

GEOBASE y VISUALNGAT: HERRAMIENTAS PARA AUXILIAR LA TOMA DE DECISIONES

Aracelys García Armenteros, Joanna Campbell Amos*, Sira Allende Alonso, Frank Rosales González
Universidad de La Habana, Cuba.

ABSTRACT

A Geographic Information System is a software that integrates various components that allow the organization, storage and analysis of large amounts of data linked to a spatial reference. A variant of cartographic applications is destined for the collection of information about places of interest from forms. These applications are very useful for conducting scientific research, resource control and solving optimization problems such as optimal route design. GeoBase is a cartographic mobile application that allows adding information associated with a location, using dynamic forms previously configured by the user. VisualNGAT is a desktop application that allows you to obtain transportation networks or algorithmic graphs from georeference information (a map) or algorithmic graphs that constitute the input to solve VRP (Vehicle Routing Problem) or ARP (Arc Routing Problem) problems. This paper illustrates how GeoBase and VisualNGAT can be used to obtain input data for optimization algorithms through the definition of geological interest sites of the Ministry of Energy and Mines.

KEYWORDS: GeoBase, mobile app, data entry, VisualNGAT, decision making.

MSC: 68N99

RESUMEN

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) es un software que integra diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento y análisis de grandes cantidades de datos vinculados a una referencia espacial. Una de las variantes de aplicaciones cartográficas es la destinada para la recolección de información de sitios de interés a partir de formularios. Estas aplicaciones resultan de mucha utilidad para la realización de investigaciones científicas, el control de recursos y la resolución de problemas de optimización como puede ser el diseño óptimo de rutas. GeoBase es una aplicación móvil cartográfica que permite añadir información asociada a una ubicación, mediante formularios dinámicos configurados por el usuario. VisualNGAT es una aplicación de escritorio que permite a partir de información georeferenciada (un mapa) obtener redes de transporte o grafos algoritmos que son la entrada para resolver problemas VRP (Vehicle Routing Problem, Problema de enrutamiento de vehículos en español) o ARP (Arc Routing Problem, Problema de enrutamiento por arcos en español). En el presente trabajo se ilustra mediante la definición de sitios de interés geológicos del Ministerio de Energía y Minas cómo pueden ser utilizadas GeoBase y VisualNGAT para la obtención de datos de entrada a los algoritmos de optimización.

*joanna@matcom.uh.cu

PALABRAS CLAVE: GeoBase, aplicación móvil, entrada de datos, VisualNGAT, toma de decisiones.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de información geográfica es de gran interés e importancia en distintas esferas del conocimiento a lo largo de la historia. Los mapas constituyen la herramienta por excelencia para el trabajo con este tipo de información. Estos son un medio indispensable para la localización y la orientación, pero actualmente son múltiples los usos que se le puede dar a un mapa por la gran variedad de información que puede manejar.

Con la llegada de la revolución digital, el uso de impresoras, escáneres y el procesamiento digital de imágenes, se facilitó el acceso y la difusión de los mapas. Este hecho, unido al desarrollo de la industria del software propiciaron el surgimiento de herramientas computacionales dedicadas al manejo de la información geográfica, los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en inglés, Geographic Information System) [21].

Un SIG [21] es un software que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación y análisis de grandes cantidades de datos que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos socioculturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz. Tener acceso a estas herramientas resulta de gran utilidad para resolver diversos tipos de problemáticas por la gran variedad de información que pueden proporcionar. Pueden ser utilizadas, por ejemplo, para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental y la cartografía.

Una de las variantes de aplicaciones cartográficas es la destinada para la recolección de información de sitios de interés a partir de formularios. El uso fundamental de este tipo de aplicaciones reside en el trabajo de campo, en el terreno, donde el trabajador debe trasladarse por varios lugares y obtener información en cada uno de ellos. Esto generalmente se aplica en el ámbito de la ingeniería, arquitectura o las ciencias sociales. Las aplicaciones cartográficas destinadas a este tipo de trabajo resultan de mucha utilidad ya que facilitan el trabajo y brindan una portabilidad y seguridad de la información para su traslado hasta el lugar de procesamiento.

La Facultad de Matemática y Computación de la Universidad de La Habana cuenta con experiencia en el desarrollo de SIG, particularmente los SIG Web, ejemplo de esto es el sistema de información geográfica OpenLatinoServer [15], que permite mostrar determinadas regiones y ofrece herramientas para manipular y consultar datos geográficos. Para tecnologías móviles se cuenta como antecedente con trabajos realizados para la tecnología de los Asistentes Digitales Personales (PDA [3], por sus siglas en inglés, Personal Digital Assistant). Con el paso del tiempo y con el desarrollo de la telefonía móvil los PDA fueron sustituidos por los teléfonos móviles inteligentes. Por este motivo surge la necesidad de conformar una propuesta de desarrollo de una aplicación para el uso en dispositivos móviles con sistemas operativos Android ¹ y iOS ², que facilite el manejo de información u objetos de interés por medio de formularios dinámicos y asociados a una ubicación geográfica.

¹Sistema operativo móvil basado en el núcleo Linux y otros softwares de código abierto.

²Sistema operativo móvil de la multinacional Apple Inc.

En la actualidad existe una amplia variedad de herramientas para el uso de la información geográfica y el trabajo con mapas. En la fase inicial de la investigación, se analizaron varias aplicaciones que poseen funcionalidades similares a los requerimientos planteados por los clientes, que serán expuestos más adelante. Estas herramientas son Google Maps[10], MAPS.ME[11] y All-In-One Offline Maps[1]. En general estas herramientas permiten la creación y el manejo de puntos de interés, pero no brindan la posibilidad de construir información de estos puntos de forma dinámica.

Por lo anteriormente expuesto se ha implementado la aplicación móvil GeoBase [7], que recoge información alfanumérica asociada a un elemento geográfico, cumpliendo con los siguientes requerimientos:

- Emplear un visor de mapas que consuma WMS ³ [9].
- Admitir el uso de la aplicación sin depender de un proveedor de mapas remoto en específico y/o haciendo uso de fuentes locales configurables.
- Facilitar una interfaz visual para configurar las distintas categorías y definir sus columnas.
- Brindar mecanismos de acceso a los sensores del dispositivo móvil para una recopilación de datos más completa, dígame GPS (Global Positioning System por sus siglas en inglés o Sistema de Posicionamiento Global) y cámara como los principales.

En este trabajo se describe de modo general la estructura de la aplicación, las facilidades que ofrece y su uso para organizar la información necesaria sobre el sistema. Una vez almacenada esta información, los analistas pueden proponer estrategias y con estos puntos se pueden crear redes de transporte con la información visual proporcionada por un mapa digital, permitiendo a los directivos trazar estrategias para auxiliar la toma de decisiones y abordar la solución del problema, teniendo en cuenta el ahorro de combustible o priorizando reparaciones en una zona afectada.

GeoBase se puede aplicar a distintos escenarios como en los servicios territoriales, redes de transporte y las cadenas de distribución y servicios en Cuba. Por ejemplo, en la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. (ETECSA) y la Unión Eléctrica (UNE) se puede realizar un levantamiento de postes de telefonía o eléctricos que requieran mantenimiento o se encuentren en estado de deterioro. En la Empresa Aguas de La Habana, con GeoBase se pueden focalizar los puntos de una tubería conductora de agua en los que se detectaron salideros planificando el arreglo según la gravedad de la avería. Además, se pudieran insertar las bodegas de un determinado municipio en las que el Ministerio de Comercio Interior (MINCIN) debe distribuir productos normados a la población, así como las tiendas y puntos de venta de la Corporación CIMEX en los que se distribuye mercancía. En el trabajo, se ilustra el uso de la aplicación GeoBase en la descripción de sitios de interés geológicos definidos por el Ministerio de Energía y Minas y el diseño de un recorrido por estos geositios.

El artículo está estructurado de la siguiente forma: En la sección 2. del artículo se presentan las principales funcionalidades de la aplicación móvil GeoBase. En la subsección 2.1. se describe la fundamentación teórica de la herramienta y en la subsección 2.2. se explica su relación con Visual NGAT [20], aplicación que permite integrar la creación de redes de transporte con la información visual proporcionada por un mapa digital. En la sección 3. y la subsección 3.1. se muestra la utilidad

³Web Map Service o Servicio de publicación de mapas es un estándar que ofrece una sencilla interfaz HTTP.

de GeoBase para auxiliar la toma de decisiones mediante la definición de sitios de interés geológico del Ministerio de Energía y Minas. Para finalizar, se presentan las conclusiones y líneas de trabajos futuros en la sección 4. y la bibliografía consultada.

2. APLICACIÓN MÓVIL GEOBASE

GeoBase muestra información sobre los puntos de interés en un mapa, y permite añadir nuevos por medio de formularios construidos de forma dinámica a partir de distintas categorías. Las categorías son estructuras que el usuario define, y se pueden usar para clasificar los puntos de interés que se añadan al mapa. Poseen además información para mostrar visualmente en el mapa estos puntos, así como definen la estructura de la información que estos contienen. Estas permiten dividir los puntos introducidos en subconjuntos.

Además es posible crear, editar y eliminar tanto las categorías como sus columnas en tiempo de ejecución. Las columnas de una categoría contienen la descripción del nombre (texto utilizado para nombrar una categoría) y el tipo de datos de cada campo [6].

Los puntos de interés son los objetos con los que principalmente se interactúa en la aplicación. Son datos estructurados asociados a una ubicación geográfica. Representan los marcadores del mapa, con información asociada, visible al pulsar sus marcadores. Dado que un punto de interés pertenece a una categoría, ya tiene definidos en la aplicación los campos de esa categoría.

En la aplicación existe solo un rol de usuario, que puede acceder a la aplicación sin introducir ningún dato previo al sistema, teniendo disponibles todas las funcionalidades. Referido al visor de mapas el usuario tiene acceso a todas las operaciones de crear, consultar, actualizar y eliminar sobre las categorías, las columnas asociadas a cada categoría y los puntos de interés georreferenciados [6]. Además tiene opciones para interactuar con el visor de mapas y configurar la fuente de la cartografía.

2.1. SOPORTE TEÓRICO DE LA HERRAMIENTA

Para el desarrollo de aplicaciones móviles se reportan en la literatura varias tecnologías, entre ellas Xamarin [22], React Native [17] y Flutter [4]. En [6] se presenta un análisis comparativo de las mismas. Para la implementación de GeoBase se ha seleccionado Flutter como plataforma de desarrollo y como gestor de mapas el paquete flutter map [5] por las facilidades que brinda su paquete de herramientas de interfaz de usuario para desarrollar aplicaciones de forma rápida y sencilla que funcionen en más de una plataforma (*Android* e *iOS*) a partir de una única base de código con un rendimiento y una experiencia de usuario que es igual a las aplicaciones nativas⁴. Flutter suple deficiencias de otras plataformas respecto al apartado gráfico, posee una comunidad de desarrollo cooperativa con amplia documentación y facilita la realización de pruebas automatizadas[6].

Con el objetivo de facilitar el mantenimiento y la extensión de las funcionalidades de GeoBase a medida que el proyecto se amplía, la aplicación ha sido desarrollada siguiendo principios SOLID⁵ de la programación orientada a objetos presentados por Robert Martin [12].

⁴Aplicaciones desarrolladas para un sistema operativo móvil concreto en el lenguaje de programación específico de cada plataforma.

⁵SOLID: Single responsibility, Open-closed, Liskov substitution, Interface segregation and Dependency inversion.

La arquitectura de software seleccionada para la implementación de la aplicación es Arquitectura Limpia [13, 12] (Clean Architecture en idioma inglés), debido a que plantea la organización del código en componentes o módulos separados lo que permite desarrollar aplicaciones con muy bajo acoplamiento ⁶ y alta cohesión ⁷. De esta forma, se facilitan las pruebas de software y la extensión de la aplicación en el futuro. Para la implementación de esta arquitectura en GeoBase se definieron tres capas que se describen a continuación [6]:

- *Presentation*: compuesta principalmente por componentes de la interfaz de usuarios.
- *Domain*: Contiene solo la lógica de negocio, con los servicios que atienden a cada funcionalidad, los objetos de uso general en la aplicación (entidades), así como la definición de las interfaces a implementar en las capas adyacentes.
- *Infrastructure*: Contiene las funciones correspondientes al acceso a datos, base de datos locales, APIs⁸ remotas, configuraciones almacenadas, y el acceso a los sensores del terminal.

En la Figura 1 se representa la dependencia funcional entre las capas descritas por medio de un diagrama .

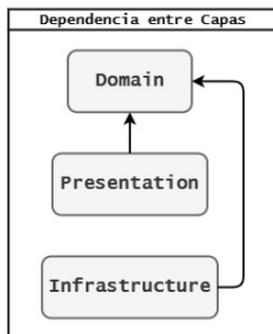


Figura 1: Dependencia funcional entre las capas de la arquitectura de software

Para garantizar la persistencia de los datos necesarios en el cumplimiento de los requerimientos del cliente se consideró el uso de una base de datos relacional [8], donde las relaciones se consideran en forma lógica como conjuntos de datos llamados tuplas, y cada relación como si fuese una tabla que está compuesta por registros (cada fila de la tabla es un registro o tupla) y columnas (también llamadas campos).

Una de las formas de representar la estructura de las bases de datos relacional es el Modelo Entidad-Relación (MER) que modelan los requisitos de almacenamiento de datos de una organización con tres componentes principales: entidades, atributos e interrelaciones [2, 8]. Las entidades son la representación de un objeto o concepto del mundo real que se describe en una base de datos. Cada

⁶Grado de dependencia de los módulos de un sistema entre ellos.

⁷Se refiere al grado en que los componentes de un módulo se relacionan entre sí, un módulo tiene alta cohesión si todos, o la mayoría de sus componentes trabajan para un mismo objetivo.

⁸Application Programming Interface(por sus siglas en inglés): es un conjunto de rutinas, funciones y procedimientos que ofrece una biblioteca para ser utilizada por otro software.

entidad está constituida por uno o más atributos los cuales representan una propiedad de interés de una entidad. Interrelación es el vínculo entre dos o más entidades que describe alguna interacción entre las mismas con el fin de evitar redundancia de datos guardados en las tablas.

El MER diseñado en GeoBase [6] consta de siete entidades: *Category* la cual define la clasificación de un punto de interés o geodata. *Column* describe un campo o columna de una categoría. *Geodata*, entidad asociada a una ubicación geográfica y a su información relacionada con la categoría a la que pertenece. *FieldValue* contiene el valor de un campo o columna de un Geodata; *FieldType* define un tipo de campo; *Media* entidad que incluye un nuevo tipo de campo para la introducción en base de datos de archivos locales como imágenes, pdf; y *StaticSelection* define un nuevo tipo de *FieldType* para la selección estática, es decir es una lista desplegable de posibles valores.

Una *Category* esta compuesta por varias *Columns* las cuales son necesarias para definir el formulario de esa categoría. A su vez una *Column* puede estar en una sola *Category*, estableciéndose una relación uno a muchos. Una *Column* está relacionada con un *FieldType*, el cual define el tipo de la columna que puede ser un entero o cadena de texto. *Media* y *StaticSelection* heredan de *FieldType*, es decir que ellas tienen los mismos atributos que *FieldType* e incorporan nuevos como la extensión y el archivo para el caso de *Media* y las opciones para el caso de *StaticSelection*. Un *Geodata* está definido por su ubicación geográfica, la categoría a la que pertenece y los valores de las columnas asociados dicha categoría. Un geodata se puede considerar una terna formada por las entidades *Category*, *Column* y *FieldValues*. En la Figura 2 se presenta el Modelo Entidad-Relación de la aplicación GeoBase descrito anteriormente.

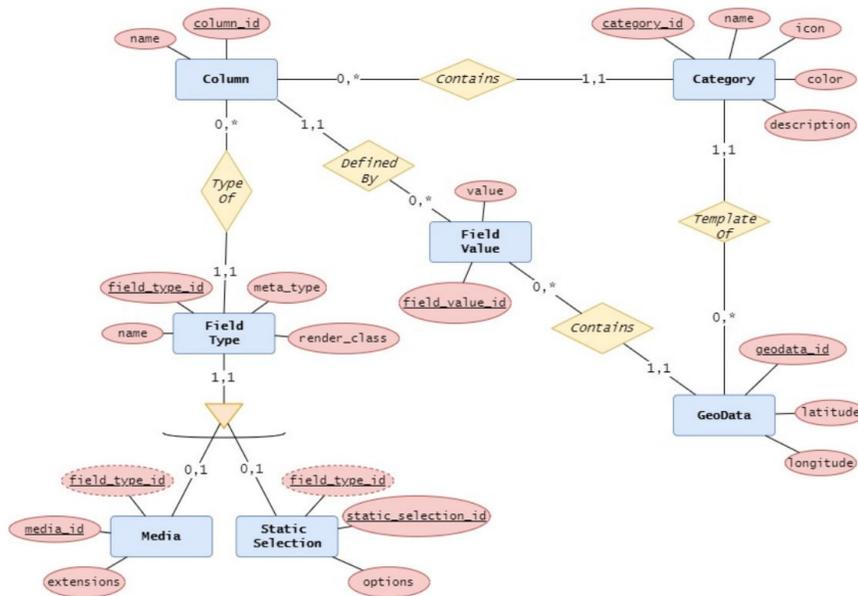


Figura 2: Modelo Entidad-Relación de la aplicación GeoBase

Como en la aplicación se debe garantizar la persistencia de la información sobre los puntos de interés se debe mencionar que cada geodata es creada con una categoría que define sus campos y su compor-

tamiento en el visor de mapas. Así se llega a la entidad *Category*, que cumple como descriptor de cada tipo de punto de interés, Si se desea añadir geodata es necesario definir previamente una categoría para este tipo de localización con sus campos correspondientes.

2.2. INTERACCIÓN ENTRE LAS HERRAMIENTAS GEOBASE Y VISUALNGAT

Durante un levantamiento en campo con GeoBase se obtiene y almacena información sobre los puntos de interés en tiempo real mediante un mecanismo de acceso a los sensores del dispositivo móvil como son GPS y cámara. Este mecanismo fue diseñado de manera extensible para otros sensores como micrófono y video. GeoBase puede aportar los puntos de manera semiautomática a VisualNGAT [20, 19] mediante el traspaso de ficheros.

Visual NGAT es una aplicación que permite integrar la creación de redes de transporte con la información visual proporcionada por un mapa digital a partir de las coordenadas geográficas. VisualNGAT permite, además, la exportación de datos que se usan como entrada de Problemas de Enrutamiento y la visualización de las soluciones de estos problemas. Esta herramienta aporta valiosa información en la toma de decisiones a la hora de lidiar con problemas logísticos de esa naturaleza.

En la Figura 3 se muestra la interacción entre GeoBase, VisualNGAT y los servicios externos. En estos servicios externos, representados en la Figura 3 con la caja negra Algoritmo, es donde se implementa el posible algoritmo de optimización como puede ser el diseño de rutas. El presente trabajo no se centra en la implementación de dichos algoritmos, sino en brindar una entrada de datos lo más real posible haciendo uso de un GIS. La aplicación Visual NGAT tiene como objetivo principal exportar un fichero con la entrada para un problema de rutas y luego de resuelto este por un mecanismo externo, visualizar su solución sobre el mapa. El proceso de interacción de ambas aplicaciones se describe en los siguientes pasos:

1. Obtener los puntos georreferenciados con GeoBase y visualizarlos en VisualNGAT.
2. Obtener el grafo algoritmo y calcular la distancia entre los puntos con VisualNGAT.
3. Cargar el fichero con la solución del problema y visualizarla sobre el mapa en VisualNGAT.

El grafo puede ser no dirigido si se trata de un recorrido peatonal, donde se deben tener en cuenta los pasos por los que puede transitar una persona; o un grafo dirigido en el que es relevante el sentido de las calles y los giros prohibidos. Los vértices son los puntos a visitar, las aristas el enlace entre estos puntos y su costo puede ser el camino mínimo a recorrer o la distancia euclidiana. VisualNGAT exporta un fichero con el grafo resultado, el cual sería tratado como un problema de diseño de rutas, y devuelve una salida ordenada de los puntos a visitar visualizados en la propia herramienta, como se muestra en la Figura 3.

Distintos tipos de recorridos pueden ser definidos en dependencia de los objetivos y en correspondencia, distintos problemas en términos del grafo construido. Algunos ejemplos se presentan en la Tabla 1. Todos los cálculos y cómputos necesarios para completar esta tarea, son realizados en la capa de servicios de NGAT [19]. En esta capa, además, es donde se encuentran definidas todas las extensiones actuales con las que cuenta la plataforma, desde los diferentes ficheros de grafos disponibles hasta los

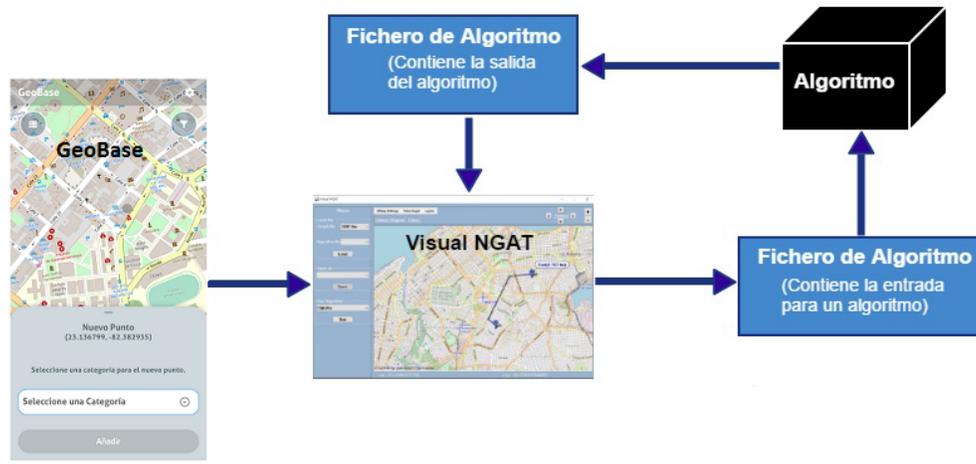


Figura 3: Interacción entre GeoBase y VisualNGAT

Descripción del problema	Algoritmo solución
Recorrido más corto incluyendo todos los puntos de interés	Camino pre-hamiltoniano de menor longitud
Recorrido más corto incluyendo cada punto de interés exactamente una vez	Camino hamiltoniano de menor longitud
Recorrido más corto incluyendo cada arista de interés exactamente una vez	Camino euleriano de menor longitud
Recorridos que empiezan y terminan en el mismo punto, visitando cada vértice exactamente una vez	Problema del viajante de comercio

Tabla 1: Propuestas de solución a distintos tipos de problemas de recorrido

proveedores y filtros de capas. Esto permite a Visual NGAT realizar el proceso mostrado en la Figura 3 de manera dinámica y fluida, dando siempre varias opciones para realizar cada paso anteriormente descrito.

Fijados los puntos a incluir en un recorrido mediante la herramienta GeoBase, que describe sus coordenadas de ubicación espacial, es preciso entonces mediante VisualNGAT:

- Analizar el escenario del recorrido para determinar la función de distancia que es adecuado considerar.
- Determinar las vías de accesibilidad entre puntos y sus restricciones de circulación.
- Representar los puntos del recorrido y las vías de acceso entre cada par de ellos sobre un grafo.
- Calcular la distancia entre cada par de puntos teniendo en cuenta las vías de accesibilidad y restricciones previamente determinadas.

- Identificar el tipo de recorrido de interés.
- Aplicar un algoritmo apropiado para el diseño del recorrido deseado.
- Representar el recorrido sobre el mapa.

3. UTILIDAD DE LA APLICACIÓN GEOBASE PARA LA TOMA DE DECISIONES

La ubicación espacial de los elementos involucrados en un análisis y la descripción de sus características son fundamentales para el decisor. La herramienta construida ofrece la posibilidad de ubicar elementos del objeto de estudio y representar relaciones entre ellos en modelos matemáticos. Encontrar una solución a tales modelos mediante algoritmos adecuados, ofrece criterios objetivos para analizar alternativas ante una situación. A continuación se discute el empleo de la herramienta propuesta en un problema de clasificación y diseño de recorrido, ilustrados en el marco de la definición de sitios de interés geológicos del Ministerio de Energía y Minas, presentado en el epígrafe 3.1..

3.1. DEFINICIÓN DE SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

En la Gaceta Oficial de la República de Cuba [14] se define como geositio o sitio de interés geológico un lugar donde pueden observarse rasgos geológicos característicos y representativos de minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas, así como los paisajes presentes en un territorio de cualquier provincia del país.

En el año 2005 el Ministerio de Energía y Minas comenzó un programa para el inventario de los geositios cubanos que incluye su localización y características bien definidas en la Gaceta Oficial. De acuerdo a esas características es posible clasificar y agrupar los geositios siguiendo determinados criterios como pudieran ser interés turístico, vías de acceso u otro. De ese modo se tienen registradas las fichas de los geositios cubanos. En la Figura 4 se muestra como ejemplo la ficha del geositio "Tetas de María la Gorda". La información contenida en las fichas es de utilidad para identificar geositios con ciertas características, determinar los que guardan similitud o aquellos que por ser diversos puede ser de interés agrupar. Sobre esa base, es posible gestionar sitios y paisajes de importancia geológica con un concepto holístico de protección del patrimonio natural y cultural para integrar geoparques. Para ilustrar la utilidad de la aplicación consideremos, a modo de ejemplo, los geositios del municipio Viñales en Pinar del Río. Se trata de identificar aquellos en estado físico apropiado, declarados o propuestos como áreas protegidas, que posean valor histórico y didáctico y un alto interés científico. Es objetivo evaluar la organización de un recorrido a través de esos puntos. El diseño de la aplicación GeoBase permitió registrar las características de cada geositio de la provincia y exportar esa información a una tabla EXCEL. Con las características deseadas se identificaron los siete geositios referidos en la Tabla 2 (entre paréntesis el correspondiente número de ficha).

La aplicación Geobase permite registrar de modo portable la información necesaria e introducir las modificaciones necesarias para ello. Para este caso de estudio se definió en Geobase una categoría (*Category*) cuyo atributo nombre es Geositio, la cual tiene como columnas (*Columns*): nombre del geositio, provincia, municipio, estado físico, área protegida, valor histórico, importancia didáctica,

PLANILLA DE GEOSITIO

- 1.- Nombre del geositio: Tetas de María La Gorda.
 2.- No. de la ficha: 8.
 3.- Localidad: Punta Caimán, Cabo Corrientes.
 4.- Municipio: Sandino.
 5.- Provincia: Pinar del Río.
 6.- Vía de acceso: Carretera al Centro de Buceo María La Gorda, después camino de la costa hasta Punta Caimán.
 7.- Coordenadas geográficas: N 21°48'08.50", W 84°30'44.20".
 8.- Coordenadas planas: X: 136 848, Y: 223 894.
 Hoja Mapa 1:50 000: 3281 I, Cabo Corrientes.
- 9.- PARÁMETROS
- 9.1. Estado físico: Apropiado , Poco Apropiado , Inapropiado
 Observaciones: No tiene contactos antropizantes, es un acantilado de algo más de 2 m de altura sin afectaciones visibles.
- 9.2. Representatividad y valor científico: Alta , Medio
 Observaciones: Es el mejor sitio conocido donde se encuentran en un contacto expuesto las formaciones Jaimanitas y Vedado, a lo largo de unos 40 o más metros de frente de terraza limpia y con características específicas, mostrando todas las características de dichas unidades litoestratigráficas.
- 9.3. Valor histórico: Alto , Medio
 Observaciones: Este contacto ha sido estudiado por los investigadores del Cuaternario y por geomorfólogos y carsólogos desde hace años.
- 9.4. Importancia didáctica: Alta , Media
 Observaciones: Constituye un excelente ejemplo de formaciones geológicas en contacto, superficie de terraza marina intensamente carsificada y acantilado marino elevado.
- 9.5. Valor estético: Alto , Medio
 Observaciones: Presenta un valor apreciable para la observación geoturística, por las razones expuestas.
- 9.6. Rareza: Notable , Escasa , Común
 Observaciones: Es apreciable la rareza de este acantilado elevado donde se observa claramente el contacto entre las formaciones geológicas Vedado y Jaimanitas.
- 9.7. Irrepetibilidad: Irrepetible , Repetible
 Observaciones: Es el único ejemplo claro que se conozca en Cuba.
- 9.8. Vulnerabilidad: Muy vulnerable , Vulnerable , Poco vulnerable
 Observaciones: Solo puede llegarse caminando junto a la playa y es interesante para el turismo especializado y para el turismo, general pues no se encuentra expuesto a la acción antrópica.
- 9.9. Tamaño: Grande , Mediano , Pequeño
 Observaciones: Ocupa toda el área de Punta Caimán.
- 9.10. Accesibilidad: Muy accesible , Accesible , Poco accesible , Inaccesible
 Observaciones: Por ser un trayecto por la playa desde María La Gorda.
- Medida de geoconservación: Colocar cartel explicativo. Se encuentra en un área protegida y se propone como turismo de naturaleza.

Figura 4: Ficha del geositio “Tetas de María la Gorda”

representatividad y valor científico. Las 3 primeras columnas son de tipo (*fieldType*) cadena de texto. El resto de las columnas son de tipo *StaticSelection*. Por ejemplo, para la columna estado físico los posibles valores son: apropiado, poco apropiado e inapropiado.

Los geositios referidos en la Tabla 2 quedan registrados en la aplicación GeoBase como se muestra en la Figura 5, donde se debe señalar que debido a la cercanía geográfica de los geositios con número de ficha 28 y 31 estos aparecen solapados en el mapa.

La completa caracterización de los geositios en la aplicación ofrece elementos adicionales como la vulnerabilidad de los siete (cuatro de ellos clasificados como muy vulnerables). Aspecto importante para evaluar la organización del recorrido es que sólo uno de estos geositios se califica de poco accesible

Geosítio
Puerta del Ancón (27)
Holoestratotipo del Miembro San Vicente, Formación Guasasa (28)
Cueva del Cumpleaños (31)
Hoyos de San Antonio. Localidad fosilífera (38)
Laguna de Piedras, Sector La Jutía (39)
Laguna cársica, Laguna de Piedras (40)
Mogote de la Mina (41)

Tabla 2: Leyenda de áreas declaradas o propuestas como áreas protegida en Viñales con estado físico apropiado, valor histórico, didáctico y alto interés científico

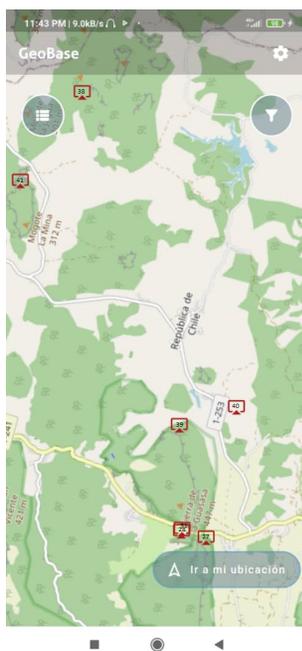


Figura 5: Propuestas de área protegida de Viñales con estado físico apropiado

y es justamente el que muestra notable rareza y caracteres irrepetibles. La localización de los geosítios descritas en la aplicación por sus coordenadas geográficas es la información requerida por Visual NGAT para calcular las distancias entre los puntos usando las vías de acceso y diseñar el recorrido, usando un algoritmo exacto (soft de libre acceso) para calcular el camino hamiltoniano de longitud mínima. Una vez registrados en GeoBase los geosítios que conforman el geoparque, mostrados en la Figura 5 se traspasa el fichero a VisualNGAT para construir un grafo donde se obtiene la matriz de distancias entre los geosítios mostrada en la Tabla 3, donde los puntos corresponden con los números de ficha mostrados en la Tabla 2 y la distancia está expresada en metros (m). Cada punto de interés puede representarse por un vértice de un grafo y las vías de acceso ser descritas

	27	28	31	38	39	40	41
27	0	507	516	13240	4280	4139	11498
28	507	0	9	12898	4787	4647	11156
31	516	9	0	12889	4797	4656	11147
38	13240	12898	12889	0	8959	9699	2734
39	4280	4787	4797	8959	0	739	7217
40	4139	4647	4656	9699	739	0	7957
41	11498	11156	11147	2734	7217	7957	0

Tabla 3: Distancias entre los geositios registrados en la aplicación

mediante el conjunto de aristas. Con la matriz de distancia presentada en la Tabla 2 se aplica una herramienta libre publicada en internet⁹ para resolver un TSP (Travelling Salesman Problem, Problema del Viajante de Comercio en español) [16] usando el método de ramificación y poda (branch and bound method en inglés) [18] con el propósito de encontrar el camino mínimo para recorrer los geositios mostrados en la Figura 5. El recorrido obtenido se muestra en la Figura 6, donde el costo mínimo del recorrido es 28234 m y las letras que identifican cada nodo indica el siguiente orden para visitar los geositios según su número de ficha: 41, 38, 31, 28, 27, 40, 39, 41.

So our final path is G - D - C - B - A - F - E - G
and total distance is 2734 + 12889 + 9 + 507 + 4139 + 739 + 7217 = 28234

Figura 6: Recorrido propuesto entre los geositios

Luego de resuelto el problema por un mecanismo externo, VisualNGAT permite visualizar la solución sobre el mapa tomando en consideración las vías de acceso a los geositios (carreteras). Para el diseño del recorrido entre los geositios representados en la Figura 5, se construyó el grafo que se muestra en la Figura 7, donde la numeración corresponde al orden en que se deben visitar los geositios, se debe tener en cuenta que el número 8 coincide con el número 1 porque es el inicio y fin del recorrido. Se propone visitar los geositios en el siguiente orden: 1-Mogote de la Mina (41), 2-Hoyos de San Antonio Localidad fosilífera (38), 3-Cueva del Cumpleaños (31), 4-Holoestratotipo del Miembro San Vicente, Formación Guasasa (28), 5-Puerta del Ancón (27), 6-Laguna cársica, Laguna de Piedras (40), 7-Laguna de Piedras, Sector La Jutía (39) y por último retornar al geositio donde se inicia el recorrido. Con la aplicación GeoBase se puede recoger y almacenar toda la información requerida sobre los geositios. Esta información es recogida en la categoría *Geositios* creada y sus columnas asociadas, que representan las características a tener en cuenta en la construcción de los geoparques o rutas turísticas. GeoBase brinda la posibilidad de agregar nuevas columnas con vistas a nuevos algoritmos de clasificación, y además permite conocer la ubicación geográfica de estos puntos, información con la

⁹Disponible en: <https://cbom.atozmath.com/Menu/CBomMenu.aspx>

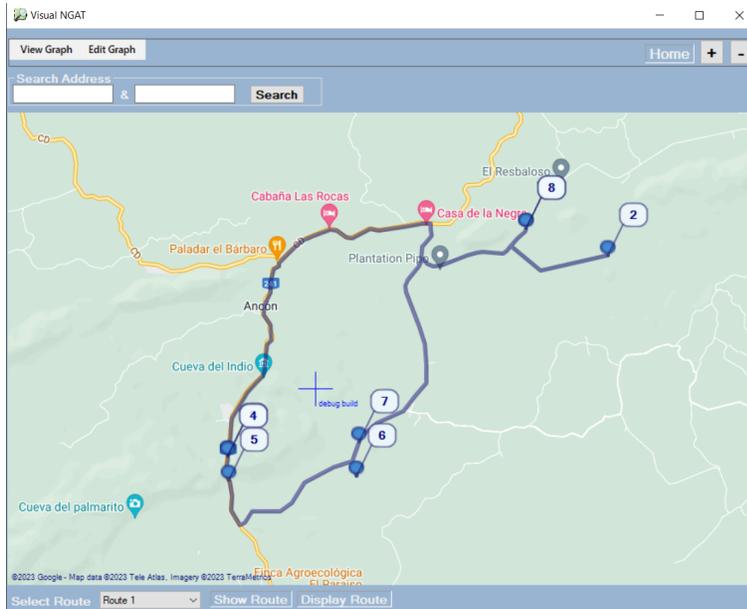


Figura 7: Propuesta de recorrido entre los geositios

cual se puede calcular la distancia euclidiana y posteriormente visualizar el recorrido haciendo uso de VisualNGAT.

4. CONCLUSIONES

GeoBase es una aplicación funcional, capaz de mostrar información sobre los puntos de interés en un mapa, así como añadir nuevos por medio de formularios construidos de forma dinámica a partir de distintas categorías. Durante un levantamiento en campo con GeoBase se obtiene y almacena información sobre los puntos de interés en tiempo real, brindando portabilidad y seguridad de la información para su posterior procesamiento.

En el presente trabajo se mostró como GeoBase, en interacción con VisualNGAT, provee la entrada de datos reales a problemas de optimización como pueden ser problemas de diseño de rutas o de clasificación. Posteriormente la solución a estos problemas es visualizada en VisualNGAT, favoreciendo la toma de decisiones en la solución a estos problemas.

Se debe mencionar además, que la implementación de Arquitectura Limpia favorece la extensión de la solución en el futuro. Para darle continuidad al trabajo presentado los autores consideran que se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Extender los tipos complejos para aceptar diferentes tipos de fuentes de datos, haciendo uso de otros sensores o recursos de los dispositivos móviles que puedan agregarse en un futuro.
- Admitir la configuración de acciones al añadir nuevos geodata, para por ejemplo enviar un SMS o un correo electrónico con las coordenadas o compartir de manera automática en alguna red social la información de esta geodata.

RECEIVED: SEPTEMBER, 2022.
REVISED: NOVEMBER, 2023.

REFERENCIAS

- [1] All-In-One OfflineMaps (2021): Sitio oficial de All-In-One OfflineMaps Accedido: 2021-07-22.
- [2] COSTAL, D. (2014): Introducción al diseño de bases de datos P06/M2109/02150.
- [3] Encyclopædia Britannica (2021): PDA — handheld computer — Britannica Accedido: 2021-05-28.
- [4] Flutter (2021a): Sitio oficial de Flutter Accedido: 2021-11-07.
- [5] Flutter (2021b): Sitio oficial del paquete fluttermap para Flutter Accedido: 2021-11-23.
- [6] GARCÍA, L. (2021): Geobase: aplicación móvil diseñada para el levantamiento en campo Trabajo de Diploma.
- [7] GARCÍA, L., CAMPBELL, J., and GARCÍA, A. (2022): GeoBase Centro Nacional de Derecho de Autor Número de registro 0698-03-2022.
- [8] GARCÍA, L. and de OCA, M. M. (2014): **Sistemas de bases de datos: Modelación y diseño** Empresa Editorial Poligráfica Félix Varela.
- [9] Geoidep.gob.pe (2021): Estandares sobre servicios de mapas Accedido: 2021-06-12.
- [10] Google Maps (2021): Sitio oficial de Google Maps Accedido: 2021-07-21.
- [11] MAPS.ME (2021): Sitio oficial de MAPS.ME Accedido: 2021-07-14.
- [12] MARTIN, R. (2008): **Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship** Pearson.
- [13] MARTIN, R. (2021): Clean Coder Blog Accedido: 2021-11-28.
- [14] Ministerio de Justicia (2021): Gaceta Oficial de la República de Cuba EDICIÓN ORDINARIA LA HABANA, JUEVES 8 DE OCTUBRE DE 2020 AÑO CXVIII.
- [15] MUJICA, F., CAMPBELL, J., and GARCÍA, A. (2022): OpenLatinoServer Centro Nacional de Derecho de Autor Número de registro 0700-03-2022.
- [16] Online MSW Programs (2021): Flexible MSW Program Online Accedido: 2023-04-20.
- [17] O'Reilly Media, Inc. (2021): What Is React Native? Accedido: 2021-11-05.
- [18] RAJARAJESWARI, P. and D.MAHESWARI (2020): Travelling salesman problem using branch and bound technique **International Journal of Mathematics Trends and Technology (IJMTT)**, 66.

- [19] ROSALES, F. (2020): Visual ngat, una aplicación cliente que emplea la plataforma ngat extendida Trabajo de Diploma.
- [20] ROSALES, F., CAMPBELL, J., ALLENDE, S., and GARCÍA, A. (2022): Visual NGAT Centro Nacional de Derecho de Autor Número de registro 0699-03-2022.
- [21] SARRIA, F. (2006): Sistemas de información geográfica Accedido: 2021-11-24.
- [22] Xamarin (2021): Sitio oficial de Xamarin Accedido: 2021-11-03.