilizarlas para la implementación del sistema debido a las políticas existentes en la UCI y en Cuba de promover el desarrollo del software libre con el fin de garantizar la soberanía tecnológica de la nación.

Sistema de Información Ambiental “Bahía de Cienfuegos”

Permite gestión y socialización de la información ambiental generada por el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) y de las instituciones que procesan datos ambientales y los tributan al Sistema de Información Ambiental (SIAM). Posibilita consultar las relaciones de trabajo establecidas con otras instituciones para la manipulación u obtención de los datos, como convenios de colaboración, proyectos gubernamentales o contratos. Para el diseño de los mapas de los resultados del Servicio Estatal de Bahía, se ha aplicado la herramienta de interpolación: distancia inversa ponderada (Minerva , y otros, 2012).

En el desarrollo de este SIG se emplearon las siguientes tecnologías: Drupal 6.22 para la ampliación de los módulos y el lenguaje PHP, en la administración de los datos el servidor de base de datos PostgreSQL 9.1, para el manejo de los datos geográficos PostGIS 1.5.4, QGIS 1.7.4 y gvSIG 1.11, como servidor web Apache Tomcat 6.0.2, en la gestión de los metadatos de toda la información perteneciente al sistema GeoNetwork 2.6.0 y como servidor de mapas MapServer (Minerva , y otros, 2012).

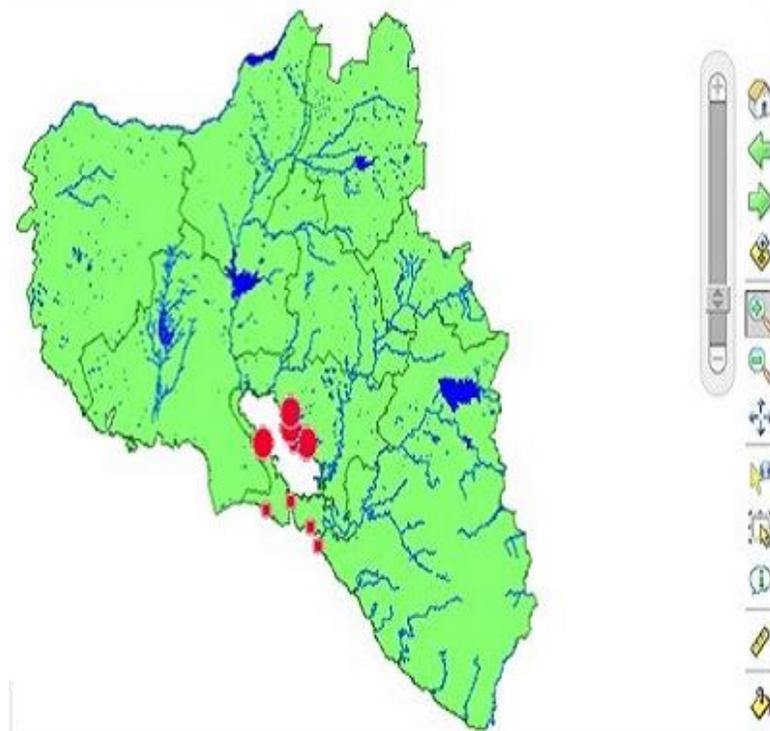


Fig. 6 Visor de mapas del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (Minerva, y otros, 2012)

Este SIG fue implementado utilizando tecnologías libres las cuales pueden ser empleadas en el desarrollo del Módulo de análisis. La forma en que visualizan la información en la web mediante el servidor de mapas MapServer y el sistema gestor de base de datos PostgreSQL con extensión PostGIS, permitió definir una guía para el almacenamiento y creación de la capa temática.

A pesar de los aportes de este sistema a la investigación, no es utilizado en el desarrollo del componente debido a que el manejo de los datos se realiza a través de un módulo de gestión destinado a manipularlos; mientras que una de las tareas del *“Módulo de análisis basado en métodos de interpolación para GeneSIG”* es realizar el manejo de los datos directamente.

1.7 Conclusiones del capítulo

El análisis y profundización de los conceptos relacionados con el objeto de estudio, permitió conocer el entorno del sistema sobre el cual se trabajará. Además permitió seleccionar la biblioteca SciPy como la encargada de desempeñar la interpolación en el desarrollo del sistema, debido a que está programada en un lenguaje de alto nivel (python), lo que posibilita generar un código más sencillo y comprensible. Además devuelve como resultado de la interpolación una matriz de puntos, los cuales se pueden almacenar en un gestor de bases de datos, para utilizarlos posteriormente en el servidor de mapas.

Los métodos Spline Cúbico e interpolación lineal fueron los seleccionados para llevar a cabo la tarea propuesta, por incluir las siguientes ventajas: Spline Cúbico permite la estimación de valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos de entrada. Mientras que la interpolación lineal proporciona resultados de forma rápida y sencilla, debido a que solo realiza el cálculo de trayectoria de dos puntos; siendo estos métodos muy utilizados para datos dispersos.

Por otro lado el estudio realizado sobre varios SIG en Cuba y el mundo, permitió incluir en la posible solución algunas características (herramientas, almacenamiento de resultados obtenidos, visualización de la información a través de un servidor de mapas) que se emplean en el desarrollo de estos sistemas.

Capítulo 2: Tendencias y tecnologías

La correcta selección de las herramientas y tecnologías a utilizar en el desarrollo de un software posibilita que se obtenga un producto confiable y exitoso. Debido a lo planteado anteriormente el Módulo de Análisis Basado en Métodos de Interpolación se acoge a la metodología, tecnologías y herramientas utilizadas en la creación de la plataforma GeneSIG, debido a que este se integra a la misma.

2.1 Metodología de desarrollo de software

Durante la creación de un software es necesario utilizar una metodología que se encarga de guiar el proceso de desarrollo; como todos los procesos no son iguales no existe una única metodología, sino varias que se ajustan a las características de cada producto que se realice. La metodología responde a las preguntas: Quién (trabajadores) debe hacer Qué (artefactos), Cuándo (Flujo de actividades) y Cómo (actividades) debe hacerlo.

En el desarrollo de la investigación se utilizó la metodología Proceso Unificado de Desarrollo, empleada en la plataforma GeneSIG y sobre la cual se posee conocimiento y habilidad en el centro GEySED, por ser la más utilizada en el desarrollo de sus sistemas. Dicha metodología permite generar gran cantidad de artefactos que pueden ser almacenados, para posteriormente crear versiones superiores de la solución generada. Garantiza realizar una mitigación temprana de posibles riesgos donde el cliente está involucrado continuamente en el proceso de desarrollo del sistema.

2.1.1 Proceso Unificado de Desarrollo (RUP)

La metodología RUP provee una orientación disciplinada para asignar tareas y responsabilidades dentro de una organización que produce software. Su objetivo es garantizar la realización de un producto con la calidad requerida para resolver las necesidades de los usuarios finales y clientes dentro de un presupuesto y tiempo establecido (Kruchten, 2000).

Emplea los modelos de desarrollo de software iterativo e incremental. Su ciclo de vida está compuesto en cuatro fases, por las que se realizan varios recorridos denominados iteración. Cada iteración parte de la anterior incrementando o revisando la funcionalidad implementada y se basa en la evolución de prototipos ejecutables que se muestran a los usuarios y clientes (JACOBSON, 2000).

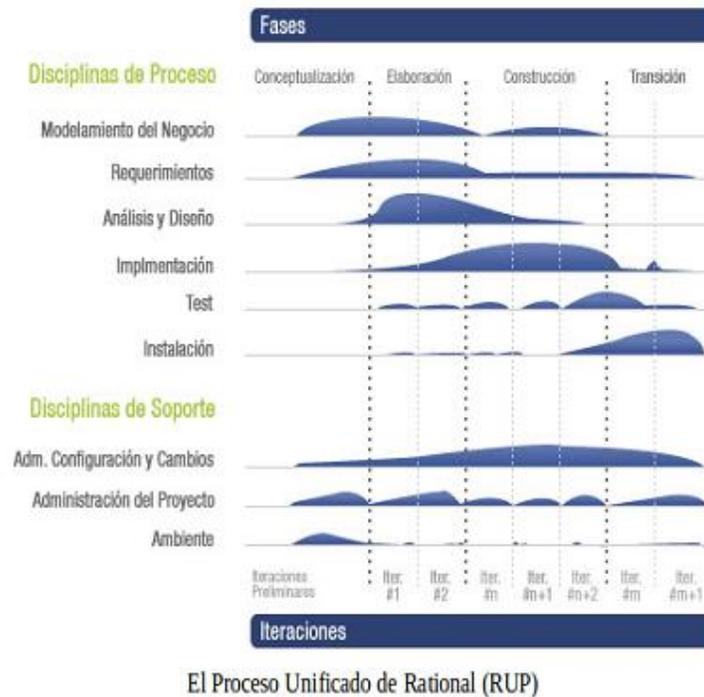


Fig. 7 Ciclo de vida de la metodología RUP (ADSI, 2010)

Para diseñar los esquemas empleando esta metodología de desarrollo, se utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado.

2.2 Lenguaje Unificado de Modelado (UML) 2.0

UML es un lenguaje que permite modelar lo que el software deberá hacer; posibilitando un mayor entendimiento y comprensión del sistema por parte del equipo de desarrollo. Sus objetivos son varios, pero se pueden resumir en sus funciones (ORALLO, 2003):

- Visualizar: Posibilita expresar de una forma gráfica un sistema, de manera que pueda ser entendido fácilmente.
- Especificar: UML permite especificar cuáles son las características de un sistema antes de su construcción.
- Construir: A partir de los modelos especificados se pueden construir los sistemas diseñados.

- Documentar: Los propios elementos gráficos sirven como documentación del sistema desarrollado, los que pueden ser empleados en su futura revisión.

Para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos que posibilitaron la realización del módulo se empleó este lenguaje de modelado utilizando la herramienta Visual Paradigm.

2.3 Herramientas CASE Visual Paradigm for UML Enterprise Edition 8.0

Es una herramientas CASE para desarrollo de aplicaciones utilizando modelado UML. Posibilita guiar todo el proceso de desarrollo del software, desde la fase de análisis hasta la realización de las pruebas garantizando reducir al máximo los costes y posibilitando la creación de un sistema de alta calidad.

Visual Paradigm 8.0 facilitó la creación de los diagramas que describen el ciclo de vida del sistema a través de un diseño centrado en casos de uso y enfocado al negocio, garantizando realizar un software con mayor calidad. Es fácil de instalar y actualizar, está disponible para software libre y tiene licencia gratuita. Luego de modelar el sistema se realiza la programación del mismo utilizando los lenguajes JavaScript 1.5, python 2.7 y Preprocesador de Hipertexto 5.

2.4 Lenguajes de Programación

Preprocesador de Hipertexto (PHP) 5

Lenguaje de programación código abierto que se emplea para programar del lado del servidor. Es simple de utilizar debido a que existe gran documentación sobre su uso, se puede emplear para la creación de páginas web y procesar la información de sus formularios.

Además de que GeneSIG emplea PHP en el desarrollo de sus componentes y que el módulo a desarrollar deberá integrarse a la misma, PHP permite lograr un sistema lo más libre de licencias posible cubriendo todas las necesidades; por lo que se puede aceptar como parte de los lenguajes utilizados para la implementación.

Python 2.7

Python es un lenguaje orientado a objetos e interpretado, lo que significa que no se necesita compilar el código fuente para poder ejecutarlo, esto ofrece ventajas como la rapidez de desarrollo. Integra gran cantidad de bibliotecas que contienen tipos de datos y funciones incorporadas en el propio lenguaje,

permitiendo realizar muchas tareas sin necesidad de tener que programarlas desde cero (Álvares, 2003). La selección del lenguaje se debe a su simplicidad lo que permitió integrar fácilmente los módulos *psycopg2*, *SciPy*, *numpy* y *pyplot*.

Se empleó *psycopg2* para la conexión a la base de datos de PostgreSQL. *SciPy* posibilitó la utilización de la función *interpolate* que contiene funciones Spline, interpolación de Lagrange así como interpoladores polinómicos, los que fueron aplicados para realizar la interpolación. El módulo *numpy* permitió operar con matrices. Este constituye una biblioteca de funciones matemáticas de alto nivel y por último *pyplot* de la biblioteca *matplotlib* garantizó la realización de contornos para obtener los polígonos generados en la interpolación y la visualización de los resultados generados a través de su interfaz gráfica.

JavaScript

Es un lenguaje de programación sencillo y ligero del lado del cliente; no es conveniente usarlo como un lenguaje independiente, más bien está diseñado para una fácil incrustación en otros productos y aplicaciones, tales como los navegadores web (Network, 2005-2014.). Tiene funciones que permite la creación de páginas web dinámicas. Posibilita crear interfaces de usuario amigables, menús desplegables, efectos visuales sencillos y manipular datos (Villalobos, 2010).

2.5 Framework de JavaScript

ExtJS 3.2

Es una biblioteca de JavaScript para el desarrollo de aplicaciones web interactivas. Permite flexibilizar el manejo de componentes de la página y permite crear interfaces de usuario bastante funcionales. Además posibilita crear aplicaciones complejas utilizando componentes predefinidos (Ecured, 2012).

El uso de ExtJS posibilitó el empleo de un gran número de componentes visuales que mejoran considerablemente la calidad de las aplicaciones. La selección no solo se debe a que es utilizado por GeneSIG sino que además brinda la posibilidad de validaciones de formularios de todo tipo, basándose en expresiones regulares y tipos de datos.

2.6 Entorno de Desarrollo Integrado (IDE)

NetBeans 7.0.1

Es un IDE gratuito y de código abierto, permite desarrollar aplicaciones web de forma fácil y rápida. NetBeans Editor combina palabras y soportes, y destaca código fuente sintáctica y semánticamente. También proporciona plantillas de código, consejos de codificación, y las herramientas de refactorización. Soporta varios lenguajes como PHP y JavaScript (NetBeans, 2013-2014).

Algunas de las ventajas de utilizar este IDE son (NetBeans, 2013-2014):

- Proporciona un gran conjunto de herramientas para PHP
- El código está bien organizado
- Permite profundizar en sus datos de forma rápida y sencilla

PyCharm 3.0

Para el trabajo con las bibliotecas del lenguaje python se utilizó como IDE PyCharm por las facilidades de trabajo que brinda, además de su fuerte integración y organización con python.

(JetBrains, 2000-2014) plantea que *“PyCharm es un IDE para programar en el lenguaje python que contiene un editor inteligente, posibilitando el completamiento de código, asistencia y análisis del mismo, así como herramientas de depuración y prueba”*.

2.7 Editor de Cartografía Quantum GIS (QGIS) 1.7.5

(Ferri-Benedetti, 2012) define a QGIS como *“un sistema de información geográfica que permite visualizar, editar e imprimir mapas, así como analizar todo tipo de datos demográficos y económicos usando la geografía como referencia. La variedad y potencia de las herramientas, así como la gran cantidad de documentación y ejemplos disponibles, hacen de Quantum GIS una de las mejores utilidades de análisis de datos geográficos disponible”*

Esta herramienta se utilizó para insertar en la cartografía los datos de la distribución poblacional de los consejos populares de cada municipio de la provincia Ciudad de La Habana, empleados para realizar la interpolación. Estos datos fueron almacenados simultáneamente en el gestor de base de datos PostgreSQL.

2.8 Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) PostgreSQL 9.1

PostgreSQL es un sistema de gestión de bases de datos objeto-relacional, utilizado por ser un sistema de código abierto de gran robustez y por soportar datos espaciales mediante la extensión PostGIS (Martínez, 2010). Además permite almacenar gran cantidad de información y es empleado por la plataforma GeneSIG para gestionar los datos.

PostGIS 1.5.8

Es una extensión que convierte a PostgreSQL en una base de datos espacial, por lo que contiene cientos de funciones espaciales. Realiza la administración de la base de datos a través de pgAdmin. Posee soporte de datos ráster y vectoriales. Es compatible con el servidor de mapas MapServer (Morales, 2012).

pgAdmin III 1.14.0

Es una plataforma de desarrollo para el gestor de base de datos PostgreSQL. Está diseñado para responder a las necesidades de los usuarios, desde escribir consultas SQL simples hasta desarrollar bases de datos complejas. Incluye un editor SQL con resaltado de sintaxis, un editor de código de la parte del servidor y un agente para lanzar scripts programados. La conexión al servidor puede hacerse mediante TCP/IP y puede encriptarse mediante SSL para mayor seguridad (Franco, y otros, 2010).

2.9 Servidor Web Apache 2.2

“Es un servidor web modular, multiplataforma y de código abierto; usado para compartir páginas web estáticas y dinámicas hacia Internet. Su principal objetivo es proporcionar servicios HTTP en sincronización con los estándares HTTP actuales de forma segura y eficiente. Además es fácil de conseguir ayuda y soporte” (Ecured, 2013-2014). Permite personalizar la respuesta ante los posibles errores que se puedan dar en el servidor y posibilita configurarlo para que ejecute un determinado conjunto de instrucciones cuando ocurra un error en concreto (CIBERAULA, 2012).

2.10 Servidor de Mapas MapServer 6.0

Es una plataforma de código abierto para la publicación de los datos espaciales y aplicaciones de mapas interactivos para la web. Es multiplataforma, soporta formatos de datos ráster y vectorial, presenta una producción cartográfica avanzada y posibilita la automatización del mapa (barra de escala, mapa de referencia, y la leyenda) (MapServer, 2013-2014).

Se empleó MapServer por la fortaleza que posee para la graficación de imágenes; además de que el sistema a implementar deberá integrarse con GeneSIG que utiliza a MapServer como servidor de mapas debido a que soporta scripts desarrollados en php, es rápido y ligero, trabaja datos en formato ráster y vectorial y brinda la que posibilidad de establecer una conexión más segura entre este, los servidores de aplicaciones y la base de datos.

2.11 Conclusiones del capítulo

Para el desarrollo de este software se seleccionaron tales tecnologías debido a que son compatibles y posibilitan una buena unificación del módulo con GeneSIG. La integración de las herramientas se ve favorecida, pues muchas están construidas sobre el mismo lenguaje. Se tuvo en cuenta los principios establecidos por la Universidad de promover el software libre, con el fin de garantizar la soberanía tecnológica de la nación. Su empleo permite implementar la solución propuesta en un período corto de tiempo, logrando que el mismo sea fácil de mantener.

Capítulo 3: Presentación de la solución propuesta

Para implementar una aplicación es necesario tener conocimiento del negocio y los requerimientos que el mismo debe cumplir. El presente capítulo muestra todo lo relacionado a los dos primeros flujos de la metodología RUP (modelado del negocio y la captura de requisitos) con el objetivo de definir las principales características del módulo a desarrollar.

3.1 Modelo del Dominio

“Es el artefacto más importante que se crea durante el análisis orientado a objetos, permite la representación visual de las clases conceptuales u objetos significativos de un dominio de interés. En la realización de este modelo se debe capturar las abstracciones e informaciones necesarias para entender el dominio en el contexto de los requisitos actuales, permitiendo a las personas a comprender el negocio, sus conceptos, terminología y relaciones” (Larman, y otros, 2003).

Para la realización de la presente investigación se decidió emplear el modelo del dominio debido a que se cuenta con pocos expertos en el tema y gran parte de la información utilizada ha sido obtenida mediante el estudio de sistemas similares. Este modelo es un diagrama formado por las clases conceptuales, las asociaciones entre las mismas y los atributos.

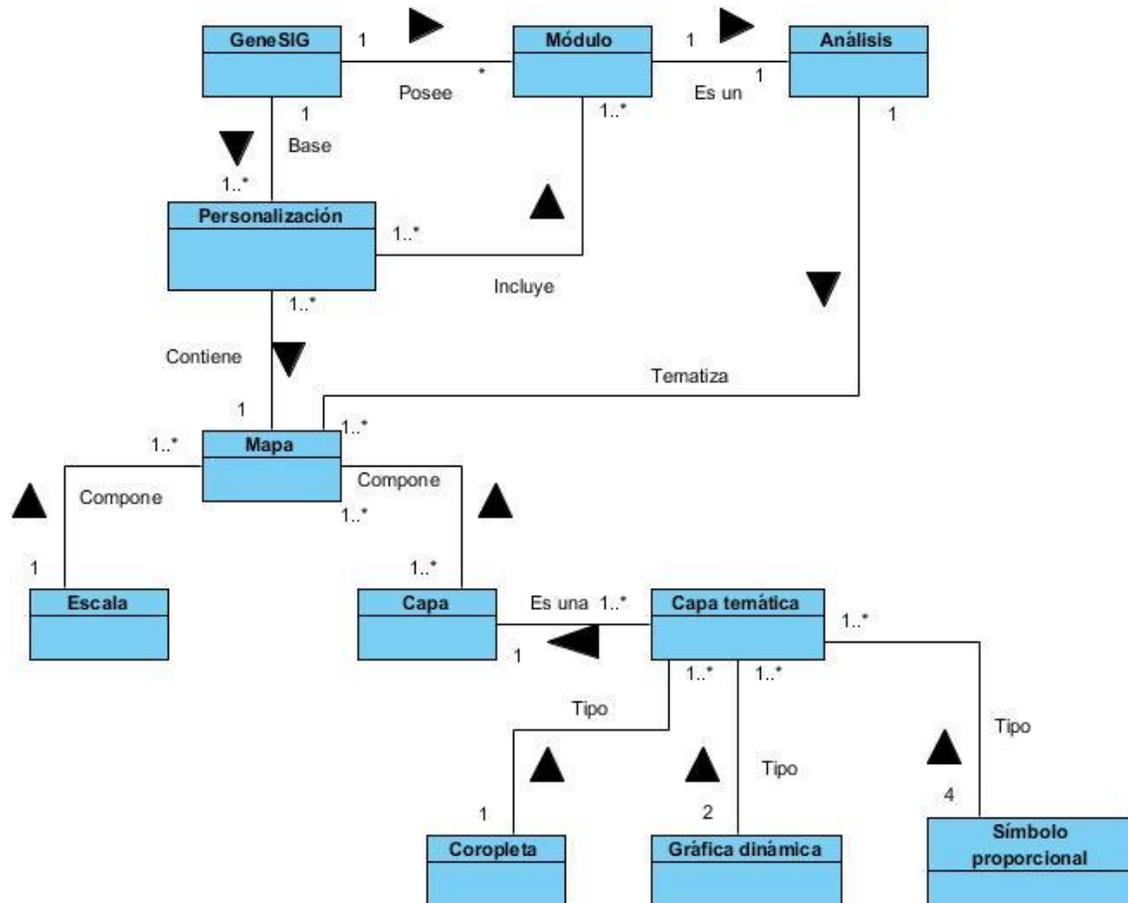


Fig. 8 Diagramas de clases del dominio

3.1.2 Breve descripción del diagrama

La plataforma GeneSIG sirve de base para el desarrollo de personalizaciones SIG. De los 11 módulos con los que cuenta actualmente la plataforma, las personalizaciones emplean aquellos que respondan a las necesidades especificadas de los clientes según el negocio en particular. Uno de estos módulos es el de “Análisis”; que posibilita representar los resultados obtenidos en el mapa debido a que contiene funcionalidades que permiten realizar tematizaciones. El mapa está compuesto por una escala y por diferentes capas. Al tematizar el mismo, se crean además capas tematizadas, las cuales pueden ser de 3 tipos en dependencia del tipo de tematización realizada: de colores (coropleta), de gráficas dinámicas (barra, pastel) o de símbolos proporcionales (círculos, triángulos, cuadrados o la combinación entre ellos).

3.2 Técnicas de captura de requisitos

Existen varias técnicas que posibilitan capturar los requisitos de software de forma eficiente y segura, como la entrevista, introspección, cuestionarios, listas de verificación, tormenta de ideas y análisis de la documentación. Para satisfacer las necesidades del cliente se realizó la extracción de los requisitos del software mediante la utilización de la técnica: tormenta de ideas.

La tormenta de ideas permite *“la realización de reuniones en grupo cuyo objetivo es la generación de ideas en un ambiente libre de críticas o juicios. Puede ayudar a generar una gran variedad de vistas del problema y a formularlo de diferentes formas, sobre todo al comienzo del proceso de captura, cuando los requisitos son todavía muy difusos”* (Baños , 2012).

3.3 Requisitos del software

Los requisitos del software no son más que una descripción general de cómo debe funcionar el sistema a implementar. La correcta especificación de los mismos es el punto clave para lograr el éxito en el desarrollo de la solución propuesta. Estos se pueden clasificar en funcionales y no funcionales.

3.3.1 Requisitos Funcionales (RF)

Describen con claridad lo que debe hacer el sistema para satisfacer las necesidades del cliente. En el desarrollo de esta investigación se definieron los siguientes RF:

RF1. Realizar tematización mediante el método Interpolación lineal.

Esta funcionalidad permite que el usuario pueda crear un mapa temático mediante “Interpolación lineal” y mostrar la capa tematizada en el mapa, en función del criterio de análisis definido (distribución poblacional).

Esta funcionalidad requiere los siguientes criterios de entrada:

- Capa a tematizar (Formato: Lista desplegable, Obligatorio: Sí).
- Criterio de análisis (Formato: Lista desplegable, Obligatorio: Sí).
- Método (Formato: Lista desplegable, Obligatorio: Sí).
- Cantidad de niveles (Formato: Numérico, Obligatorio: Sí).

El sistema inicia la ejecución de la tematización por el método seleccionado.

RF2. Realizar tematización mediante el método Spline Cúbico.

Esta funcionalidad permite que el usuario pueda crear un mapa temático mediante “Spline Cúbico” y mostrar la capa tematizada en el mapa, en función del criterio de análisis definido (distribución poblacional).

Esta funcionalidad requiere los siguientes criterios de entrada:

- Capa a tematizar (Formato: Lista desplegable, Obligatorio: Sí).
- Criterio de análisis (Formato: Lista desplegable, Obligatorio: Sí).
- Método (Formato: Lista desplegable, Obligatorio: Sí).
- Cantidad de niveles (Formato: Numérico, Obligatorio: Sí).

El sistema inicia la ejecución de la tematización por el método seleccionado.

RF 3. Mostrar estado de la interpolación.

Esta funcionalidad permite mostrarle al usuario el estado en el que se encuentra la ejecución de la interpolación por parte del módulo. El proceso de interpolar puede demorar, es por ello que el usuario podrá ver el por ciento en el que se encuentra la interpolación.

RF 4. Mostrar interpolación.

Esta funcionalidad permite que, una vez concluida y terminada la interpolación, el usuario pueda visualizarla en el mapa.

3.3.2 Requisitos No Funcionales (RNF)

Los RNF son propiedades o cualidades que el sistema debe cumplir como por ejemplo, la usabilidad.

En el desarrollo del módulo de Análisis se definieron los siguientes RNF:

Usabilidad

- El módulo podrá ser usado por personas con conocimientos básicos en el manejo de SIG. Se emplearán componentes que indiquen al usuario el estado de los procesos que por su complejidad

requieran de un tiempo de procesamiento apreciable.

- Las funcionalidades principales del módulo estarán orientadas a íconos para un mayor reconocimiento por parte del usuario.

Restricciones de diseño

- El diseño deberá ser sencillo, con pocas entradas, donde no sea necesario mucho entrenamiento para utilizar el módulo.
- Se debe lograr un módulo altamente configurable y extensible, pudiéndose incorporar a éste nuevas funcionalidades.

Requerimientos de hardware

Para las PCs clientes:

- Se requiere tengan tarjeta de red.
- Al menos 128 MB de memoria RAM.
- Procesador 512 MHz como mínimo.

Para los servidores:

- Se requiere tarjeta de red.
- El Servidor de Mapas debe tener como mínimo 2 GB de RAM y 40 GB de disco duro.
- El Servidor de base de datos debe tener como mínimo 2 GB de RAM y 40 GB de disco duro.
- Procesador de 3 GHz como mínimo.

Requerimientos de software

La construcción de la aplicación funcionará bajo los conceptos de la arquitectura cliente/servidor. Por tanto se deben tener como requerimientos mínimos de software:

Para las PCs clientes:

- Un navegador como Mozilla Firefox, Zafari u otro navegador que cumpla con los estándares W3C.
- Sistema operativo: GNU/Linux, Windows o Mac OS.

Para los Servidores:

- Sistema operativo GNU/Linux Ubuntu Server 11.04 o superior.
- El servidor debe tener previamente instalado los módulos de python 2.7.3 o superiores a dichas versiones:
 - python-matplotlib 1.1.1
 - python-numpy 1.6.1
 - python-scipy 0.9.0
 - python-psycopg2 2.4.5
- Servidor Web Apache 2.0 o superior, con módulo PHP 5 configurado con la extensión pgsql incluida.
- PostgreSQL 8.4 o superior como Sistema Gestor de Base de Datos.
- PostGIS 1.5.2 o superior como extensión de PostgreSQL como soporte de datos espaciales.
- MapServer 5.6 o superior, con extensión PHP mapscript.

Los RNF restantes se encuentran disponibles en Expediente de Proyecto Módulo de análisis basado en métodos de interpolación\1. Ingeniería\1.1 Requisitos\Especificación de requisitos v2.0.doc.

3.4 Modelo de Casos de Usos del sistema

Los Casos de Uso (CU) del sistema son fragmentos de funcionalidad que el sistema ofrece para aportar un resultado de valor para sus actores. Dicen al cliente qué esperar, al programador cuál es el código, y al probador qué es la prueba.

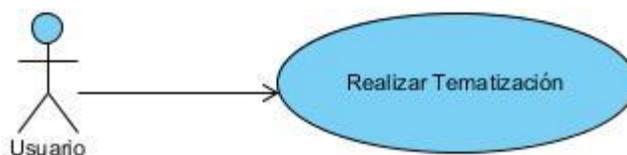


Fig. 9 Diagrama de Casos de Uso del Sistema

3.4.1 Actores de Casos de Uso

Un actor es un agente externo que interactúa con el sistema en pos de obtener un resultado esperado. El

sistema cuenta con los actores que se especifican a continuación:

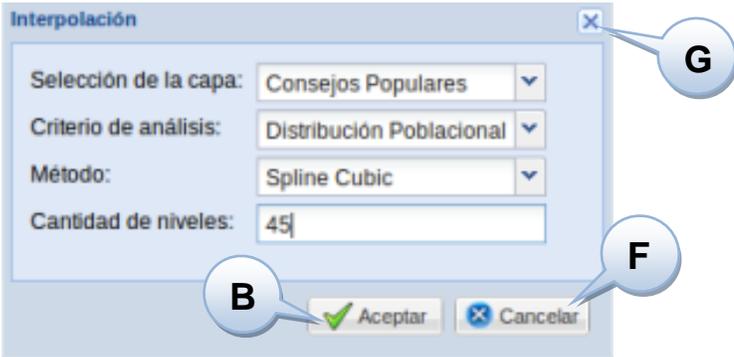
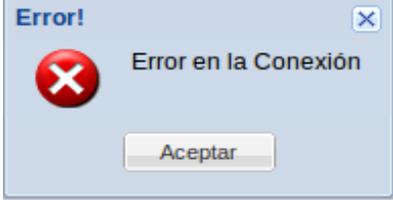
Tabla 1: Descripción de los actores del sistema

Actor	Descripción
Usuario	Usuario con permisos para acceder a las funcionalidades del módulo.

3.5 Especificación de CU

Tabla 2: Descripción de CU del sistema

Caso de Uso:	Realizar Tematización.	
Actores:	Usuario	
Propósito:	Este caso de uso se lleva a cabo con el objetivo de tematizar el mapa, empleando métodos de interpolación.	
Resumen:	El caso de uso se inicia cuando el usuario desea realizar la tematización mediante el método de interpolación correspondiente y termina cuando el sistema muestra el estado de la misma.	
Precondiciones:	-	
Referencias:	RF 1, RF 2, RF 3, RF 4.	
Prioridad:	Crítico	
Flujo Normal de Eventos		
Acción del Actor	Respuesta del Sistema	
1. El caso de uso inicia cuando el usuario selecciona la opción "Interpolación" (A). Ver Interfaz 1.	2. El sistema muestra la ventana correspondiente para que el usuario introduzca los datos. Ver Interfaz 2.	
3. El usuario introduce los datos y presiona el botón "Aceptar" (B).	4. El sistema realiza el proceso de tematización mostrando una barra de progreso indicando el estado de la interpolación. Ver Interfaz 3.	
	5. El caso de uso termina cuando el sistema muestra el mapa tematizado como resultado de la	

interpolación.	
Prototipo de Interfaz	
<p>Interfaz 1</p> 	
<p>Interfaz 2</p> 	
<p>Interfaz 3</p> 	
<p>Interfaz 4</p> 	
Flujos Alternos	
Acción del Actor	Respuesta del Sistema
3. El usuario selecciona la opción "Cancelar" (F).	4. El sistema cierra la ventana correspondiente a la tematización.

3. El usuario cierra la ventana "Interpolación" (G).	4. El sistema cierra la ventana correspondiente a la tematización.
3. El usuario introduce los datos y presiona el botón "Aceptar" (B).	4. Por problemas de conectividad o mala configuración en los parámetros de conexión no se lleva a cabo la tematización mostrando al usuario el mensaje "Error en la Conexión". Ver Interfaz 4.
3. El usuario deja campos vacíos.	4. El sistema mantiene inhabilitado el botón "Aceptar"
Poscondiciones:	El sistema realiza el proceso de tematización mediante el método de interpolación seleccionado.

3.5.1 CU arquitectónicamente significativo

Los CU arquitectónicamente significativos son los más importantes para los usuarios del sistema y ayudan a cubrir las funcionalidades significativas del mismo. En la presente investigación se define un solo CU y es considerado arquitectónicamente significativo, debido a que es el único del sistema y en él se abarca todas las funcionalidades imprescindibles del software.

3.6 Conclusiones del capítulo

La realización del modelo de dominio permitió visualizar mejor la situación y limitaciones actuales del negocio, garantizando de este modo dar continuidad al levantamiento de requisitos. Los RF y los RNF contribuyeron a definir las restricciones que el software debe cumplir, enmarcándose en el CU correspondiente, cuya descripción posibilitó detallar cómo funcionará el sistema de forma que pueda ser entendido con facilidad por los desarrolladores. Una vez concluida la modelación del mismo están creadas las bases para comenzar a implementar la solución propuesta.

Capítulo 4: Construcción de la solución propuesta

En el presente capítulo se realiza una pequeña descripción de cómo se efectúa el proceso de interpolación, se explica la arquitectura del módulo y los patrones de diseño que se utilizaron en su desarrollo. Además se aborda lo relacionado a los flujos de trabajo: Análisis y diseño, Implementación y Prueba del sistema.

4.1 Arquitectura del software

“La arquitectura es esencial para el éxito o fracaso de un proyecto. Es necesaria para comprender el sistema, organizar el desarrollo del mismo, fomentar la reutilización y controlar la evolución del proyecto” (Pressman, 2005).

Puede definirse la arquitectura de software como el proceso que describe la estructura y diseño de un sistema, que encierra en sí: influencias, patrones, componentes, estilos, conexiones, colaboraciones y responsabilidades del software. Garantiza que procesos como la recolección, mantenimiento y validación de la información arquitectónica, sean menos tediosos y altamente propensos a evitar errores.

El módulo será desarrollado para la plataforma GeneSIG, cuya estructura está basada en el framework CartoWeb el cual tiene como característica sobre MapServer, que posee una arquitectura bastante modular y escalable, lo que permite poder separar la lógica del servidor (cartoserver), de la lógica del cliente (cartoclient).

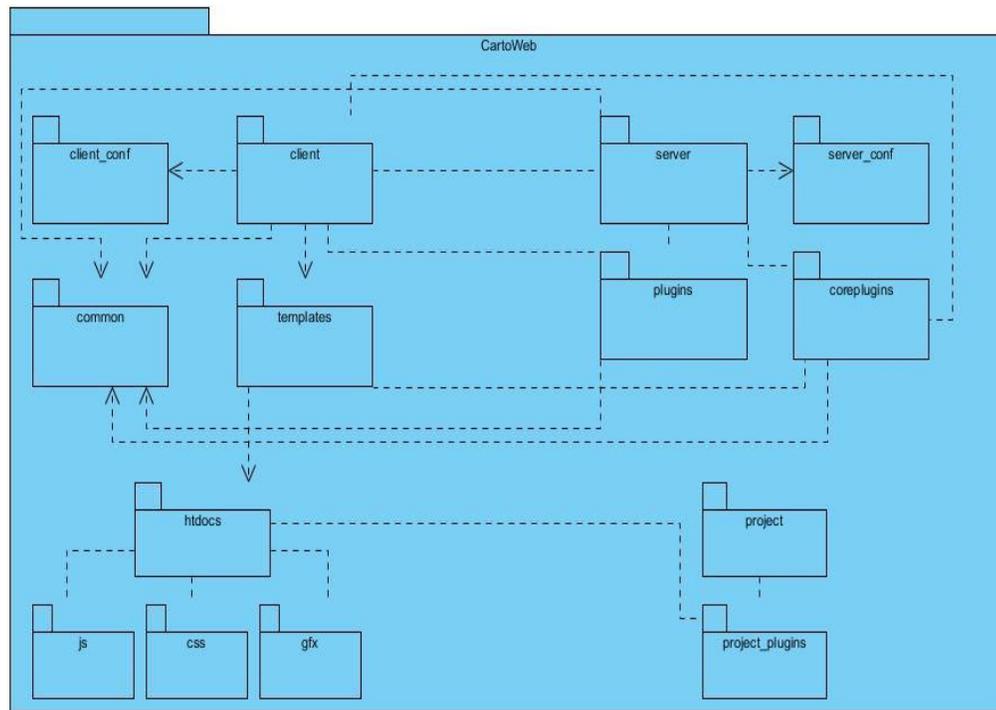


Fig. 10 Estructura de CartoWeb

Por tanto GeneSIG cumple con la estructuración definida en CartoWeb, pero solo utiliza los paquetes a los cuales le realizará cambios o aportes funcionales (ver Fig.11). Como se expresó anteriormente el módulo a desarrollar es sobre GeneSIG y se define como un *plugin* (ver Fig.12) por tanto adquiere la arquitectura definida por la plataforma.

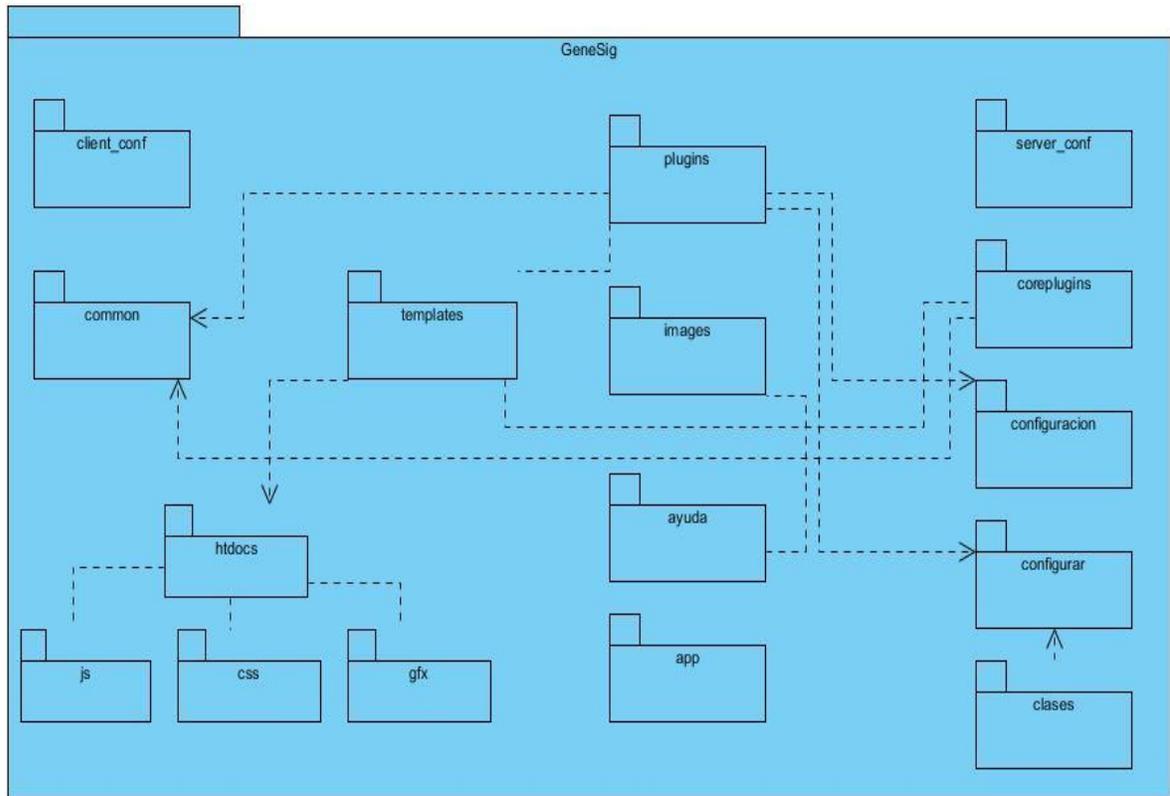


Fig. 11 Estructura de GeneSIG

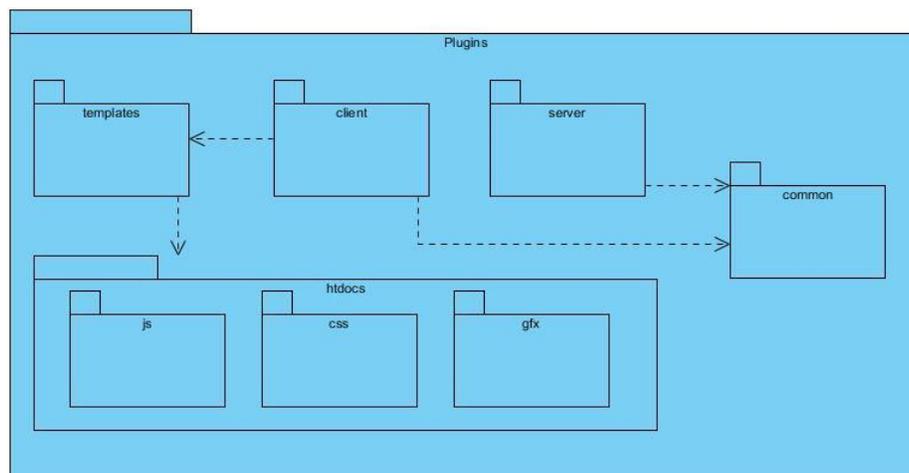


Fig. 12 Estructura de un plugin en GeneSIG

4.1.1 Estilos Arquitectónicos

“Los estilos arquitectónicos describen un tipo particular de estructura fundamental para un sistema de software, conjuntamente con un método asociado que especifica cómo construirlo. Incluye información acerca de cuándo usar la arquitectura que describe, sus invariantes y especializaciones, así como las consecuencias de su aplicación” (Camacho, y otros, 2004).

La utilización de estilos arquitectónicos afecta toda la estructura del sistema; la imposición de alguno de estos mejora o disminuye las posibilidades de satisfacción de la calidad del software. Actualmente la diferencia entre estilos y patrones arquitectónicos no ha sido aclarada, por tanto en el desarrollo del módulo se hará uso de los mismos como procesos diferentes, aunque establezcan un vocabulario común. Lo importante es que la aplicación de ambos en el diseño de la arquitectura es determinante para lograr la calidad del software.

Existe una amplia gama de estilos arquitectónicos, pero actualmente dentro de los más empleados se encuentran: Llamada y Retorno, Flujo de Datos, Centrado de Datos y *Peer-to-Peer* o Componentes Independientes. Para el desarrollo del presente trabajo se empleó: Llamada y Retorno y *Peer-to-Peer*, los que serán descritos a continuación:

Estilo de Llamada y Retorno o Cliente Servidor

“Se enfatiza la modificabilidad y la escalabilidad, donde el sistema se compone de un programa principal que lleva el control del sistema y varios subprogramas que se comunican con éste mediante el empleo de llamadas”(Larman, 2003).

Estilos Peer-to-Peer o Componentes Independientes

“Posibilita enfatizar la modificabilidad por medio de la separación de las diversas partes que intervienen en la computación. Consiste por lo general en procesos independientes o entidades que se comunican a través de mensajes”(Kiccillof, 2004).

4.1.2 Patrones Arquitectónicos

“Los patrones arquitectónicos proveen un conjunto de subsistemas predefinidos, especifican sus responsabilidades e incluyen reglas y pautas para la organización de las relaciones entre ellos. Son plantillas para arquitecturas de software concretas, que especifican las propiedades estructurales de una

aplicación - con amplitud de todo el sistema - y tienen un impacto en la arquitectura de subsistemas” (Camacho, y otros, 2004).

Los patrones arquitectónicos son definidos como buenas prácticas conocidas en el diseño arquitectural, que tienen como objetivo dar solución a un problema en específico. Siguiendo la definición anterior se emplean en la solución de la investigación: Arquitecturas Orientadas a Objetos, Basadas en Componentes y Orientadas a Servicios, las que se describen seguidamente.

Arquitecturas Orientadas a Objetos: Los componentes de este estilo son los objetos, o más bien instancias de los tipos de datos abstractos. Se basan en los principios de la Programación Orientada a Objetos (POO): encapsulamiento, herencia y polimorfismo. Las interfaces están separadas de la implementación y la comunicación entre componentes se realiza a través de mensajes (Kiccillof, 2004).

Este patrón es utilizado en la implementación del sistema ya que permite adquirir todas las ventajas de la POO; lo que posibilita hacer llamada a funcionalidades del objeto creado desde clases diferentes, garantizando la agilización de los resultados para la plataforma GeneSIG.

Arquitecturas Basadas en Componentes: *“Define la composición de software como el proceso de construir aplicaciones mediante la interconexión de componentes de software a través de sus interfaces (de composición), abogaba por la utilización de componentes prefabricados sin tener que desarrollarlos de nuevo”* (Robaina, 2008).

El patrón *Arquitecturas Basadas en Componentes* es utilizado en el desarrollo del sistema por su principal característica: permite reutilizar piezas de código pre-elaborado que atribuye a realizar diversas tareas; lo que facilita no tener que definir componentes ya creados debido a su gran modularidad, reusabilidad y compatibilidad con diversos sistemas.

Arquitecturas Orientadas a Servicios (SOA): Es utilizada para *“facilitar la migración de aplicaciones, unificar el canal de comunicación de acceso a sistemas, el reúso de funcionalidades, obtener una visión unificada de la información que manejan diferentes sistemas, asegurar la continuidad de ejecución de procesos soportados por varios sistemas, dar soporte a la ejecución, monitoreo, control y optimización de procesos de negocio, la interoperabilidad y la integración de sistemas”* (Arias, y otros, 2012).

El patrón SOA es uno de los puntos más importantes en la implementación del software; se utilizó básicamente para asegurar la continuidad de ejecución de procesos soportados por varios sistemas, haciendo el procesamiento de la información más rápido e integrado. Un servicio o *Daemon* (como se

conoce en UNIX) es un proceso informático no interactivo; esto significa que se ejecuta en segundo plano en vez de ser controlado directamente por el usuario.

4.2 Patrones de Diseño

“Los patrones de diseño son menores en escala que los patrones arquitectónicos, y tienden a ser independientes de los lenguajes y paradigmas de programación. Proveen un esquema para refinar los subsistemas o componentes de un sistema de software, o las relaciones entre ellos” (Camacho, y otros, 2004).

Un patrón de diseño es aquel que posibilita realizar el boceto de un componente con suficiente claridad. En el desarrollo de la investigación se emplean varios Patrones de Principios Generales para Asignar Responsabilidad (GRASP) en los que se encuentran:

Experto en Información: Es utilizado para asignar responsabilidades, lo cual es común en la POO. Dicha responsabilidad es asignada al experto en información, o sea, a la clase que cuenta con la información para llevar a cabo las funcionalidades necesarias. Este patrón se pone de manifiesto en la clase ClientMapaTematico.php la cual es experta en manejar las peticiones, siendo esta es su responsabilidad. El uso de este patrón permite que se conserve el encapsulamiento, donde cada objeto contiene sus propios atributos y funcionalidades para cumplir su tarea.

Creador: Utilizado para la asignación de responsabilidades relacionadas con la creación de objetos definiendo que una instancia de un objeto sólo pueda ser creada por el objeto que contiene la información necesaria para ello. Se evidencia el uso de este patrón en la clase PluginManager que crea un objeto para poder acceder al plugin encargado de atender la petición de la interfaz.

Controlador: Es un objeto que no pertenece a la interfaz de usuario, responsable de recibir o manejar un evento del sistema. Está presente en la clase PluginManager, que controla la petición realizada desde la interfaz para poder acceder al plugin que atenderá dicha petición.

Alta Cohesión: Define la medida de relación y orientación de responsabilidades de una clase garantizando que cada una posea la característica de estar estrechamente relacionadas, permitiendo acotar el trabajo realizado entre estas. Está estrechamente relacionado con el patrón bajo acoplamiento y es utilizado por el sistema en la medida de lo posible en la mayor cantidad de clases.

Bajo Acoplamiento: Expresa la medida de fuerza en que una clase está conectada a otras, que las

conoce y recurre a ellas. Es utilizado por el sistema en la mayoría de clases posibles, con el objetivo de eliminar la dependencia de una clase con el resto, garantizando que esta no se afecte por cambios en otros componentes.

Se emplearon además los siguientes patrones *Gang-of-Four* (GoF) conocidos también como "pandilla de los cuatro":

Singleton: Establece la conexión mediante una instancia única a una clase, controlando de este modo el acceso a la misma (Larman, 2003). Se muestra en la clase `ServerContext` utilizando el método `GetMapObject`, para garantizar una única instancia del objeto mapa en toda la ejecución del programa.

Command: Encapsula las peticiones a través de un objeto, lo que permite realizar operaciones como gestionar las acciones de dicho objeto (Larman, 2003). Se utiliza para la comunicación a través de las interfaces de usuario, específicamente a través de la clase `AJAXHelper` que es la encargada de comunicar las interfaces con el servidor.

4.3 Modelo de diseño

El diseño de un sistema se basa en su arquitectura, la cual está compuesta por varios estilos o patrones que posibilitan detallar un software con suficiente claridad, lo que facilitaría llevar a cabo la realización física del mismo. La elaboración de un correcto modelo del diseño influye de manera significativa en la realización de un software con alta calidad.

4.3.1 Diagrama de Clases del Diseño (DCD)

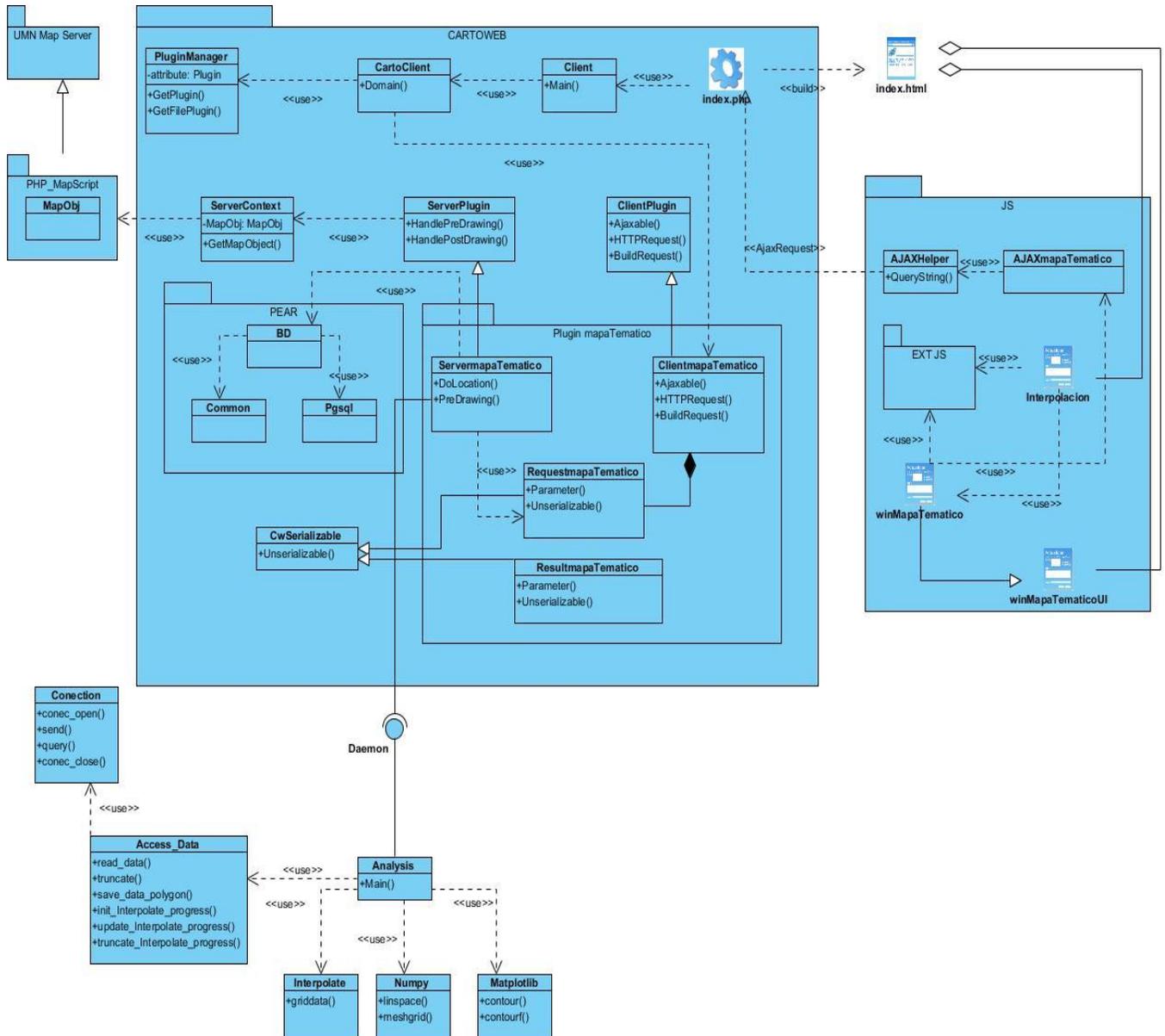


Fig. 13 Diagrama de clases del diseño

4.4 Diseño de la Base de Datos

Un buen diseño de la base de datos es de vital importancia para el correcto funcionamiento de cualquier sistema; ya que garantiza un acceso a la información exacta, sin datos redundantes y permitiendo de este

modo que las decisiones que se tomen a partir de los reportes que se generen de los datos almacenados sean correctas.

4.4.1 Clases persistentes

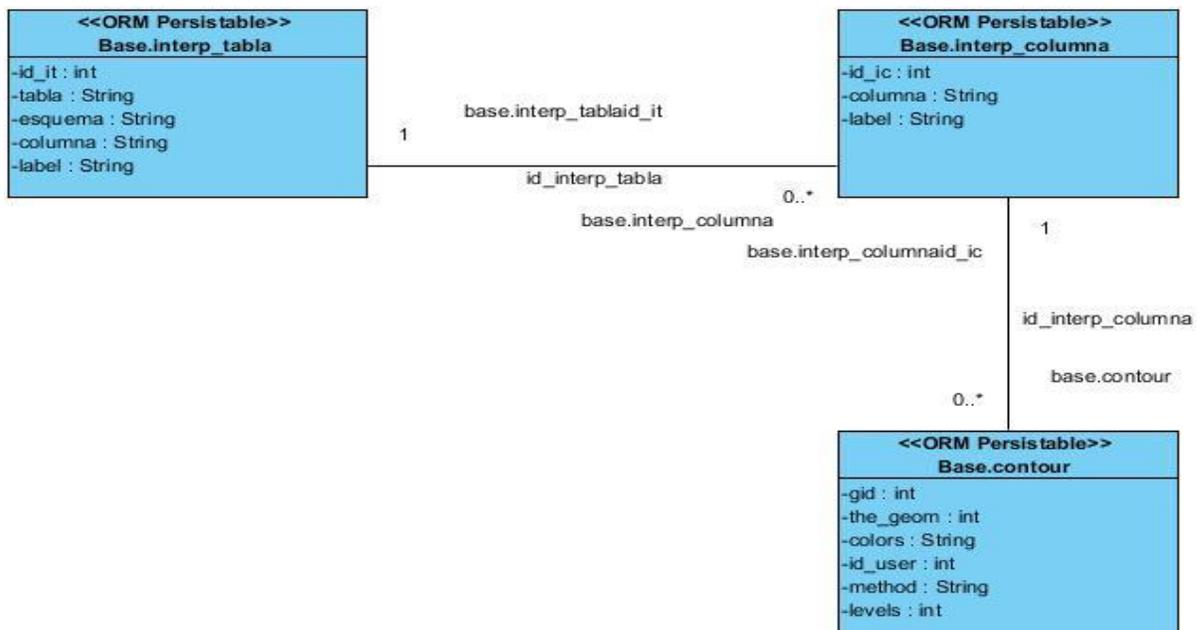


Fig. 14 Diagrama de clases persistentes

4.4.2 Modelo entidad-relación

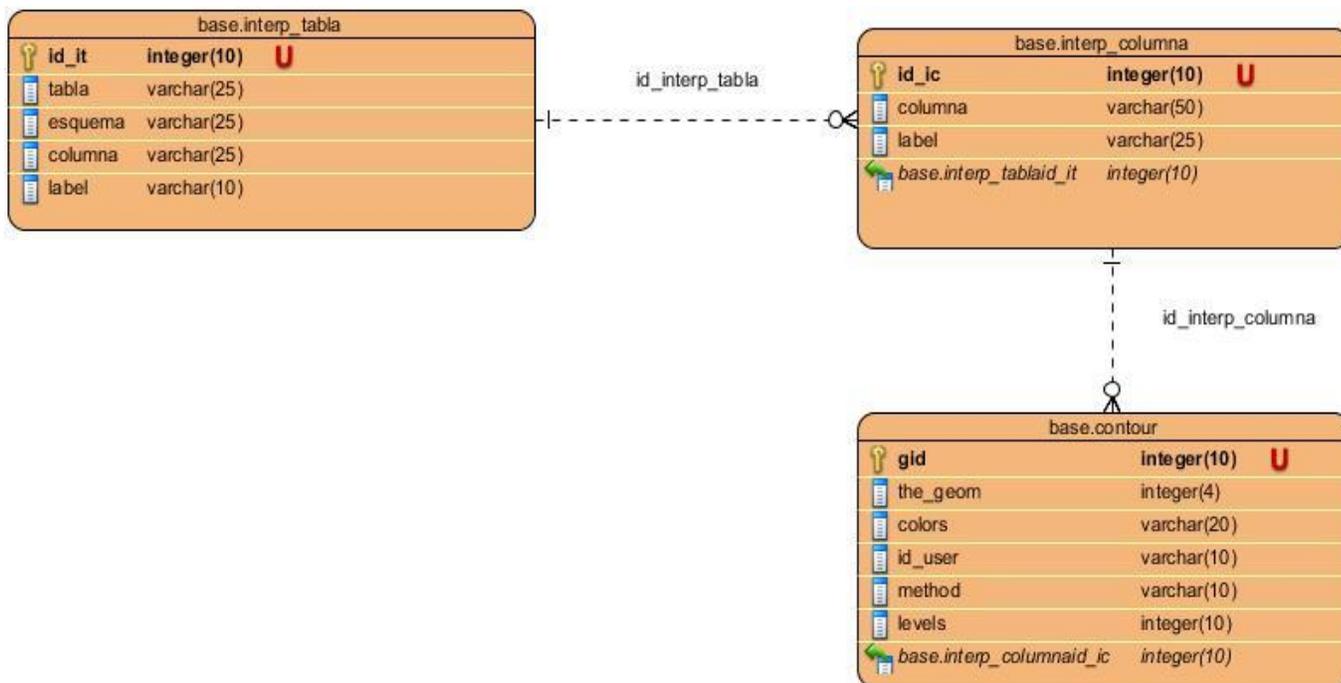


Fig. 15 Modelo entidad-relación

4.5 Modelo de Implementación

El Modelo de Implementación incluye la información necesaria para construir el sistema. Permite representar cómo los elementos del modelo de diseño se implementan en términos de componentes. Este artefacto incluye los diagramas de componentes y despliegue.

4.5.1 Diagrama de Componentes

Este diagrama permite modelar la visión física del sistema a desarrollar, mostrando la organización del mismo y las relaciones que existen entre sus componentes.

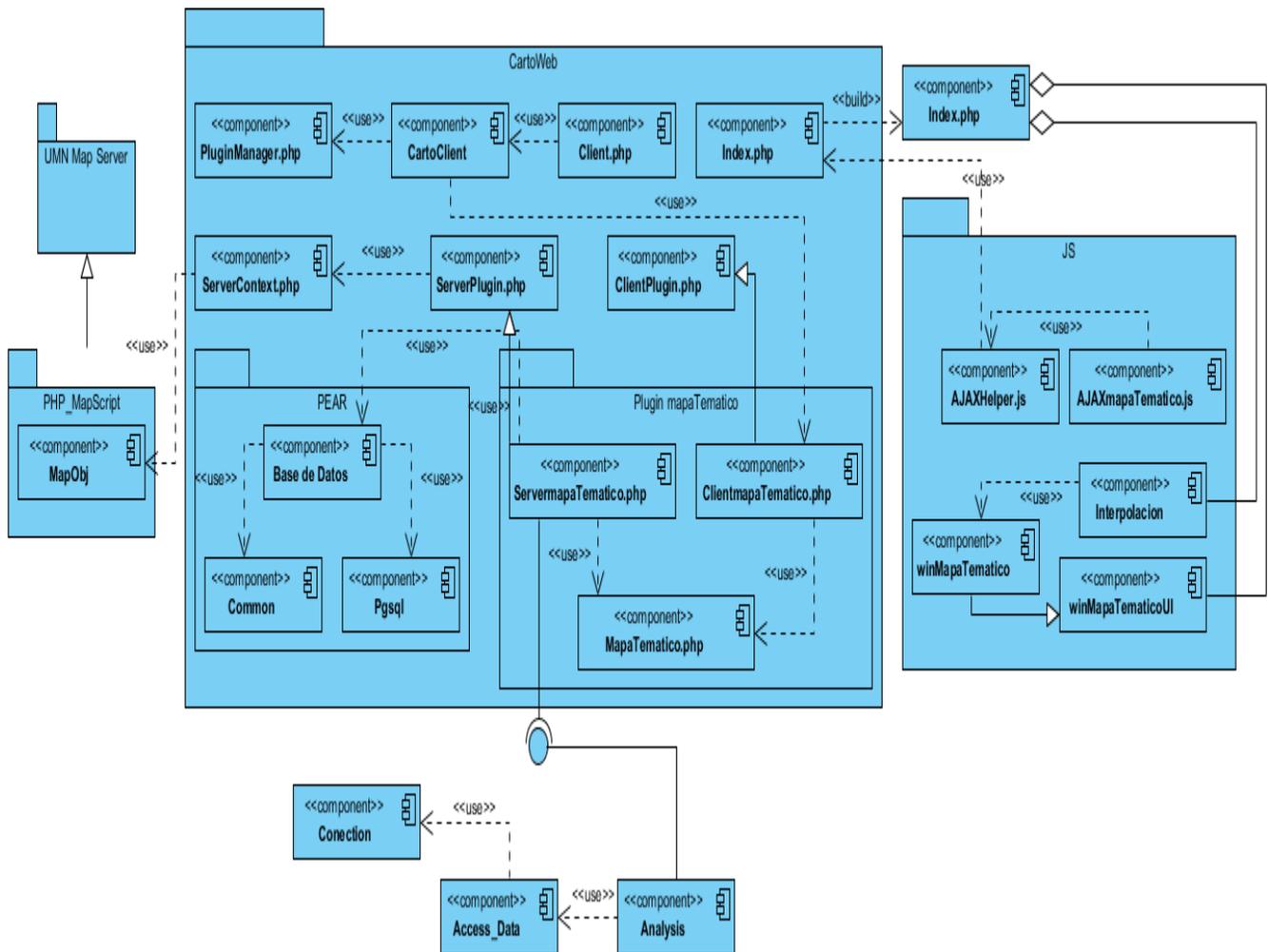


Fig. 16 Diagrama de componentes

4.6 Modelo de despliegue

El Modelo de despliegue contiene los nodos que forman la topología de hardware sobre la que se ejecuta el módulo de análisis, el software necesario para su funcionamiento y los protocolos de comunicación utilizados.

Protocolos de comunicación:

Se utilizaron los protocolos de comunicación TCP/IP y HTTP debido a que la solución propuesta se desarrolla sobre tecnología Web.

Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP): Permite la transferencia de archivos (principalmente,

en formato HTML) entre un navegador (el cliente) y un servidor web localizado mediante una cadena de caracteres denominada dirección URL (Saila, 2009).

Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet (TCP/IP): Posibilita la comunicación entre diferentes plataformas, sistemas operativos, topología y arquitecturas por el mejor camino disponible puede ser usado tanto en una red LAN (red de área local) de dos máquinas, como en una red WAN (red de área extensa) compuesta por millones de máquinas, por ejemplo, Internet (Poratti, 2004).

A continuación se presenta el modelo de despliegue asociado al módulo de desarrollado:

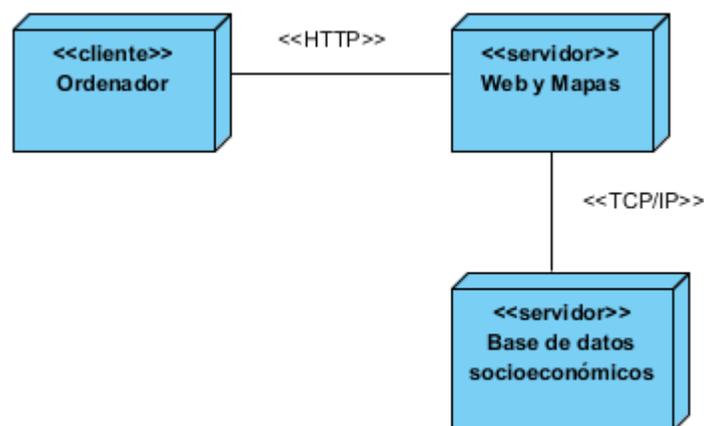
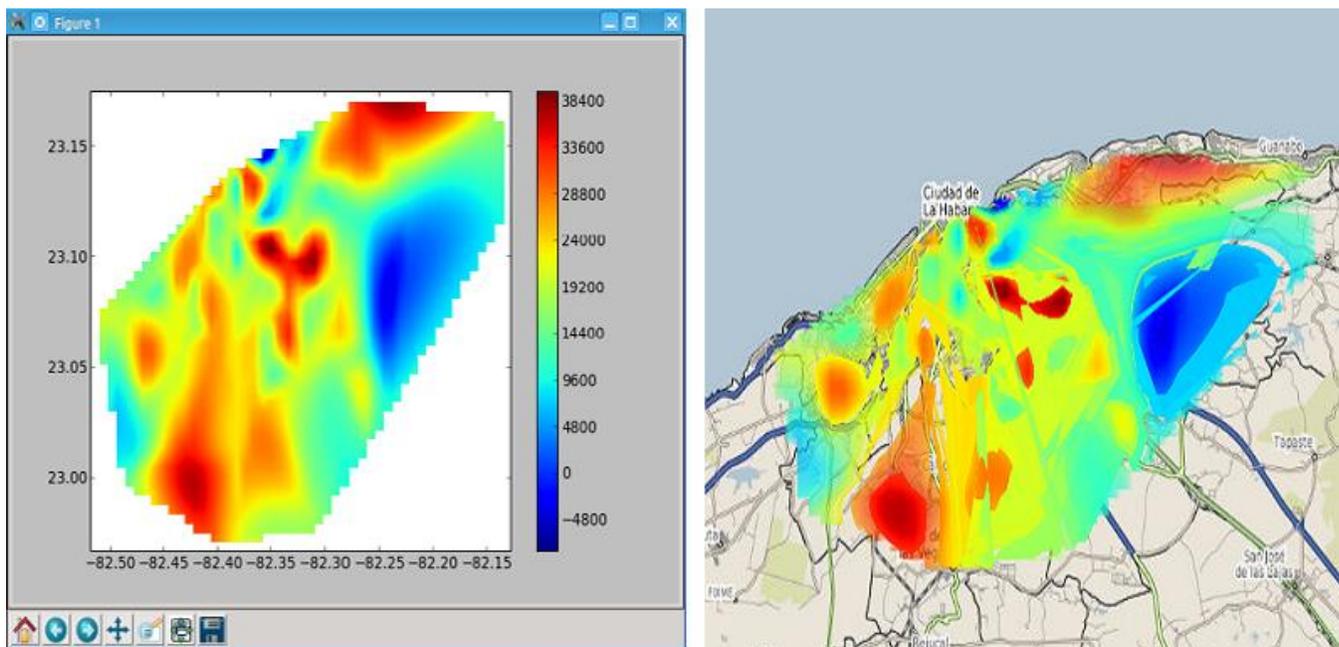


Fig. 17 Diagrama de despliegue

4.7 Resultados alcanzados

Una vez terminada la fase de implementación se obtiene como resultado un módulo capaz de realizar la tematización mediante el proceso de interpolación, por los métodos Spline Cúbico y Lineal, con niveles especificados por el usuario. Actualmente solo representa polígonos gestionados por MapServer; mientras que la biblioteca de visualización gráfica pyplot, la cual constituye la principal referencia en cuanto a visualización de la tematización, permite la graficación de rutas (paths) compuestas por líneas, curvas y saltos.

Al representar los resultados obtenidos de ejecutar el proceso de interpolación, para 950 niveles y con el método “Spline Cúbico”, sobre la distribución poblacional de los consejos populares de la provincia La Habana, mediante la librería de visualización pyplot del módulo matplotlib de python (A) y el servidor de mapas MapServer (B), se detecta dificultades en el proceso de visualización en B respecto a A; siendo A la representación exacta de los resultados de la interpolación.



(A) Interfaz de la biblioteca gráfica pyplot

(B) Plataforma GeneSIG

Fig. 18 Tematización de la provincia La Habana por métodos de interpolación

La inexactitud en la visualización se debe a que, como PostGIS en su versión 1.5 no tiene concebido la forma de almacenar objetos geográficos de tipo rutas (compuestas por líneas, curvas y saltos) y que el servidor de mapas MapServer solo permite definir color de fondo a los objetos geográficos cerrados, se procedió a transformar las rutas obtenidas mediante el proceso de interpolación a polígonos compuestos por solo rectas; lo cual condiciona pérdida en la precisión de la información generada por el proceso de interpolación desarrollado. Estos polígonos son los que se almacenan en el gestor de base de datos, para posteriormente ser dibujados por el servidor de mapas.

4.8 Pruebas de software

Las pruebas del software son un elemento imprescindible para garantizar la calidad del mismo y representa una revisión final de las especificaciones, el diseño y la codificación. Se puede definir como un proceso de ejecución de un programa con la intención de descubrir errores y tiene éxito si descubre un error no detectado hasta entonces.

4.8.1 Pruebas de Caja Negra

Debe centrarse en cualquier requisito que pueda ser trazado directamente hacia los casos de uso o funciones del negocio y reglas del mismo. Verifica el sistema y los procesos internos interactuando con la aplicación a través de las interfaces gráficas de usuario (GUI) y analizando la salida o los resultados.

Nivel de prueba: Sistema

Tipo de Prueba: Funcionalidad

Método de prueba: Basado en caja negra

Técnica: Particiones de equivalencia

A continuación se realiza el diseño de caso de prueba correspondiente al caso de uso Realizar Tematización.

Descripción General: El caso de uso se inicia cuando el usuario desea realizar tematización mediante la funcionalidad correspondiente y termina cuando el sistema muestra el estado de la misma.

Condiciones de Ejecución: El usuario debe estar autenticado.

Tabla 3: Secciones a probar del caso de uso

Nombre de la sección	Escenarios de la sección	Descripción de la funcionalidad	Flujo central
SC1: Realizar tematización.	EC 1.1: Realizar tematización satisfactoriamente.	El sistema muestra una nueva capa en el panel "Capas" que contiene el mapa tematizado, según el criterio y niveles generado por el usuario, y el mapa tematizado.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Seleccionar en la barra de herramientas la opción "Interpolación" (. ➤ Seleccionar la capa. ➤ Definir el criterio de análisis. ➤ Seleccionar el método de interpolación a utilizar. ➤ Establecer la cantidad de niveles que desea.

			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Presionar el botón "Aceptar".
	EC 1.2: El usuario selecciona la opción "Cancelar".	El sistema cierra la ventana "Interpolación".	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Seleccionar en la barra de herramientas la opción "Interpolación" () ➤ Presionar el botón "Cancelar".
	EC 1.3: El usuario cierra la ventana "Interpolación"	El sistema cierra la ventana "Interpolación".	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Seleccionar en la barra de herramientas la opción "Interpolación" () ➤ Cerrar ventana "Interpolación" mediante la opción correspondiente ()
	EC 1.4: El usuario deja campos vacíos.	El sistema inhabilita el botón "Aceptar"	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Seleccionar en la barra de herramientas la opción "Interpolación" () ➤ El usuario introduce deja campos vacíos y presiona el botón "Aceptar". ➤ Se inhabilita el botón "Aceptar"
	EC 1.5: Error en la conexión.	El sistema muestra un mensaje indicando que ha ocurrido un error en la conexión.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Seleccionar en la barra de herramientas la opción "Interpolación" () ➤ Seleccionar la capa. ➤ Definir el criterio de

EC 1.1	Realizar tematización satisfactoriamente	V (Consejos Populares)	V (Distribución poblacional)	V (Spline Cúbico)	V (800)	El sistema muestra una nueva capa en el panel "Capas" que contiene el mapa tematizado, según el criterio y niveles generado por el usuario, y el mapa tematizado.	Satisfactoria
EC 1.2	El usuario selecciona la opción "Cancelar".	NA	NA	NA	NA	El sistema oculta la ventana "Interpolación".	Satisfactoria
EC 1.3	El usuario cierra la ventana "Interpolación".	NA	NA	NA	NA	El sistema oculta la ventana "Interpolación".	Satisfactoria
EC 1.4	El usuario deja campos vacíos.	V (Consejos Populares)	I ()	I ()	V (300)	El sistema inhabilita el botón "Aceptar"	Satisfactoria
EC 1.5	Error en la conexión.	V (Consejos Populares)	V (Distribución poblacional)	V (Spline Cúbico)	V (500)	Si por problemas de conectividad o mala configuración en los parámetros de conexión no se lleva a cabo la tematización el sistema muestra el mensaje "Error en la Conexión".	

Resultado de las pruebas de caja negra

"El módulo de análisis basado en métodos de interpolación para GeneSIG" fue sometido a una primera iteración de pruebas, la que arrojó dos no conformidades de interfaz de usuario, luego de corregidas las mismas se procede a una segunda iteración obteniéndose resultados satisfactorios. Con el desarrollo de

las pruebas de caja negra se pudo verificar que el software cumple con las funcionalidades establecidas en la fase de análisis y que está en condiciones de ser entregado a los usuarios finales. A continuación se muestra una gráfica con los resultados obtenidos en cada una de las iteraciones realizadas.

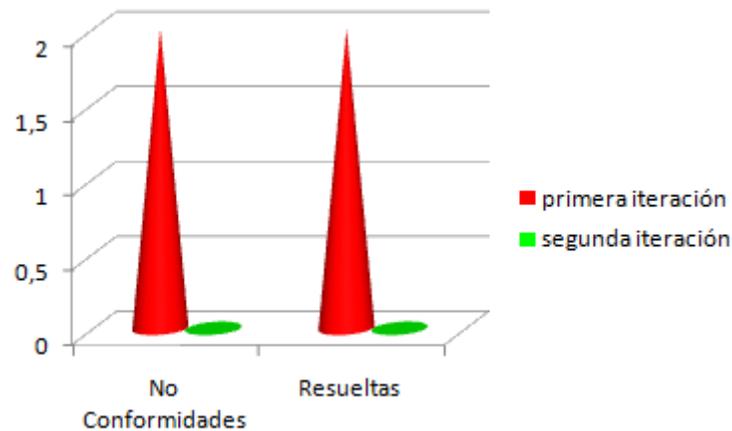


Fig. 19 Resultado de las pruebas de caja negra

4.9 Conclusiones Parciales

El empleo adecuado de los patrones y estilos arquitectónicos, enlazado a un correcto diseño de la base de datos permitió realizar una satisfactoria implementación. Por otro lado el desarrollo de las pruebas de caja negra permitió comprobar el cumplimiento de los requisitos funcionales del sistema, identificar y solucionar las deficiencias detectadas y verificar que el mismo cumple con la calidad requerida.

Conclusiones Generales

Con el cumplimiento de los objetivos y las tareas definidas para la investigación se logró obtener una solución a la problemática que sentó las bases para el desarrollo de la investigación. La solución propuesta garantiza la obtención de resultados precisos y confiables sobre los datos analizados en las tematizaciones realizadas en la plataforma GeneSIG, lo que posibilita un aporte significativo para el proceso de toma de decisiones a través de la utilización de personalizaciones basadas en esta plataforma.

La documentación técnica generada durante el proceso de desarrollo de la solución propuesta, permitirá a otros desarrolladores comprender mejor su estructura y funcionamiento para la incorporación de nuevas funcionalidades o su reutilización en la creación de nuevos componentes para la plataforma.

El *“Módulo de análisis basado en métodos de interpolación para GeneSIG”* brinda a la sociedad un sistema completamente libre, que posibilita la obtención de resultados precisos sobre los datos analizados, teniendo en cuenta la variable a medir: distribución poblacional, temperatura, suelos, zonas de altas y bajas presiones, etc. Los resultados generados por el software permiten detectar la existencia de áreas propensas a formación de ciclones tropicales u otros fenómenos naturales.

Recomendaciones

Una vez vencidos los objetivos de la investigación y teniendo en cuenta las experiencias obtenidas a lo largo de su desarrollo, se recomienda:

- Aplicar un algoritmo o proceso que permita la representación de las rutas generadas por el proceso de interpolación, de manera que la visualización de los datos se obtenga más eficientemente.
- Darle continuidad a la investigación mediante la incorporación de métodos que emplean otros criterios de análisis.

Referencias Bibliográficas

ADSI. 2010. INFORMATICA ADSI. *RUP*. [En línea] 28 de Marzo de 2010. [Citado el: 26 de Febrero de 2014.] <http://informaticaadsi.blogspot.com/2010/03/informatica-adsi.html>.

Alfaro, Dionisio. 2013. Universidad Nacional de Costa Rica. *Cartografía y Diseño Digital*. [En línea] 2013. [Citado el: 09 de Marzo de 2013.] <http://www.una.ac.cr/index.php/m-oferta-academica/cartografia-y-diseno-digital-diplomado-en>.

Álvares, Miguel A. 2003. Qué es Python. *Lenguaje de programación de propósito general, orientado a objetos, que también puede utilizarse para el desarrollo web*. [En línea] 19 de Noviembre de 2003. <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1325.php>.

ArcGIS. 2012. ArcGIS Resource Center. *How radial basis functions work*. [En línea] 07 de Noviembre de 2012. [Citado el: 25 de Febrero de 2014.] <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help../index.html#//00310000002p000000>.

Arias, Arturo C. y Ochoa, Elizabeth. 2012. ¿ES SUFICIENTE LA TECNOLOGÍA PARA GARANTIZAR EL ÉXITO DE INICIATIVAS SOA? [En línea] 2012. http://repositorio_institucional.uci.cu/jspui/bitstream/ident/3924/1/uciencia-2012-t39-p1054-ponencia-1193.pdf.

Baños , Oliannis. 2012. *TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN CIENCIAS INFORMÁTICAS. Análisis del módulo de Administración de la Plataforma Atlas*. La Habana, Cuba : s.n., 2012.

Camacho, Erika, Cardeso, Fabio y Núñez, Gabriel. 2004. *Arquitecturas de Software, Guía de estudio*. 2004.

CIBERAULA. 2012. Ciberaula. *Apache*. [En línea] 2012. [Citado el: 20 de Marzo de 2014.] http://linux.ciberaula.com/articulo/linux_apache_intro/.

Cuador, José Q. 2002. *ELEMENTOS DE GEOESTADÍSTICA Cuba*. La habana, Cuba : s.n., 2002.

Ecured. 2012-2013. Ecured. *Sencha Ext JS*. [En línea] 2012-2013. [Citado el: 11 de Diciembre de 2013.]

Referencias Bibliográficas

http://www.ecured.cu/index.php/Sencha_Ext_JS .

—. **2013-2014**. Ecured. *Servidor HTTP Apache*. [En línea] 2013-2014. [Citado el: 14 de Enero de 2014.] http://www.ecured.cu/index.php/Servidor_HTTP_Apache.

Fallas, Jorge. 2007. Modelos digitales de elevación. *Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. [En línea] 2007. [Citado el: 05 de Noviembre de 2013.] <http://storagemadeeasy.com/files/15830344a34caaacff259868b41b5388.pdf>..

Ferri-Benedetti, Fabrizio. 2012. Quantum GIS. *Datos y mapas, una gran unión*. [En línea] 24 de Abril de 2012. [Citado el: 22 de Diciembre de 2013.] <http://quantum-gis.softonic.com>.

Franco, Rosio y Cedeño, Isabel. 2010. *Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero. Análisis, Diseño e Implementación del Mercado de Datos Indicadores de la Educación para la Oficina Nacional de Estadísticas*. Ciudad de La Habana : s.n., 2010.

Gianfelici, Esteban. 2008. Guía rápida para aproximarse al mundo de la información geográfica y al desarrollo de mapas interactivos. *¿Qué es un SIG?* Universidad Nacional del Litoral, Argentina, [En línea] julio de 2008. [Citado el: 19 de mayo de 2014.] <http://www.mapasymapas.com.ar/que%20es%20un%20SIG.php>

GIS_Resources. 2013. GIS Resources. *Types of Interpolation Methods*. [En línea] 2013. http://www.gisresources.com/types-interpolation-methods_3/.

GRASS_GIS. 2012. GRASS GIS. *Software SIG libre más importante del mundo*. [En línea] 13 de Noviembre de 2012. [Citado el: 02 de Febrero de 2013.] <http://grass.osgeo.org/>.

Importancia del análisis estadístico exploratorio en el proceso de interpolación espacial: caso de estudio Reserva Forestal Valdivia. **Miranda, Marcelo Salas. 2003**. Valdivia : s.n., 2003, Vol. Vol. 24. ISSN: 0717-9200.

IRI/LDEO. 2006. IRI/LDEO Climate Data Library. *Interpolation Techniques*. [En línea] 2006. [Citado el: 08 de Diciembre de 2013.] <http://iridl.ldeo.columbia.edu/dochelp/StatTutorial/Interpolation/>.

JACOBSON, RUMBAUHG J. 2000. *El Lenguaje Unificado de Modelado*. Madrid: Pearson : Educación, 2000.

Referencias Bibliográficas

- JetBrains. 2000-2014** . JetBrains. *PyCharm*. [En línea] 2000-2014 . <http://www.jetbrains.com/pycharm/>.
- Kiccillof, Carlos Reynoso and Nicolás. 2004**. *Estilos y Patrones en la Estrategia de Arquitectura de Microsoft*. 2004.
- Kruchten, Philippe. 2000**. *The Rational Unified Process: An Introduction*. Estados Unidos : Addison-Wesley : s.n., 2000. ISSN: 0201707101.
- Larman, Craig y Hall, Prentice . 2003**. *UML y patrones: una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado*. s.l. : Pearson Educación, 2003. ISBN: 8420534382.
- LatinGEO, Asociación Red. 2013-2014**. Asociación Red LatinGEO. *Capítulo 1. Introducción a la Cartografía Temática*. [En línea] 2013-2014. [Citado el: 20 de Marzo de 2014.] <http://redgeomatica.rediris.es/carto2/pdf/pdfT/tema1t.pdf>.
- León, Carlos Sacasas. 2013**. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental: Peligro de ciclones en Cuba en un sistema de información geográfica*. no.3, s.l. : RIHA, 2013, Vol. 34. ISSN 1680-0338.
- Longley, Paul A., Goodchild, Michael F y M, David J. 2001**. *Geographic Information Systems and Science*. Reino Unido : s.n., 2001.
- MapServer. 2013-2014**. MapServer . *MapServer open source web mapping*. [En línea] 2013-2014. [Citado el: 12 de Enero de 2014.] <http://mapserver.org/about.html#about> .
- Martínez, Rafael. 2010**. PostgreSQL. *Portal en español sobre PostgreSQL*. [En línea] 02 de Octubre de 2010. [Citado el: 24 de Diciembre de 2013.] http://www.postgresql.org.es/sobre_postgresql.
- McCloy, J. y Strobl, J. 2006**. SAGA – Program Structure and Current State of Implementation. *SAGA – Analysis and Modelling Applications*. [En línea] 2006. [Citado el: 23 de Abril de 2014.] <http://www.saga-gis.org/en/index.html>.
- Melo, Carlos E. 2012**. Análisis Geoestadístico Espacio Tiempo Basado en Distancias y Splines con Aplicaciones. [En línea] Mayo de 2012. [Citado el: 27 de Febrero de 2014.] http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/101202/CEMM_TESIS.pdf?sequence=1.
- Minerva , Llull, Viera, Maia y Castellano, Laura. 2012**. Sistema de Información Ambiental “Bahía de

Referencias Bibliográficas

Cienfuegos. [En línea] 04 de Septiembre de 2012. [Citado el: 28 de Noviembre de 2013.] <http://mappinglatino.com/blog/2012/09/04/implementacion-del-sistema-de-informacion-ambiental-bahia-de-cienfuegos-cuba-2/>.

Morales, Aurelio. 2012. MappingGIS. *Por qué utilizar PostGIS*. [En línea] 19 de Septiembre de 2012. [Citado el: 14 de Enero de 2014.] <http://mappinggis.com/2012/09/por-que-utilizar-postgis/>.

Murillo, Diego, Ortega, Irene y Carrillo, Juan David. 2012. *COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE RUIDO EN ENTORNOS URBANOS*. Medellín, Colombia : s.n., 2012. ISSN: 2027-5846.

NetBeans. 2013-2014. NetBeans . *NetBeans IDE Features*. [En línea] 2013-2014. [Citado el: 19 de Diciembre de 2013.] <https://netbeans.org/features/index.html>.

Network, Mozilla Developer. 2005-2014.. Mozilla Developer Network. . *JavaScript*. . [En línea] 2005-2014. [Citado el: 24 de Marzo de 2014.] <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript..>

Olmo, Chica, Delgado García, J. y Pardo Igúzquiza, E. . 1995. *Introducción al Análisis Geoestadístico de variables espaciales*. Logroño : s.n., 1995.

ORALLO, E. H. 2003. El Lenguaje Unificado de Modelado (UML) . [En línea] 2003. [Citado el: 22 de Marzo de 2014.] <http://es.scribd.com/doc/54817695/Act-a-Uml>.

Pérez, Yasmany Zapata. 2008. TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN CIENCIAS INFORMÁTICAS. *Estrategia para la replicación de datos espaciales en Sistemas de Información Geográfica*. 2008.

PESQUER , L., MASÓ , J. y PONS , X. 2007. *INTEGRACIÓN EN UN SIG DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS, INTERPOLACIÓN E IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN PARA LA OBTENCIÓN MENSUAL DE DATOS METEOROLÓGICOS VALIDADOS*. Barcelona : s.n., 2007.

pgAdmin. 2013-2014. pgAdmin . *pgAdmin postgresSQL tools*. [En línea] 2013-2014. [Citado el: 12 de Enero de 2014.] <http://www.pgadmin.org/>.

Poratti, Gustavo Gabriel. 2004. *Redes. La guía de referencia total y definitiva*. Buenos Aires, Argentina : s.n., 2004.

Referencias Bibliográficas

- Poveda, Miguel Ángel . 2011.** Cartoteca História Nacional Virtual Carto VIRTUALProject. "*Prototype of a Virtual Map Library: Sure steps through the National Virtual Map Library*". [En línea] 2011. [Citado el: 26 de Octubre de 2013.]
- Pressman, Roger. 2005.** *Software Engineering : A practitioner's Approach*. New York : Higher Education, 2005.
- Reques, P. y Rodríguez, V. 1998.** Análisis de base municipal. . *Atlas de la población española*. Santander. España : s.n., 1998.
- Robaina, Irilys Ledón. 2008.** *Propuesta del Diseño Arquitectónico del Simulador de Sistemas Biológicos*. La Habana,Cuba : s.n., 2008.
- Rojas, Marielba. 2013.** The Bathymetry of the Sea of Galilee:An Inverse Interpolation Problem. [En línea] 15 de Junio de 2013. [Citado el: 10 de Marzo de 2014.] <http://ta.twi.tudelft.nl/wagm/users/rojas/galilee.html>.
- Roldan, Danny Y., Solis, Marilyn y Valeriano, Litzi V. 2010.** *INGENIERIA INFORMATICA: Tópicos en Procesamiento Gráfico*. 2010.
- Saila, Konputazio. 2009.** Departamento de Automática y Computación. *Arquitectura de Redes Sistemas y Servicios: Práctica 7*. [En línea] 26 de Mayo de 2009. [Citado el: 28 de Abril de 2014.] https://www.tlm.unavarra.es/pluginfile.php/6370/mod_resource/content/0/practicas/practica7/practica7.pdf.
- Salas, Marcelo. 2003.** *Importancia del análisis estadístico exploratorio en el proceso de interpolación espacial: caso de estudio Reserva Forestal Valdivia*. Valdivia : s.n., 2003. Vol. Vol. 24. ISSN: 0717-9200.
- SciPy. 2013.** SciPy Tutorial. [En línea] 21 de Octubre de 2013. [Citado el: 01 de Marzo de 2014.] <http://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/>.
- Sevilla, Miguel J. 1991.** Instituto de Astronomía y Geodesía. *Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria*. [En línea] 1991. <http://hdl.handle.net/10261/24368..>
- Taboada, José A. y Cotos, José M. 2005.** *Sistemas de Información Medioambiental*. España : Gesbiblo, 2005. ISBN: 84-9745-056-6.
- Téllez, Esperanza. 2008.** Estimación e Interpolación. . [En línea] 2008. [Citado el: 24 de Noviembre de

Referencias Bibliográficas

2013.] http://ocw.upm.es/proyectos-de.../08estimacion_e_interpolacion.pdf.

Tempe, Sharolyn A. 2000. An Evaluation of Spatial Interpolation Methods on Air Temperature in Phoenix, AZ. *Department of Geography, Arizona State University*. [En línea] 2000. [Citado el: 25 de abril de 2014.] <http://www.cobblestoneconcepts.com/ucgis2summer/anderson/anderson.html>.

Toro, María V., Manriquez, Germán y Suazo, Iván. 2010. International Journal of Morphology. *Geometric Morphometry and the Biologic Shapes Study: From the Descriptive Morphology to the Quantitative Morphology*. [En línea] Diciembre de 2010. [Citado el: 25 de Febrero de 2014.] http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022010000400001. ISSN 0717-9502.

Villalobos , Jorge. 2010. Código de Programación. *Introducción a Javascript (Teoría)*. . [En línea] 16 de Octubre de 2010. [Citado el: 11 de Diciembre de 2013.] <http://codigoprogramacion.com/cursos/javascript/88-introduccion-javascript.html>.

Wessel, Paul y Smith, Walter H. F. 2011. *Generic Mapping Tools (GMT) Technical Reference and Cookbook* . 2011.

Anexos

Entrevista realizada al jefe de proyecto Aplicativos-SIG (Alain León Companioni):

1. ¿Cuáles son las tematizaciones existentes en la plataforma GeneSIG?
2. ¿Para cuáles criterios de análisis se emplean las tematizaciones existentes?
3. ¿Cuáles son los formatos de los datos con los que se trabaja en GeneSIG?
4. ¿Con cuáles herramientas y tecnologías se desarrolló la plataforma?
5. ¿La capa resultante del proceso es necesario almacenarla?

Entrevista realizada al especialista Eddy Dangel Quesada Rodríguez:

1. ¿En qué consiste el proceso de interpolación?
2. ¿Qué ventajas proporciona utilizar métodos de interpolación para realizar tematizaciones?
3. ¿Cuáles son los métodos de interpolación más utilizados para trabajar con datos socioeconómicos?

Glosario de términos

Abruptos: áspero y brusco.

CartoWeb: aplicación de publicación WebGIS construida en PHP sobre UMN MapServer que explota AJAX.

CASE: ingeniería de software asistida por computación.

Datos ráster: abstracción de la realidad, representan ésta como una rejilla de celdas o píxeles en la que la posición de cada elemento es implícita según el orden que ocupa en dicha rejilla.

Datos vectoriales: conjunto de líneas o arcos, definidos por sus puntos de inicio y fin, y puntos donde se cruzan varios arcos, los nodos. La localización de los nodos y la estructura topológica se almacena de forma explícita.

Distancia euclidiana: distancia "ordinaria" (que se mediría con una regla) entre dos puntos de un espacio euclídeo, la cual se deduce a partir del teorema de Pitágoras.

Frameworks (marco de trabajo): conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar un tipo de problemática particular que sirve como referencia, para enfrentar y resolver nuevos problemas de índole similar.

Gráficas dinámicas: forma de representar gráficamente los datos deseados y manejar la información en el mapa.

Plugin: módulo de hardware o software que añade una característica o un servicio específico a un sistema más grande, es decir, incrementa o aumenta funcionalidades de un programa principal.

Tematización: creación de un mapa temático que se corresponde con criterios de análisis y valores socioeconómicos.

Variogramas: herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una propiedad o variable sobre una zona dada.

World Wide Web Consortium (W3C): comunidad internacional que lleva a cabo su misión a través de la creación de estándares Web y pautas diseñadas para garantizar el crecimiento de la Web a largo plazo.

Paths: tipo de dato geométrico que puede definir un punto, una línea o un salto.