



SOLUCIÓN PARA EL ANÁLISIS DE RUTAS SOBRE UBICACIONES GEOGRÁFICAS DE INTERÉS PARA LAS GEOCIENCIAS

Grethell Castillo Reyes, Armando Batista Piñeda, Leiny Ruíz Cervera, Ariel Labrada Delgado, Gerdys Ernesto Jiménez Moya

Universidad de las Ciencias Informáticas, Facultad 6, Centro de Geoinformática y Señales Digitales, Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Torrens, La Lisa, La Habana, Cuba. Email: gcreyes@uci.cu

RESUMEN

En los diversos campos de acción de las geociencias, es fundamental disponer de mecanismos para el registro de volcanes, excavaciones arqueológicas, yacimientos minerales, explotaciones de minas y otros sitios de valor histórico y/o científico para la geofísica, la geología, la meteorología y el resto de las disciplinas. Con esta información espacial, luego se pueden realizar análisis para determinar los tiempos de respuesta en caso de desastre natural, el recorrido óptimo entre fenómenos determinados evitando áreas que por sus características topológicas sean inaccesibles, entre otras acciones con relevancia para la toma de decisiones. Los elementos mencionados anteriormente son intrínsecos al proceso de análisis de rutas sobre ubicaciones geográficas. Este trabajo expone el resultado de la implementación de un módulo para el cálculo de rutas, como parte de un paquete para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica con tecnologías libres, denominado GeneSIG. Dicha herramienta, brinda un conjunto numeroso de funcionalidades para la obtención de las trayectorias óptimas (en distancia o tiempo) entre los diferentes objetivos geográficos de interés, teniendo en cuenta las direcciones y los sentidos de circulación, las zonas de exclusión o barreras, entre otros criterios de análisis. Además, incluye la representación de los resultados sobre la cartografía en la Web y varias operaciones complementarias para exportar información sobre la distancia y el tiempo estimado entre los puntos, el consumo de combustible, así como las indicaciones giro-a-giro para los itinerarios. También, permite exportar a formatos estándares de intercambio para la transferencia de datos de Sistemas de Posicionamiento Global entre aplicaciones.

ABSTRACT

In the various fields of action of geosciences, it is essential to have mechanisms for registering volcanoes, archaeological digs, mineral deposits, exploitation of mines and other sites of scientist and historical value for geophysics, geology, meteorology and other disciplines. With this spatial information, then you can perform analysis to determine the response time in case of natural disaster, the optimal route between phenomena avoiding certain areas than its topological features are inaccessible, among other actions relevant to decision making. The above mentioned elements are intrinsic to the process of analyzing routes on geographical locations. This paper presents the result of the implementation of a module for calculating routes as part of a package to develop GIS with free technologies, called GeneSIG. This tool provides a large set of features for obtaining optimal trajectories (in distance or time) between different interest geographical targets, considering the locations and directions of traffic, exclusion zones and barriers, and others criteria. It also includes the representation of results on web mapping and complementary operations to export information about distance and estimated time between points, fuel consumption, as well as turn-by-turn directions for the routes operations. Also, allows export to standard exchange formats for data transfer between Global Positioning Systems applications.

INTRODUCCIÓN

En el transcurso de su larga existencia, la Tierra ha ido cambiando. Algunos cambios son rápidos y violentos, como cuando se producen deslizamientos o erupciones volcánicas. En otras ocasiones, los cambios ocurren tan lentamente que no se aprecian durante toda una vida (Tarbuck y Lutgens, 2005). En cualquier caso, estos procesos tienen un impacto sobre el hombre y este se ha interesado por



comprenderlos. Así se han desarrollado las ciencias de la Tierra o geociencias, que básicamente son las disciplinas que estudian la estructura, morfología, evolución y dinámica del planeta.

Las ciencias de la Tierra constituyen una herramienta para planificar una explotación racional de los recursos naturales, comprender las causas que originan los fenómenos naturales que afectan al ser humano y cómo este influye en la naturaleza con sus acciones. Por otro lado, permiten entender los procesos naturales que han favorecido y/o amenazado la vida del hombre, y su estudio está ligado tanto al estudio de los flujos de energía en la naturaleza y al aprovechamiento de los mismos, como a la prevención de riesgos medioambientales, sísmicos, meteorológicos y volcánicos, entre otros.

En Cuba, como en otras regiones del mundo, existe un conjunto significativo de riesgos de origen geológico (Iturralde-Vinent, 2007) que tienen efecto en la superficie terrestre. Se pueden citar eventos como terremotos, derrumbes de laderas montañosas, deslizamientos de lodo y piedras, desplomes de cavernas, concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en aguas y suelos, colapsos totales o parciales de edificios, represas, embalses, puentes y túneles, entre otros.

En muchos casos, los eventos geológicos que constituyen amenazas para la salud, la vida, el medio ambiente y la economía, se pueden prevenir o mitigar mediante el conocimiento de las fuentes de vulnerabilidad. En consecuencia, es fundamental para el trabajo de los profesionales vinculados a las geociencias contar con la ubicación de estos fenómenos, así como otros de interés histórico, científico o social y con esta información espacial, luego poder realizar cálculos para determinar los tiempos de respuesta en caso de desastre natural, el recorrido óptimo entre localizaciones determinadas, evitando áreas que por sus características topológicas sean inaccesibles, entre otras acciones con relevancia para la toma de decisiones.

En este sentido, son frecuentes algunas interrogantes: ¿Cuál es la vía más rápida para ir hasta una zona de riesgo de deslizamiento en un transporte de carga? ¿Cómo llegar y regresar desde un punto determinado al yacimiento minero más próximo? ¿Cuáles son las distancias entre los pozos de petróleo en explotación? Los elementos mencionados anteriormente son intrínsecos al proceso de análisis de rutas sobre ubicaciones geográficas. El objetivo de este trabajo es exponer el resultado de la implementación de un módulo para el cálculo de rutas, como parte de un paquete para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con tecnologías libres, denominado GeneSIG, que es el resultado del desarrollo colaborativo entre la empresa XETID, el Grupo Empresarial GEOCUBA y la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI).

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del módulo de análisis de rutas está sustentado sobre tecnologías web, e involucra un conjunto de herramientas y tecnologías que se caracterizan por no requerir el pago de licencias por ser de carácter libre.

El proceso de desarrollo está basado fundamentalmente en la combinación de dos modelos de procesos: iterativo incremental y basado en componentes. El lenguaje definido para la modelación es UML y como herramienta CASE se emplea Visual Paradigm.

Siguiendo el concepto de utilizar tecnologías libres en el desarrollo, el Sistema Operativo donde se implementa la solución es GNU-Linux con la distribución Debian en su versión 6. Como servidor web se utiliza Apache y como servidor de mapas MapServer (The MapServer Team, 2011), un entorno de desarrollo de código abierto que permite la consulta, visualización y análisis de la información geográfica en aplicaciones SIG a través de la Web. Este servidor de mapas se caracteriza por implementar diversos servicios basados en los estándares definidos por la *Open Geospatial Consortium* (OGC), lo que garantiza su interoperabilidad con otras aplicaciones de este tipo. La



implementación se realizó a través de los lenguajes de programación JavaScript del lado del cliente y PHP 5 del lado del servidor. Los componentes de interacción con el usuario se basan en la biblioteca ExtJS.

En el caso del lado del servidor, el desarrollo se apoya en el framework CartoWeb, el mismo constituye la columna vertebral de la Plataforma GeneSIG, por lo que los componentes que la integran deben estar orientados a la arquitectura que define. CartoWeb es un marco de trabajo construido con PHP y basado en el funcionamiento de MapServer para el desarrollo de aplicaciones SIG en la Web (CartoWeb, 2008). Su principal característica es que define una arquitectura modular y escalable, permitiendo separar física y lógicamente los clientes de los servidores.

Para el renderizado de los mapas en el cliente se utiliza la biblioteca OpenLayers 2.12. OpenLayers permite a los desarrolladores de SIG en la Web, integrar componentes de mapas dinámicos desde diversas fuentes de información. Además proporciona un conjunto de componentes y herramientas de desarrollo similares a la API de *Google Maps*. Tiene la ventaja de que toda la funcionalidad se ejecuta en el navegador web, lo que disminuye la dependencia de la parte servidora y acelera el renderizado de la información (Pérez, 2012).

Como gestor de base de datos se utiliza PostgreSQL con su extensión PostGIS para el manejo y soporte de los datos geoespaciales. A su vez, se emplea pgRouting, extensión de PostgreSQL y PostGIS que permite trabajar con redes de viales para el cálculo y análisis de trayectorias y hace uso de las funcionalidades que brinda PostGIS para consultar los datos referentes al grafo de carreteras almacenado en base de datos (Puentes y col., 2012). Esta biblioteca cuenta con un conjunto de algoritmos para el manejo del ruteo geoespacial, de los cuales se utilizan los siguientes:

- `dijkstra_sp` (*Dijkstra Shortest Path*): El objetivo de este algoritmo es buscar el camino más corto entre dos objetivos determinados (un origen y un destino). Su principal diferencia con el algoritmo Dijkstra convencional es que persigue además reducir el tiempo de respuesta de pgRouting. En estos casos, el tiempo de respuesta del algoritmo depende en gran medida de la cantidad de datos de viales registrados que tengan que ser consultados. Para reducir este tiempo se disminuyen los datos consultados, analizando solamente los datos contenidos en un área, delimitada por el origen y el destino.
- `tsp_disjkstra` (*Travelling Salesman Problem*): Algoritmo que brinda solución al Problema del Vendedor Viajero para recorrer una serie de objetivos desde un punto origen determinado teniendo en cuenta la ruta más corta que permita visitar cada objetivo y luego regresar al origen.

RESULTADOS

La solución desarrollada se integra como un componente más a la plataforma GeneSIG. Como se representa en la Figura 1, es posible agregarlo o excluirlo sin afectar el funcionamiento del sistema por la arquitectura modular que lo caracteriza.

Además, el módulo se integra con otros dos componentes de la Plataforma especializados de igual manera en el análisis de redes viales. El primero de ellos tiene como objetivo obtener las áreas de disponibilidad de servicio para un conjunto de objetivos puntuales. Por otra parte, el segundo componente se emplea para obtener los objetivos puntuales más cercanos a un punto capturado sobre el mapa dado una serie de criterios de análisis asociados a la red vial.

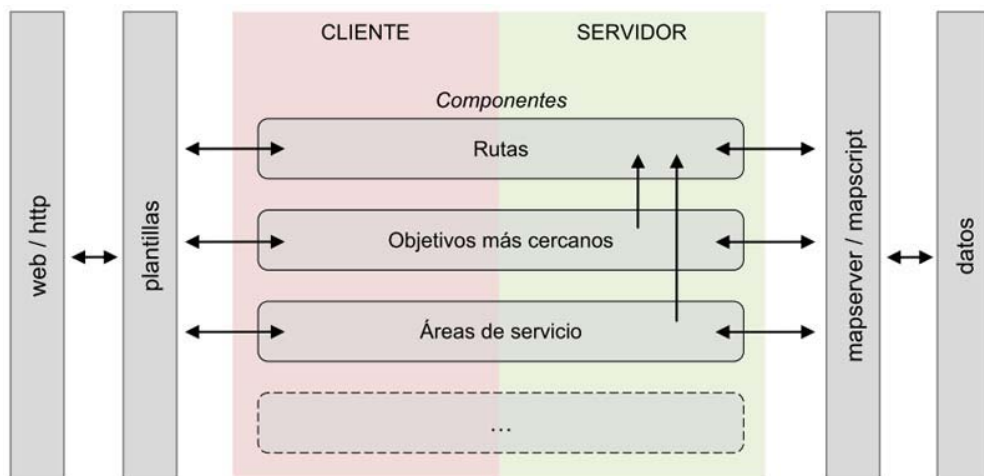


Figura 1. Arquitectura modular basada en componentes reutilizables de GeneSIG.

Mediante la interfaz de la Figura 2a se configuran los parámetros necesarios para el análisis de rutas posterior. Se pueden agregar puntos de interés sobre el mapa, especificando la denominación y las coordenadas precisas si el usuario lo estima pertinente. Es posible cambiar el tipo (origen o destino) y el orden de los puntos.

Una vez capturada la información correspondiente a los puntos orígenes y destinos, en esta pantalla se definen los criterios de análisis como la prioridad, si se permite el giro en “U” en la vía, el sentido de circulación, si se desea regresar al punto inicial, entre otros. Se puede indicar si la trayectoria a obtener será para lograr el menor tiempo posible o la menor distancia, además de seleccionar el tipo de transporte a utilizar (carro ligero, carro pesado, bicicleta, motocicleta) o un recorrido peatonal.

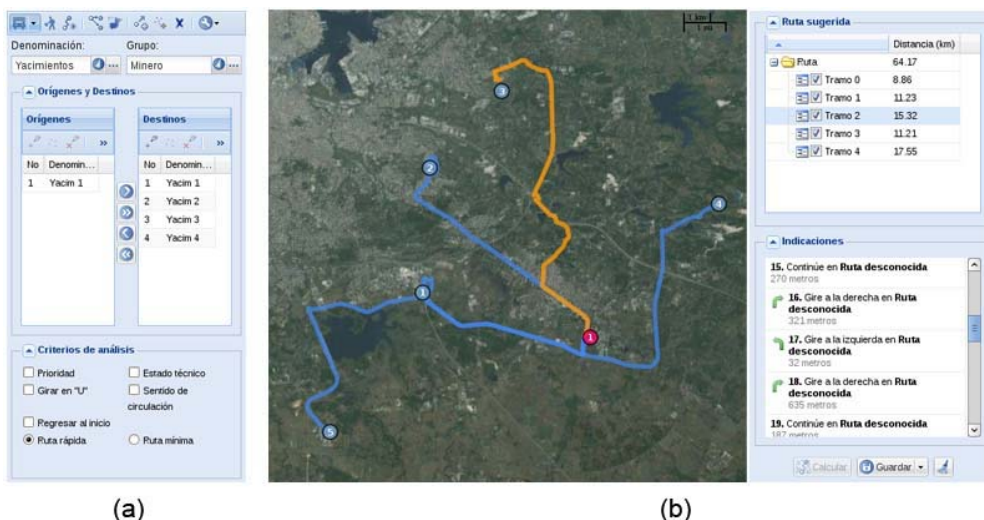


Figura 2. Principales componentes de la herramienta de análisis de rutas de la plataforma GeneSIG (a) interfaz de configuración, (b) resultados del cálculo, (c) tablas de distancia exportadas.

Otra de las opciones es el cambio del tipo de ruta sobre el mismo conjunto de puntos. Adicionalmente se pueden agregar paradas intermedias a un recorrido.

Todos los datos de configuración pueden almacenarse (antes o después del cálculo) para su consulta posterior y/o realizar nuevos análisis a partir de la información existente. Además estos pueden ser agrupados, lo que resulta de utilidad para la inclusión de un conjunto de configuraciones de rutas en grupos determinados por un criterio, con el objetivo de organizarlas e identificarlas con mayor rapidez.

El resultado del cálculo se representa gráficamente sobre el mapa mediante los tramos o trayectorias entre los puntos que componen la ruta (ver Figura 2b). Los tramos pueden seleccionarse u ocultarse para una mejor interpretación y de cada uno se puede consultar la distancia y el tiempo de recorrido acorde a los criterios de análisis establecidos. También se obtienen las indicaciones giro-a-giro para llegar desde el punto inicial hasta el punto final del tramo.

Por otra parte, al planificar el recorrido de una ruta determinada (Figura 3a), pueden existir caminos que estén ligados a diferentes obstáculos que impidan el paso, tales como las características de la topografía, derrumbes, inundaciones, entre otros fenómenos que puedan afectar la trayectoria. Para estos casos, el módulo implementado posibilita la inclusión de barreras o zonas de exclusión, conformadas por puntos, líneas o polígonos que se representan sobre el mapa y luego son evaluados al realizar el cálculo. El resultado de una ruta de este tipo (Figura 3b) consiste en una trayectoria que evita el paso por los lugares abarcados en las barreras definidas, bordeándolas de manera que el recorrido se afecte en el menor grado posible.



Figura 3. Comparativa del resultado del cálculo de ruta (a) sin barreras y (b) con barreras

Una opción de notable utilidad práctica es la generación de tablas de distancias entre un conjunto de objetivos de una ruta calculada. Esta funcionalidad ofrece una matriz con las distancias en las unidades de medida que se especifiquen, incluyendo el consumo aproximado de combustible según las características del medio de transporte (Figura 4a). Además, pueden agregarse las indicaciones giro-a-giro para llegar a cada uno de los puntos que componen la ruta (Figura 4b).

El resultado del cálculo de una trayectoria puede ser exportado a formato GPX o *GPS eXchange Format* (Formato de Intercambio GPS). Este formato constituye un esquema basado en XML para transferir datos entre Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), dígame los puntos (*waypoints*), trayectorias (*tracks*) y rutas (*routes*). A través de esta funcionalidad es posible cargar en otros



sistemas las rutas que han sido calculadas en GeneSIG, incluso permitiendo su utilización en dispositivos móviles.

TABLA DE DISTANCIAS APROXIMADAS DE LA RUTA YACIMIENTOS						
PUNTO ORIGEN	No	PUNTO DESTINO	DISTANCIA (KM)	CONSUMO (DIESEL, KM/L)		
Yacim 1	1	Yacim 1	8.86	0.89		
	2	Yacim 2	11.23	1.12		
	3	Yacim 3	15.32	1.53		
	4	Yacim 4	11.21	1.12		
	5	Yacim 5	17.55	1.76		

Generado por GeneSIG v2.0. 08 de Septiembre del 2014

(a)

(b)

Figura 4. Información generada (a) Tabla de distancia (b) Indicaciones giro-a-giro

El despliegue (acorde a la estructura de GeneSIG) se recomienda en tres nodos físicos (Figura 5). El primer nodo representa un dispositivo que puede ser una PC, un dispositivo móvil, o cualquier otro dispositivo que tenga conexión TCP/IP o *wifi*, y que además disponga de un navegador web para visualizar la Plataforma. Este nivel de accesibilidad a la Plataforma es de gran utilidad para su uso y adaptación en diferentes entornos. El segundo nodo representa el servidor donde se aloja GeneSIG con sus componentes, incluyendo la solución que se propone en este trabajo. El servidor de mapas es el encargado de construir y visualizar el mapa según las peticiones recibidas desde el cliente. Por último, el tercer nodo contiene el servidor de bases de datos, el cuál responde todas las peticiones realizadas por la Plataforma. Es aquí donde se ubica la estructura utilizada para almacenar de manera física toda la información geográfica y socioeconómica asociada al sistema.

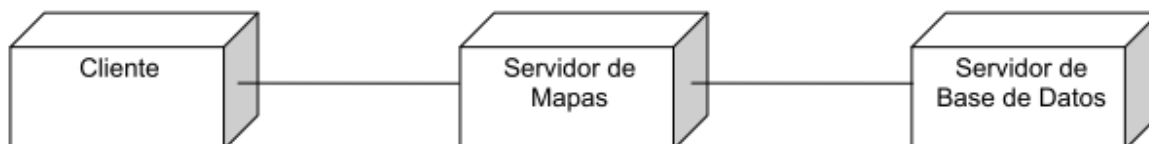


Figura 5. Esquema de despliegue de la solución.

DISCUSIÓN

Con la intención de evaluar el nivel funcional del resultado obtenido se realizó un estudio comparativo con otras herramientas que permiten el análisis de rutas sobre redes viales a partir de objetivos geográficos puntuales. Existen varias soluciones, sin embargo se consideran las mejores candidatas: *ArcGIS Network Analyst* (ESRI, 2012) y *Google Maps* (Google, 2015).

ArcGIS Network Analyst es una extensión de *ArcGIS*, una familia integrada de productos de software SIG. Esta es una solución bastante completa y potente, su principal inconveniente es el costo y el hecho de comercializarse bajo licencia privativa que dificulta el acceso al código fuente y en consecuencia se limitan las contribuciones directas al desarrollo por parte de la comunidad. En el caso de *Google Maps*, no existen restricciones de uso, pero si se sobrepasan las 50000 visitas se deben contactar con los autores. Es una herramienta con alto grado de usabilidad, sin embargo su utilización se basa en un servicio que está condicionado al acceso a Internet por los usuarios finales.



En la Tabla I se representan las características funcionales evaluadas con un nivel (alto, medio, bajo, nulo) asociado a cada una de las soluciones mencionadas.

Tabla I. Evaluación del nivel funcional de *ArcGIS Network Analyst*, *Google Maps* y el componente desarrollado.

Característica funcional	<i>ArcGIS Network Analyst</i>	<i>Google Maps</i>	<i>GeneSIG Plugin Routing</i>
Tipo de circulación y variedad de tipos de transporte	+++	++	+++
Personalización de la simbología para los puntos	+++	-	+
Gestión de Barreras (puntos, líneas o polígonos)	+++	-	+++
Atributos de impedancia	++	+	+++
Restricciones o criterios de análisis	+++	+++	+++
Cambio de tipo de ruta	-	-	+++
Gestión de Paradas o Puntos Intermedios	+++	+	++
Generación de Tablas de Distancia	-	-	+++
Indicaciones giro-a-giro para los tramos	+++	+++	+++
Generación de rutas alternativas	-	+++	-
+++ Alto ++ Medio + Bajo - Nulo			

CONCLUSIONES

La solución tiene diversas aplicaciones en áreas vinculadas al transporte y el control de flotas terrestres como es el caso de instituciones y organismos relacionados con las geociencias. Es notable su aplicabilidad en el registro y análisis sobre objetivos de interés turístico, económico, científico y social relacionados con esta rama, sobre todo su utilidad en la toma de decisiones en caso de desastres naturales u otro tipo de fenómeno.

Los resultados alcanzados pueden considerarse equiparables funcionalmente con soluciones de alto impacto como *ArcGIS* y *Google Maps*, con las ventajas de no requerir pago de licencias para su uso y los clientes pueden tener acceso al código fuente si lo solicitan.

Además, es posible la personalización de la solución en aplicaciones SIG desarrolladas a partir de la plataforma GeneSIG. La reutilización de componentes de terceros, bibliotecas libres y otros recursos colaborativos, facilitan la incorporación de nuevas funcionalidades, así como la mejora de las actuales, asegurando la escalabilidad y sostenibilidad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- CartoWeb, 2008. Cartoweb Home - Advanced Geographical Information System for the Web. [en línea] <http://cartoweb.org/> 23 de enero de 2015.
- ESRI, 2012. ArcGIS Resource Center. Tutorial de ArcGIS Network Analyst. [en línea] <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00470000005r000000>, 23 de enero de 2015.
- Iturralde-Vinent, M. A., 2007. Geología de Cuba para todos. Edición Científica. 114 p.
- Google, 2015. Google Maps Help. [en línea] <https://support.google.com/maps/?hl=en#topic=309242>, 23 de enero de 2015.
- Pérez, A. S., 2012. OpenLayers Cookbook. Packt Publishing Ltd.



- Puentes, L. S; Gregorio A.R.R; Puente, R.R., 2012. Propuesta de software libre para la implementación de cálculo de rutas en Sistemas de Información Geográfica. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. 5 (7).
- Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K., y Tasa, D., 2005. Ciencias de la Tierra. Pearson Educación S. A., Madrid, 736 p.
- The MapServer Team, 2011. MapServer open source web mapping. [en línea]
<http://mapserver.org/es/MapServer.pdf>, 5 de diciembre de 2014.