



Visualizador Web de información cartográfica de amenazas naturales

María Milagros Campos Vargas^{1,*}, Alejandra Toscana Aparicio², José Francisco Monroy Gaytán¹, Héctor Alonso Reyes López³

¹ Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, 50110, Estado de México

² Departamento de Política y Cultura, Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco, México, 04960, D.F.

³ Universidad Intercultural del Estado de México, San Felipe del Progreso, 50640, Estado de México

* milicampos42@hotmail.com

Resumen

En las últimas décadas, entidades académicas y burocráticas han realizado importantes esfuerzos por reducir los peligros naturales y prevenir las catástrofes. Dichos esfuerzos se han centrado en la dinámica de los fenómenos perturbadores, en la reducción de las condiciones de vulnerabilidad de la sociedad, y en el desarrollo de herramientas tecnológicas para facilitar la aplicación de las políticas públicas y el proceso de toma de decisiones en los organismos de gobierno en caso de una emergencia. Debido a que los fenómenos perturbadores, la vulnerabilidad, los riesgos y los desastres tienen una contundente dimensión espacial, el desarrollo de las geotecnologías, así como el de las comunicaciones, abre posibilidades para mejorar su gestión.

Este artículo se enfoca en el desarrollo de una aplicación geoinformática que permite la visualización de datos espaciales distribuidos a través de Internet, en un entorno de sistema de información geográfica Web Map Service (WMS) y Web Feature Service (WFS); el cual se basa físicamente en una máquina servidor que contiene una serie de programas de servicios web. Este sistema está encargado de alojar la página y servir información relacionada con peligros naturales; al recibir las peticiones de los usuarios, el servidor pasa la solicitud al Servidor de Internet SIG (Sistemas de Información Geográfica), generalmente por una extensión del servidor HTTP, que entrega conjuntamente todos los datos mediante el Explorador Web del usuario a través de Internet; todo esto mediante un visualizador publicado en un portal Web que ofrece acceso, distribución e interacción con cartografía digital a escala local (1:50000), así como el análisis de construcción de escenarios y modelos predictivos con las bases de los datos georreferenciados. El sistema cumple con requisitos de seguridad, administración y mantenimiento, y está alimentado por un compilado de cartografía base y temática referente a las condiciones del medio físico y de amenazas naturales en el Estado de México.

En este artículo se pretende mostrar una forma en la cual es posible implementar un visualizador de cartografía web, en este caso como una herramienta para apoyar el estudio de amenazas naturales en el Estado de México, que en un momento dado pueda ser de utilidad para diseñar o aplicar políticas de prevención de peligros derivados del impacto de amenazas naturales; con el potencial de ser útil en otras materias relacionadas con la gestión del territorio.

Palabras clave: Amenazas naturales, SIG, Web Map Services, Web Feature Services, Sistemas Manejadores de Bases de Datos.

Abstract

During recent decades, academic and bureaucratic entities have made significant efforts to reduce natural hazards and disasters. Some of these efforts have focused on the dynamics of disruptive events, in reducing the vulnerability of society, and others have focused on the development of technological tools to facilitate the implementation of public policies and making decisions in government agencies in the event of an emergency. Because the disturbing phenomena, the vulnerability, the risks and the disasters have a strong spatial dimension, the development of geotechnologies and communications opens possibilities for improving the territory administration.

This article focuses on the development of a geo-informatics application that allows the visualization of spatial data distributed over the Internet in a GIS environment of Web Map Service (WMS) and Web Feature Service (WFS), which is physically based in a server machine that contains a series of web service programs. This system is responsible for hosting the site and providing information related to natural hazards, receiving user requests and passing them to the Internet GIS server (Geographic Information Systems), generally by means of an extension of the HTTP server. The server delivers all data produced in conjunction with the user's Web browser over the Internet, through a viewer posted on a Web portal that provides accesses, distribution and interaction with local digital maps (1:50000), as well as the analysis of scenarios construction and predictive models with geographically referenced databases. The system deals satisfactorily with requirements for safety, administration and maintenance, and is powered by a compilation of base cartography and thematic maps related to the physical environment and natural threats in the State of Mexico. This article aims to show how a web mapping viewer can be implemented, in this case as a tool to support the study of natural hazards in the State of Mexico, which at a given moment could be useful to design or implement hazard prevention policies resulting from the impact of natural phenomena, with the potential to be useful in other matters relating to land management.

Keywords: Natural hazards, GIS, Web Map Services, Web Feature Services, Systems Database Managers.

1. Introducción

El avance en las tecnologías de la información y la comunicación en las últimas décadas del siglo XX nos han llevado a caracterizar la época actual como “la era de la información”, y a la sociedad contemporánea como la “sociedad de la información”. En esta etapa ha tenido lugar una “Revolución Informática”, cuya característica principal es la digitalización de la información y su expresión más compleja es el Internet (Trejo, 2001). En este contexto, las geotecnologías, es decir aquéllas relacionadas con el manejo de datos espaciales georreferenciados, han tenido un importante desarrollo y aceptación entre los medios burocráticos y académicos, ya que permiten un fácil y rápido manejo de grandes cantidades de información que facilitan la toma de decisiones relacionadas con la gestión del territorio, entre ellas, las concernientes a las amenazas naturales, los riesgos y los desastres. Un ejemplo de las geotecnologías es el visualizador Web, en donde se combinan algunas ventajas del Internet y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Un SIG puede definirse como un conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas (usuarios), perfectamente integrados, de forma que hace posible la recolección, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georeferenciados, así como la producción de información de su aplicación (Teixeira *et al.*, 1995 citados en Buzai, 2006).

Este artículo tiene como objetivo principal integrar, automatizar y operar un visualizador espacial con información general y relacionada con amenazas naturales, utilizando un modelo de integración Internet-SIG, Web Map Service (WMS) y Web Feature Service (WFS), basado físicamente en una máquina servidor, con una serie de programas para servicios Web encargado de alojar las páginas y servir la información espacial, recibir las peticiones de los clientes que quieran acceder a la información y dar respuesta a dichas peticiones bajo un esquema sencillo de consulta cliente- servidor a través del Internet. Los

WMS (Web Map Service o Servicios de Mapas en Red) son desarrollos computacionales que permiten servicios de mapas en red, para su distribución masiva, empleando estándares abiertos como XML y HTTP para implementar la invocación de métodos entre aplicaciones, que realizan tareas complejas vía las tecnologías de Internet (Map Server, 2009). Los WFS (Web Feature Services) son servicios que permiten el soporte para almacenamiento, recuperación, consulta y actualización de colecciones de características geoespaciales simples, es decir, consultar y recuperar datos vectoriales y la información alfanumérica ligada a los mismos (Caballero *et al.*, 2007).

En la primera parte del artículo se plantean cuestiones generales sobre las amenazas naturales o fenómenos perturbadores y los desastres, y las posibilidades que plantean las geotecnologías para su manejo. Posteriormente se exponen la metodología empleada para el diseño y la construcción del visualizador Web de información cartográfica, los resultados obtenidos y las conclusiones.

2. Un acercamiento al visualizador Web de Información Cartográfica para el estudio de amenazas naturales

A lo largo de la historia, la humanidad ha estado expuesta al impacto de los fenómenos naturales peligrosos (también denominados “amenazas naturales” o “fenómenos perturbadores”), registrando pérdidas y daños. En las últimas décadas el aumento y concentración de población en numerosas áreas del mundo, la pobreza, la desigualdad social, la exclusión territorial, las transformaciones y la degradación del entorno natural, han potencializado el impacto de los fenómenos naturales; de ahí la importancia actual del estudio de riesgos y desastres.

El estudio sistemático de riesgos y desastres asociados a fenómenos naturales comienza en Estados Unidos durante la segunda mitad del siglo XX, bajo el paradigma de que los desastres son resultado del impacto de un fenómeno natural peligroso en algún grupo humano; de modo que

las explicaciones a los desastres eran de corte geológico y las políticas públicas se encaminaban a atender las emergencias (Gilbert, 1998). A partir de la década de 1980, conforme se acumuló más información sobre desastres, especialmente en países de otras latitudes, se planteó un segundo paradigma que establece que los desastres son resultado de las características de la sociedad impactada, es decir, de sus condiciones sociales, demográficas, económicas, políticas y culturales previas al desastre, que se manifiestan en la ubicación de asentamientos humanos en zonas no aptas para urbanización, como barrancas, suelos pantanosos, cauces de ríos; o en viviendas precarias; en desconocimiento del peligro; en una capacidad económica limitada que dificulta la reparación en caso de desastre; en una baja cohesión en las comunidades afectadas, entre otras (Alexander, 2000). Esto explica por qué en países menos desarrollados los desastres son mucho más frecuentes que en los países más desarrollados, y en general la cantidad de pérdidas humanas es mayor (Hewitt, 1983; Wiljkman y Timberlake, 1984; Bolin y Stanford, 1999).

Desde entonces se ha estudiado no sólo la dimensión geológica de los desastres, sino también la vulnerabilidad de la población. Se ha ido generando un consenso entre los estudiosos de riesgos y desastres en torno a que el concepto de riesgo implica incertidumbre, al existir la posibilidad de que uno o más fenómenos naturales afecten a comunidades vulnerables. Por lo tanto el riesgo se deriva de la coincidencia espacio-temporal de una o más amenazas y de un grupo humano vulnerable. Un desastre es la materialización del riesgo, resultado de las interacciones entre la sociedad y los fenómenos perturbadores, donde generalmente se registran pérdidas humanas y materiales.

En las últimas décadas, a partir de la aceptación del segundo paradigma, se ha ido transitando de políticas públicas centradas en la atención de emergencias y consecuencias de los desastres, a políticas públicas centradas en la mitigación de riesgos y prevención de desastres.

Existen diferentes vías para lo anterior, por ejemplo, reubicando asentamientos humanos de lugares peligrosos a zonas aptas para la urbanización, o mediante adecuaciones técnicas que controlen la dinámica de los fenómenos perturbadores, mediante sistemas de alarma y a través de programas de educación en los que la gente aprende a protegerse en caso de desastre, entre otras. En este sentido, las instituciones públicas juegan un papel destacado en la protección de la población: entre más robustas sean las instituciones, mayor es su capacidad para prevenir desastres y mayor es su capacidad para lograr una pronta recuperación.

Un ejemplo es el caso de las medidas preventivas que se toman en Cuba en caso de ciclón u otros fenómenos hidrometeorológicos. Aunque por su ubicación la isla es altamente vulnerable, a través de las medidas preventivas se ha logrado reducir considerablemente el impacto de dichos fenómenos (Aguirre, 2005). Otro caso es el Santa Mónica, California, Estados Unidos, en donde fracciona-

mientos lujosos están asentados en zonas boscosas altamente susceptibles a incendios; sin embargo, el sistema de bomberos y las compañías aseguradoras han logrado reducir la vulnerabilidad de la población, convirtiendo esta zona residencial en una de las más caras y atractivas de California (Rodríguez, 1993).

En México, como en otros países del mundo, las instituciones públicas en general han encontrado en la cartografía y las geotecnologías una buena herramienta para el conocimiento de fenómenos perturbadores y para la prevención y mitigación de riesgos y desastres. Esta postura se observa en el número creciente de mapas y atlas de peligros naturales y riesgos producidos en los últimos años, en las alarmas hidrometeorológicas y sísmicas para anunciar anticipadamente inundaciones y sismos, y en los sistemas que monitorean tanto la actividad volcánica del Volcán de Fuego de Colima y del Popocatepetl, como la trayectoria de los huracanes.

Desde la perspectiva de la prevención, y basándose en el rápido desarrollo tecnológico que han experimentado las sociedades en las últimas décadas, cada vez son mayores los esfuerzos por desarrollar tecnologías útiles para la prevención y mitigación de desastres. El estudio de peligros, riesgos y desastres ha experimentado una rápida evolución, al transitar del uso de mapas de peligros basados en inventarios de desastres ocurridos en el pasado, hasta mapas y modelos que integran una cantidad de variables tanto de fenómenos perturbadores como relacionadas con la vulnerabilidad de la sociedad, apoyados en SIG y en teledetección (Díaz y Díaz, 2001). En este tema en particular, las herramientas geotecnológicas o tecnologías de la información geográfica, es decir, aquellas que se especializan en la dimensión espacial de los fenómenos, como los SIG, han tenido impactos positivos, debido a que tanto los fenómenos perturbadores como las variables que le confieren vulnerabilidad a la población, el riesgo y los desastres, se manifiestan espacialmente. Estas tecnologías han permitido la captura, la sistematización, el análisis, el modelaje cartográfico y en tres dimensiones, la síntesis, la representación y la pronta y constante actualización en tiempo real de datos georeferenciados, así como el análisis multivariado y las evaluaciones multicriterio, facilitando la evaluación de los riesgos desde diferentes escalas de análisis y la simulación de escenarios con la incorporación de ambientes virtuales (Bosque y Zamora, 2002).

Sin duda estas posibilidades son de utilidad y trascendencia, pues uno de los principales problemas que enfrentan las autoridades en casos de riesgo y/o desastre es la carencia de información actualizada y de fácil acceso, lo que dificulta enormemente la toma de decisiones y la puesta en marcha de prácticas y medidas preventivas adecuadas para la atención oportuna de emergencias.

Aunado a esto, el acceso y uso de información geográfica se ha facilitado progresivamente a través de las nuevas Tecnologías de Información (TI). El Internet en particular ofrece grandes posibilidades de acceso a la información

geográfica y cartográfica, lo que supone una mejora considerable en los servicios al gestor (consulta, análisis, administración) de la información geoespacial; con la explosión de los World Wide Web (WWW) ahora hay un medio con el potencial de distribuir los beneficios de las tecnologías geoespaciales a todos los usuarios conectados al mundo de la información digital (Padrón *et al.*, 2004). El Internet ha ido incorporando a su papel tradicional el de servir como la principal puerta de acceso a una diversidad de servicios en manejo de datos y procesos desplegados en las redes de comunicación. Uno de los aportes más significativos en la tecnología Web es la estandarización del método de acceso a la información para los clientes o usuarios, simplificando la acción a través del uso de un navegador. Esto ha propiciado la rápida generalización del intercambio y difusión de información geoespacial, así como el desarrollo de las arquitecturas de geoprocesos distribuidos e interoperables, comúnmente llamadas "Internet SIG". Éstos son SIGs que tienen toda la funcionalidad y posibilidades de un SIG de escritorio, con la excepción quizás de la edición de datos, sin embargo difieren de éstos en que el software y los datos no residen físicamente en la computadora del usuario sino en un repositorio de datos que es administrada desde una Infraestructura de Datos Espaciales (Caballero *et al.*, 2007). Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDES) regionales, nacionales, locales e institucionales, ofrecen y se muestran como herramientas de producción y almacenamiento de datos geográficos en formatos digitales, lo cual permite maximizar el uso del conjunto de información y facilitar procesos de investigación, publicación, consulta y difusión de la misma en los niveles de desagregación antes mencionados, logrando así la optimización de su producción y la facilitación de la toma de decisiones (Echeverría, 2001).

Dentro de esta tendencia se enmarca la implantación de servicios y productos cartográficos en Internet, lo que se conoce como tecnología Web Mapping, la cual permite el intercambio de la información geográfica y servicios de geoproceso, basándose en la distribución de trabajo entre cliente y servidor, en el contexto de las visiones actuales sobre el mercado de la información y el desarrollo del sector de las industrias de la información.

La ventaja de este tipo de servicios es que permiten la interacción del usuario con la cartografía, es decir, un usuario solicita un mapa al Servidor Web y el Servidor pasa la solicitud al Servidor de Internet SIG, generalmente a una extensión del servidor HTTP, quien entrega conjuntamente todos los datos como un mapa resultante que es devuelto al Explorador Web del usuario a través de Internet (Caballero *et al.*, 2007).

Los nuevos desarrollos tecnológicos orientados a la temática de geodatos en Internet brindan la posibilidad de trabajo técnico-operativo a partir de una interfaz práctica y fácil de manipular, lo que permite una alta participación en la formulación de acciones y estrategias que intervienen en la gestión del territorio. De igual forma, las geotecnologías

facilitan los procesos para los tomadores de decisiones: el manejo de información espacial almacenada en bases de datos, clasificada y estructurada, coadyuva a la optimización en cuanto a reportes y diagnósticos, demostrando así que la toma de decisiones depende en gran medida de las herramientas existentes y la información disponible.

En este sentido, el énfasis se centra en las nuevas posibilidades de navegación y de acceso a los datos, conseguidos mediante el uso de la informática, permitiendo la interacción con el mapa para lograr así una mayor eficiencia en la comunicación del mensaje cartográfico, ya que el usuario tiene la posibilidad de establecer su propia lógica para el uso y análisis de la información, en función de las posibilidades del mapa, lo que facilita comprender los fenómenos expresados y representados en éste. Así mismo, las nuevas tecnologías permiten al usuario la posibilidad de interactuar de manera más directa con el cartógrafo, lo cual hace posible mejorar el proceso de comunicación referente a la parte cartográfica, al existir un nexo entre el comunicador y el receptor (Bosque y Zamora, 2002).

Retomando las posibilidades que brindan las geotecnologías, en particular las que ofrecen los sistemas de comunicación contemporánea, y al mismo tiempo la necesidad de reducir los riesgos y prevenir los desastres, una alternativa para optimizar el manejo y distribución de información sobre amenazas naturales son los instrumentos que ofrecen las tecnologías Internet-SIG, debido a que la mayoría de los datos necesarios para el estudio de riesgos y desastres implica de forma infalible los aspectos geográficos.

El avance de las geotecnologías invita a implementarlas y desarrollarlas en el campo de investigación de peligros, riesgos y desastres, por lo que en el presente artículo se plantea como principal objetivo mostrar la manera en que se puede integrar, automatizar y operar un visualizador espacial con información de amenazas naturales utilizando un modelo de integración Internet-SIG, WMS y WFS, basado físicamente en una máquina servidor, con una serie de programas para servicios Web, encargado de alojar las páginas y servir la información espacial, recibir las peticiones de los clientes que quieran acceder a la información y dar una respuesta a dichas peticiones bajo un esquema básico de consulta cliente-servidor a través del Internet (Gomariz *et al.*, 2006). Este visualizador actualmente se encuentra en una etapa inicial en la que ya se puede consultar información cartográfica de diversos temas, en particular referente a peligros naturales. Sin embargo, para que sea una herramienta útil en el manejo de riesgos y desastres, aún falta agregar información más específica. La forma en que se ha diseñado y construido sirve de guía para otros visualizadores de cartografía Web, aun cuando no se enfoquen directamente a vulnerabilidad, riesgos y desastres. Un esquema del visualizador se muestra en la Figura 1.

El contenido de la información se enfocó principalmente en cartografía temática de amenazas naturales

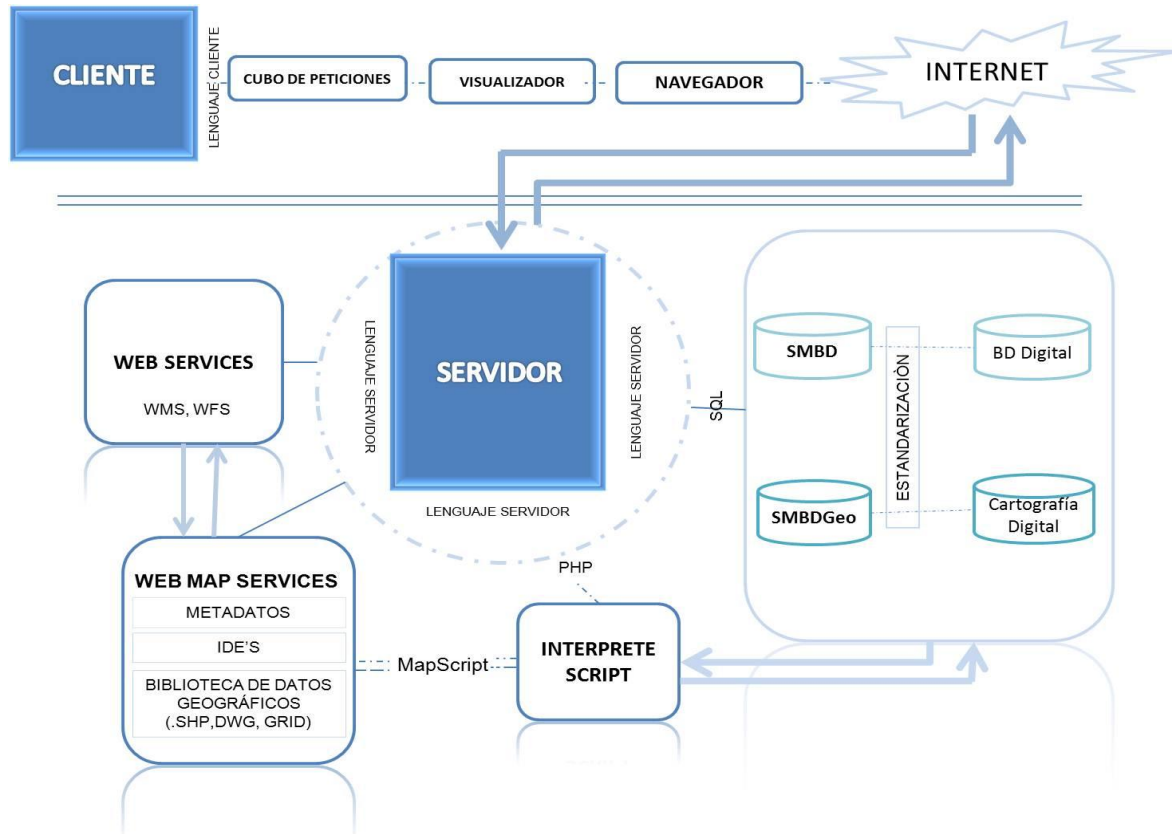


Figura 1. Esquema básico de consulta cliente-servidor a través del Internet: Actores del sistema “■”, Recursos del sistema “□”, Conectores de relación “→”, Separadores entre actores “—”.

geológicas e hidrometeorológicas, así como en cartografía base referente a los límites municipales, localización de asentamientos humanos e infraestructura carretera, a un nivel de desagregación local (1:50000) para el Estado de México. El diseño de la taxonomía para la distribución de capas en el visualizador se hizo con base en la clasificación indicada por los estándares que dicta el Cenapred (2006).

En cuanto al sistema en sí, éste brinda el acceso a una base de datos cartográfica digital ligada a una tabla de datos alfanuméricos que contienen las características específicas de cada entidad geográfica. Las características de construcción del sistema se enfocan en lograr ventajas tales como confiabilidad de datos, integridad y centralización de la información.

El visualizador se plantea como un sistema interactivo que, a diferencia de los mapas estáticos (imágenes congeladas), permite presentar, difundir y actualizar los datos geospaciales y de peligro en tiempo real y en formatos digitales de tipo vectorial, lo que brindará una mejor manipulación para dar pertinencia a la construcción de escenarios, con la meta de que en un momento dado pueda contribuir al diseño de estrategias preventivas y a la planificación de emergencias. Sin embargo, es importante mencionar que este tipo de sistemas puede presentar algunas limitaciones en cuanto a su operación de despliegue de información y

transferencia de datos, ya que en la actualidad estas soluciones están en su etapa de desarrollo y los sistemas de comunicación eficientes son de un alto costo en cuanto a la difusión de datos gráficos, lo que dificulta la publicación de herramientas de este tipo.

Una de las principales ventajas comparativas de un visualizador Web como el que se propone, es la facilidad de su uso. A diferencia de un SIG, en donde el usuario requiere de un conjunto de conocimientos especializados, el usuario del visualizador no los requiere, ya que las bases de datos cartográficas y de atributos ya están construidas para que el usuario las vea y las consulte. Esto es relevante si se toma en consideración que en la mayor parte de los municipios del país los funcionarios públicos están poco preparados, y no obstante se ven en la necesidad de tomar decisiones y tienen la obligación de atender los problemas que se presentan en sus jurisdicciones. De acuerdo con Merino (2007), datos arrojados por la Encuesta Nacional a Presidentes Municipales hecha en el 2004, informan que ese año sólo el 43% de los presidentes municipales tenía la licenciatura completa; en situación similar se encontraban los demás miembros del ayuntamiento. Además la mayoría no había tenido ninguna experiencia previa en administración municipal, y mucho menos en gestión del territorio.

En el caso de riesgos y desastres, normalmente estas decisiones se deben tomar con márgenes de tiempo estrechos, por lo que un visualizador puede proporcionar información valiosa que apoye la toma de decisión; por ejemplo, en caso de emergencia, indicando qué localidades de qué municipios están expuestas al peligro, señalando vías de comunicación adecuadas para una evacuación o lugares seguros para establecer albergues, entre otras.

3. Metodología

Para la elaboración del sistema planteado, fue necesario seguir una metodología que implicó el cumplimiento de pasos relacionados en orden secuencial basada en premisas para disponer de una estructura combinada de elementos de almacenamiento, acceso y análisis de la información. Para tal efecto se definieron tres actividades genéricas, en las que se incluyen la definición del contenido en cuanto a la información geoespacial, el diseño del sistema referente a las herramientas en software y hardware, y el modelo de implementación y despliegue. Cabe mencionar que esta metodología podría servir como documento de consulta para la implementación de otro tipo de visualizadores.

3.1. Definición de Contenido sobre información geoespacial

Como punto de partida para la conceptualización y construcción del visualizador, se definieron los insumos con base en la información geográfica existente y dispo-

nible para el Estado de México en relación a amenazas naturales. Esto se hizo a partir de la consulta, recopilación y valoración de los acervos de cartografía y su estadística de fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Protección Civil del Estado de México. Posteriormente se planteó un conjunto de información básica para el desarrollo del sistema, en formato vectorial (*.shp) a una escala de 1:50000, que contempla la información descrita en la Tabla 1.

La clasificación de dicha información se realizó a partir de un esquema orientado hacia el estudio de los fenómenos con potencial destructivo, en el cual se postulan 5 tipos de fenómenos atendiendo a su origen (Cenapred, 2006).

- **Geológicos:** Se producen por la actividad de las placas tectónicas, fallas continentales y regionales que cruzan y circundan a la República Mexicana. Incluyen sismos, vulcanismo, deslaves, colapsos de suelos, hundimiento regional, agrietamiento, tsunamis y flujos de lodo.
- **Hidrometeorológicos:** Esta clase de fenómenos se derivan de la acción violenta de los agentes atmosféricos como los huracanes, las inundaciones fluviales (costeras y lacustres), las tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad y las temperaturas extremas.
- **Químicos:** Se encuentran íntimamente ligados a la compleja vida en sociedad, al desarrollo industrial y tecnológico de las actividades humanas y al uso de diversas formas de energía. Generalmente afectan en gran medida a las grandes concentraciones humanas e industriales. En esta clase, están incluidos los incendios, tanto urbanos (domésticos e industriales) como

Tabla 1. Descripción de las capas peligro y/o amenazas naturales.

Fenómeno perturbador	Elemento geométrico	Atributos	Descripción
Deslizamientos de tierras	Polígonos	Nombre de los municipios. Número de deslizamientos en forma consecutiva.	Muestra las zonas que son propensas a presentar deslizamientos en el Estado de México. Se clasifican en nulo, bajo, medio, alto.
Fracturas	Líneas	Identificador de las fracturas. Número de fracturas. Longitud de las fracturas.	Muestra la disposición de las fracturas en el Estado de México.
Fallas	Líneas	Identificador de las fallas. Número de fallas. Longitud de las fallas.	Muestra la disposición de las fallas en el Estado de México.
Erosión	Polígono	Grado de erosión.	Indica diferentes grados de erosión en el Estado de México. Área, Perímetro, Grado de erosión: bajo, medio, alto.
Heladas	Polígono	Frecuencia de las heladas.	Indica la frecuencia con la que se presentan las heladas en diferentes zonas del Estado de México.
Granizadas	Polígono	Frecuencia de las granizadas.	Indica la frecuencia con la que se presentan las granizadas en diferentes zonas del Estado de México.
Intensidad de lluvia	Polígono	Intensidad de la lluvia clasificada en minutos: 10, 30, 60.	Muestra la precipitación media anual en las diferentes zonas del Estado de México por medio de isoyetas.
Epicentros	Puntos	Zonas donde se han registrado epicentros de sismos.	Muestra un archivo histórico de las zonas que han sido epicentros de sismos en el Estado de México desde 1912 hasta 1996.
Temperaturas	Polígonos	Temperatura media anual.	Indica la temperatura media anual en grados centígrados de las estaciones meteorológicas de los municipios del Estado de México.

forestales, las explosiones derivadas en su mayoría por el uso, transporte y comercialización de productos combustibles de alto potencial explosivo, radiaciones, fugas tóxicas y envenenamientos masivos.

- Sanitarios: Se vinculan estrechamente con el crecimiento de la población y la industria. Sus fuentes se ubican en las grandes concentraciones humanas y vehiculares. Destacan en este grupo, entre otros fenómenos, la contaminación del aire, suelo y agua, la desertificación, las epidemias y plagas y la lluvia ácida.
- Socio-organizativos: Tienen su origen en las actividades de las concentraciones humanas y en el mal funcionamiento de algún sistema de subsistencia que proporciona servicios básicos. Entre estos se encuentran: accidentes terrestres, aéreos, fluviales y marítimos que llegan a producirse por fallas técnicas y humanas, y que por su magnitud o tipo pueden afectar a parte de la sociedad.

Con base en lo anterior, la información que muestra el visualizador cartográfico Web, corresponde exclusivamen-

te a las clasificaciones de riesgos geológicos e hidrometeorológicos desglosados en la Tabla 1 (aunque, debido a las posibilidades de actualizar y agregar más información al sistema, próximamente se añadirán al visualizador más capas de información relacionada con las amenazas y con el contexto socioeconómica en el que inciden). Aunada a la información temática de peligros o amenazas naturales se incluyó también información de cartografía base y temática en formato vectorial, mostrada en la Tabla 2. Esta información permite contextualizar espacialmente la información cartográfica sobre amenazas.

Con el contenido cartográfico definido en el paso anterior se generó la propuesta del modelo conceptual en cuanto a la forma y estructura de la base de datos georeferenciada, partiendo de la información a nivel municipal, donde se enmarcan las localidades, la red vial, los climas, la geología, el uso de suelo, la edafología y la hidrología; y como segundo nivel, la información por tipo de amenaza, para finalizar con la integración de las características y descripción de cada fenómeno (Figura 2).

Tabla 2. Descripción de la cartografía base y temática.

Nombre	Elemento geométrico	Atributos	Descripción
División estatal y municipal	Polígonos	Identificador del municipio Nombre del municipio	Se muestra la división política del Estado de México a nivel municipal.
Localidades	Puntos	Identificador de localidad Clave de localidad	Muestra las localidades del Estado de México.
Cabeceras municipales	Puntos	Identificador del municipio Nombre del municipio Nombre de la cabecera municipal	Muestra las cabeceras municipales del Estado de México.
Asentamientos irregulares	Polígonos	Identificador del asentamiento irregular Nombre del municipio	Muestra la ubicación de los asentamientos irregulares en los municipios del Estado de México.
Carreteras	Líneas	Tipo de vía	Muestra las vías de comunicación que se encuentran dentro del Estado de México.
Geología	Polígonos	Área Perímetro Identificador geológico Tipo geológico (particular) Tipo de roca o rasgo existente Clave de tipo de roca o rasgo existente Edad de la roca o rasgo existente Era de la roca o rasgo existente Clase a la que pertenece	Muestra la información geológica del Estado de México.
Climas	Polígonos	Área Perímetro Clima Grupo Coeficiente de precipitación Humedad Oscilación térmica	Muestra información sobre los climas que predominan en el Estado de México.
Edafología	Polígonos	Área Perímetro Tipo de suelo	Muestra la información de los diferentes tipos de suelo que se encuentran en el Estado de México.
Uso de suelo	Polígonos	Área Perímetro Clave de suelo Nombre Textura Tipo de suelo	Muestra la información de los diferentes usos de suelo que se encuentran en el Estado de México. Clasificación en urbano, forestal, agrícola y pecuario.

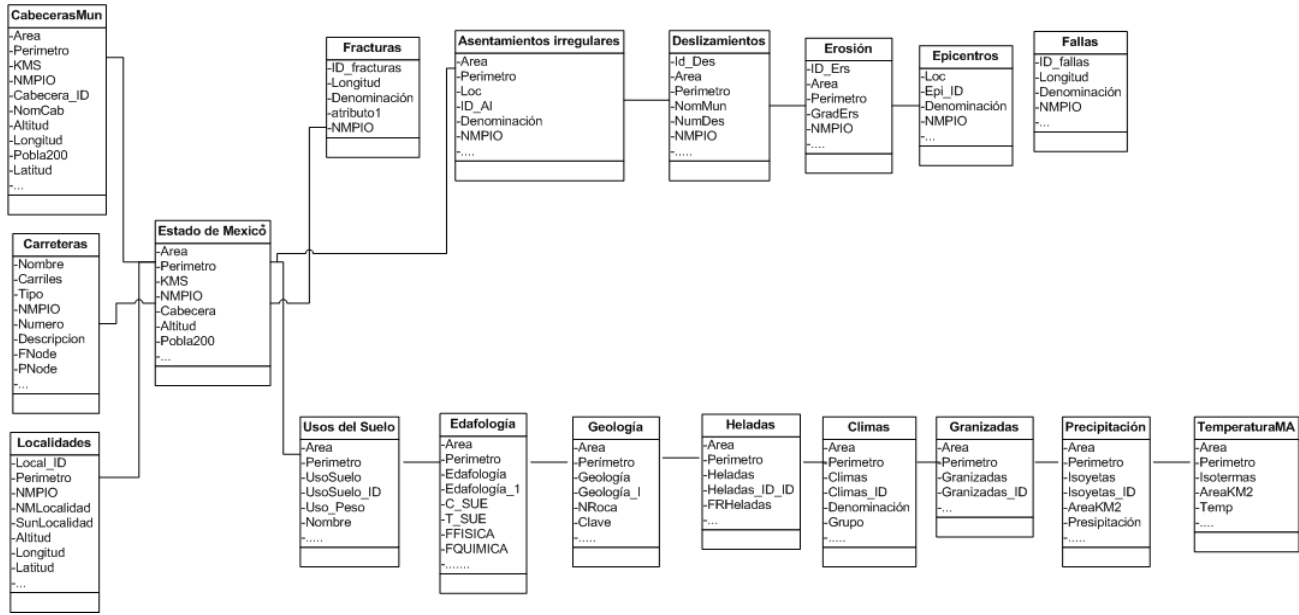




Figura 2. Arquitectura de la Base de Datos: Clases “”, Asociación “”.

3.2. Construcción de la base de datos cartográfica

A partir de la estructura definida referente a la información, el siguiente paso fue la construcción de la base de datos cartográfica digital dentro de un lenguaje estándar de consultas con extensión espacial, el cual es el encargado de gestionar la información de forma relacional, a partir de consultas específicas. Para lograr esto fue necesario definir el Sistema Manejador de Bases de Datos (DBMS), lo que se hizo con base en el estándar internacional de Open Gis Consortium (OGC 2008), el cual proporciona el soporte de bases de datos relacionales y dispone de la capacidad de implementar álgebra especial para su tratamiento; asimismo se consideraron algunos criterios de funcionamiento, entre ellos, que corriera en los sistemas operativos más utilizados y que utilizara el lenguaje de consulta SQL; a partir de esto el DBMS seleccionado para el trabajo fue PostgreSQL (PostgreSQL global development group, 1996) con extensión espacial PostGIS (Ramsey, 2009), siendo éstos el enlace directo con el servidor Web mapping (De la Beaujardiere, 2006) y el SIG.

El primer paso para poder trabajar con la información geoespacial dentro del sistema, fue su manipulación, utilizando la herramienta específica de Shape nach Postgre SQL de software libre, con la cual se realizó la conversión de archivos en formato de consulta *.sql a partir de formatos cartográficos *.shp, siguiendo el método que se muestra en la Figura 3.

Con los archivos *.sql listos, se cargaron las tablas con extensión espacial al DBMS, lo que le permite al visualizador realizar consultas espaciales que localizan los objetos, a partir de determinadas condiciones impuestas por el usuario, para la construcción de modelos o escenarios re-

ferentes a la información de amenazas naturales. Con este último paso se logró el almacenamiento de la información espacial estandarizada y homologada; en otras palabras, se obtuvo la base de datos “Atlas”, con contenidos de información tabular y gráfica en archivos con formato SQL.

3.3. Desarrollo de la interfaz del visualizador cartográfico

Para desarrollar la interfaz en Web se utilizaron los servicios de Web Map Service y Web Feature Service (WMS y WFS, respectivamente) de software libre, bajo el estándar publicado por la organización OGC (2008). Estos servicios fueron utilizados como los motores en Web que realizarían las consultas y recuperación de los datos vectoriales e información alfanumérica ligada a dichos datos; para implementar estos servicios se utilizó como punto de partida la herramienta de MapServer, con la cual se realizó la conexión de la base de datos con el visualizador de forma geográfica a través de la red (Figura 4), a partir de los siguientes pasos:

- Se generaron los archivos *.map (éstos son archivos donde se definen las características de cada capa de información, como proyección, escala y simbología), especificando el nombre de la base “Atlas”, el usuario, el puerto, la contraseña y la dirección local para red interna (Host).
- Se especificó el nivel jerárquico de la información topológica, es decir, la forma de representar la información. Por ejemplo, polígonos para los municipios, líneas para las vías de comunicación y puntos para las localidades, respetando la integridad territorial a través de la aplicación de normas topológicas. El orden en que se colocó la información en el archivo *.map fue polígonos como

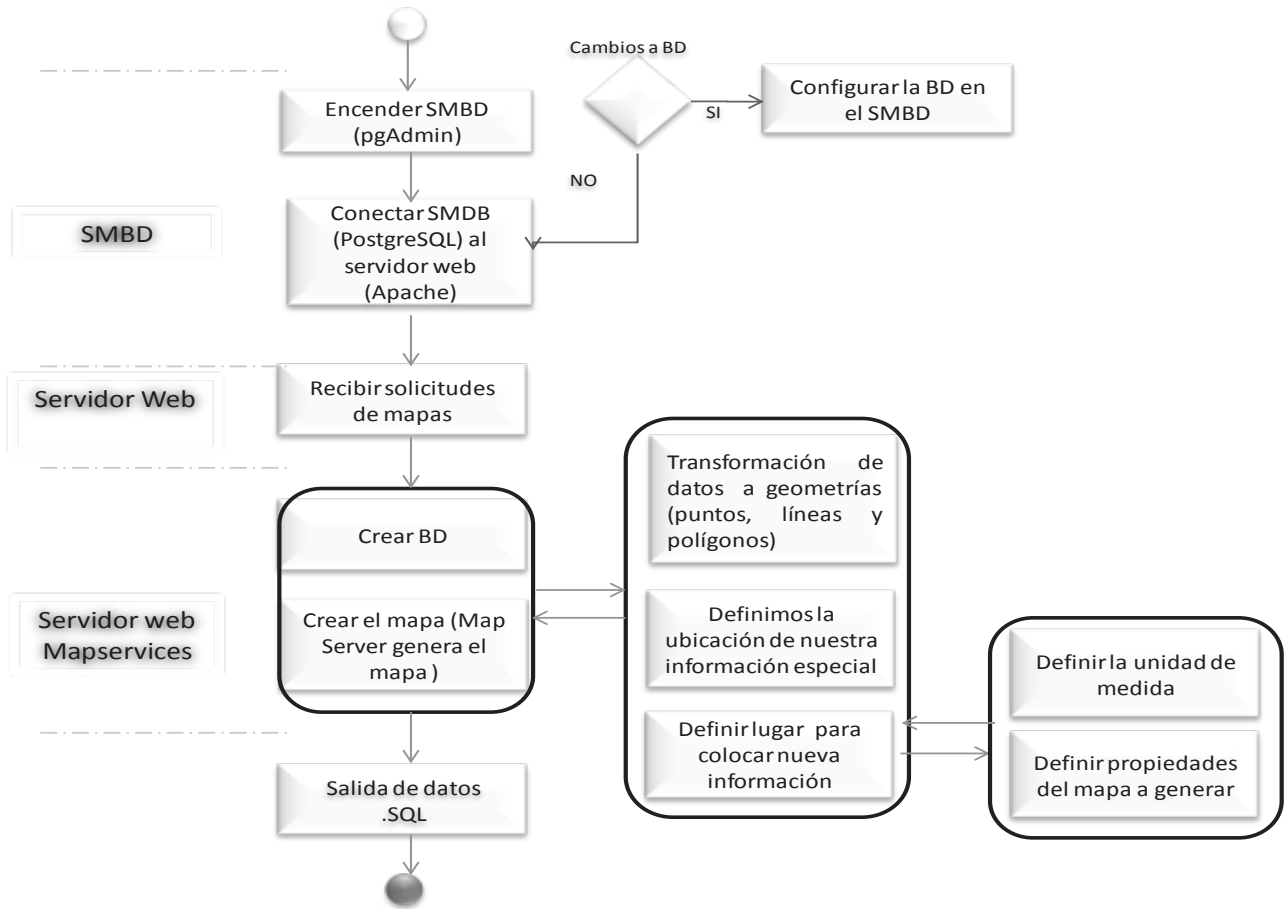


Figura 3. Proceso de conversión de archivos en formato SHP a SQL: Inicio de proceso “○○”, Decisión “◇”, Flujo “→”, Recursos del sistema “□”, BD = Base de datos, SMBD = Sistema manejador de base de datos, Fin de proceso “●”.

base, líneas como información subsecuente y puntos como información final.

- Se delimitó la extensión espacial del mapa a crear, en el sistema de referencia especificado en la proyección ([xmin] [ymin] [xmax] [ymax]), la cual tendrá como base la capa de información municipal, que en este caso corresponde a la capa de mayor nivel jerárquico incluida en el visualizador; el orden de las demás capas que se agreguen será de acuerdo al tipo de geometría especificado anteriormente. Se homologó la proyección de cada capa de información para su visualización conforme a la escala definida (1:50000), es decir, todas las capas de información se pueden sobreponer para visualizarlas en conjunto.

Como proceso final para integrar la interfaz, se adaptó la ventana de visualización y leyenda, a partir de personalizar el cliente Pmapper por medio de la modificación de los archivos:

- Config.ini, con los cuales se definen aspectos funcionales de la interfaz de usuario;
- Php_config.php, para establecer las categorías de leyenda y activar o no las herramientas de navegación y adicionales, como print, download, help;

- Search.SQL, motor de búsqueda para construir las consultas en las bases de datos de cada una de las capas de información.

Logrando así la presentación de contenidos en cuanto a las herramientas de navegación (zoom, pan), funciones de consulta, de impresión, de medidas de distancia, de descarga de imágenes, etc. (Figura 5).

3.4. Implementación

Para verificar si el sistema tiene un buen funcionamiento, se realizó el procedimiento de visualización de la información a partir de las consultas realizadas desde el manejador de base de datos y su extensión espacial PostgreSQL/PostGIS, de la siguiente manera:

- Se verificó la existencia de una base de datos con características espaciales llamada “Atlas”, a partir de implementar el manejador de bases de datos;
- Se corroboró que la base de datos generada tenga por omisión 2 tablas geometry_columns y spatial_ref_sys, de los aspectos geométricos y de sistema de referencia espacial, respectivamente;

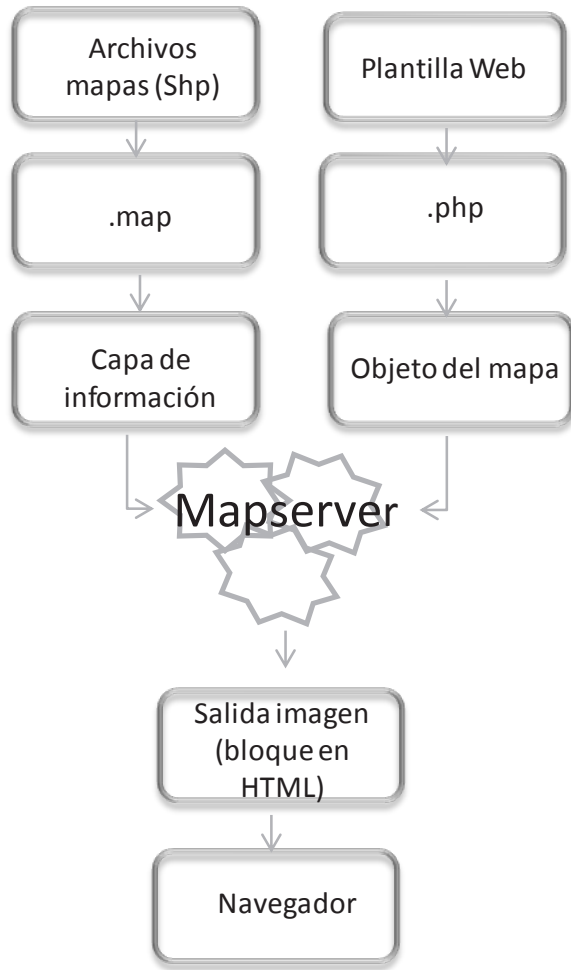


Figura 4. Estructuración de la información en MapServer: Recursos del sistema “”, Conectores de relación “”, Vínculo “”.

- Se cargó la información generada, por medio de un archivo *.backup (que es la unión de todas las tablas generadas dentro de nuestra base de datos) o por medio de generación de archivos *.sql, donde se mandan a llamar todos los archivos transformados a partir del *.shp de forma unitaria;
- Por último, se comprobó por medio de consultas SQL que la información almacenada y la base de datos cumplen con todos los requisitos y funciones para su utilización en el visualizador.

Quedado integrado así el visualizador de información cartográfica Web a escala 1:50000 del Estado de México.

4. Resultados

Como resultado se obtuvo el portal Web de acceso público que se puede consultar a través del URL <http://uiem.no-ip.info/arem/> (dirección donde se aloja el sistema a través del sitio de la Universidad Intercultural del Estado de México). En este espacio está contenido el visualizador de

información de amenazas naturales de forma gráfica y con los datos ligados los objetos espaciales en formato tabular (en la Figura 5 se puede ver un ejemplo de despliegue de datos). Cabe mencionar que, debido a que el visualizador utiliza software libre, la sesión de Internet debe ser ejecutada con el navegador Mozilla Firefox.

El diseño final de la interfaz está compuesto por una ventana general que se organiza a su vez en varias ventanas y apartados.

La ventana principal o de vista es donde se dibujan y visualizan las capas de información activas con sus coordenadas extremas, la escala de trabajo, una herramienta de búsqueda de información de forma específica simple y una herramienta de zoom interactiva.

En la posición izquierda de la ventana se cuenta con una barra de herramientas destinadas a la navegación y desplazamiento, que incluye la siguiente iconografía:

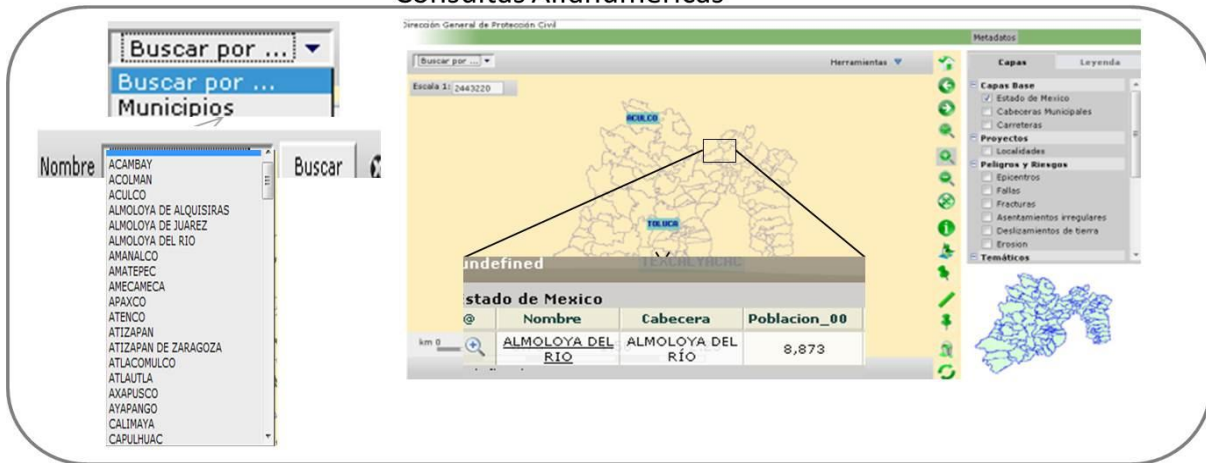
- Zoom in: para ampliar los elementos de una capa temática,
- Zoom out: reduce la vista de los objetos,
- Full extent: para llevar el zoom a extensión total de todos los temas de la vista,
- Previous extent: para regresar a una vista anterior,
- Next extent: para un zoom posterior,
- Pan: para “desplazamiento lateral” de los datos,
- Identificador: herramienta utilizada para consultar los atributos, o propiedades de un objeto (los atributos son recuperados de su tabla y dispuestos en una ventana propia, que muestra sólo las propiedades de los objetos seleccionados),
- Medición: permite realizar la medición de forma interactiva de las distancias entre dos puntos, o de un camino compuesto por varios segmentos de línea,

El visualizador también cuenta con un área de leyenda, que es un listado dinámico de las capas visibles listo para su consulta, así como con una pequeña descripción de las categorías de cada una de las capas.

En cuanto a las funcionalidades que presenta el sistema, se define la especificación del tipo de capas como polígono, línea o punto; la simbología que brinda la selección de colores, a partir de patrones de medición; los símbolos en función del tipo de capa; las categorías, a cada valor alfanumérico corresponderá un símbolo diferente; las cantidades, para el tamaño de los símbolos, el cual será proporcional a los valores de las clases; y los rótulos como pequeña información en forma de texto dispuesta en el mapa.

Entre las funcionalidades más sobresalientes del visualizador se encuentra la de consulta espacial, que sirve para encontrar objetos que satisfagan determinadas condiciones requeridas por el usuario. La consulta espacial puede ser efectuada interactivamente: el usuario va indicando con el *mouse* los objetos que satisfacen determinada condición, o bien, el usuario puede consultar los atributos de los elementos espaciales a través de la construcción de expresiones SQL que permiten seleccionar los datos.

Consultas Alfanuméricas



Consultas Espaciales

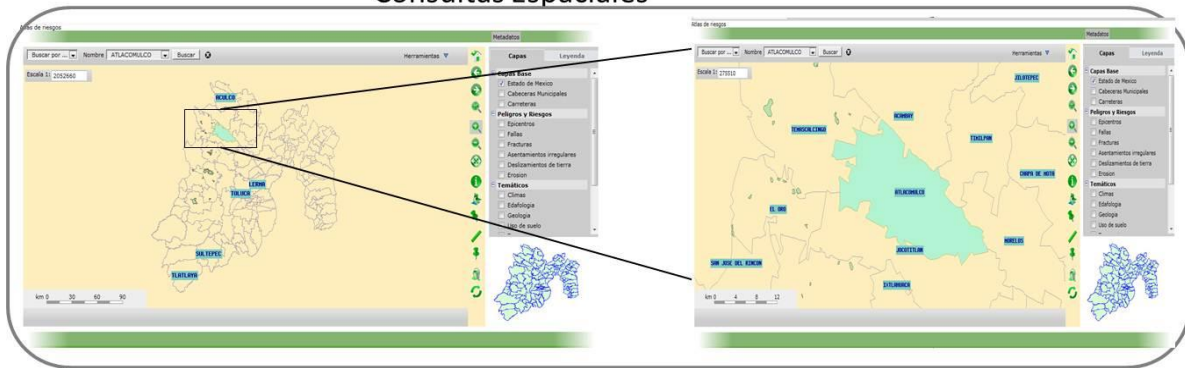


Figura 5. Ejemplo de aplicación de consultas alfanuméricas y espaciales: Recursos del sistema “[]”.

Cabe mencionar que el visualizador está en constante actualización, cada vez tendrá más datos cartográficos y alfanuméricos incorporados, y cada vez el nivel de detalle de los datos será mayor, lo que va a permitir que el visualizador potencialice sus funciones.

5. Conclusiones

Los SIG han demostrado ser una herramienta valiosa para la administración, consulta, visualización y análisis de datos geospaciales, y por ende para su aplicación en temas relacionados con los peligros naturales. Además, el avance de las tecnologías de información en comunicación ha logrado que estos sistemas mejoren en cuanto a distribución o publicación masiva de datos a través de Internet, lo que ha impulsado en las últimas décadas el desarrollo de proyectos en temática geoespacial.

La construcción del visualizador ha sido posible gracias a las tecnologías de información, que permiten trabajar datos georeferenciados sin necesidad de contar con el software instalado en equipos locales, lo que facilita socializar la información con procedimientos sencillos, tanto de acceso como de consulta, a través de un navegador en Internet. A todo esto contribuye también la utilización

de software libre como una alternativa para desarrollar herramientas a bajo costo, que apoyen la investigación académica- tecnológica, tanto en el campo de los peligros naturales como en todos aquellos relacionados con la dimensión espacial de la realidad.

En esta ocasión, el objetivo fue desarrollar un visualizador de cartografía Web, aplicación que se enfoca en la publicación de mapas vectoriales, ofreciendo una posible metodología para usuarios interesados en implementar visualizadores.

Agradecimientos

Agradecemos la traducción del resumen a Gyna Angélica Tapia Caturar y a Jullien Emmanuel Thomas Marie Cheler.

Referencias

Aguirre, B., 2005, Cuba’s Disaster Management Model: Should It Be Emulated?: International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 23, 55-72.
 Alexander, D., 2000, Confronting Catastrophe New Perspectives on Natural Disasters: Guildford and King’s Lynn, England, Oxford University Press, 288 p.

- Bolin, R., Stanford, R., 1999, Constructing vulnerability in the first world: the Northridge earthquake in southern California, 1994, *in* Oliver-Smith, A., Hoffman, S. (eds.), *The Angry Earth. Disaster in Anthropological Perspective*: New York, Routledge, 89-112.
- Bosque, S., Zamora, L., 2002, Visualización geográfica y nuevas cartografías: *GeoFocus*, 2, 61-77.
- Buzai, G., 2006, Geografía y sistemas de información geográfica, *en* Hiernaux, D., Lindón, A. (eds.) *Tratado de Geografía Humana*: México, D. F., *Anthropos*, 582-600.
- Caballero, R., Brambilla, L., Cívico, S., Núñez, G., 2007, SPIGVE Sistema de Publicación de Información Geográfica Mediante Gráficos Vectoriales Basadas en Arquitecturas Cliente Servidor, *en* IX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación: Trelew, Chubut, Argentina, UNPSJB Facultad de Ingeniería-Red UNCI, 519-524.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), 2006, Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y municipales de Peligros y Riesgos: México, D. F., Cenapred-Sistema Nacional de Protección Civil, 389 p.
- De la Beaujardiere, J., 2006, OpenGIS Web Map Server implementation specifications (en línea): Open Geospatial Consortium Inc., actualizado 15 de marzo de 2006, disponible en <<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>>, consultado 20 de octubre de 2009.
- Díaz, M.A., Díaz, C., 2001, El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos. Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas: *Serie Geográfica*, 10, 27-41.
- Echeverría, M., 2001, Las infraestructuras de datos espaciales, experiencias en su implantación: *Revista Boletic*, septiembre-octubre 2001, 38-50.
- Gilbert, C., 1998, Studying Disaster. Changes in the Main Conceptual Tools, *en* Quarantelli, E. (ed.), *What is a Disaster? Perspectives on the question*: Nueva York, Routledge, 11-18.
- Gomaáriz, F., Alonso, F., López, F., 2006, Diseño de un Sistema de Información Geográfica con Interfaz Web en el Campo Experimental de el Ardal (Cuenca de Mula, Murcia), *en* Camacho, M.T., Cañete, J.A., Lara Valle, J.J. (eds.), *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*: Granada, España, Editorial Universidad de Granada: 867- 878.
- Hewitt, K., 1983, La calamidad en la era tecnócrata, *en* Hewitt, K. (ed.) *Interpretations of Calamity From the Viewpoint of Ecology*: Londres, Allen and Unwin, 3-32.
- Map Server, 2009, Welcome to Mapserver (en línea): Minneapolis, Minnesota, EUA, University of Minnesota-Open Source Web Mapping, actualizado 26 de febrero de 2009, disponible en <<http://mapserver.org/about.html>>, consultado 15 de octubre de 2009.
- Merino, M., 2007, Para entender el régimen municipal de los Estados Unidos Mexicanos: México, D. F., *Nostra*, 76 p.
- Rodrigue, C.M., 1993, Chaparral Fire Hazard and the Social Geographies of Risk and Vulnerability: *The California Geographer*, 33, 29-42.
- Open Geospatial Consortium (OGC), 2008, OGC Reference Model (en línea): Open Geospatial Consortium Inc., actualizado 11 de noviembre de 2008, disponible en <<http://www.opengeospatial.org/standards/orm>>, consultado 16 de octubre de 2009.
- Padrón J., Prado, E., Chuvieco, E., 2004, Empleo de Servidores Cartográficos en Internet para la Gestión y Manejo de Desastres: Alcalá de Henares, España, Departamento de Geografía-Universidad de Alcalá, Reporte técnico, 7 p.
- PostgreSQL Global Development Group, 1996, PostgreSQL 9.0.3 Documentation (en línea): POSTGRE SQL, actualizado 19 de marzo de 2007, disponible en <<http://www.postgresql.org/docs/manuals/>>, consultado 15 de octubre de 2009.
- Ramsey, P., 2009, Manual PostGIS (en línea): PostGIS, actualizado 8 de febrero de 2009 disponible en <<http://postgis.refractor.net/documentation/postgis-spanish.pdf>>, consultado 3 de noviembre de 2009.
- Trejo, R., 2001, Vivir en la sociedad de la información. Orden global y dimensiones locales en el universo digital: *Revista iberoamericana de ciencia, tecnología, sociedad e innovación*, 1, 1-11.
- Wiljkman, A., Timberlake, L., 1984, Natural disasters, Acts of God or Acts of man?: Londres, Earthscan, 126 p.

Recibido: Octubre 02, 2009

Recibido corregido: Enero 27, 2010

Aceptado: Febrero 10, 2010