



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Construcción de una arquitectura basada en
una Infraestructura de Datos Espaciales con
software libre

REPORTE DE TRABAJO PROFESIONAL

que para obtener el título de:

Licenciado en Ciencias de la Computación

P R E S E N T A:

Ilia Jazmín Álvarez de Valle

Director de tesis: Karla Ramírez Pulido



2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de datos del Jurado

1. Datos del Alumno

Álvarez
de Valle
Ilia Jazmín
55154438
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Ciencias de la Computación
98086515

2. Datos del tutor

M. en A.
Karla
Ramírez
Pulido

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Jorge
Prado
Molina

4. Datos del sinodal 2

Dra.
Amparo
López
Gaona

5. Datos del sinodal 3

M. en I.
René Alejandro
Villeda
Ruz

6. Datos del sinodal 4

Lic. en C.C.
Sergio
Padilla
Reynaud

7. Datos del trabajo escrito

Construcción de una arquitectura basada en una Infraestructura de
Datos Espaciales con software libre
76 p
2012



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
Director General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Construcción de una arquitectura basada en una Infraestructura de Datos Espaciales con software libre

realizado por **Álvarez de Valle Iliá Jazmín** con número de cuenta **0-9808651-5** quien ha decidido titularse mediante la opción de **trabajo profesional** en la licenciatura en **Ciencias de la Computación**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Jorge Prado Molina

Propietario Dra. Amparo López Gaona

Propietario M. en A. Karla Ramírez Pulido
Tutora

Suplente M. en I. René Alejandro Villeda Ruz

Suplente Lic. en C. C. Sergio Padilla Reynaud

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., a 16 de enero de 2012
EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

MAG/CZS/cigs

Índice general

Introducción	1
1. Proyecto UNIGEO	5
1.1. Introducción	5
1.2. Sistema de Informática sobre la Biodiversidad y el Ambiente	5
1.2.1. Unidad Informática Geoespacial	6
1.3. Departamento de cómputo de la UNIGEO	7
2. Infraestructura de Datos Espaciales	9
2.1. Descripción de una IDE	10
2.1.1. La información geográfica y su representación digital	11
2.1.2. Metadatos	14
2.1.3. Acervo histórico de datos y diccionario de datos	14
2.1.4. Catálogo de datos	15
2.1.5. Servicios	16
2.2. Arquitectura de una IDE	16
2.2.1. Componentes de una IDE	16
3. Diseño de GEOPEN	19
3.1. Introducción	19
3.2. Requerimientos	20
3.2.1. Generales	21
3.2.2. Costos	21
3.2.3. Formato de los datos	21
3.2.4. Base de datos	22
3.2.5. Servicios	22
3.2.6. Clientes	22
3.3. Casos de uso	23
3.3.1. Petición al servicio de mapas	23
3.3.2. Petición al servicio de rasgos	24
3.3.3. Petición de metadatos	24
3.3.4. Clientes	25
3.4. Estándares	25

3.4.1.	Open Geospatial Consortium (OGC)	26
3.4.2.	Federal Geographic Data Committee (FGDC)	27
3.5.	Servicios provistos por GEOPEN	28
3.5.1.	GEO SERVER	28
3.5.2.	GEO NETWORK	28
3.6.	Otras tecnologías empleadas por GEOPEN	28
3.6.1.	LINUX	29
3.6.2.	POSTGRES y POSTGIS	29
3.6.3.	VMWARE ESXI	30
4.	Implementación de GEOPEN	31
4.1.	Arquitectura de GEOPEN	31
4.2.	Tecnologías empleadas	31
4.2.1.	Software	32
4.2.2.	Hardware y sistema operativo	33
4.3.	Lanzamiento y configuración de GEOPEN	34
4.3.1.	Base de datos	34
4.3.2.	Lanzamiento y configuración de los servicios de GEOPEN	36
4.3.3.	Clientes	38
4.4.	Servicios propuestos por UNIGEO - DRILLDOWN	38
5.	Explorador y Visualizador de Acervos	41
5.1.	Requerimientos del sistema	41
5.2.	Diseño	42
5.3.	Interfaz de EVA	43
5.4.	Peticiones a los servicios	44
5.4.1.	Peticiones WMS	45
5.5.	Casos de uso	51
	Conclusiones	57
	Bibliografía	61

Índice de figuras

1.1. SIBA	6
2.1. Regiones ecológicas de México, cada una de ellas se encuentra claramente delimitada por un polígono[14]	12
2.2. Huracán Hernan tomada en 2002 por el Laboratorio de Análisis Geoespacial de la UNAM.[15]	13
2.3. Red Irregular Triangulada tomada del Laboratorio de Análisis Geoespacial del Instituto de Geografía de la UNAM[17]	13
2.4. Arquitectura de una Infraestructura de Datos Espaciales	18
3.1. Caso de uso del servicio de mapas.	23
3.2. Caso de uso de consulta al servicio de rasgos.	24
3.3. Caso de uso de edición del servicio de rasgos.	24
3.4. Caso de uso de petición de metadatos.	25
3.5. Caso de uso de un cliente haciendo peticiones a GEOPEN.	25
4.1. Arquitectura de GEOPEN	32
4.2. Forma para captura de metadatos para el estándar FGDC	37
4.3. Pequeño cliente para el servicio de DRILLDOWN	39
5.1. Interfaz gráfica de EVA	43
5.2. Capa de división política de la República Mexicana en GEOSERVER	49
5.3. Caso de uso: entrar al sistema	51
5.4. Caso de uso: seleccionar una capa	52
5.5. Captura de pantalla de EVA al seleccionar capas de un mapa	53
5.6. Caso de uso: navegar el mapa	53
5.7. Captura de pantalla de EVA al pedir información de rasgos	54
5.8. Caso de uso: preguntar sobre rasgos del mapa	54
5.9. Captura de pantalla de EVA al descargar información de capas	55
5.10. Caso de uso: descarga de información geoespacial	55
5.11. Caso de uso: descarga de metadatos	56

Índice de cuadros

4.1. Ejemplo de información georeferenciada.	35
4.2. Listado de capas de nivel nacional	36
5.1. Componentes de un URL	45
5.2. Parámetros usados para pedir la lista de capas.	46
5.3. Parámetros para pedir una capa como imagen.	48
5.4. Parámetros para pedir información de rasgos	50

Introducción

Antecedentes

Desde un inicio la geografía ha sido una herramienta indispensable para el ser humano, pues es a través de ella que el hombre ha podido crear modelos como maquetas, dibujos, mapas, entre otros; los cuales simplifican y representan los lugares en los que ha estado, lo que nos ha permitido tomar mejores decisiones sobre nosotros mismos y nuestro entorno. Hoy en día esta necesidad no ha cambiado mucho, sin embargo las ciencias geográficas han ido refinándose con el tiempo, permitiendo así la obtención de información más precisa, concreta y real del mundo en el que habitamos.

La necesidad de analizar el espacio en el que habitamos sigue creciendo y el papel que juega la geografía en actividades como el manejo de recursos terrestres y marinos, transacciones de bienes raíces, navegación aérea y marítima, supervisión del medio ambiente, ingeniería, minería, turismo, migración, etc. ha sido primordial. Sin embargo, hasta hace unos años la obtención de datos para un análisis espacial resultaba sumamente costosa. Solamente organizaciones como instituciones gubernamentales o empresas privadas con grandes recursos tenían la capacidad de costear dichos proyectos y así beneficiarse.

Recientemente con la llegada de la computadora personal y otras herramientas tecnológicas se ha dado un gran avance en la recolección de datos y representación gráfica de todo tipo de modelos geográficos, permitiendo así contar con datos espaciales más precisos para su utilización y aplicaciones visuales, mejores y más rápidas que facilitan su explotación. Las computadoras han cambiado el mundo como lo conocíamos en todos los ámbitos del quehacer humano, y la geografía no es la excepción.

De manera concreta, algunos de los aspectos más importantes en que la computación ha permitido enriquecer a la geografía son:

1. La posibilidad de realizar análisis geográfico casi automáticamente y en la mayoría de los casos mucho más rápido de lo que una persona lo hiciese si se realizara manualmente.
2. La recopilación de información geográfica se puede llevar a cabo mucho más fácilmente gracias a la existencia de tecnología satelital (fotos satelitales, colectas de puntos GPS¹, etcétera) y fotografía aérea.

¹En inglés *Global Positioning System* o Sistema de posicionamiento global.[50]

3. Los costos asociados a la información geoespacial han ido bajando considerablemente, debido a las ventajas de procesamiento, adquisición y almacenamiento que proporciona la tecnología.
4. La distribución masificada de datos geográficos ahora es posible gracias a la gran red de computadoras conectadas, conocida como Internet.
5. La búsqueda de la información se hace más rápida y eficiente con la ayuda de distintas aplicaciones como los manejadores de bases de datos, catálogos geográficos, entre otras. La naturaleza de estas herramientas permite que el trabajo realizado en esta área se pueda replicar fácilmente y reutilizar, ayudando así a minimizar la duplicación de esfuerzos.

La convergencia de dichas áreas ha dado origen a la creación de sistemas computacionales orientados a la gestión de información geográfica. Desde los años 70 y hasta nuestros días este tipo de sistemas se han ido popularizado con gran éxito, así como el número de sus distintas implementaciones. Sin embargo, en un principio el software geográfico comenzó a crecer sin ninguna dirección. Cada desarrollo era único e independiente y se guiaba por la visión específica del grupo que lo creaba, lo que a la larga provocó el aislamiento entre ellos en lugar de su integración. Observando esta problemática, la comunidad científica se vió obligada a crear estándares y diseñar infraestructuras que permitieran a los nuevos desarrollos (guiados por estas nuevas directrices) comunicarse, interactuar y potenciarse unos con otros.

Con base en estos antecedentes, el proyecto Unidad de Informática Geoespacial (UNIGEO) del Instituto de Geografía de la UNAM fue creado con el objetivo de implementar una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), que apegándose a estándares internacionales y especificaciones abiertas y gratuitas, permite ordenar, sistematizar, analizar y compartir a través de Internet la vasta información geográfica recopilada a lo largo de los años en el Instituto de Geografía de la UNAM.

Objetivo y estructura de la obra

El presente trabajo pretende mostrar de manera general los mecanismos empleados para elaborar una infraestructura tecnológica para el **Área de software libre** del proyecto UNIGEO que se pueda emplear para construir herramientas de visualización y exploración de los acervos de datos geográficos del Instituto de Geografía. La mayor parte de los resultados aquí presentados fueron posibles gracias al conocimiento adquirido en la Licenciatura de Ciencias de la Computación, incluyendo lo aprendido en programación y lenguajes, sistemas operativos y redes de computadoras, entre otros temas, además de la madurez mental para investigar y solucionar problemas nuevos que se obtiene al terminar una carrera científica.

El primer capítulo se enfoca en enmarcar este trabajo, tanto en un contexto laboral como en un contexto computacional; explicando brevemente la manera como se creó el proyecto UNIGEO, cuáles son sus objetivos y los problemas resueltos para finalmente poner en marcha una infraestructura geográfica de software libre.

En el segundo capítulo se introducen de manera general los conceptos más relevantes de geografía relacionados con la computación, necesarios para entender el material aquí presentado, tales como: la representación geográfica de los datos en computación, qué es un sistema de información geográfica, en qué consiste una infraestructura de datos espaciales, etc.

En el tercer capítulo se hace un planteamiento de los requerimientos tanto funcionales como tecnológicos y administrativos de la infraestructura, se discute el diseño de sus componentes, así como las tecnologías y estándares internacionales involucrados en su construcción. También se describen algunos de los principales casos de uso del sistema, de manera que se pueda visualizar un panorama general del uso esperado del mismo.

El cuarto capítulo describe el lanzamiento y configuración de la infraestructura geográfica, las dependencias entre sus principales componentes y la manera en que se comunican entre sí. Se especifican las principales razones por las que se eligieron las tecnologías usadas y se describe el tratamiento que se les debe dar a los datos geográficos para que puedan ser gestionados por el sistema.

El quinto capítulo presenta el desarrollo de una aplicación que permite la exploración y visualización de acervos geográficos, por medio de la infraestructura creada; ejemplificando así los conceptos presentados en capítulos anteriores.

En el capítulo final se evalúan las ventajas y desventajas al usar la arquitectura propuesta, así como la descripción de las mejoras a futuro que se podrían incluir en siguientes versiones.

Capítulo 1

Proyecto UNIGEO

1.1. Introducción

Actualmente la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con grandes acervos de datos de distintos tipos y tópicos, como por ejemplo las colecciones biológicas, medio ambiente, productos cartográficos, entre otros. Dichos acervos han sido el resultado del arduo trabajo realizado en muchos de los institutos de investigación y facultades de la UNAM por varios años. Los acervos son de suma importancia para muchos de los proyectos de investigación desarrollados en los institutos, ya que la información contenida en ellos es primordial, pues a través de éstos se promueve la generación y extensión de productos científicos en varias áreas relacionadas directa o indirectamente con dicha investigación.

Al analizar la magnitud de las colecciones de datos, el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México propuso la creación de un sistema computacional que reuniera toda la información dispersa en las distintas dependencias universitarias, con el fin de dar acceso integral a una gran gama de datos a los distintos institutos y facultades que así lo requieran. Como resultado de esta propuesta, se creó el proyecto SIBA.

1.2. Sistema de Informática sobre la Biodiversidad y el Ambiente

El proyecto Sistema de Informática sobre la Biodiversidad y el Ambiente SIBA[2] está integrado por varias dependencias de la UNAM nombradas *Unidades Informáticas*, entre las cuales destacamos:

- La Unidad Informática para la Biodiversidad (UNIBIO)[3]
- La Unidad de Informática Geoespacial (UNIGEO)[1]

En conjunto, las unidades tienen como objetivo desarrollar un sistema de información que ordene, sistematice, estandarice y analice la vasta información referente a la biodiversidad producida en la UNAM. Al mismo tiempo se pretende que dicha información quede vinculada

a los acervos de datos geográficos y de esta forma producir conocimiento multidisciplinario que promueva el desarrollo de nuevas líneas de investigación.

Así pues, el proyecto SIBA consiste de una gran red de Unidades Informáticas conectadas por Internet, en medio de las cuales existe otra entidad conocida como **Núcleo Mediador**, la cual tiene como objetivo garantizar la interoperabilidad entre las unidades, así como el canalizar, y distribuir las consultas y peticiones de los diversos usuarios. Las Unidades Informáticas se encuentran agrupadas de la siguiente manera:

- **Red Bios**, la cual está conformada por unidades que tienen la información relacionada con la biodiversidad.
- **Red Geos**, la cual contiene a las unidades con información geográfica y ambiental.

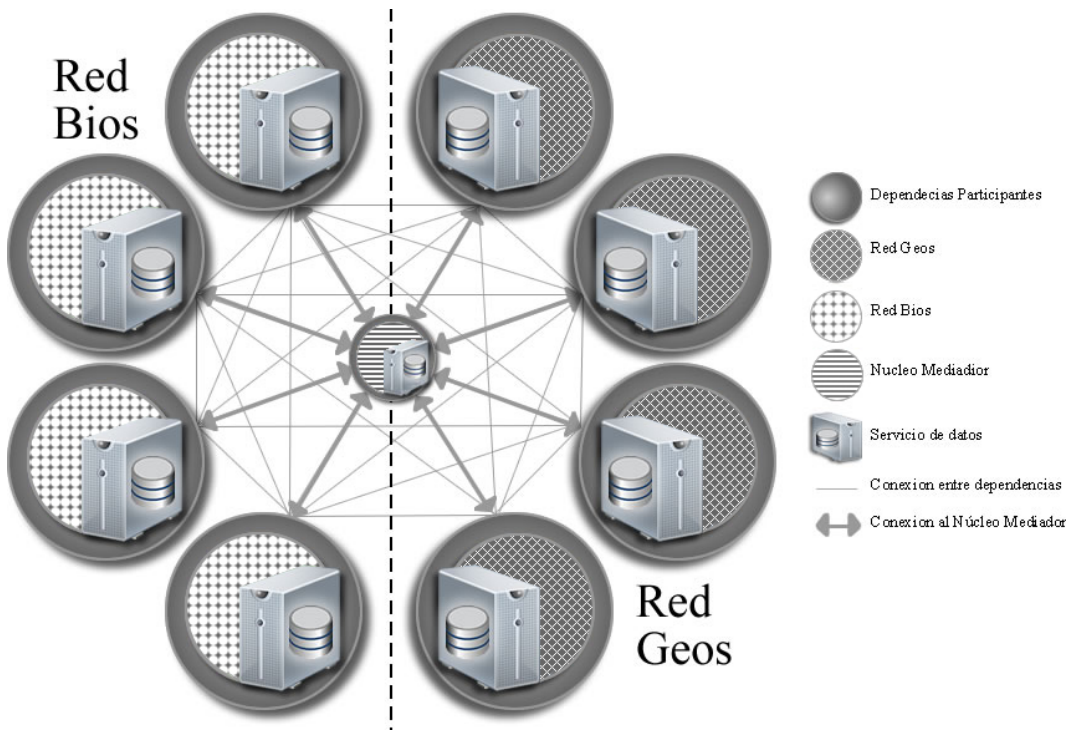


Figura 1.1: SIBA

1.2.1. Unidad Informática Geoespacial

Como parte de la Red Geos encontramos a la Unidad Informática Geoespacial (UNIGEO)[1] la cual es responsable de sistematizar y publicar en Internet la información relacionada con el espacio geográfico encontrada en los distintos departamentos y laboratorios del Instituto de Geografía de la UNAM, por lo que le corresponde encargarse del desarrollo de sistemas para acceder, seleccionar y analizar dicha información.

En este contexto podemos enumerar los objetivos a alcanzar de la Unidad Informática Geoespacial de la siguiente manera.

1. Desarrollar sistemas computacionales para gestionar, por medio de la red de unidades e Internet, la vasta información geográfica del Instituto de Geografía, así como asentar las bases para poder extender este proceso a otras unidades de la Red Geos, institutos y facultades que así lo requieran.
2. Identificar, ordenar y catalogar los acervos de información geográfica del instituto.
3. Dar a conocer el quehacer geográfico por medios interactivos, promoviendo iniciativas que utilicen el software libre, abarcando desde la adquisición hasta la publicación de la información geográfica.
4. Estimular el intercambio académico entre distintos grupos de trabajo para fomentar la creación de líneas de investigación orientadas al desarrollo de tecnologías de carácter geográfico.
5. Promover la sistematización de los acervos de datos espaciales existentes en las diferentes dependencias de la UNAM y habilitar la integración de una red de unidades de informática espacial, tanto en la investigación científica como en la docencia y en la divulgación.
6. Crear aplicaciones *Web* como portales de datos geográficos, que permitan la publicación y consulta de los acervos.

En síntesis, el proyecto UNIGEO busca realizar los primeros esfuerzos de estandarización del manejo de la información geográfica entre las unidades del proyecto SIBA. Esto incluye desde estrategias para recolectar la información y proponer maneras de administrarla internamente, hasta establecer mecanismos de consulta de la misma.

1.3. Departamento de cómputo de la UNIGEO

Teniendo en cuenta los objetivos principales del proyecto se crearon las siguientes áreas en computación en el Instituto de Geografía de la UNAM:

Área de software propietario Esta área está dedicada a solucionar la mayoría de los problemas computacionales de la UNIGEO, como lo son: *(i)* el desarrollo de sistemas de cómputo para la gestión de la información geográfica, *(ii)* la promoción del uso de estándares y buenas prácticas en la elaboración de los desarrollos de cómputo, *(iii)* la organización de los datos para ser explotados y consumidos de forma eficiente y, *(iv)* permitir el acceso a la información por medio de Internet para que pueda ser aprovechada en donde se requiera. En general el área pretende alcanzar todos aquellos objetivos que estén relacionados directamente con el desempeño computacional de la UNIGEO como parte de la Red Geos.

Área de software libre Esta área surgió paralelamente a la anterior, con el fin de crear alternativas gratuitas equivalentes a los productos desarrollados con software propietario. De esta forma la UNIGEO ofrecerá soluciones de bajo costo para que cualquier unidad de informática que así lo requiera pueda usarlas o tomarlas como base para comenzar a trabajar en sus acervos, y posteriormente integrarse de manera ágil a la red.

El presente trabajo tiene como objetivo principal mostrar el diseño, adaptación, desarrollo y puesta en marcha de las tecnologías utilizadas en la creación de una arquitectura de cómputo basada en los lineamientos propuestos por una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE; este concepto lo definiremos formalmente en el siguiente capítulo) que fue llevado a cabo dentro de la UNIGEO, haciendo uso únicamente de software libre.

Capítulo 2

Infraestructura de Datos Espaciales

Hasta hace algunas décadas, la manera tradicional para procesar la información geográfica era utilizando datos y mapas impresos, los cuales eran de difícil acceso, pues únicamente entidades especializadas y con grandes recursos económicos podían obtenerlos, ya no se diga generarlos. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos, hoy en día las computadoras han sido incorporadas a las ciencias geográficas y han aumentando la precisión de la información y la eficiencia en la recolección de la misma, reduciendo los costos asociados y permitiendo hacer una mejor explotación de los datos geográficos, permitiendo así un análisis geoespacial mucho más rápido y preciso.

Históricamente, Canadá ha sido el país al que se le ha adjudicado la creación de una de las uniones más importantes entre la geografía y la computación, al ser éste el país pionero dentro del desarrollo de Sistemas de Información Geográfica, con la creación del *Canadian Geographic Information System*[6], o CGIS por sus siglas en inglés, el cual fue desarrollado por Roger Tomlinson en el año de 1963. Esto permitió la construcción de inventarios de los recursos forestales de Canadá, favoreciendo así que el gobierno pudiera administrar mejor este tipo de información, gracias a la automatización que brindan las computadoras. Sin embargo, a finales de la década de los 80, CSIG fue sustituido por sistemas comerciales más recientes que contemplaban una visión más general. Es decir, su debilidad radicó en ser la solución para un problema cartográfico específico, lo cual resultaba común entre los primeros Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Con el paso de los años los SIG de propósito particular (desarrollados principalmente para instituciones públicas) se convirtieron en sistemas de propósito general, debido en gran parte a los avances e investigaciones efectuadas en el Laboratorio de Gráfica por Computadora y Análisis Espacial de la *Universidad de Harvard*, de donde surgió Jack Dangermond, fundador de *Environmental Systems Research Institute* (ESRI)[7], la primera empresa privada dedicada al desarrollo de un SIG de propósito general para uso corporativo.

En la actualidad, un SIG[13] es una herramienta de software que sirve para efectuar tareas de captura, almacenamiento, manipulación, modelado, análisis y visualización de

información referenciada geográficamente, con el objetivo de resolver problemas, encontrar patrones y entender cuáles son los eventos que dan origen a los fenómenos que se estudian. Existe una gran variedad de Sistemas de Información Geográfica, algunos de ellos resultan ser muy accesibles para la mayoría de las personas e instituciones que los requieren. Los hay de propósito general o particular, comerciales o gratuitos, de código abierto o cerrado, para sistemas operativos WINDOWS, UNIX, LINUX, y éstos son solo algunos ejemplos.

Con la llegada del SIG, la geografía sufrió una metamorfosis, ya que de ser una ciencia en la cual el trabajo era casi completamente manual, cambió su paradigma al mundo digital; de tal manera que incluso sus herramientas más básicas han sufrido algunas transformaciones. Objetos con interacciones tan simples como lo son los mapas en papel, ahora se han convertido en aplicaciones computacionales complejas que permiten la manipulación de información geográfica en formato vectorial, con interfaces gráficas completas y procesamiento automatizado.

Para hacer esto posible, es necesario que los datos que se van a estudiar en el SIG sean administrados correctamente. La información geográfica se puede organizar de formas variadas, y su riqueza es tanta, que existen muchas maneras de explotarla. Por esta razón es necesario diseñar una plataforma que permita almacenar y consultar esta información de muchos modos distintos.

Hoy en día ya existe una propuesta de organización y gestión de la información, que consiste en utilizar una infraestructura de datos espaciales. De este tema hablaremos formalmente a continuación.

2.1. Descripción de una IDE

Una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) es un sistema abierto y descentralizado que provee un ambiente ideal para conectar aplicaciones computacionales de índole geográfico, tales como buscadores de metadatos, servidores de mapas y rasgos¹, manejadores de datos, otras IDE, etc. que faciliten el acceso, la gestión y el análisis de información geoespacial. Las Infraestructuras de Datos Espaciales se encuentran regidas por estándares², y reguladas por políticas y acuerdos institucionales a distintos niveles (internacionales, nacionales, regionales y locales), lo que permite la interacción coordinada entre ellas. Sus principales objetivos son maximizar el acceso a los datos geográficos³, minimizar la duplicación de esfuerzo e inversiones de tipo laboral, intelectual y económico, y por último, brindar la posibilidad a cualquier usuario de integrar su información geográfica y servicios a la red de Infraestructuras de Datos Espaciales. Estas entidades coordinadoras suelen ser gobiernos, instituciones, universidades, etc.

En otras palabras, una IDE es una herramienta mediante la cual se pueden administrar y explotar, de manera ordenada, grandes cantidades de información georeferenciada. Las

¹Un rasgo geográfico es una abstracción de un fenómeno del mundo real el cual está asociado a una posición en el espacio terrestre. Por ejemplo: un lago, una montaña, un estado, un aeropuerto, un huracán, etc.[8]

²Estándar (o norma) en este contexto se refiere a acuerdos que describen cierta funcionalidad o tecnología de manera que permiten su interacción y desarrollo de forma ordenada.[9]

³Se refiere a cualquier información que tenga una localización en el mundo.[10]

IDE están pensadas para ser utilizadas por todo tipo de usuarios, desde personas hasta programas. En particular es posible conectar dos o más IDE para que formen una red de información más completa. Las IDE de la red se encuentran bajo un sistema de políticas y regulaciones diferentes, que a veces incluso pudiera cambiar de acuerdo al país en el que se localizan. Sin embargo, el uso de estándares internacionales permite que se puedan entender a nivel de sistemas.

Es importante hacer notar que el aspecto central de una IDE es la información geográfica, así como el manejo y administración de ésta. En primera instancia hay que definir con cuidado la manera como la información se va a mostrar, esto es, la representación digital de los **datos** y los **metadatos**. También se tienen que diseñar esquemas de organización de la información, para lo cual se utilizan estructuras de soporte como el **acervo histórico de datos**, el **diccionario de datos** y los **catálogos de datos**. Finalmente hay que establecer los mecanismos de interacción que proporcionará la IDE a otras entidades, a través de **servicios**. Trataremos cada uno de estos conceptos con mayor detalle en las siguientes secciones.

2.1.1. La información geográfica y su representación digital

El formato digital de la información geográfica está basado en la representación cartográfica⁴ de la misma y trata de ser fiel a la idea del mapa⁵, con la diferencia de que éste último está limitado por ser una muestra estática de los datos, mientras que la información digital son los datos mismos, listos para ser modelados de distintas maneras, en particular con una imagen. En otras palabras, teniendo los datos en formato digital se puede contar con toda la funcionalidad provista por los mapas, obteniendo además una mayor flexibilidad durante su manipulación.

Entre las maneras más comunes de modelar los datos geográficos, cabe destacar las tres siguientes: *(i)* una colección discreta de rasgos en formato vectorial; *(ii)* una matriz de celdas que contienen atributos (también conocida como raster); *(iii)* un conjunto de puntos triangulados que modelan superficies terrestres en tercera dimensión. A continuación describiremos más a detalle cada uno de estos esquemas.

Datos vectoriales

Los datos vectoriales pueden representar rasgos como puntos, líneas o polígonos, y son usados principalmente para modelar objetos discretos con características y límites bien definidos.

⁴Cartografía es el conjunto de estudios y operaciones científicas y técnicas que intervienen en la formación o análisis de mapas, modelos en relieve y globos que representan a la Tierra, parte de ella, o cualquier parte del Universo.[11]

⁵Un mapa es una herramienta visual que expresa de manera generalizada y reducida las superficies terrestres sobre las cuales se interpreta la distribución, el estado y los vínculos de los hechos y fenómenos naturales y sociales a estudiar, de tal manera que la persona que lo contemple pueda crearse rápidamente una imagen mental de lo que se desea representar. Así se puede aprovechar mejor la información geográfica, pues se resaltan sus características más importantes de una forma resumida y clara que permite una fácil interpretación.[12]

Los puntos representan rasgos con un par de coordenadas (x, y) . En general son entidades geográficas demasiado pequeñas como para ser representadas como una línea o una superficie. Como ejemplos de esto tenemos la ubicación del lugar en dónde se recolectó alguna especie biológica, así como la localización del centro de un país o estado, o bien la ubicación de las localidades de una región, entre otras.

Las líneas representan rasgos geográficos como un conjunto de puntos. Suelen ser entidades geográficas muy finas que no pueden verse como superficies (esto depende mucho de la escala). Como ejemplos de esto, tenemos las curvas de nivel de alguna región, las calles, los ríos, la división política, etc.

Los polígonos representan rasgos geográficos amplios, como un estado de la República, una laguna, un área natural protegida, etc. Cada polígono es almacenado como una serie de segmentos que encierran una superficie definida.

Independientemente de cómo sean representados, cada rasgo se encuentra asociado con ciertos atributos, por ejemplo el mapa de la República Mexicana tiene un polígono por cada estado, mientras que los atributos asociados pueden ser el nombre de la entidad, una clave única que lo identifique, la capital, entre otros. Véase la Figura 2.1.



Figura 2.1: Regiones ecológicas de México, cada una de ellas se encuentra claramente delimitada por un polígono[14]

Raster

Los objetos **raster** representan datos en formato de imagen y son muy útiles para modelar información continua como la altitud, concentración de contaminación, niveles de ruido ambiental, fenómenos meteorológicos, entre otros. De manera general podemos decir que un raster es una gradilla, donde cada celda (píxel) tiene asociada información sobre lo que ésta contiene. Al visualizar cada celda en un mapa, se obtiene una imagen que permite observar de golpe toda esta información.

Las superficies provenientes de la fotografía aérea o las fotos satelitales son el principal insumo en la creación de rasters. Véase la Figura 2.2.

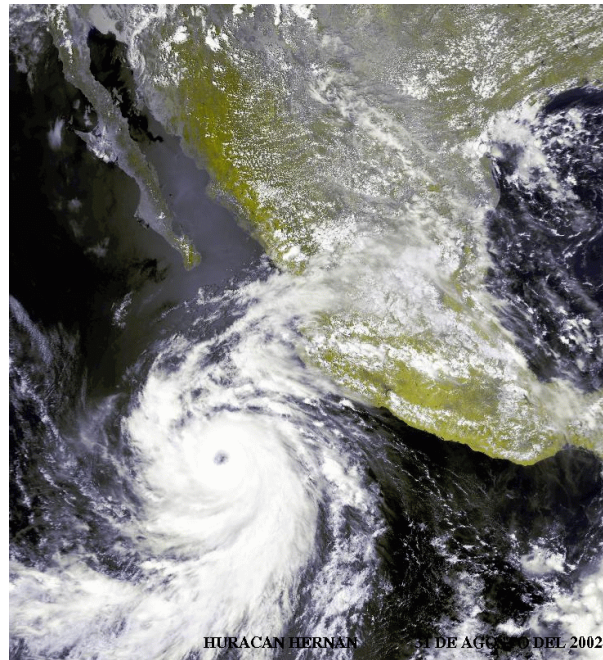


Figura 2.2: Huracán Hernan tomada en 2002 por el Laboratorio de Análisis Geoespacial de la UNAM.[15]

Redes Irregulares Trianguladas

Las redes irregulares trianguladas se utilizan para modelar pedazos de superficies de tierra, se almacenan como un conjunto de nodos con elevación y las aristas que los conectan. Estas redes permiten visualizar la superficie en tercera dimensión soportando distintas perspectivas y delimitando rasgos de la superficie como arroyos y cumbres, facilitando a su vez el análisis de la superficie, por ejemplo el estudio de una cuenca. Véase la Figura 2.3.

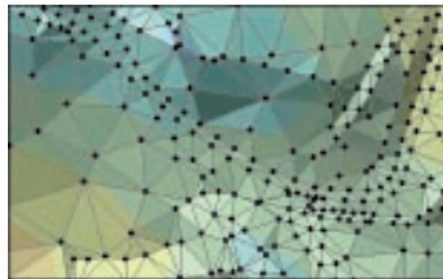


Figura 2.3: Red Irregular Triangulada tomada del Laboratorio de Análisis Geoespacial del Instituto de Geografía de la UNAM[17]

2.1.2. Metadatos

Una parte importante de los datos geográficos es la información que los valida, a la cual se le conoce como **metadatos**. La definición más común de un metadato es “un dato que describe otro dato” [16]. En este sentido los metadatos describen el origen, el contenido, la calidad, las referencias y cualquier otra característica que proporcione información sobre el dato. Un metadato geográfico pretende reunir la información necesaria para contestar el quién, qué, cuándo, dónde y por qué del dato.

La mayoría de los metadatos se usan para complementar y darle valía al dato al que están asociados. Sin embargo, una IDE no sólo utiliza metadatos para los datos geográficos, sino también para describir otras de sus partes, por ejemplo los servicios que provee, los catálogos de datos que posee, etc.

Con base en este esquema de metadatos, es posible crear herramientas que permitan navegar y descubrir las capacidades que posee la IDE. Finalmente, a partir de los metadatos se pueden crear catálogos para clasificar los datos. De estos temas hablaremos más adelante.

2.1.3. Acervo histórico de datos y diccionario de datos

Debido al paso del tiempo y a los cambios en el planeta, es común que algunos de los rasgos geográficos de la Tierra dejen de existir, cambien de nombre, se creen nuevos, etc. Por ejemplo: el nombre de un país puede cambiar, ya sea porque se dividió o se unió a otro país; un río se puede secar y dejar de existir, un bosque que comienza a ser habitado crea una nueva localidad, etc. Esta problemática en la variación de los rasgos a través del tiempo hace necesario que en los acervos geográficos los rasgos posean un historial de los cambios que han sufrido y las fechas en las que se han detectado dichos cambios. Es decir, los cuerpos de agua, la división política o las curvas de nivel no son las mismas que hace un siglo, puesto que cambian a través del tiempo, aunque cabe resaltar que *sí* es posible hablar del estado en el que se encuentran todos los rasgos en un momento determinado.

Como ejemplo de los problemas que podemos encontrar en un acervo que no cuenta con un historial de este tipo para sus rasgos, tenemos los siguientes:

Supongamos que se cuenta con una colección de algún insecto que fue creada en el año de 1940 en la República Mexicana con los siguientes datos:

- Espécimen 1: se localizó a 3 km de la localidad San Juan a 200 metros del Río Chico.
- Espécimen 2: se localizó a 400 metros del Cerro del Auxilio en la localidad San Miguel.

¿Que sucede si en la actualidad el “Río Chico” ha desaparecido y la localidad de “San Miguel” ahora se llama “San Miguel del Auxilio”?

El primer problema se soluciona teniendo un acervo de datos histórico, que tiene la característica de estar formado por varios conjuntos de datos, cada uno de los cuales contiene una serie de rasgos representados en un periodo de tiempo específico. De esta manera es posible hacer consultas de un rasgo específico a lo largo de la historia, permitiendo así su estudio futuro (evolución y cambios).

Para resolver el segundo problema se suele usar un diccionario de datos, en el cual se almacenan definiciones, estándares que se emplean para representar simbología y sinónimos históricos de los datos.

Aunque en ocasiones los metadatos incluyen este tipo de información, referente a los rasgos y a su año de creación, el diccionario de datos siempre es una opción más práctica, eficiente y clara de consulta, debido a que es un compendio ordenado y catalogado, el cual resulta mucho más fácil de explotar.

2.1.4. Catálogo de datos

Hasta hace relativamente poco tiempo los repositorios de la información eran comúnmente las bibliotecas, hemerotecas, videotecas, etc. Se podía acudir y consultar sus grandes colecciones de datos en busca de información. Hoy en día las herramientas tecnológicas, en particular la computadora y el Internet, se han integrado con éstos y otros grandes acervos de información, para permitir su diseminación masiva, lo cual se ha convertido en uno de los métodos de búsqueda de información más populares, efectivos y eficientes de nuestra época.

Para ser útil y permitir la exploración de su contenido, cada uno de estos grandes repositorios de información tiene la necesidad de ser organizado, para lo cual almacena información sobre sus datos que le permita hacerlo, la cual guarda en una estructura conocida, naturalmente, como **catálogo de datos**. Esta situación ocurre desde bibliotecas pequeñas hasta el uso del Internet; pues no importa qué tan completo sea el acervo, si no se cuenta con algún mecanismo de búsqueda que permita encontrar fácilmente la información deseada, no será de utilidad. Por ejemplo, es muy común que una biblioteca cuente con un catálogo que almacene meta información ordenada de las publicaciones que contiene, como son el título, el autor, la editorial, etc., que se pueda consultar cuando se requiera una publicación en particular, pues de otro modo habría que buscar libro por libro hasta encontrar el deseado. De manera similar, una IDE necesita catálogos que ayuden a identificar tanto sus datos como los servicios que provee.

Un catálogo en una IDE es un conjunto de metadatos ordenados por una o más características. Por ejemplo, se pueden crear catálogos que ordenen la información alfabéticamente, por año de adquisición, por institución responsable de los datos, entre otras. En otras palabras se puede organizar haciendo uso de algún criterio donde exista un orden predefinido.

Además de permitir la implementación de un mecanismo de búsqueda para descubrir el contenido de la IDE, los catálogos funcionan también como el pegamento entre dos o más IDE, ya que si una IDE conoce los catálogos de datos y servicios de otra, puede utilizarlos para “hacer crecer” su acervo de manera muy sencilla. Por ejemplo, si se busca un dato en una IDE y ésta no lo contiene, puede buscar automáticamente entre los catálogos de otras IDE para encontrarlo, y así proveerlo al usuario transparentemente; es decir, como si lo hubiera tenido originalmente en su acervo. De esta forma las IDE pueden unirse a través de sus catálogos para crear acervos más grandes, lo cual es una ventaja porque así se pone más información a disposición de los usuarios.

2.1.5. Servicios

Además de proporcionar la infraestructura necesaria para compartir datos geográficos, las IDE implementan **servicios**⁶ que ayudan a sus usuarios o a otros programas de cómputo a analizar e interactuar de diversas maneras con sus acervos de datos. En otras palabras, por medio de estos servicios es que los usuarios pueden tener acceso a la información contenida en la IDE, e incluso se pueden utilizar para delimitar así el nivel de privilegios que se les otorga dentro de la misma.

Servicios básicos de una IDE

Los servicios básicos que debe ofrecer una IDE son los de visualización de mapas, descarga y consultas sobre los rasgos geográficos, descubrimiento (exploración) y búsquedas sobre las bases de datos. A esto se le conoce como el tener servicios de mapas, rasgos y catálogos.

- **Servicio de Mapas en Web.** Este servicio permite la visualización de manera gráfica de los datos que están contenidos en el acervo, ofreciendo un mecanismo rápido con el cual el usuario final puede formarse un panorama general del estado de los datos y saber si cumplen con los requerimientos para su uso o no. La manera de desplegar los datos es por medio de archivos en formato de imagen muy similar a un mapa en papel. Estas imágenes son generadas en forma dinámica con base en los datos del acervo.
- **Servicio de Rasgos en Web.** Este servicio brinda la posibilidad de consultar, adquirir y editar todos los rasgos representados de manera vectorial que se encuentren contenidos en los acervos de datos de la IDE. De esta manera el usuario final puede tener una copia digital y usarla para los fines de estudio que requiera sin estar limitado a contar sólo con una imagen (un mapa), como se hacía anteriormente.
- **Servicio de Catálogo en Web.** Este servicio permite explorar los metadatos que contiene la IDE, los cuales describen todo tipo de recursos como son los datos geográficos, los servicios, las aplicaciones, etc.

2.2. Arquitectura de una IDE

Desde un punto de vista computacional, una IDE es básicamente un conjunto de aplicaciones y tecnologías que trabajan en colaboración para ofrecer mecanismos de gestión para la información geográfica. A continuación describiremos algunos de sus componentes más comunes.

2.2.1. Componentes de una IDE

Para diseñar una infraestructura de datos espaciales se deben considerar con cuidado y definir los siguientes puntos:

⁶Llamaremos servicios al conjunto de programas de software y protocolos que son ofrecidos a los usuarios a través de Internet y que proporcionan funcionalidad y herramientas para interactuar con la IDE.[20]

- **Datos.** Constituyen el elemento básico en el sistema, son la representación gráfica de la realidad. Es decir, cualquier punto en el espacio se puede referenciar a una coordenada (x,y) . En este punto se debe decidir la manera en que los datos serán representados digitalmente.
- **Metadatos.** Se refiere a la descripción de los datos. Ayudan a formar catálogos y permiten que la búsqueda de información en el acervo sea más fácil. Se debe definir el conjunto de metadatos que puede asociarse a cada dato, cuáles de ellos son absolutamente necesarios y cuáles opcionales, la manera como se almacenarán, etc.
- **Servicios.** Son las herramientas computacionales que ponen los datos y metadatos a disposición de los usuarios y clientes de software para su utilización. El conjunto de servicios que provee la IDE es lo que determina la manera en que se puede interactuar con sus acervos, por lo que es importante establecer cuáles serán implementados, de forma que se proporcione toda la funcionalidad necesaria, manteniendo la flexibilidad suficiente para poder cuidar la integridad y seguridad de la IDE.
- **Políticas de datos.** Definen los esquemas que delimitan el acceso e intercambio de datos. En muchos casos son implementadas a través de los servicios, por lo que pueden verse limitadas por la funcionalidad provista por éstos.
- **Marco institucional.** Cada institución debe definir la temática sobre la cual estará fundamentada la IDE. Por ejemplo, SIBA pone a disposición de la comunidad de la UNAM las colecciones de flora y fauna de México con fines científicos y no para la caza de animales en peligro de extinción.
- **Tecnología.** Se refiere a las herramientas de software y hardware que permiten la implementación y manipulación de datos, metadatos y servicios. En este caso hay que considerar también las restricciones de presupuesto, las necesidades de seguridad de la información, demanda esperada y otras características prácticas de este tipo.
- **Estándares.** Es el conjunto de acuerdos predefinidos que garantizan la interoperabilidad de todos los componentes, incluso con otras IDE. La decisión de los estándares a utilizar, puede depender de factores como el área en el que se va a trabajar, la vigencia/obsolescencia de los mismos, su flexibilidad o rigidez, etc.

En la Figura 2.4 se muestra un diagrama de la arquitectura a nivel computacional de una red de IDE, en donde vemos cómo los distintos elementos se relacionan y cómo la comunicación entre ellas está basada en servicios. Sin embargo, es importante resaltar que los permisos y accesos están dados por políticas de seguridad que dependen de las instituciones que controlen la IDE.

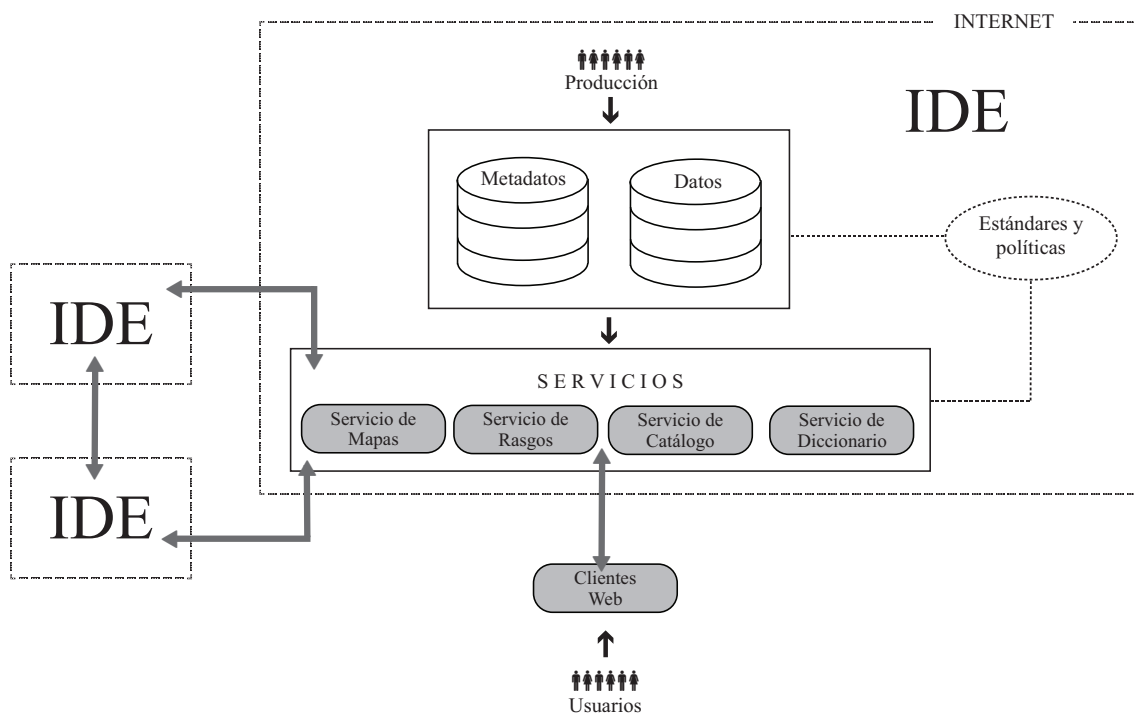


Figura 2.4: Arquitectura de una Infraestructura de Datos Espaciales

Capítulo 3

Diseño de GEOPEN

Una de las tareas principales a resolver por parte de la UNIGEO como integrante de la Red Geos del proyecto SIBA, es la de crear una solución computacional de bajo costo, basada en software libre, que permita compartir acervos de datos geográficos por medio de Internet. La propuesta que se hizo para enfrentar este reto lleva por nombre “GEOPEN”, y es presentada en este capítulo. A continuación retomaremos un poco del contexto en el cual surgió, hablaremos de su diseño y composición, para finalmente tratar con mayor detalle las principales herramientas que se utilizaron en su creación.

3.1. Introducción

La información geográfica se encuentra detrás de todo tipo de herramientas y servicios que facilitan nuestra vida diaria, además de ayudar en la solución de problemas prácticos. Considérese el caso de una empresa dedicada al transporte público que se plantea abrir una nueva ruta. La empresa necesita planear la ubicación y número de paradas que contendrá la ruta, el volumen esperado de usuarios, tiempo de recorrido con tráfico fluido o lento, rutas alternas en caso de imprevistos, número de unidades de transporte que necesita asignar a la ruta, etc. Para planear correctamente todo esto se requiere de una gran cantidad de información. Por ejemplo, para especificar el recorrido que se realizará en la ruta, es posible que baste con información del trazado de calles en la ciudad y el nombre de las mismas, pero para conocer la distancia total del recorrido será necesario contar con información geoespacial, específicamente coordenadas de los puntos importantes de la ruta. Estos datos pueden ser obtenidos por la misma empresa de transporte público, o bien a partir de un mapa de la ciudad suficientemente detallado, pero en cualquier caso alguien tiene que obtener la información geográfica y proveerla en un formato que sea útil para la empresa. Por otro lado, los datos sobre carga vial en las calles a distintas horas, la ubicación de puntos de interés como centros comerciales, escuelas, conexiones con otros sistemas de transporte, así como el volumen de gente esperado en estos puntos también es información georeferenciada de gran valor para planear la ruta correctamente, sin embargo obtenerla es una labor más complicada, por lo que lo conveniente sería coordinarse con otras empresas o instituciones

que la posean y así evitar duplicar los esfuerzos y costos involucrados en su adquisición.

El ejemplo anterior ilustra varios puntos que hemos venido recalando a lo largo del presente trabajo. Primero, que los datos geográficos son de gran utilidad para una amplia variedad de problemas y su valor depende de que puedan ser consultados de una manera ordenada y eficiente. Segundo, adquirirlos es una labor que conlleva un costo material y de tiempo que en muchos casos no es despreciable, lo cual también aumenta el valor de los datos, por lo que una vez adquiridos es deseable que se les saque todo el provecho posible. Tercero, que suele ser de interés para todos el facilitar la distribución e intercambio de los datos, de manera que la información que unos poseen potencialice a otros y viceversa.

Como establecimos en el capítulo anterior, una IDE es la solución ideal para almacenar datos geográficos, pues atiende de manera óptima todos estos puntos, manteniendo la información segura y al mismo tiempo facilitando su uso y distribución, estableciendo mecanismos para permitir el intercambio con otras IDE. Una de las principales herramientas que posee para lograr sus objetivos es el uso de estándares internacionales de todo tipo, desde acuerdos sobre cómo representar la información de una manera normalizada para que pueda ser utilizada por todos, hasta protocolos de comunicación que ayudan a resolver el problema de transferir información de manera segura entre dos o más sitios. Utilizando estos estándares sobre las vías de comunicación modernas, una IDE se convierte en una herramienta muy poderosa.

En este contexto, podemos establecer que para permitir al proyecto SIBA llevar a cabo uno de sus principales objetivos, el cual es que los institutos y organizaciones de la UNAM puedan compartir los datos geográficos que han acumulado a lo largo de los años, es indispensable contar con una red de IDE funcionando coordinadamente. Por esta razón la UNIGEO se ha dado al estudio de los principios que sustentan este tipo de arquitecturas, así como las opciones existentes actualmente que se pueden aprovechar para hacer realidad esta idea. Se han analizado tanto soluciones probadas con respaldo comercial, como opciones económicas o hasta gratuitas pero que proporcionen cabalmente la funcionalidad necesaria.

A continuación hablaremos sobre los requerimientos específicos considerados al evaluar las opciones de bajo costo, sobre las tecnologías encontradas y los estándares que utilizan. Hablaremos también sobre la manera en que estas tecnologías se mezclaron para crear GEOPEN, la arquitectura de bajo costo basada en los principios de las IDE que fue propuesta por la UNIGEO para las unidades del proyecto SIBA.

3.2. Requerimientos

Existen diversos factores que es necesario considerar en la construcción de una IDE de bajo costo para la Red Geos del proyecto SIBA. Esta situación impone un número de condiciones que deben cumplirse para que la IDE creada sea exitosa, a las cuales se les conoce como el **conjunto de requerimientos del sistema**. Otra manera de ver esto, es que los requerimientos son los lineamientos que guían el diseño e implementación de la IDE.

Los requerimientos pueden ser funcionales, cuando determinan las operaciones y servicios que el sistema debe proporcionar a sus usuarios, o pueden ser no-funcionales, cuando describen características o propiedades del mismo. El primer tipo de requerimientos determina lo

que el sistema debe hacer, mientras que el segundo especifica lo que debe ser. En esta última categoría entran, por ejemplo, las restricciones de costos. Describiremos con más detalle cada uno de los requerimientos principales que entraron en el diseño de GEOPEN, tras lo cual analizaremos algunos de los casos de uso más comunes del sistema para ejemplificar el tipo de funcionalidad que se espera de éste.

3.2.1. Generales

Como lineamientos básicos deben considerarse aquellos impuestos por el marco conceptual del proyecto, esto es el papel de la UNIGEO dentro de la Red Geos del proyecto SIBA, que consiste en proveer una herramienta económica y de fácil acceso que permita a toda la red distribuir de manera práctica y estandarizada los acervos de datos geográficos que poseen sus miembros. Este objetivo principal es el que determina la mayor parte de los requerimientos del sistema.

3.2.2. Costos

Es de suma importancia que el desarrollo de GEOPEN tenga como prioridad buscar herramientas que tengan el mínimo costo posible.

Una opción es la de no gastar en licencias de software y de esta manera crear una herramienta computacional barata y accesible a toda la Red Geos y a la comunidad científica que así la requiera. La desventaja de este enfoque es que se corre el riesgo de no encontrar herramientas suficientemente completas o a las que se les de soporte, lo cual implicaría una mayor inversión de tiempo y recursos de personal de UNIGEO para completar los sistemas hasta que cumplan con los requerimientos pedidos.

Por suerte, actualmente el interés en el área de las Infraestructuras de Datos Espaciales en el mundo es tal, que las herramientas de código abierto o “*free software*” que existen son suficientes para los objetivos del proyecto, lo cual representa una disminución importante en los costos de GEOPEN.

3.2.3. Formato de los datos

Para una IDE, naturalmente, los datos espaciales son el insumo primario alrededor del cual se va a construir la infraestructura. Por esta razón es de primordial importancia convertirlos a un formato digital que pueda ser utilizado por la IDE.

Desde antes de la creación del proyecto SIBA, el Instituto de Geografía de la UNAM había comenzado con la digitalización de su acervo de datos, utilizando para su representación dos formatos estandarizados: **Shapefile**[18] para el modelado de rasgos, y **XML**[19] para describir los metadatos de los rasgos. Para poder aprovechar este esfuerzo, es un requerimiento para GEOPEN que pueda manejar los datos en estos formatos.

- *Shapefile*: este tipo de archivo contiene información geográfica vectorizada donde los rasgos se representan por medio de polígonos, líneas y puntos. A cada conjunto de vectores lo relaciona con información del rasgo al que corresponden.

- Metadatos en XML: es un archivo que debe contener la información mínima marcados por los estándares de metadatos internacionales usados por este proyecto, de los cuales hablaremos más adelante.

3.2.4. Base de datos

No basta con convertir los datos a un formato digital, será necesario almacenarlos de forma ordenada para que la IDE pueda utilizarlos exitosamente; por lo que se requiere contar con una base de datos que tenga la capacidad de gestionar información vectorial como la utilizada en los archivos en formato *Shapefile*¹. Esto implica que el sistema manejador de la base de datos debe proveer las operaciones necesarias para trabajar con los datos de modo automático y estandarizado, para así ocultar los detalles de representación a los usuarios y de esta manera lograr un uso transparente, con alto nivel de abstracción de los datos vectoriales.

3.2.5. Servicios

Los servicios representan la funcionalidad que verán los clientes. Todas las interacciones entre éstos y la IDE se harán a través de algún servicio, ya que actúan como una capa intermedia que permite establecer mecanismos controlados de acceso a los datos. Un servicio debe de cumplir con los siguientes puntos:

- Permitir al cliente la interacción con los datos y metadatos de manera segura, cuidando en todo momento la integridad de las bases de datos.
- Implementar estándares de intercambio de datos geográficos para asegurar la interoperabilidad de GEOPEN con otras IDE y clientes. Entre los estándares principales se encuentran aquellos sugeridos por la *Open Geospatial Consortium*[21] correspondientes a los servicios de mapas, rasgos y catálogo. Hablaremos de éstos en la sección 3.4.
- Implementar estándares para el intercambio de metadatos con el objetivo de asegurar la interoperabilidad. El estándar considerado en este caso es el sugerido por la *Federal Geographic Data Committee*[26], el cual analizaremos con más detalle en la sección 3.4.

3.2.6. Clientes

Los clientes son la cara de la IDE, gracias a éstos podemos interactuar fácilmente con los servicios y así conocer el contenido de la misma. De manera general, es deseable que los clientes cuenten con las siguientes características:

- Crear una interfaz gráfica fácil de manejar por los usuarios finales.
- Hacer uso de los servicios de manera responsable.

¹Este concepto no se traduce literalmente en este trabajo, pues así es conocido en el ámbito internacional, por lo que en adelante utilizaremos el término *Shapefile* para referirnos a un archivo con este formato

- Proporcionar herramientas para explorar los acervos de datos de la manera más flexible posible.

Aunque estos requerimientos tienen más que ver con el diseño de los clientes y menos con la IDE, es importante tenerlos en mente, pues el diseño de la Infraestructura de Datos Espaciales puede facilitar su construcción. Por ejemplo, si ésta implementa una interfaz de programación bien diseñada que permita el acceso a sus servicios, la creación de un cliente puede resultar más sencilla que si no hubiera tal interfaz.

3.3. Casos de uso

Una buena manera de entender el funcionamiento de un sistema que está siendo diseñado es el plantear diferentes casos de uso, los cuales permiten observar el flujo de información que debe existir para que el sistema funcione correctamente, así como el identificar los principales actores involucrados en el mismo. A continuación describiremos los casos de uso más importantes de GEOPEN.

3.3.1. Petición al servicio de mapas

Existen tres diferentes consultas para el servicio de mapas.

1. Imagen: esta modalidad regresa una imagen que contiene los rasgos solicitados.
2. Información de un rasgo: dado un punto en el espacio y una capa en la cual se encuentra definido un conjunto de rasgos, el servicio de mapas regresa el contenido de la capa en ese punto.
3. Metadatos del servicio: el servicio de mapas puede describirse a sí mismo cuando así se le requiere, proporcionando información acerca de las capas que contiene, la manera en que se le solicitan datos, los formatos de imagen soportados, etc.

Este proceso es ejemplificado en la Figura 3.1.

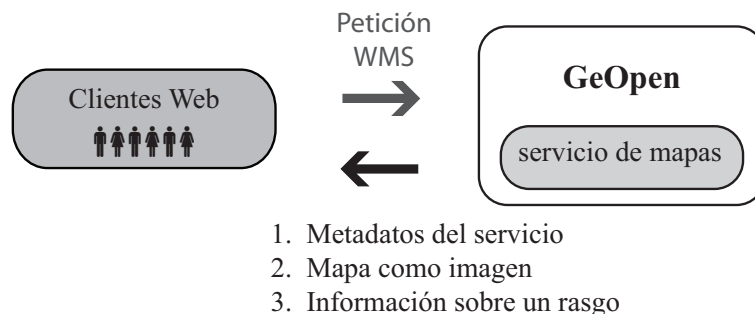


Figura 3.1: Caso de uso del servicio de mapas.

3.3.2. Petición al servicio de rasgos

Las peticiones al servicio de rasgos se dividen en dos tipos: consultas y edición. El primer tipo agrupa las funciones de exploración de los rasgos del acervo y los metadatos del servicio y está ilustrado en la Figura 3.2.

1. Rasgos: esta modalidad permite obtener rasgos de la base de datos, los cuales pueden ser regresados en formatos específicos como *XML*, *Shapefile*, etc.
2. Metadatos del servicio: al igual que el servicio de mapas, este servicio tiene la capacidad de describirse a sí mismo, mostrando en formato XML los tipos de consultas y formatos que soporta.

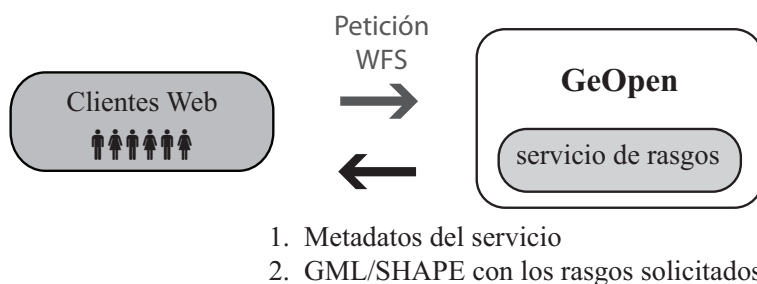


Figura 3.2: Caso de uso de consulta al servicio de rasgos.

El segundo tipo de peticiones agrupa las funciones de modificación, creación y eliminación de los rasgos y capas que contiene el acervo, como se puede observar en la Figura 3.3.



Figura 3.3: Caso de uso de edición del servicio de rasgos.

3.3.3. Petición de metadatos

Este tipo de peticiones se pueden utilizar para preguntar por la información que describe a un solo dato o bien la de conjuntos o agrupaciones de los mismos. También se utilizan para obtener información sobre los servicios. Por ejemplo, se podría preguntar por el conjunto de datos que estén relacionados con el estado de Chihuahua, con lo que el servicio regresaría

en formato *XML* todos los metadatos y la ubicación de los datos que cumplen con esa característica. El proceso se muestra en la Figura 3.4.

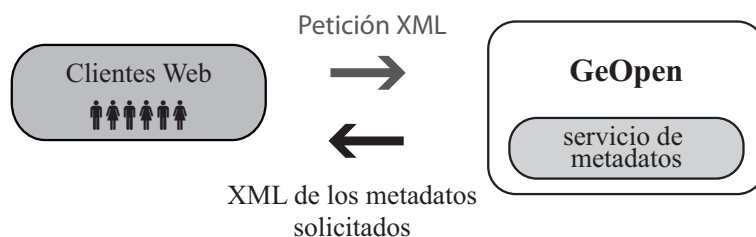


Figura 3.4: Caso de uso de petición de metadatos.

3.3.4. Clientes

Por lo general los clientes son aplicaciones que conjuntan varios servicios y permiten la interacción de muchas formas al mismo tiempo con la base de datos. Éstos pueden facilitar el manejo de operaciones complejas que involucran un gran número de servicios y peticiones de la IDE. Este caso de uso se encuentra ilustrado en la Figura 3.5.

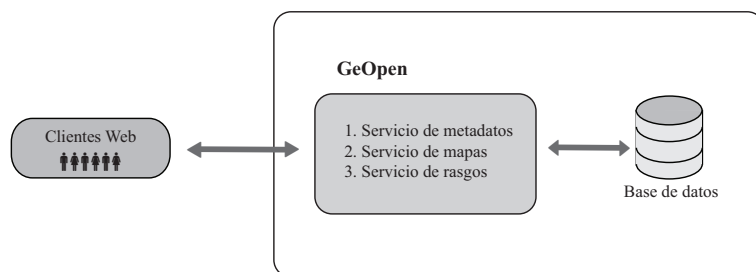


Figura 3.5: Caso de uso de un cliente haciendo peticiones a GEOPEN.

3.4. Estándares

Los estándares tecnológicos son modelos o patrones que definen una serie de procesos y pasos que al seguirlos correctamente garantizan un cierto comportamiento, además de permitir la interoperabilidad y acoplamiento entre otras instancias que los implementen.

Tomando en cuenta que uno de los objetivos principales de una IDE es la buena comunicación entre sus componentes y la integración con otras IDE, debe ser claro que es de suma importancia el uso de estándares.

Para el proyecto de GEOPEN, se tomaron en cuenta aquellos definidos por el consorcio *Open Geospatial Consortium* (OGC)[21] y el comité *Federal Geographic Data Committee* (FGDC)[26], debido principalmente a recomendaciones internas del proyecto y a que actualmente son utilizados por otras IDE. Aunque entre estas organizaciones se definen un

buen número de estándares, mencionaremos a continuación solamente aquellos que fueron considerados para el proyecto.

3.4.1. Open Geospatial Consortium (OGC)

El OGC es una organización internacional sin fines de lucro que se dedica a la creación de estándares abiertos e interoperables para servicios *Web* de índole geográfico. Entre sus estándares más destacados se encuentran los siguientes:

- *Geography Markup Language (GML)*[22]: es un lenguaje basado en XML que sirve para modelar sistemas geográficos, también se utiliza como un formato de intercambio abierto para las transacciones geográficas en Internet. Como con la mayoría de las gramáticas basadas en XML, éste se encuentra compuesto de dos elementos principales: el esquema que describe la forma del documento y el documento mismo.

El documento contiene los datos o metadatos geográficos que se quieren modelar y debe apegarse estrictamente al esquema definido. De esta forma se garantiza que la información guarde un formato uniforme y fácilmente procesable por las computadoras, con lo cual se provee un marco de trabajo abierto que permite a las aplicaciones geográficas transportar, crear, almacenar y compartir información geográfica.

- *Web Map Service (WMS)*[23]: es un servicio que construye imágenes geográficamente referenciadas de manera dinámica, dependiendo de la petición que se le haya hecho. Este estándar describe la manera en que se usa la información geográfica contenida en el acervo de datos para crear un mapa digital. Hay que tener en cuenta que el mapa no es el dato en si, sino que es sólo una representación de entre muchas posibles de los datos del acervo.

Los mapas generados en WMS suelen almacenarse como imágenes PNG[27], GIF[29], JPEG[28], o bien en formatos basados en vectores como SVG[30], etc.

El estándar define las siguientes operaciones básicas:

1. Regresar los metadatos del servicio WMS de tal forma que se puedan conocer sus capacidades, como por ejemplo: obtener información sobre los datos que tiene el acervo, la manera de pedirlos, la simbología que utilizan, etc.
 2. Regresar un mapa como imagen con ciertas características previamente solicitadas por el usuario.
 3. Regresar información sobre rasgos específicos en un mapa. Por ejemplo, en el mapa de países del mundo es posible seleccionar un país y obtener la información relacionada como el nombre del país, el nombre de la capital, la localización de la capital, etc.
- *Catalogue Service Web (CSW)*[24]: es un servicio que organiza los metadatos y proporciona herramientas para crear y gestionar catálogos de éstos, los cuales pueden ser explorados y consultados por usuarios finales u otras aplicaciones.

- *Web Feature Service* (WFS)[25]: este servicio regresa información geoespacial, de manera similar a como lo hace WMS, pero con la diferencia de que en vez de proporcionarla a través de mapas lo hace por medio del formato GML, que puede ser utilizado y procesado por otras aplicaciones para construir funcionalidades más complejas.

Un servicio de WFS soporta las operaciones de inserción, actualización, borrado, búsqueda y descubrimiento de rasgos geográficos por medio de HTTP[31], siguiendo la filosofía RESTful[48], la cual es considerada como una de las mejores en el diseño de sistemas *Web*.

3.4.2. Federal Geographic Data Committee (FGDC)

La FGDC tiene como uno de sus objetivos principales la diseminación de la información geográfica, y es por ello que crea estándares que lo faciliten. El estándar propuesto para metadatos se basa también en XML, y es uno de los más usados por ser abierto y gratuito. Contiene los siguientes campos:

1. **Identificación:** el contenido de esta sección describe quién es el responsable del conjunto de datos, la fecha de su publicación, el título, la referencia o liga al dato, un resumen general del contenido, el estado (si está terminado o no), palabras clave y autores.
2. **Calidad:** aquí se describen con mayor detalle algunas de las cualidades de los datos, tales como la precisión que tienen, cuáles fueron las pruebas que se efectuaron para verificar dicha precisión, qué tan completos están (es decir, si por algún motivo se omitieron algunos datos del conjunto y cuál fue la razón para quitarlos), la exactitud de la posición geográfica asignada (por ejemplo, cuál es el margen de error para la localización que se le dió al conjunto de datos), qué procesos se utilizaron para su obtención y el nombre del responsable de esto.
3. **Organización espacial de los datos:** esta sección describe qué tipo de representación se usó para los datos: líneas, polígonos, etc.
4. **Referencia espacial:** aquí se describe qué sistema de coordenadas horizontales se ocuparon: longitud/latitud, Mercator[21], UTM[21], etc.
5. **Entidades y atributos:** esta sección es una descripción detallada del significado de cada atributo, por ejemplo en el mapa de los puertos pesqueros, por cada puerto se podrían tener los siguientes atributos: identificador único (ID), nombre del puerto, nombre del estado, municipio y localidad al que pertenecen, etc.
6. **Información sobre la distribución:** esta sección establece los permisos de distribución de los datos, así como quién es el responsable de su especificación.
7. **Referencia de los metadatos:** finalmente se guarda la información del metadato, fecha de creación del metadato y nombre del responsable del mismo, versión y nombre del estándar que se ocupó para la creación de metadatos, limitación de uso y acceso al mismo.

3.5. Servicios provistos por GEOPEN

Una vez establecidos los estándares y protocolos que se usarán dentro de la IDE, se requiere la puesta en marcha de servicios que los implementen, para lo cual se estudiaron las posibilidades de partir desde cero o bien recurrir a tecnologías de software libre que ya cuenten con ellos.

Dada la situación del proyecto, en el cual la propuesta y el desarrollo de una arquitectura basada en una IDE era de gran prioridad, pues serviría como ejemplo y base para las otras unidades de SIBA, se decidió seleccionar tecnologías ya desarrolladas que cumplieran con una buena implementación de los estándares WMS, WFS, etc., pues esto agilizaría la creación de la IDE y permitiría al resto de las unidades integrarse a la Red Geos.

De entre los candidatos estudiados, se seleccionaron dos herramientas principales, GEOSERVER[32] y GEONETWORK[34], por poseer las características apropiadas para la tarea, de éstos hablaremos a continuación.

3.5.1. GEOSERVER

GEOSERVER es un servidor escrito en Java, creado bajo la filosofía del software libre, que permite compartir y editar datos geográficos. Su diseño se hizo tomando como base estándares abiertos como los propuestos por la OGC e implementa WMS, WFS y WCS. Por medio de WMS puede crear mapas en una gran variedad de formatos (JPEG, GIF, PNG, PDF, etc.) y con WFS permite compartir y editar los datos. Este software usa la interfaz de programación de aplicaciones GEOTOOLS[33] que provee bibliotecas para el manejo y representación interna de datos espaciales.

GEOSERVER es una aplicación versátil que permite conectarse con diferentes tipos de arquitecturas. Por ejemplo, soporta la comunicación con las aplicaciones ESRI[7], varios sistemas manejadores de bases de datos, archivos en formato *Shapefile*, etc. También puede mostrar datos en aplicaciones de mapas populares como GOOGLE MAPS[45], YAHOO MAPS[46] o MICROSOFT VIRTUAL EARTH[47].

3.5.2. GEONETWORK

GEONETWORK es un desarrollo de software libre que implementa estándares para el manejo de metadatos y servicios de catálogo. Provee herramientas poderosas para la edición, validación y búsqueda de metadatos.

3.6. Otras tecnologías empleadas por GEOPEN

Los conceptos que hemos presentado hasta ahora forman el eje central sobre el cual se construyó GEOPEN y representan las ideas más importantes que distinguen al proyecto. Sin embargo, alrededor de todo esto existe un conjunto de tecnologías de apoyo que es importante mencionar, pues también son fundamentales para la creación del sistema. A continuación las mencionaremos brevemente, aunque cabe mencionar que no son parte del objetivo principal de este trabajo. Fueron seleccionadas por ser tecnologías probadas,

versátiles, gratuitas, de fácil manejo y todas con una comunidad activa de desarrolladores, lo que garantiza su existencia y soporte por largo tiempo. Entre todas forman un ambiente sobre el cual GEOSERVER y GEONETWORK pueden llevar a cabo sus funciones, y de esta manera implementar la IDE.

3.6.1. LINUX

El sistema operativo de una máquina se encarga de administrar los recursos de ésta, de manera que los usuarios que la utilizan puedan aprovecharlos al máximo. También coordina la manera en que se ejecutan los programas y aplicaciones, proporcionando un ambiente de trabajo de alto nivel (es decir, los programas no tienen que interactuar directamente con el hardware, sino que lo hacen a través del sistema operativo). Una diferencia importante entre los sistemas operativos es el tipo de máquina para el que están pensados, ya que no es lo mismo uno que sea para computadoras de uso personal que uno para una computadora servidor, pues el primer tipo por lo general incluye herramientas de oficina, juegos, editores de texto o imagen, reproductores multimedia, etc., mientras que el segundo tipo contiene principalmente aplicaciones administrativas, como manejadores de bitácoras, administradores de bases de datos, contenedores de otras aplicaciones, etc.

Hay una amplia gama de sistemas operativos que se podrían usar para dar soporte a las herramientas requeridas por GEOPEN, por lo que para elegir uno hay que tomar en cuenta las características específicas del proyecto, principalmente el bajo costo y el uso de software libre.

LINUX[35] es un sistema operativo con excelentes cualidades para una máquina servidor, en particular la distribución DEBIAN[36], la cual se caracteriza por ser más robusta que otras y de fácil administración, por lo que fue la distribución seleccionada. Algunos otros de sus beneficios son que es gratuito, ampliamente soportado y es compatible con las herramientas y tecnologías que requiere GEOPEN.

3.6.2. POSTGRES y POSTGIS

Todos los sistemas de cómputo procesan información. Cuando ésta es muy numerosa es conveniente organizarla, para lo cual se utilizan sistemas manejadores de bases de datos que la estructuran e indexan, generando grandes beneficios en términos de velocidad y conveniencia de acceso. Específicamente, nos interesan aquellos manejadores que sean capaces de gestionar información geográfica en formato vectorial, de tal manera que se puedan llevar a cabo operaciones como combinar polígonos, buscar datos cerca de un punto, cambiar las proyecciones de los datos, entre otras.

POSTGRES[38] es un sistema manejador de bases de datos relacional, desarrollado bajo la filosofía del software libre. Posee un conjunto de instrucciones y rutinas a través de los cuales se puede manipular, almacenar y gestionar la información contenida en una base de datos. Al juntarlo con POSTGIS[39], la cual es una extensión de POSTGRES que agrega soporte para objetos geográficos a las bases de datos, se obtiene soporte de operaciones para hacer transacciones de índole geográfico como las mencionadas anteriormente. Ambas herramientas son gratuitas, robustas y compatibles con GEOSERVER y GEONETWORK, por

lo que resultan adecuadas para el proyecto.

3.6.3. VMWARE ESXI

La virtualización es la organización de los recursos de una computadora en múltiples ambientes de ejecución para que se puedan manejar diferentes sistemas operativos al mismo tiempo sobre los mismos recursos sin que se afecten mutuamente. En otras palabras, cuando se ejecuta en un ambiente virtualizado, da la impresión de que se tiene un sistema operativo huésped “dentro” de otro sistema operativo anfitrión. Este último simula, entre otras cosas, la ejecución de las operaciones del procesador de la máquina, de forma que el sistema huésped (también conocido como máquina virtual) puede existir de forma aislada como si tuviera todos los recursos a su disposición. Este aislamiento permite ejecutar distintos ambientes en una misma máquina sin que se entorpezcan mutuamente, y las máquinas virtuales se pueden distribuir como archivos, lo cual es útil para aliviar los tiempos de instalación y configuración en otras máquinas.

VMWARE ESXI[49] es un sistema operativo que permite de manera sencilla comenzar a practicar la virtualización. Soporta la ejecución de múltiples sistemas operativos al mismo tiempo en un mismo servidor. El desarrollo de esta tecnología está basado en LINUX, por lo que puede ser administrado remotamente por medio de una terminal. Además cuenta con un cliente administrador en el que es posible gestionar los recursos, crear, eliminar y editar máquinas virtuales a través de Internet.

VMWARE es un excelente candidato para ser instalado en las unidades del proyecto SIBA, ya que UNIGEO puede proveer las máquinas virtuales configuradas con la implementación de la IDE y poner en línea de manera casi inmediata sus datos georeferenciados, con un mínimo de esfuerzo de configuración de su parte.

Capítulo 4

Implementación de GEOPEN

En este capítulo discutiremos la manera en que está conformado GEOPEN. Analizaremos cada una de sus partes, así como el papel que juegan dentro del sistema y veremos algunos de los puntos más importantes sobre la puesta en marcha del mismo. Cada pieza tiene un papel específico y todas son necesarias para tener una implementación completa de GEOPEN.

Por último mostraremos uno de los servicios creados en UNIGEO que trabajan sobre la IDE para ejemplificar la manera en que se puede utilizar para alcanzar los objetivos del proyecto SIBA.

4.1. Arquitectura de GEOPEN

El diagrama que aparece en la Figura 4.1 contiene los componentes funcionales principales de GEOPEN y muestra la forma en que interactúan y se conectan entre sí. Esta estructuración del sistema es el resultado del análisis que se hizo con base en los requerimientos de los que hemos hablado en capítulos anteriores. Todos los componentes funcionales tienen en común que son tecnologías de bajo costo con amplio respaldo profesional, apegadas a estándares probados que garantizan su estabilidad dentro de la IDE.

Además de aquellos mostrados en el diagrama, también existen otros componentes de soporte para esta arquitectura, empezando por el sistema operativo, los lenguajes de programación, servidores de aplicaciones, el hardware, etc., de los cuales hablaremos un poco más a fondo en la siguiente sección.

4.2. Tecnologías empleadas

En el capítulo anterior se han descrito las tecnologías principales utilizadas en el desarrollo de este proyecto. Aquí mencionaremos las razones por las que se eligieron y la manera como se relacionan en el ambiente específico de GEOPEN.

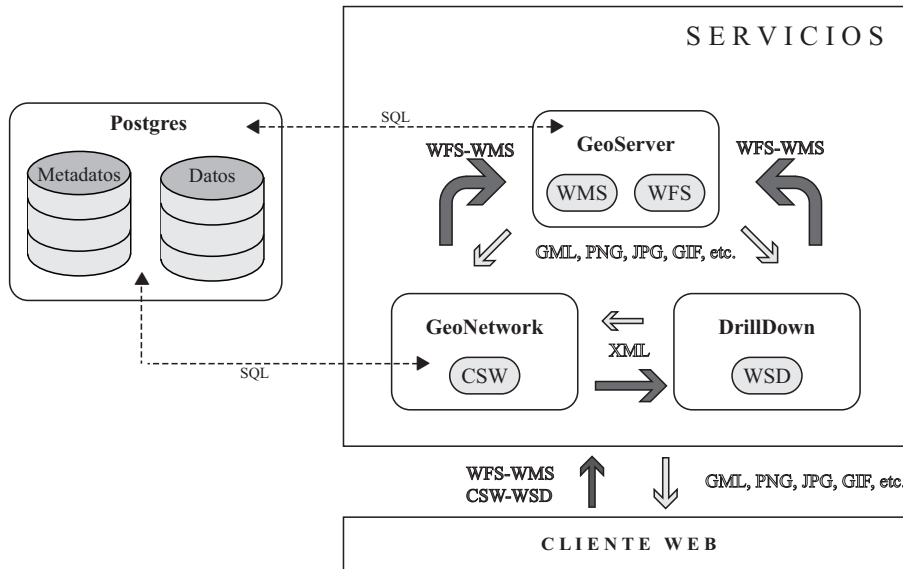


Figura 4.1: Arquitectura de GEOPEN

4.2.1. Software

GEOPEN depende fuertemente de las capacidades de dos componentes fundamentales del sistema: GEOSERVER y GEONETWORK. Ambas tecnologías fueron elegidas de entre las opciones de código abierto por tener implementaciones correctas de los estándares más importantes que se utilizan en el intercambio de mapas y análisis geoespacial, WMS y WFS.

Tanto GEOSERVER como GEONETWORK tienen a su vez dependencias específicas con otras tecnologías para su funcionamiento. Por ejemplo, ambas son aplicaciones desarrolladas en el lenguaje de programación JAVA, por lo que a su vez requieren de un servidor de aplicaciones que cumpla con las especificaciones de dicho lenguaje y de bajo costo, como lo es GLASSFISH[41], el cual fue elegido por varias razones, entre ellas su integración simple con otros ambientes de trabajo, las facilidades de configuración que provee (como el sistema por Internet para administrarlo) y además la familiaridad que tienen con esta tecnología varios de los desarrolladores de la UNIGEO.

De entre los sistemas de bases de datos con los que GEONETWORK y GEOSERVER pueden interactuar, se eligió POSTGRES por ser una opción robusta, gratuita y con amplio soporte, además de contar con bibliotecas que ayudan a la gestión de datos geográficos como POSTGIS, con lo cual se convierte en un sistema que soporta bases de datos geográficas.

Estos componentes forman el núcleo de GEOPEN y proporcionan los cimientos sobre los que se pueden construir otros servicios o aplicaciones.

Los sistemas mencionados anteriormente han probado su valor a lo largo del tiempo, así como la capacidad que tienen para comunicarse e interoperar correctamente.

GEOSERVER y GEONETWORK se ejecutan sobre GLASSFISH y se pueden coordinar a través de WMS, WFS y GML; al requerir información éstos pueden acceder a la base de

datos en POSTGRES e interactuar directamente sobre los datos utilizando POSTGIS; por otro lado POSTGRES se encarga de mantener la integridad y seguridad de la información, mientras que GLASSFISH administra los recursos de la máquina para que se aprovechen de la mejor manera posible; los servicios de GEOSERVER y GEONETWORK conforman la primera interfaz con los usuarios y a su vez proporcionan los elementos necesarios para construir la funcionalidad que se requiera en la IDE.

4.2.2. Hardware y sistema operativo

Las características de la máquina sobre la cual se levantaron los servicios de GEOPEN son las siguientes: Servidor Dell Poweredge 2900, con dos procesadores de secuencia de cuatro núcleos Intel Xeon 5300 con 2,66 GHz, 8GB de memoria RAM, 900 GB de disco duro SATA.

Se trata de una máquina relativamente poderosa, debido a que el procesamiento de la información geográfica podría ser pesado, por lo que es necesario se responda en un tiempo aceptable dentro de un ambiente de alta demanda, tal y como se espera en el Instituto de Geografía.¹ Las herramientas para montar GEOPEN en una computadora son nobles y no exigen una gran capacidad de cómputo; sin embargo, el procesamiento de información geográfica para capas de datos muy grandes puede requerir muchos recursos, por lo que depende del tipo de información geográfica que se va a procesar.

El sistema operativo instalado en el servidor fue VMWARE ESXI 3.5 por las siguientes razones:

- Económicas: gracias al poder de virtualización es posible crear más de una máquina con las mismas características y así contar con un servidor de pruebas, un servidor de desarrollo y un servidor de producción usando el mismo hardware. Esto es particularmente útil al inicio y permite mover eventualmente las máquinas de pruebas y desarrollo a otros servidores cuando la demanda de servicios así lo amerite.
- Respaldos fáciles: debido a que las máquinas virtuales no son más que archivos que VMWARE ESXI puede interpretar y emularlos como discos, los respaldos de máquinas enteras son muy sencillos y son posibles con sólo crear una copia de los archivos que las comprenden.
- Acceso fácil: el acceso a los servicios que proporciona el sistema operativo es por medio de un cliente *Web*, el cual permite crear, eliminar, editar y utilizar las máquinas virtuales.

Actualmente el servidor anfitrión de GEOPEN contiene tres máquinas virtuales: pruebas, desarrollo y producción. Todas son copias exactas de la máquina de producción. A su vez, cada una tiene instalado el sistema operativo LINUX DEBIAN, que fue seleccionado porque además de ser un desarrollo de software libre, es una distribución que tiene estándares muy estrictos en el control de calidad de los programas que incluye, lo cual proporciona un ambiente con mucha estabilidad.[37]

¹Sin embargo, si otra unidad de SIBA que busque implementar GEOPEN tiene requerimientos menores puede tener un equipo menos sofisticado y más económico. Esto deberá analizarse en cada caso para ajustar las características del equipo de cómputo.

4.3. Lanzamiento y configuración de GEOPEN

La siguiente no es una guía de instalación, sino una muestra de las configuraciones que se deben realizar, así como las situaciones contempladas para poner en producción la IDE en una máquina servidor. Todos los casos aquí descritos fueron resueltos para el Instituto de Geografía, y los detalles para otras Unidades Informáticas de SIBA serán ligeramente distintos, dependiendo de factores como el conjunto de hardware y esquemas de red que utilicen, así como la forma en que hayan sido almacenados los datos.

El primer paso es instalar el sistema operativo DEBIAN en la máquina que atenderá las peticiones de servicio a la IDE, para lo cual basta con una instalación estándar del mismo. Sobre esta base deben instalarse POSTGRES con POSTGIS, JAVA, GLASSFISH, GEOSERVER y GEONETWORK, para después crear las configuraciones pertinentes entre ellos con el fin de que funcionen de manera cooperativa. Paralelamente se deben preparar e incorporar los acervos de información a la base de datos geográfica.

Para no tener problema con las dependencias entre estos sistemas, lo ideal es proceder instalando primero POSTGRES, tras lo cual ya puede comenzarse con la carga de la información en la base de datos. Mientras tanto se podría instalar JAVA, seguido de GLASSFISH, con lo cual sería entonces posible proceder con la instalación de GEOSERVER y GEONETWORK.

No incluiremos los detalles de instalación de estos sistemas, pues sería preferible seguir los manuales oficiales escritos para este propósito. Sin embargo a continuación ejemplificaremos algunos de los aspectos relativos al uso de información geográfica y el tipo de configuraciones que se deberán hacer para terminar de interconectar los componentes de la IDE.

4.3.1. Base de datos

Para poder introducir la información geográfica a la base de datos es necesario procesarla, ya que puede venir de medios impresos como mapas o listados, o bien estar contenida en otros registros digitales que no cumplan con el formato establecido. El primer paso es convertirla en formato *Shapefile*, el cual es un proceso que depende de la manera en que se encuentren originalmente los datos, por lo que es recomendable que sea llevado a cabo por personal con el conocimiento de geografía adecuado para manipularlos correctamente.

Al tener todo digitalmente en formato *Shapefile*, es posible migrarlo a una base de datos georeferenciada. Este proceso utiliza el archivo principal, que es el que contiene los rasgos del mapa y la tabla de datos con los atributos de cada uno; consiste en transformar la información y organizarla utilizando herramientas que automatizan ciertas tareas, por ejemplo la conversión de datos vectoriales a una representación más adecuada para ser almacenada en la base de datos.

Como se muestra, en el Cuadro 4.1 aparecen los datos de los aeropuertos de la República Mexicana en formato *Shapefile* después de haber sido convertidos y almacenados en una tabla de la base de datos. En este mapa cada aeropuerto es representado con un punto, donde la geometría del punto está codificada en la columna `the_geom`. En la tabla cada renglón corresponde con un rasgo (un aeropuerto), también se puede observar que existen otras columnas con información auxiliar para identificar cada objeto unívocamente, como la columna `id`, y para catalogarlo en colecciones, como la columna `tipo` que especifica el tipo

de aeropuerto del que se trata (nacional o internacional).

id	tipo	the_geom
1	Internacional	01010000008802FED1103E5DC0D05B26D844454040
2	Internacional	0101000000C0EAA5597BCF5CC01D7B6019AF504040
3	Internacional	010100000065A0962980C35BC079FC6ABF8E173D40
4	Internacional	0101000000A064A1C959D65BC09584191E02FF3940
5	Internacional	0101000000677F225B40455BC01B8161748DAF3940
6	Internacional	0101000000DFD9F99C54755BC0E770B14C8E643B40
7	Internacional	0101000000983B57D01DBB5BC0381A160122F83B40
8	Internacional	01010000002475BCBB33975BC058DFE0FEC6123840
9	Internacional	01010000003688EDCD03E59C04C345CBE0D553D40
10	Internacional	01010000004CEB3FDCD03E59C02997AD550E553D40
11	Internacional	0101000000DD9F4EF6E47D5AC0E15335FE05B43C40
12	Internacional	01010000009E1B3A03C59B5AC0F6F4D89937A23F40
13	Internacional	0101000000744D3EE8FDD959C06BD0751B5C903940
14	Internacional	010100000054F55806C6215AC079DFFE2D28203840
15	Internacional	01010000001D555F3FA88E58C01098CC97C9023A40
16	Internacional	010100000091A4F05FA00F59C07BEE5366BBDE3940
17	Internacional	010100000036C8AFF7090759C0E4B36F4B21CA3940
18	Internacional	01010000003E6FE4FF06158C0CA6DB81110C53940
19	Internacional	01010000001E884317A83B59C06AAEE439C98B3940
20	Internacional	0101000000B19A1705B8E458C0BF32D53EA7733B40
21	Internacional	01010000009C72F3E8565E59C0155B69C1D4F43A40
...
73	Nacional	01010000004FEFC0864A3457C00640A3BC3FFF3140
74	Nacional	0101000000272BDB6B35F356C00373FAB713A73240
75	Nacional	0101000000187A043713DA56C03DC65696C8763140
76	Nacional	01010000002FAC94D024A557C05064DB528D1A3240
77	Nacional	0101000000F1AA5A135B5657C07FF1BF6E59C53040
78	Nacional	010100000001C2B5C20E4B57C07D85B96D73BD3040
79	Nacional	01010000007351EAE0E1F655C0469333F89A443240

Cuadro 4.1: Ejemplo de información georeferenciada.

Obsérvese que cuando se hace el cambio de formato de *Shapefile*, el conjunto de rasgos termina convertido en una tabla donde cada renglón es un rasgo en un mapa. De esta manera se obtiene una base de datos georeferenciada no relacional, donde cada tabla de la base es una capa independiente de las demás.

Cuando se tiene una base de datos no relacional, suponer que hay relaciones entre las tablas se vuelve un poco más arriesgado, pues se eliminan algunas de las medidas que el sistema manejador de bases de datos toma para mejorar la seguridad y confiabilidad de la información, lo cual agrega un nivel de complejidad extra al uso de la base de datos, tanto para consultarla como para modificarla. Sin embargo, para una base de datos geográfica las relaciones entre los rasgos no siempre son claras u obvias, y por lo general dependen mucho del propósito para el cual se use, por lo que para una primera versión carecerá de relaciones

y se manejará de una manera “plana”.

Actualmente, la base del Instituto de Geografía cuenta con las capas a nivel nacional que se muestran en el cuadro 4.2.

Acueducto	Fallas y fracturas	Rasgo arqueológico
Aeropuerto	Faros	Regiones ecológicas
Áreas naturales protegidas	Hidrología	Rocas
Batimetría	Humedad suelo	Salinas
Canal	Lineas de transmisión	Suelos
Canícula	Localidades rurales	Sistema de topo formas
Carretera	Localidades urbanas	Suelos
Ciudades	Minas y otras ubicaciones geológicas	Temperatura media anual
Conductos	Municipios	Unidades climáticas
Corrientes aguas	Plantas generadoras	Uso de suelo y vegetación
Entrada a grutas	Polurbanos	Vegetación densa
Estaciones climáticas	Precipitación media anual	Vías ferreas
Estaciones hidrológicas	Presa	Zonas arenosa
Estados	Provincias fisiográficas	Zonas de fango
Evapotranspiracion	Puente	

Cuadro 4.2: Listado de capas de nivel nacional

De manera similar, los metadatos fueron preparados y procesados por expertos en materia geográfica. Su integración a la base de datos se realizó por medio de herramientas de GEONETWORK, lo cual tiene la ventaja de no requerir un preprocesamiento de validación, debido a que dichas herramientas ya cuentan con validadores propios. En la Figura 4.2 se muestra la forma de GEONETWORK utilizada para capturar los metadatos de las capas, en donde se aprecian varios de los campos requeridos por el estándar de metadatos de la FGDC, en particular las secciones de identificación del dato y referencia de los metadatos, que incluyen campos importantes como el resumen que describe el dato, su propósito, la frecuencia con que se actualiza, sus coordenadas, las palabras clave que tiene asociadas, etc.

4.3.2. Lanzamiento y configuración de los servicios de GEOPEN

Para poner a disposición del público la información de la base de datos a través de los servicios de GEOSERVER y GEONETWORK es necesario realizar algunas configuraciones, este proceso se describe a continuación:

GEOSERVER. Ya instalado el sistema hay que configurar los datos en el servidor de la siguiente manera:

- Dar de alta la base de datos geográfica con las capas de nivel nacional.
- Configurar las capas una a una por medio de la página Internet provista por el servicio.
- Asociar los metadatos con sus datos correspondientes.

The screenshot shows the GeOPEN metadata capture interface. At the top, there is a header with the UNIGEO logo and the text 'UNIDAD DE INFORMÁTICA GEOSPACIAL'. Below the header is a navigation bar with links: Inicio, Administrador, Contáctenos, Enlaces, Acerca de, Ayuda. On the right side of the navigation bar, it shows 'Usuario : admin admin' and a 'Cerrar sesión' button. Below the navigation bar, there is a sidebar with options: Vista predefinida, Vista en bloques, and Arbol XML. The main form area contains several sections for metadata capture:

- Información de identificación:**
 - Información sobre la Cita:
 - Fuente o responsable
 - Fecha de la publicación
 - Título: Template for FGDC
 - Lugar de la publicación
 - Editor
- Resumen:** A large text area for the summary.
- Propósito:** A text area for the purpose.
- Período de tiempo del contenido:**
 - Fecha de comienzo
 - Fecha de finalización
 - Actualidad de la referencia
- Estado:**
 - Progreso: A dropdown menu.
 - Frecuencia de mantenimiento y actualización
- Coordenadas de la envolvente:**
 - Coordenada Este de la envolvente
 - Coordenadas Este de la envolvente
 - Coordenada Norte de la envolvente
 - Coordenada Sur de la envolvente
- Palabras clave:**
 - Tema
 - Tesoro de las palabras clave del tema
 - Palabras clave de Tema
- Restricciones de acceso:** A text area.
- Restricciones de Uso:** A text area.
- Información de referencia de los metadatos:**
 - Fecha del metadato
 - Contacto de los Metadatos:
 - Pesona de contacto
 - Tipo de dirección
 - Ciudad
 - Comunidad o provincia

At the top of the form area, there are buttons: Vaciar, Salvar, Salvar y Cerrar, Salvar y comprobar, and Cancelar.

Figura 4.2: Forma para captura de metadatos para el estándar FGDC

- Dar de alta las capas para su publicación.

Una vez dados de alta tanto la base de datos geográfica como los servicios de datos en GEOSERVER, éste quedará listo para dar servicio tanto de WMS como WFS.

GEONETWORK. Al terminar la instalación de este sistema, es necesario realizar ciertas configuraciones de la siguiente manera:

- Dar de alta la base de datos de metadatos de las capas de nivel nacional.
- Asociar los datos con sus metadatos correspondientes por medio de la página de Internet provista por el servicio.

Ya hemos hablado de los metadatos de datos, pero cabe aclarar que los metadatos de servicios se pueden crear también a través de una interfaz *Web* proporcionada por el sistema, llenando similarmente la información necesaria para describirlos.

Una vez asociados los metadatos con sus datos y servicios y hechas la configuraciones requeridas, GEONETWORK se encontrará listo para dar servicio de catálogo.

4.3.3. Clientes

Tanto GEOSERVER como GEONETWORK cuentan con clientes ya integrados que de manera independiente uno de otro permiten la consulta de cada uno de sus servicios. En el siguiente capítulo describiremos la manera en que se puede implementar y poner en producción un cliente que conjunte las funcionalidades de ambos sistemas, con el objetivo de que trabajen de manera coordinada.

4.4. Servicios propuestos por UNIGEO - DRILLDOWN

El servicio de DRILLDOWN[44] se puede utilizar junto con la IDE, para realizar consultas más complejas sobre la información de la base de datos.² Está basado fuertemente en los estándares WMS y WFS, fue creado y diseñado para obtener recursos del acervo, haciendo la siguiente pregunta:

¿Qué rasgos hay contenidos en el cuadrado que se forma dado un punto (piénsese como el centro del cuadrado) y una distancia (la que existe entre el centro y el lado del cuadrado)?

Esta consulta utiliza principalmente el servicio de WFS y aunque se puede realizar directamente sobre GEOSERVER, se decidió crear el servicio de DRILLDOWN por tratarse de una operación muy común y útil para futuras aplicaciones.

Considérese por ejemplo que el Instituto de Biología cuenta con colecciones de especies que no tienen una referencia espacial clara, es decir no tienen asignadas unas coordenadas (X, Y) en el plano; en vez de eso se tiene una descripción del lugar donde fue recolectado el o los especímenes en cuestión. La descripción podría ser algo como: “en un cerro a 500 metros al este de la localidad Jesús María”. Ahora bien, para ayudar a hacer el análisis para asignar una posición aproximada en el plano, se puede hacer la siguiente pregunta:

²Lo usaremos como ejemplo para cerrar la discusión sobre la IDE y su implementación.

¿Qué rasgos se intersectan con el cuadrado formado cuando se toma como punto central las coordenadas de la localidad Jesús María y un radio de 500m?

La cual es justamente el tipo de pregunta que el servicio de DRILLDOWN puede atender, obteniendo un recorte de las capas pertinentes en la base de datos. De esta manera la persona que utiliza el servicio podría darse una idea de qué ubicación asignarle al espécimen.

UNIGEO
Unidad de Informática Geoespacial

Inicio Mapas Registro Login Contacto

GEO DRILL DOWN

usando un punto y un radio
 punto y radio
 latitud (grados decimales):
 longitud (grados decimales):
 radio: m
 usando un "bounding box"
 bounding box
 bbox(min-x,min-y,max-x,max-y)
 formato:
 rasgos a consultar:
 ancho de la imagen: alto de la imagen:
 Realizar consulta Incluir metadatos:

Figura 4.3: Pequeño cliente para el servicio de DRILLDOWN

En la Figura 4.3 se aprecia un cliente de Internet que utiliza el servicio de DRILLDOWN. Consiste de una forma en la que se deben introducir los datos para la consulta que mencionamos anteriormente o también se pueden introducir las coordenadas de las esquinas de un rectángulo específico. Adicionalmente este cliente permite especificar el formato deseado para la imagen pedida.

Capítulo 5

Explorador y Visualizador de Acervos

Un par de meses después de que la UNIGEO liberara los servicios de GEOPEN y lo pusiera a disposición de la comunidad SIBA, se observó que la demanda para consultar la información era casi nula, debido a la poca experiencia de los usuarios con los estándares WMS, WFS y CSW.

La curva de aprendizaje para realizar consultas y entender las respuestas de estos servicios no es trivial, pues muchas veces se necesita tener conocimiento de XML (el formato más comunmente usado para representar la información), así como del significado de los conceptos con los que se describe la información geográfica de forma tal que ésta pueda ser interpretada correctamente, en otras palabras, no quedaba claro cómo se podían usar los servicios, ni qué se obtenía de ellos.

Debido a dichas observaciones se tomó la decisión de crear un cliente *Web* que permitiera la visualización y exploración de acervos geográficos (Explorador y Visualizador de Acervos, EVA) el cual presentará una cara amistosa (*user friendly*) a los usuarios que deseen realizar consultas a los servicios de GEOPEN. Cabe aclarar que un cliente no sustituye a los servicios de la IDE, sino que es una ayuda para facilitar la interacción con el usuario.

El presente capítulo describe los requerimientos de dicho cliente, así como los lineamientos de diseño seguidos en su implementación. La mayoría de las habilidades del cliente provienen del uso inteligente de los servicios de GEOPEN y la interpretación automática de los resultados, por lo que también describiremos a mayor detalle varios de estos servicios, incluyendo la manera en que se utilizan y el tipo de información que regresan.

5.1. Requerimientos del sistema

El requisito fundamental de EVA es el de permitir conjuntar de manera visual los servicios, datos y metadatos contenidos en GEOPEN, con el fin de que el usuario final (investigadores u otras instancias de SIBA) pueda explorar los acervos proporcionados por la UNIGEO de una manera intuitiva y relativamente sencilla de entender.

La idea central es la de tener un mapa navegable de la República Mexicana sobre el que se puedan hacer consultas o refinamientos. Este mapa está compuesto por un conjunto de capas visibles, consideradas como activas, tomadas de entre todas las que estén disponibles en el acervo, de forma que las consultas y operaciones solo puedan realizarse sobre los rasgos contenidos en las capas seleccionadas.

Específicamente, se quiere que la aplicación cuente con la siguiente funcionalidad:

- Mostrar un listado de las capas del acervo desde el cual se puedan activar o desactivar.
- Visualizar de manera gráfica los datos espaciales de las capas activas.
- Permitir la navegación gráfica de los datos espaciales, con las operaciones de desplazamiento de la imagen y zoom¹.
- Visualizar en texto los metadatos.
- Facilitar la descarga de metadatos.
- Facilitar la descarga de datos en distintos formatos.
- Permitir la consulta puntual sobre las capas activas.
- Mostrar simbología de las capas activas.

Más adelante mostraremos la interfaz de EVA, en donde se podrán apreciar todos estos requerimientos de manera concisa.

5.2. Diseño

Dado que EVA funciona como la cara de GEOPEN, es deseable que sea una aplicación *Web* que inspire confianza y sea fácil de navegar, ligera, intuitiva, etc. Por esta razón se diseñó con el fin de que eliminara detalles oscuros sobre los estándares y la terminología propia del campo, mostrando de manera limpia y organizada sólo la información mínima indispensable que fuera de interés para los usuarios, obteniendo así un panorama más amplio y claro acerca del contenido de los acervos.

La línea seguida para el diseño está basada en una idea principal: **“lo más importante son los datos geográficos, por lo que todo debe girar en torno a ellos”**, ya que tanto el análisis como los estudios en biodiversidad a nivel espacial realizados por la comunidad SIBA se efectúan con las capas de datos geográficos como las curvas de nivel, los estados, las áreas naturales protegidas, etc., por lo que éstos serán el centro de atención del sistema, mientras que los metadatos de datos geográficos serán pasados a un segundo plano de importancia, y los metadatos de servicios serán ignorados completamente, de esta manera EVA se enfocará en mostrar los datos geográficos para facilitar su navegación y exploración.

¹Para fines de este trabajo usaremos la palabra *zoom* como se utiliza en inglés, para denotar el nivel de acercamiento al mapa, es decir, a mayor *zoom*, mayor acercamiento y por lo tanto mayor nivel de detalle.

5.3. Interfaz de EVA

En la Figura 5.1 se observa la interfaz gráfica de EVA y se pueden apreciar los componentes que la conforman. A continuación describiremos brevemente cada uno.

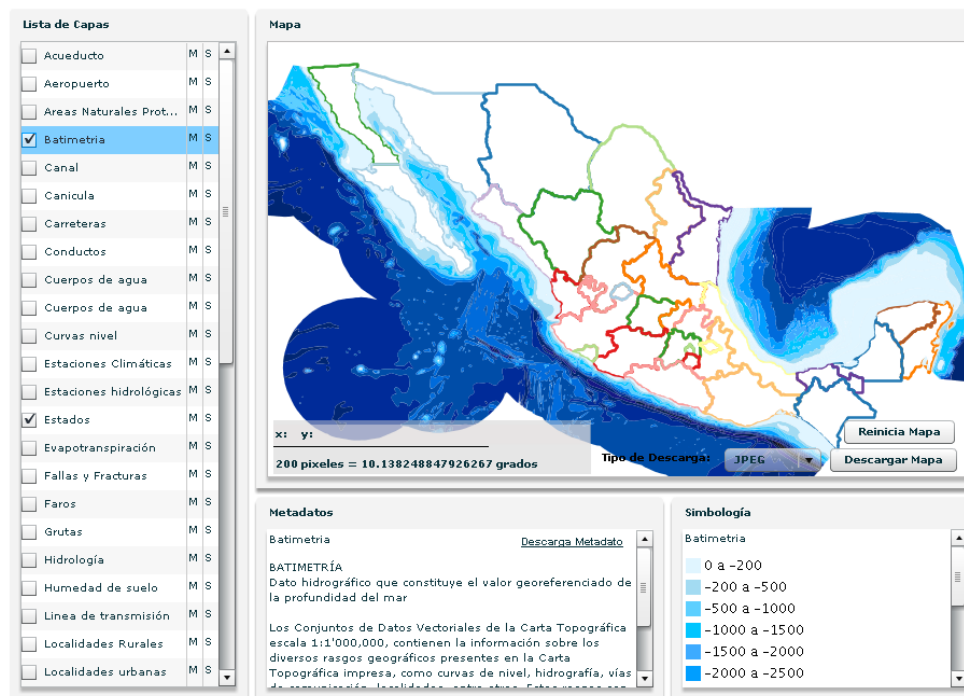


Figura 5.1: Interfaz gráfica de EVA

Lista de capas

Aquí se muestran todos los datos geográficos contenidos en el acervo. Cuando una capa es seleccionada, automáticamente se pinta como imagen (mapa) y se muestra su metadato y simbología en las regiones correspondientes. También es posible utilizar la lista para alterar el orden en el que se muestra la información.

Metadatos

En esta sección se puede ver un resumen del metadato de la última capa que se haya seleccionado y provee una opción para descargarlo como un archivo XML apegado al formato del estándar FGDC. Al mostrar esta información se lleva a cabo la importante tarea de darle valía a los datos.

Simbología

De manera similar al panel de metadatos, en esta sección se muestra la simbología de la última capa seleccionada. Esta información es de gran importancia, pues ayuda a tener una mejor interpretación de los datos que se despliegan en el mapa.

Mapa

Este panel permite visualizar y navegar las capas activas a través de las operaciones de desplazamiento de la imagen y zoom. Cuenta con una barra en la parte inferior izquierda que muestra la ubicación geográfica del punto que se encuentra bajo el cursor al ser deslizado sobre el mapa, tomando como marco de referencia el área visible del mismo. Un poco más abajo aparece otra barra en la cual se representa la escala a la que está pintado el mapa en píxeles/grados.

En la parte inferior derecha se encuentra el botón “Reiniciar Mapa”, el cual al ser presionado regresa el mapa a su posición y zoom originales, en donde se aprecia el total de la República Mexicana y aparecen todos los rasgos contenidos en las capas activas.

Aprovechando la intuición que tienen los usuarios con el uso del ratón, el cursor está programado para permitir ejecutar las siguientes operaciones:

- **Obtener información de un rasgo dado un punto.** Al seleccionar algún punto sobre el mapa se utilizan las coordenadas (x, y) del punto en la pantalla para transformarlas a coordenadas en grados, con lo cual se obtiene un punto en el espacio geográfico que se utiliza para hacer la siguiente consulta: ¿qué rasgos existen en dicho punto en las capas seleccionadas (activas)? El resultado es mostrado en EVA, permitiendo así al usuario explorar el nombre y algunos datos importantes relacionados a los rasgos del mapa.
- **Zoom.** La rueda del ratón arriba o abajo controla el nivel de acercamiento o alejamiento del mapa.
- **Desplazamiento.** Si se presiona el botón del ratón sin soltarlo es posible utilizar el cursor para “arrastrar” el mapa, de forma que se pueda mover en la pantalla para explorarlo.

La interfaz que se obtiene con estos elementos es suficientemente simple e intuitiva para que pueda ser usada por cualquier usuario con el conocimiento geográfico suficiente para entender los conceptos básicos relacionados con mapas y que posea familiaridad con interfaces gráficas de sistemas computacionales. Puede pensarse como un mapa interactivo que despliega la información geográfica del acervo y proporciona herramientas para explorarlo y consultarlo.

5.4. Peticiones a los servicios

Para implementar la funcionalidad de la que hemos hablado hasta ahora es indispensable el uso de los servicios *Web* de GEOSERVER y GEONETWORK, por lo que a continuación explicaremos la manera en que se emplean. EVA realiza consultas de este tipo cotidianamente para obtener la información que necesita.

Los servicios *Web* son puntos de acceso que establece una máquina servidor para que otras computadoras puedan interactuar con ella, para lo cual se necesita que estén conectadas a través de una red, como Internet. La forma más común es implementarlos usando el

protocolo HTTP, el cual combina un conjunto de métodos de acceso (entre los que destacan el método GET y el método POST) y direcciones únicas llamadas URL (del inglés *Uniform Resource Locator*) que pueden representar archivos o procedimientos remotos. Cuando el URL representa un archivo, el contenido del mismo es devuelto a la máquina que haya hecho la petición y dado que el contenido del archivo por lo general no cambia, a este tipo de acceso se le conoce como *estático*. Por otro lado cuando el objeto representado es un procedimiento remoto, la máquina servidor lo ejecuta y regresa el resultado, por lo que este tipo de acceso es conocido como *dinámico*, ya que el valor devuelto puede variar de una petición a la siguiente. Este último es el tipo implementado por GEOSERVER y GEOPEN para proveer sus servicios geográficos.

Para entender cómo se emplea un URL al hacer una petición, es necesario entender los diferentes elementos que lo componen. En el URL van codificados el nombre del servidor, el puerto de acceso al servicio, la ruta del archivo o procedimiento remoto que se quiere invocar y finalmente un conjunto de parejas nombre-valor que se pueden usar para enviar parámetros al servidor. La sintaxis utilizada es `http://servidor[:puerto]/ruta[?{nombre[=valor]&}*]` y en el Cuadro 5.1 se resume su significado.

servidor	El nombre de la máquina anfitrión.
puerto	El puerto de acceso al servicio (si se omite por defecto es 80).
ruta	La ruta del servicio.
?	Separador que indica el inicio de la cadena parámetros.
name	Nombre del parámetro.
value	Valor del parámetro.

Cuadro 5.1: Componentes de un URL

Se pueden especificar varias parejas de parámetros, separando cada pareja con el símbolo `&`, o bien omitir toda la cadena de parámetros si no se requiere enviar ninguno. Por ejemplo, el URL

`http://132.248.26.13:8080/geoserver/ows?service=WMS&request=GetCapabilities`

hace una petición WMS para obtener la lista de capas del servicio de GEOSERVER y tiene los siguientes elementos:

- servidor: 132.248.26.13
- puerto: 8080
- ruta: geoserver/ows
- parámetros: service=WMS & request=GetCapabilities

5.4.1. Peticiones WMS

En el caso específico de WMS, las peticiones que se pueden hacer son de tres tipos: para obtener la lista de capas contenidas en el acervo, para obtener mapas y para obtener

información sobre los rasgos de las capas. Describiremos a continuación la manera en que se pueden realizar estas peticiones y los distintos parámetros que se deben especificar al servicio.

Obtener la lista de capas. Los parámetros usados en este tipo de petición se muestran en el Cuadro 5.2.

Parámetro	Obligatorio	Descripción
VERSION	NO	Número de versión. Por defecto en GEOSERVER es la 1.1.1.
SEVICE	SI	Tipo de servicio. En este caso debe ser WMS.
REQUEST	SI	Nombre de la petición. En este caso debe ser GetCapabilities .
FORMAT	NO	Formato de entrega. Se usan tipos MIME.
UPDATESEQUENCE	NO	Una cadena usada para actualizar el cache.

Cuadro 5.2: Parámetros usados para pedir la lista de capas.

Como resultado de una consulta del tipo **GetCapabilities**, se puede obtener un documento XML como el siguiente (se ha editado el documento para hacerlo caber en el formato de este trabajo):

```

01 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
02 <!DOCTYPE WMT_MS_Capabilities SYSTEM "http://132.248.26.13:8080/geoserver/schemas/
03 wms/1.1.1/WMS_MS_Capabilities.dtd">
04 <WMT_MS_Capabilities version="1.1.1" updateSequence="95">
05   <Service>
06     <Name>OGC:WMS</Name>
07     <Title>Servicios WMS UNIGEO</Title>
08     <Abstract></Abstract>
09     <KeywordList>
10       <Keyword>WMS</Keyword>
11       <Keyword>UNIGEO</Keyword>
12     </KeywordList>
13     <OnlineResource xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xlink:type="simple"
14       xlink:href="http://132.248.26.13:8080/geoserver/wms"/>
15     <ContactInformation>
16       .
17       .
18     </ContactInformation>
19   </Service>
20   <Capability>
21     <Request>
22       <GetCapabilities>
23         <Format>application/vnd.ogc.wms_xml</Format>
24         +<DCPType>
25       </GetCapabilities>
26       <GetMap>
27         <Format>image/png</Format>
28         <Format>application/pdf</Format>
29         <Format>application/vnd.google-earth.kml</Format>
30       </GetMap>
31     </Request>
32   </Capability>
33 </WMT_MS_Capabilities>

```

```

.
.
29 </GetMap>
30 <GetFeatureInfo>
31   <Format>text/plain</Format>
32   <Format>text/html</Format>
33   <Format>application/vnd.ogc.gml</Format>
34 </GetFeatureInfo>
35 +<DescribeLayer>
36 </Request>
37 <Layer>
38   <Title>Servicios WMS UNIGEO</Title>
39   <SRS>EPSG:WGS84(DD)</SRS>
.
.
.
40 <SRS>EPSG:4326</SRS>
.
.
.
41 <SRS>EPSG:42304</SRS>
42 <LatLonBoundingBox minx="-126.26" miny="6.44" maxx="-66.18" maxy="49.96"/>
43 <Layer queryable="1">
44   <Name>unigeo:Acueducto</Name>
45   <Title>Acueducto</Title>
46   <Abstract>MARCO GEOESTADÍSTICO MUNICIPAL (MGE)
47
48   Marco Geoestadístico Estatal 2000 (MGE2000), es la
49   representación de la división utilizada para referenciar la
50   información del XII Censo General de Población y MARCO
51   GEOESTADÍSTICO MUNICIPAL (MGE) Marco Geoestadístico Estatal
52   2000 (MGE2000), es la representación de la división
53   utilizada para referenciar la información del XII Censo
54   General de Población y Vivienda, 2000 y la graficación
55   impresa del mismo.
56
57   </Abstract>
58   +<KeywordList>
59   <SRS>EPSG:4326</SRS>
60
61   <LatLonBoundingBox minx="-117.12" miny="14.71" maxx="-86.74"
62     maxy="32.66"/>
63   <BoundingBox SRS="EPSG:4326" minx="-117.12" miny="14.71"
64     maxx="-86.748" maxy="32.66"/>
65   <MetadataURL type="FGDC">
66     <Format>text/plain</Format>
67     <OnlineResource xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
68       xlink:type="simple" xlink:href="http://132.248.26.13:8088/geonetwork/
69     srv/es/fgdc.xml?id=467"/>
70   </MetadataURL>
71   <Style>
72     <Name>estados_bn</Name>
73     <Title>A boring default style</Title>
74     <Abstract>A sample style that just prints out a transparent red interior
75     with a red outline</Abstract>

```

```

76     <LegendURL width="20" height="20">
77         <Format>image/png</Format>
78         <OnlineResource xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
79             xlink:type="simple" xlink:href="http://132.248.26.13:8080/geoserver/
80 wms/GetLegendGraphic?VERSION=1.0.0&FORMAT=image/png&WIDTH=20&HEIGHT=20
81 &LAYER=unigeo:Acueducto"/>
82     </LegendURL>
83 </Style>
84 </Layer>
    .
    .
85 </Layer>
86 </Capability>
87 </WMT_MS_Capabilities>

```

Destacamos que en el documento XML se pueden observar las siguientes secciones:

- **Service** (líneas 5-17): aquí se desglosa el nombre, título y palabras clave del servicio y los encargados y responsables del mismo.
- **Capability** (líneas 18-86): muestra los tipos de peticiones que se pueden realizar: **GetCapabilities** (líneas 21-24), **GetMap** (líneas 25-29), **GetFeatureInfo** (líneas 30-34), etc., en qué formatos regresa la información (por ejemplo las líneas 26, 27 y 28), como: XML, HTML, JPEG, PNG, GIF, etc., qué proyecciones soporta (líneas 39-41) y, por último, las capas disponibles en el acervo (p. ej. la capa `unigeo:Acueducto` se define en las líneas 43-84).

Obtener la imagen de una capa. Los parámetros para una petición de este tipo se muestran en el Cuadro 5.3.

Parámetro	Obligatorio	Descripción
VERSION	SI	Versión del servicio.
REQUEST	SI	Nombre de la petición. Usamos GetMap .
LAYERS	SI	Lista de capas separadas por comas.
STYLES	SI	Lista de estilos para las capas.
SRS	SI	Sistema de coordenadas.
BBOX	SI	Las coordenadas (xmin, ymin) y (xmax, ymax) que delimitan a la capa.
WIDTH	SI	Ancho de la imagen.
HEIGHT	SI	Alto de la imagen.
FORMAT	SI	Formato de entrega de la imagen.
TRANSPARENT	NO	Indica si la imagen tendrá o no fondo transparente.
BGCOLOR	NO	Color del fondo para transparencia.
EXCEPTIONS	NO	Formato de salida para el mensaje de excepción en caso de haberlo.

Cuadro 5.3: Parámetros para pedir una capa como imagen.

Los valores para algunos de estos parámetros deben ser aquellos permitidos por el servicio, según se especifique en sus metadatos (como en el documento XML devuelto por la

petición `GetCapabilities` descrita anteriormente).

Por ejemplo, para el parámetro `SRS` se pueden especificar los valores que aparecen envueltos por la etiqueta `<SRS>` dentro de la sección `<Capability>` del documento, tales como “EPSG:4326” (línea 40) o “EPSG:42304” (línea 41). De forma similar, para el parámetro `LAYERS` los valores posibles son los nombres de las capas que aparecen envueltas por la etiqueta `<Layer>` y que tienen el atributo `queryable="1"`, como “unigeo:Acueducto” (líneas 43-84).

A manera de ejemplo, la siguiente consulta se puede utilizar para obtener una imagen con la división política de la República Mexicana (el URL está separado en varias líneas para ayudar a desplegarlo dentro del formato de esta obra, pero en la práctica debería estar todo en una sola línea). El resultado se muestra en la Figura 5.2.

```
http://132.248.26.13:8080/geoserver/wms?  
STYLES=&  
LAYERS=unigeo:estados&  
WIDTH=800&  
HEIGHT=448&  
SRS=EPSG:4326&  
FORMAT=image/png&  
SERVICE=WMS&  
VERSION=1.1.1&  
REQUEST=GetMap&  
EXCEPTIONS=application/vnd.ogc.se_inimage&  
BBOX=-128.056297898292,8.988266038894848,-75.77957093715679,38.263233137130555
```



Figura 5.2: Capa de división política de la República Mexicana en GEOSEVER

Parámetro	Obligatorio	Descripción
VERSION	SI	Versión del servicio.
REQUEST	SI	Nombre de la petición. Usamos <code>GetFeatureInfo</code> .
LAYERS	SI	Lista de capas separadas por comas.
SRS	SI	Sistema de coordenadas.
BBOX	SI	Las coordenadas (xmin, ymin) y (xmax, ymax) que delimitan a la capa.
WIDTH	SI	Ancho de la imagen.
HEIGHT	SI	Alto de la imagen.
INFO_FORMAT	SI	Formato de regreso para la información. Se usan tipos MIME.
FEATURE_COUNT	NO	Número máximo de resultados.
X	SI	Coordenada X en píxeles.
Y	SI	Coordenada Y en píxeles.

Cuadro 5.4: Parámetros para pedir información de rasgos

Obtener información de rasgos de una imagen. Para hacer una petición de este tipo es necesario contar con el punto (x, y) en píxeles de la imagen que se desea consultar. El conjunto de parámetros que se deben especificar se describe en el Cuadro 5.4. La manera en que WMS interpreta esta petición se describe a continuación.

El servicio supone que el usuario cuenta con una imagen del alto y ancho especificados (las coordenadas X y Y de la petición hacen referencia a dicha imagen), la cual contiene un mapa con la información geográfica del rectángulo formado por el parámetro BBOX especificado en coordenadas geográficas. Usando esos datos, el servicio convierte las coordenadas de píxeles a coordenadas geográficas, regresando la información de los rasgos correspondientes que aparecen en las capas especificadas. Dado que el tamaño de la imagen es varios órdenes de magnitud más pequeño que el tamaño de la región especificada por las coordenadas geográficas, un solo píxel puede representar todo un rectángulo en coordenadas geográficas, por lo que el servicio regresa información de todos los rasgos contenidos en él (el parámetro FEATURE_COUNT se puede usar para limitar el número de rasgos devueltos).

Los parámetros SRS y LAYERS siguen las mismas consideraciones que fueron explicadas para el servicio GetMap.

Esta funcionalidad está pensada como complemento a la provista por el servicio para obtener imágenes de mapas, ya que facilita la siguiente dinámica: primero, obtener la imagen del mapa para que la estudie un usuario, luego seleccionar algún punto de la imagen (en píxeles) para preguntarle a WMS sobre la información de los rasgos que aparecen ahí. Esta dinámica es justamente la que EVA busca implementar, lo que hace a estos dos servicios complementarios la opción ideal para el sistema.

La siguiente consulta se puede utilizar para obtener la información de aquellos estados de la República que toquen el píxel especificado.

```
http://132.248.26.13:8080/geoserver/wms?
REQUEST=GetFeatureInfo&
LAYERS=unigeo:estados&
WIDTH=800&
```

```

HEIGHT=448&
SRS=EPSG:4326&
SERVICE=WMS&
BBOX=-128.056297898292,8.988266038894848,-75.77957093715679,38.263233137130555&
x=120&y=3&
INFO_FORMAT=text/plain&
QUERY_LAYERS=unigeo:estados&

```

5.5. Casos de uso

Ahora hablaremos sobre la interacción con los usuarios en EVA, para esto analizaremos varios casos de uso y describiremos cómo se pueden resolver mediante las herramientas discutidas anteriormente.

Entrar al sistema. Cuando el usuario accede al sistema se efectúan tres operaciones importantes.

1. EVA pregunta a GEOSERVER por medio de una petición WMS del tipo `GetCapabilities` por el listado de capas.
2. GEOSERVER regresa en formato XML todas las capas disponibles en el acervo.
3. Se procesa el XML y se crean objetos que representan capas, que contienen los siguientes campos: nombre, título, URL del metadato y URL de la simbología.
4. EVA despliega por último en su interfaz de usuario las capas disponibles.

Este proceso se ilustra en la Figura 5.3. En caso de no poder conectarse con el servidor se despliega un mensaje de error: “*El servidor al que está tratando de conectarse no se encuentra disponible. Intente más tarde.*”

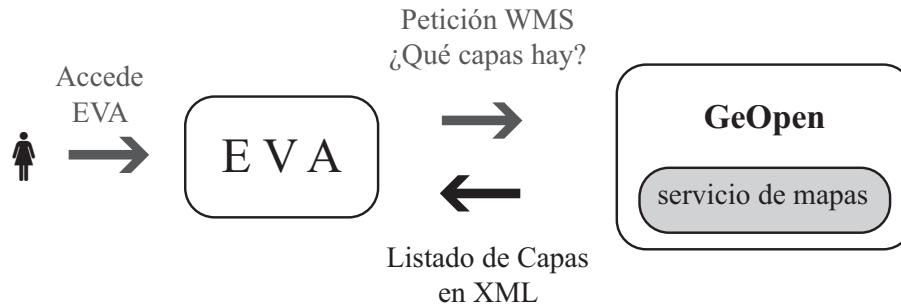


Figura 5.3: Caso de uso: entrar al sistema

Selección de capas. Cuando una capa es seleccionada se lleva a cabo el siguiente proceso, el cual es representado en la Figura 5.4.

1. EVA crea una petición WMS del tipo **GetMap** que envía a GEOSERVER para obtener la imagen de la capa seleccionada.
2. GEOSERVER procesa la petición y regresa en formato PNG la capa.
3. EVA hace una segunda petición a GEOSERVER para obtener la simbología (esta URL se saca del **GetCapabilities**, cada capa tiene asociado un URL para descargar su simbología en formato de imagen).
4. GEOSERVER regresa la simbología en formato de imagen.
5. EVA despliega la simbología en la interfaz de usuario.
6. EVA hace una tercera petición a GEONETWORK para descargar el metadato (de manera similar que con la simbología, el **GetCapabilities** contiene los URL de los metadatos).
7. GEONETWORK regresa el archivo XML con el metadato.
8. EVA procesa el XML, extrae el resumen y lo despliega en la interfaz de usuario.

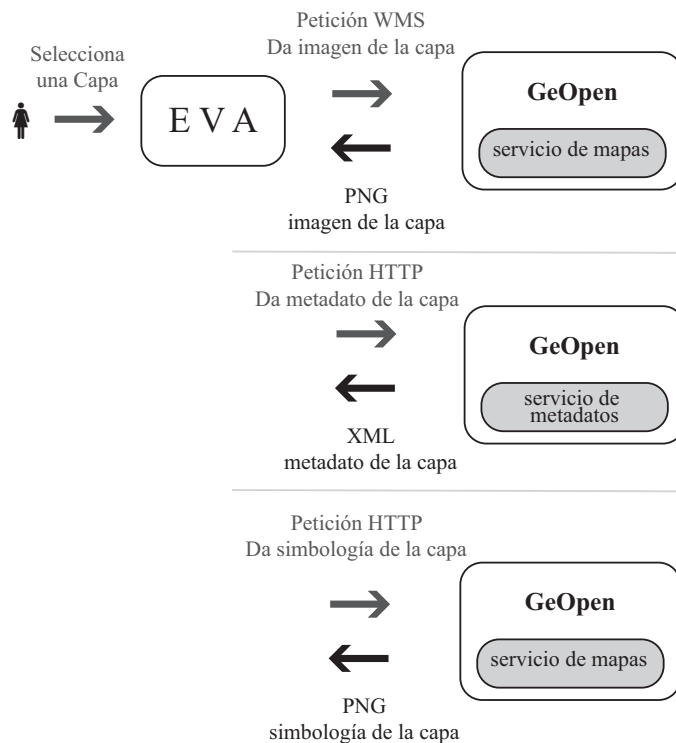


Figura 5.4: Caso de uso: seleccionar una capa

En la Figura 5.5 se observa una captura de pantalla del sistema en donde se muestra esta funcionalidad.

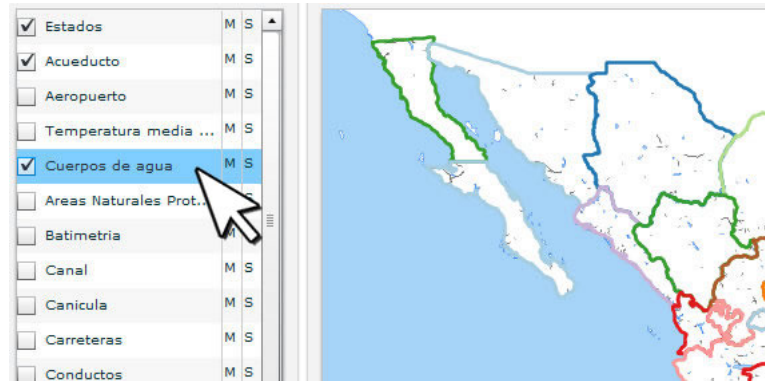


Figura 5.5: Captura de pantalla de EVA al seleccionar capas de un mapa

Navegar el mapa. Cuando se desplaza la imagen o hace zoom sobre las capas ocurre lo siguiente (los pasos se encuentran diagramados en la Figura 5.6):

1. EVA construye una nueva petición WMS del tipo **GetMap** por cada una de las capas activas, la cual refleja el cambio en desplazamiento o zoom, dependiendo del caso, y envía estas peticiones a GEOSERVER.
2. GEOSERVER regresa en formato PNG cada una de las capas.
3. EVA actualiza las capas conforme recibe las imágenes.

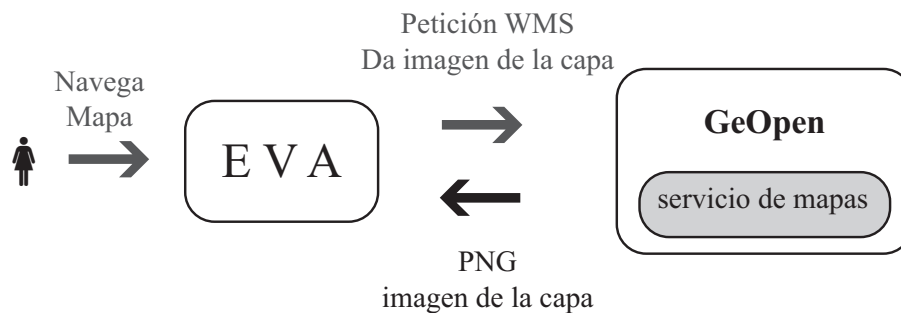


Figura 5.6: Caso de uso: navegar el mapa

Preguntar sobre rasgos del mapa. Dado el conjunto de capas elegidas el usuario puede seleccionar algún punto de las capas y preguntar qué rasgos hay en ese punto, como se puede ver en la Figura 5.7.

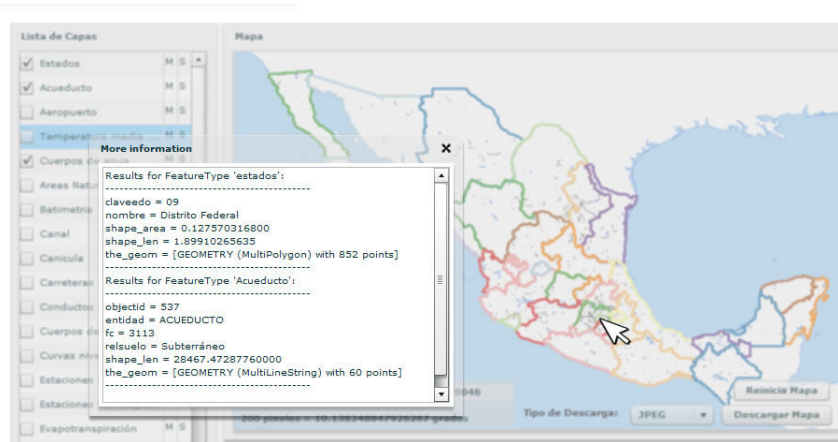


Figura 5.7: Captura de pantalla de EVA al pedir información de rasgos

El proceso que sigue el sistema para llevar a cabo esta tarea es el siguiente:

1. EVA construye una petición WMS del tipo `GetFeatureInfo` dada la lista de capas y el punto de selección, que se envía a GEOSERVER para obtener la información de los rasgos.
2. GEOSERVER regresa en formato de texto la información.
3. EVA despliega la información en la interfaz de usuario.

Para consultar el diagrama que resume estos pasos véase la Figura 5.8.

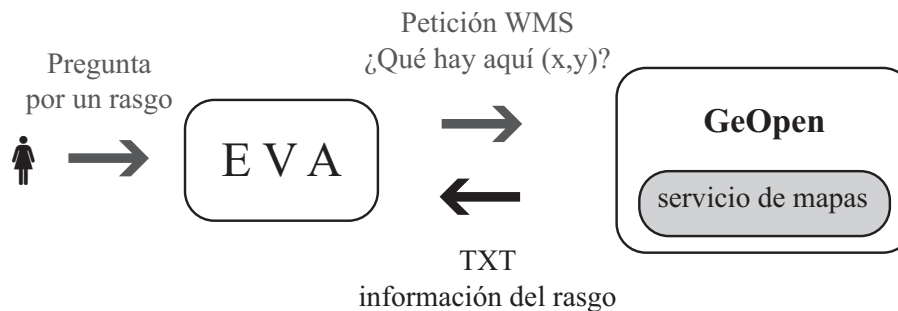


Figura 5.8: Caso de uso: preguntar sobre rasgos del mapa

Descarga de información geoespacial. El usuario tiene la opción de descargar lo que ve en el panel de mapa en alguno de los formatos permitidos, tal como se muestra en la captura de pantalla que se muestra en la Figura 5.9. Esta tarea es llevada a cabo mediante el siguiente proceso (el cual se ilustra en la Figura 5.10):

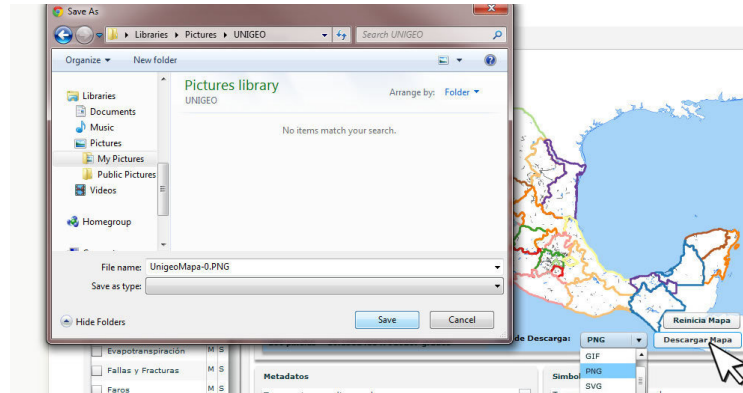


Figura 5.9: Captura de pantalla de EVA al descargar información de capas

1. El usuario selecciona el formato para descarga.
2. EVA crea una petición al servicio DRILLDOWN (explicado en el capítulo anterior).
3. El servicio de DRILLDOWN procesa la petición y crea una nueva petición WMS o WFS, según sea necesario, para GEOSERVER.
4. GEOSERVER regresa al servicio de DRILLDOWN la información GML, GZIP, PNG, etc. según el formato de petición del usuario.
5. El servicio de DRILLDOWN descarga los metadatos y empaqueta todo en un archivo zip que regresa a EVA.
6. EVA despliega una ventana de descarga para que el usuario pueda guardar la información.

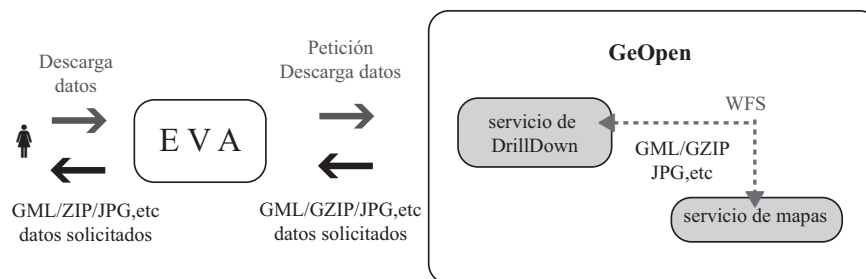


Figura 5.10: Caso de uso: descarga de información geoespacial

Descarga de metadatos. Sólo se permite descargar un metadato a la vez el cual es el metadato que se encuentre activo en el panel de despliegue de metadatos. Para su descarga se sigue el siguiente proceso:

1. EVA hace una petición a GEONETWORK para descargar el metadato.
2. GEONETWORK regresa en archivo XML con el metadato.
3. EVA despliega una ventana de descarga para que el usuario pueda guardar la información.

En la Figura 5.11 se puede ver un diagrama que representa este caso de uso.

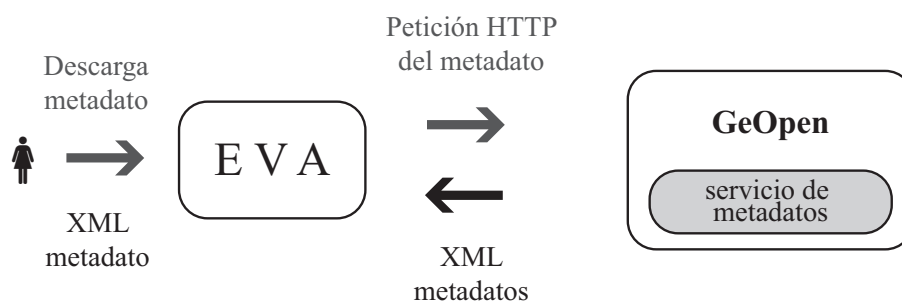


Figura 5.11: Caso de uso: descarga de metadatos

Conclusiones

El entrenamiento adquirido en la Licenciatura en Ciencias de la Computación ha sido suficiente para que una sola persona con dicho perfil sea capaz de poner en funcionamiento una arquitectura como GEOPEN y construya sobre ésta una aplicación funcional como lo es EVA. El trabajo realizado pasó por diversas etapas, desde levantar requerimientos hasta el lanzamiento de los sistemas creados.

GEOPEN ha sido una buena solución para alcanzar uno de los objetivos de UNIGEO, que es el de tener una IDE estandarizada y con código abierto que sirva a todas las dependencias de SIBA para distribuir y compartir su información geográfica. Muestra de ello son las aplicaciones que se han construido sobre la infraestructura, las cuales son un indicador importante respecto al poder y potencial que ésta tiene.

Las tecnologías que se eligieron para formar la IDE son bastante estables y confiables; actualmente la UNIBIO utiliza con éxito el servicio de mapas para complementar con información geográfica los datos de sus colectas, proporcionando así una visualización más completa de sus acervos. En resumen, se puede concluir que GEOPEN cumple con los objetivos planteados en un principio, específicamente brindando las siguientes características:

- Permite publicar y consultar los acervos de datos.
- Está implementado con aplicaciones de bajo costo en licencias y software libre.
- Implementa estándares abiertos y gratuitos.
- Facilita su instalación por medio de la virtualización.
- Aprovecha los acervos de datos y metadatos creados en el Instituto de Geografía.
- Proporciona una herramienta para que los miembros de la Red Geos puedan integrarse de inmediato a la red SIBA.

El Explorador y Visualizador de Acervos (EVA), una de las primeras aplicaciones construidas sobre la IDE, representa una primera interfaz de los acervos geográficos de los institutos y demás unidades del proyecto. La funcionalidad de vista rápida que posee es una gran ayuda para integrar a las unidades y hacer crecer los proyectos, además de que es útil en la práctica para realizar algunas consultas relativamente básicas sobre la información. Por lo anterior, consideramos su creación exitosa, aunque es importante observar que aún hay mucho por hacer en el desarrollo de sistemas para SIBA sobre GEOPEN.

Trabajo a futuro.

Los resultados obtenidos por los sistemas descritos en esta obra son importantes, pues otorgan al proyecto SIBA un conjunto de herramientas fundamentales para el manejo de información geográfica. Sin embargo, existen otros aspectos que se deben considerar para mejorar y fortalecer su uso y aprovechamiento. A continuación planteamos algunas de las líneas de trabajo principales que se deberán seguir en el futuro para lograr esta meta.

Administración. Existe una situación que es importante resolver para hacer de GEOPEN una herramienta completa, que es la construcción de un subsistema de administración de la IDE.² El problema principal es que cada uno de los actores de la infraestructura debe ser actualizado y mantenido de manera individual, y pese a que cada uno tiene sus propias herramientas administrativas, no se cuenta con una que permita administrarlos en conjunto.

Para ser concretos, la división que se ha hecho entre dato y metadato ha ocasionado que existan aplicaciones y servicios para cada uno de ellos, maneras de representarlos y administrarlos por separado, ocasionando así que las relaciones entre ellos puedan romperse fácilmente. Si se da de alta una capa en GEOSERVER y el metadato en GEONETWORK, la manera de ligarlos será de forma manual (colocando una liga al servicio contenedor), lo cual a la larga puede ser inmantenible y propenso a errores, ya que como es de esperarse el acervo crecerá año con año, pues se agregarán una gran cantidad de mapas.

Por esta razón, es importante que como trabajo a futuro se piense en hacer un gestor de IDE que mantenga actualizadas las bases de datos y las ligas entre datos, servicios, metadatos, etc.

Diccionario de datos. Actualmente no se cuenta con esta estructura, ni tampoco con el servicio de diccionario de datos respectivo. Sería útil incluir esta herramienta al conjunto de servicios de GEOPEN para incrementar su funcionalidad.

EVA. El Explorador y Visualizador de Acervos es un sistema que resuelve el problema de tener un primer acercamiento a los acervos geográficos, proporcionando una vista rápida de la información que contienen, pero como tal no es suficiente, ya que se requiere poder explorarlos de maneras más sofisticadas, dependiendo del tipo de aplicaciones para los que se utilice la infraestructura en el futuro. Debe extenderse EVA o crearse alguna otra herramienta que proporcione las siguientes funcionalidades:

- Tener un visualizador multi acervos, que permita mezclar información de dos o más fuentes.
- Implementar un buscador de metadatos.
- Integrar servicios y buscadores especializados de información biológica.
- Implementar mecanismos para mostrar en el mapa información biológica.

²Hasta el momento no existe una solución ni de software libre ni en los desarrollos internos del proyecto para esto.

Además de lo anterior, es muy posible que deban crearse clientes más específicos de acuerdo a las necesidades de las unidades del proyecto SIBA.

Acervo de datos y metadatos. La información que posee el Instituto de Geografía en sus acervos digitales debe extenderse para incluir datos a nivel regional y local, es decir, información que permita hacer análisis a un nivel de detalle más fino. También deberá complementarse esta información con sus metadatos, así como terminar de describir los metadatos de los servicios de GEOPEN, principalmente para hacerlo una IDE que pueda interactuar más fácilmente con otras.

Bibliografía

- [1] UNIGEO, *Unidad de Informática Geoespacial*. <http://www.unigeo.igeograf.unam.mx/>, 23 de enero de 2012
- [2] Proyecto SIBA, *Sistema de Informática sobre la Biodiversidad y el Ambiente* <http://www.siba.unam.mx/>, 10 de agosto de 2011
- [3] UNIBIO, *Unidad de Informática para la Biodiversidad* <http://unibio.unam.mx/>, 23 de enero de 2012
- [4] Spatial Data Infrastructure A Collaborative Network. *ESRI: White Papers* <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/spatial-data-infrastructure.pdf>, 23 de enero de 2012
- [5] Masser, Ian. En: *GIS worlds : creating spatial data infrastructures*. Redlands, Calif: ESRI Press ISBN: 9781589481220, 2005.
- [6] Kemp, Karen K., Canadian Geographic Information System. En: *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Kemp, K. (Ed.), Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. ISBN: 9781412913133
- [7] Esri Info — Company History. *Esri - The GIS Software Leader — Mapping Software and Data*. <http://www.esri.com/about-esri/about/history.html>, 23 de enero de 2012
- [8] GML — OGC(R), *Open Geospatial Consortium — OGC(R)* <http://www.opengeospatial.org/projects/groups/gmldwg>, 10 de agosto de 2011
- [9] Estándar (Norma), *Wikipedia* [http://es.wikipedia.org/wiki/Norma_\(tecnología\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Norma_(tecnología)), 10 de agosto de 2011
- [10] Información geográfica, *Wikipedia* http://es.wikipedia.org/wiki/Información_geográfica, 10 de agosto de 2011
- [11] International Cartographic Association, *Multilingual dictionary of technical terms in cartography*, ICA, SBN-13: 978-3598107641, 1973
- [12] Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid. Introducción al Diseño Cartográfico. En: *Elementos del Diseño Cartográfico*. <http://redgeomatca.rediris.es/cart02/pdf/pdfB/tema1b.pdf>, 23 de enero de 2012

- [13] Perez Quintero, José A. Definición y origen de los Sistemas de Información Geográfica. En: *Conceptos y Aplicaciones de la Geomática en México*. Colección Geografía para el siglo XXI. Instituto de Geografía de la UNAM, 2009.
- [14] Unidad de Informática Geoespacial, *Servicio WMS* [Mexico, D.F.: Instituto de Geografía UNAM], <http://132.248.26.13:8080/geoserver>, 23 de enero de 2010
- [15] Laboratorio de Análisis Geoespacial, *Resepción de imágenes* [México, D.F.: Instituto de Geografía, UNAM] <http://indy2.igeograf.unam.mx/erisa/imagenes/especiales/huracanes>, 23 de enero de 2012
- [16] Metadato, *Wikipedia* <http://es.wikipedia.org/wiki/Metadato>, 23 de enero de 2012
- [17] Environmental Systems Research Institute, Inc. Gis data representation. En: *Modeling Our World The ESRI Guide to Geodatabase Design ISBN 1-879102-62-5*, 1999
- [18] Shapefile, *Wikipedia* <http://es.wikipedia.org/wiki/Shapefile>, 23 de enero de 2012
- [19] Extensible Markup Language, *Wikipedia* http://es.wikipedia.org/wiki/Extensible_Markup_Language, 23 de enero de 2012
- [20] Software como servicio, *Wikipedia* http://es.wikipedia.org/wiki/Software_como_servicio, 23 de enero de 2012
- [21] OGC® Standards and Specifications — OGC(R), *Open Geospatial Consortium — OGC(R)* <http://www.opengeospatial.org/standards>, 23 de enero de 2012
- [22] Geography Markup Language — OGC(R), *Open Geospatial Consortium — OGC(R)* <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>, 23 de enero de 2012
- [23] Web Map Service — OGC(R), *Open Geospatial Consortium — OGC(R)* <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>, 23 de enero de 2012
- [24] Catalogue Service — OGC(R), *Open Geospatial Consortium — OGC(R)* <http://www.opengeospatial.org/standards/specifications/catalog>, 23 de enero de 2012
- [25] Web Feature Service — OGC(R), *Open Geospatial Consortium — OGC(R)* <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>, 23 de enero de 2012
- [26] Geospatial Metadata - Federal Geographic Data Committee, *The Federal Geographic Data Committee - Federal Geographic Data Committee* <http://www.fgdc.gov/metadata>, 23 de enero de 2012
- [27] Portable Network Graphics, *Wikipedia* <http://es.wikipedia.org/wiki/PNG>, 23 de enero de 2012

- [28] Joint Photographic Experts Group, *Wikipedia*
<http://es.wikipedia.org/wiki/JPEG>, 23 de enero de 2012
- [29] Graphics Interchange Format, *Wikipedia*
<http://es.wikipedia.org/wiki/GIF>, 23 de enero de 2012
- [30] Scalable Vector Graphics, *Wikipedia*
http://es.wikipedia.org/wiki/Scalable_Vector_Graphics, 23 de enero de 2012
- [31] Hypertext Transfer Protocol, *Wikipedia*
http://es.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol, 23 de enero de 2012
- [32] GeoServer, *Welcome - GeoServer* <http://geoserver.org/display/GEOS/Welcome>, 23 de enero de 2012
- [33] GeoTools, *GeoTools The Open Source Java GIS Toolkit - GeoTools*
<http://geotools.org/>, 23 de enero de 2012
- [34] GeoNetwork, *GeoNetwork opensource* Disponible en el www: <http://geonetwork-opensource.org/>, 23 de enero de 2012
- [35] GNU/Linux, *Wikipedia*
<http://es.wikipedia.org/wiki/GNU/Linux>, 23 de enero de 2012
- [36] Debian, linux, *Debian - The Universal Operating System* <http://debian.org/>, 23 de enero de 2012
- [37] Reasons to Choose Debian, *Debian - The Universal Operating System*
http://www.debian.org/intro/why_debia/, 23 de enero de 2012
- [38] PostgreSQL, *PostgreSQL: The world's most advanced open source database*
<http://www.postgresql.org/>, 23 de enero de 2012
- [39] PostGIS, *Home - PostGIS* <http://postgis.refrations.net/>, 23 de enero de 2012
- [40] Marco de trabajo de código abierto, desarrollo de software para aplicaciones web — Flex - Adobe., *Adobe* <http://www.adobe.com/es/products/flex/>, 23 de enero de 2012
- [41] GlassFish: servidor de aplicaciones de código abierto - Java.net, *GlassFish - Open Source Application Server - Java.net.* <http://glassfish.java.net/es/>, 23 de enero de 2012
- [42] Java, *Oracle Technology Network for Java Developers* <http://java.sun.com/>, 23 de enero de 2012
- [43] follows, a. c. URL, *Uniform Resource Locators. World Wide Web Consortium (W3C)* Disponible en el www: <http://www.w3.org/Addressing/URL/url-spec.html>, 23 de enero de 2012
- [44] DrillDown, *UNIGEO* <http://132.248.26.13/frac/unigeo/wiki/DrillDown>, 23 de enero de 2012

- [45] Google Maps. — Google Inc., *Google* <http://google.com/mapas/>, 23 de enero de 2012
- [46] Yahoo! Maps. — Yahoo! Maps, Driving Directions, and Traffic, *Yahoo* <http://maps.yahoo.com/>, 23 de enero de 2012
- [47] Microsoft Virtual Earth., *Microsoft Corporation* <http://www.microsoft.com/maps/>, 23 de enero de 2012
- [48] Roy Thomas Fielding, Representational State Transfer (REST). En: *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. University of California, ISBN:0-599-87118-0 , Irvine: 2000.
- [49] VMware Virtualization Software for Desktops, Servers & Virtual Machines for Public and Private Cloud Solutions, *VMWARE* <http://www.vmware.com/products/vsphere/esxi-and-esx/why-esxi.html>, 23 de enero de 2012
- [50] Sistema de posicionamiento global, *Wikipedia* http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global, 23 de enero de 2012