

# Desarrollo de un algoritmo de búsqueda en la consulta móvil para determinar la mejor ruta del sistema de transporte TransMilenio - ConRuta

Olga Liliana Benavides\*

Óscar Daniel Pardo\*\*

Roberto Emilio Salas Ruiz\*\*\*

Fecha de recepción: octubre 29 de 2010  
Fecha de aceptación: noviembre 30 de 2010

## Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de una aplicación móvil que a su vez implementa un algoritmo de búsqueda basado en el Problema del Agente Viajero con Ventanas de Tiempo (TSPTW). Para su desarrollo se recolectó la información relacionada con tiempos y rutas del sistema de transporte masivo de Bogotá D.C. (TransMilenio). Así mismo, fueron establecidos un servicio web, un sitio web y un prototipo de aplicación móvil con el fin de integrar los resultados del algoritmo de búsqueda con un cliente que quisiera obtener las respuestas correspondientes.

**Palabras clave:** algoritmo de búsqueda, aplicación móvil, servicio web, problema del agente viajero.

---

\* Tecnóloga en Sistematización de Datos e ingeniera en Telemática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: ollibega@hotmail.com

\*\* Tecnólogo en Sistematización de Datos e ingeniero en Telemática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: oscar\_dpm@hotmail.com

\*\*\* Ingeniero de Sistemas y magister en Ingeniería de Sistemas. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: resalasr@udistrital.edu.co

**Abstract:** This article presents the development of a mobile application, which in turn implements a search algorithm based on The Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW). For the development collected information related to times and routes of mass transit system of Bogota D.C. (TransMilenio). We developed a Web service, Web site and a prototype mobile application, in order to integrate the results of the search algorithm with a customer can get the answers.

**Key words:** search algorithm, mobile application, Web service, Traveling Salesman Problem.

## Introducción

Factores como el crecimiento urbanístico no planeado y el comercio excesivo han convertido a las ciudades en poblaciones congestionadas en las que la movilidad brilla por su ineficiencia. No obstante, los grandes adelantos tecnológicos instaurados en materia de transporte desde el siglo XX han contribuido a mejorar la calidad de la movilización en las grandes urbes.

Una cantidad considerable de desplazamientos —en las ciudades medianas y grandes— se llevan a cabo por medio del transporte público. Por su parte, la realización de esta actividad, apoyada en herramientas en la toma de decisiones con respecto a la mejor ruta, complementaría una ejemplar prestación del servicio; sin embargo, este proceso implica el conocimiento de los recorridos, así como de las frecuencias, los horarios y la utilización de métodos en el cálculo y optimización de rutas.

Precisamente en este punto surgió la idea de implementar un algoritmo de búsqueda que contribuyera a la mejora de las soluciones

relacionadas con el uso del transporte público; es decir, que le brindara un mejor servicio a los usuarios del sistema masivo. Para este fin se integraron, al uso del algoritmo de búsqueda, los conceptos de servicio web y aplicación móvil. Los *servicios web* facilitan la comunicación entre aplicaciones, pues pueden publicarse en Internet y ser utilizados desde cualquier sitio físico que tenga conexión; y las *aplicaciones móviles*, dada la expansión del uso de teléfonos celulares de alta gama, son la herramienta ideal para que los usuarios del transporte público accedan a los resultados de las búsquedas de rutas —teniendo en cuenta que en los últimos años, en Colombia, ha habido un crecimiento de los móviles que circulan en el país [1].

## Generalidades

### Algoritmo TSPTW

En el Problema del Agente Viajero (TSP) se dispone de un sólo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una misma ruta y a un costo mínimo [2]. Así mismo, en su variante TSPTW (Problema del Agente Viajero con Ventanas de Tiempo) cada cliente

tiene asociada una ventana de tiempo  $[e, l_i]$  que establece un horario de servicio permitido para que un vehículo arribe a este [2].

Entre tanto, en los problemas de ruteo de vehículos se manejan tres variables: clientes, depósitos y vehículos. En nuestro caso, los clientes son los usuarios del sistema TransMilenio; los vehículos, los buses articulados; y los depósitos, las estaciones (lugar donde se encuentran los clientes). El sistema de transporte masivo TransMilenio es ideal para validar el TSPTW; sus rutas funcionan con restricciones de horario, tal y como sucede con las rutas de TransMilenio.

En el caso de los trasbordos, deben tomarse dos rutas diferentes y combinarlas en una sola. Este algoritmo permitirá la escogencia de la ruta que genere más ahorros.

### Aplicaciones móviles con J2ME

La empresa Sun Microsystems lanzó, a mediados de la década del noventa, el lenguaje de programación Java que, aunque en un principio fue diseñado para generar aplicaciones que controlaran electrodomésticos — como lavadoras y frigoríficos —, desde su inicio se utilizó para la creación de componentes interactivos integrados en páginas web y programación de aplicaciones independientes. Dichos componentes se denominaron *applets* y casi todo el trabajo de los programadores se enfocó al desarrollo de éstos. Con los años, Java ha progresado enormemente en ámbitos como: servicios HTTP, servidores de aplicaciones, acceso a bases de datos (JDBC), etc. Así mismo, Java se ha ido adaptando a las necesidades tanto de los usuarios como de las empresas.

Es probable que la aparición tardía de esta tecnología (Java Micro Edition apareció hasta finales de los noventa) se deba a que las

necesidades de los usuarios de la telefonía móvil han cambiado constantemente en los últimos años y, de hecho, cada vez demandan más servicios y prestaciones por parte de los terminales y las compañías. Por su parte, J2ME es la tecnología del futuro para la industria de los dispositivos móviles. En la actualidad, las compañías telefónicas y los fabricantes de móviles están implantando los protocolos y dispositivos necesarios para soportarla [3].

El uso de J2ME provee una enorme ventaja, pues su implementación en dispositivos como teléfonos celulares es efectiva y sencilla, hecho que le garantiza facilidades de uso y acceso a cualquier aplicación desarrollada bajo este lenguaje.

### Servicio web

Un servicio web (en inglés *Web Service*) es un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Así mismo, múltiples aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden utilizar los servicios web para intercambiar datos entre redes de ordenadores como Internet [4].

El servicio web permite que la implementación del algoritmo de búsqueda sea accedido desde cualquier lugar, razón por la cual a través una aplicación remota es posible utilizar el algoritmo.

### Herramienta desarrollada

#### Sitio web

En la primera parte del proyecto se construyó un sitio web que contempló la totalidad del manejo referente al sistema de transporte masivo para ingresar al mismo se mues-

tra en la figura 1. la interfaz de la aplicación. Además, esta herramienta posibilitó la administración de dos elementos que resultan importantes para la aplicación en general: festivivos e imprevistos.

Si bien no existe un sistema que deduzca los días festivos de un país, es necesario que está información se ingrese manualmente. En la plataforma de TransMilenio los servicios de los días festivos son iguales a los del domingo independientemente del día de la semana. El ingreso de festivivos se muestra en la figura 2.

**Figura 1.** Pantalla de acceso al sitio web.

Ingreso al Sistema

Usuario

Contraseña

Por otra parte, el ingreso de imprevistos (figura 3) le brinda —en tiempo real— mayor precisión a las respuestas del algoritmo, pues

**Figura 2.** Ingreso de festivo.

Bienvenido al sitio Web de ConRuta

Bienvenido, Oscar Daniel Pardo Mahecha

Nuevo festivo

Modificar ▶  
 Nuevo ▶  
 Eliminar ▶  
 Cerrar sesion

Descripción   
 Tipo festivo   
 Fecha

**Figura 3.** Ingreso de imprevisto.

Bienvenido, Oscar Daniel Pardo Mahecha

Nuevo imprevisto

Modificar ▶  
 Nuevo ▶  
 Eliminar ▶  
 Cerrar sesion

Descripción   
 Tipo imprevisto   
 Zona afectada   
 Estacion inicial   
 Estacion final   
 Tiempo estimado(en minutos)

un evento que afecte una vía repercute en que una ruta que transite por ésta, eventualmente, no sea la mejor. Mientras que el imprevisto esté activo será tenido en cuenta en la búsqueda de la mejor ruta.

### Implementación del algoritmo

El algoritmo se desarrolla a través de la metodología para la solución de problemas por medio de computadora (algoritmos), planteado en [5], la cual consta de las siguientes fases:

- Definición del problema.
- Análisis del problema.
- Diseño del algoritmo.
- Codificación.
- Prueba y depuración.
- Documentación.

Cuando el algoritmo está listo se publica mediante el servicio web, el cual se implementa en un servidor público. Además, en este mismo servidor se configura el sitio web complementario, pues es necesario ingresar

festivos e imprevistos para que el algoritmo genere las respuestas apropiadamente.

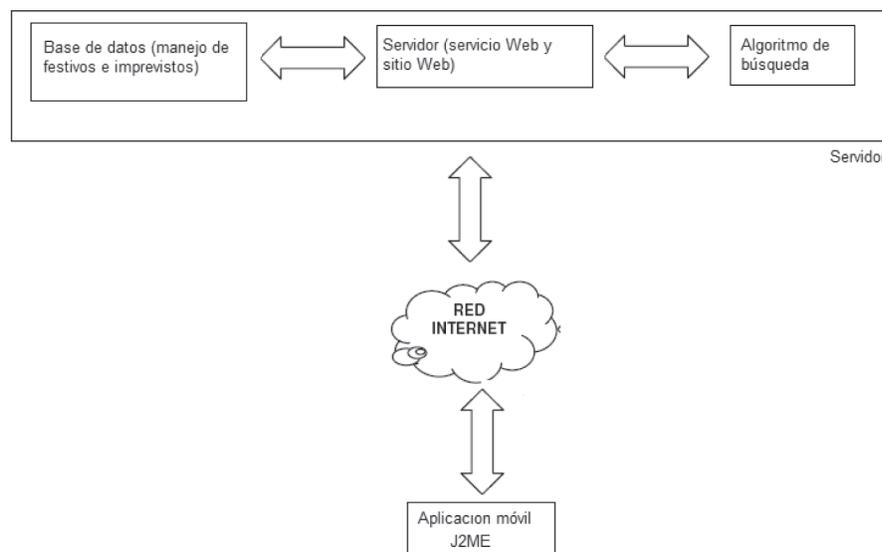
La figura 4 muestra el esquema de toda la aplicación.

El manejo de comunicación a través de Internet permite que el cliente emplee la aplicación en cualquier sitio donde haya acceso a Internet, hecho que le brinda una ventaja enorme. Por su parte, en este proceso se ven involucrados dos frentes: en primer lugar está la aplicación móvil, en la cual existirá un usuario que escogerá las estaciones y hará la petición correspondiente; y por otro, el servidor, lugar donde se encuentra el algoritmo de búsqueda y su proceso correspondiente (el caso de uso de esta interacción puede verse en la figura 5).

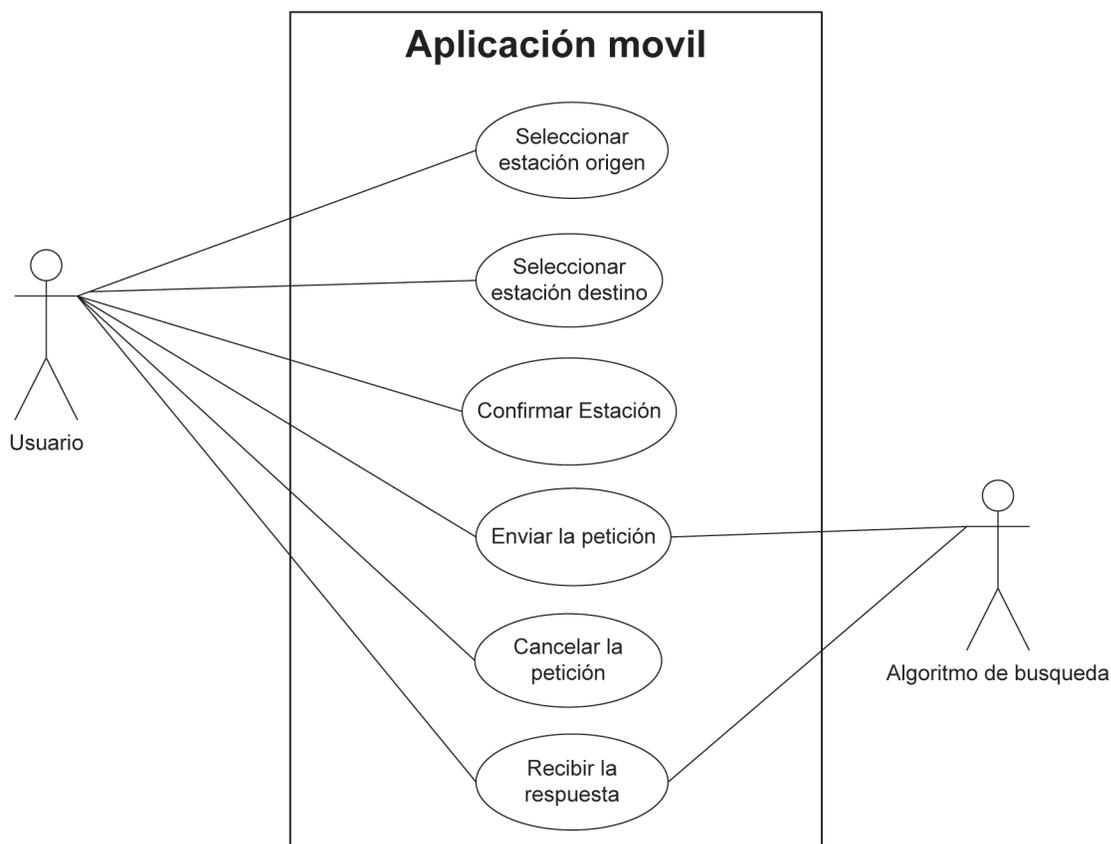
### Pruebas

Las pruebas del sistema se dividieron en dos grupos: las del sitio web (tabla 1) y las de la aplicación móvil (tabla 2). En el caso del sitio web se efectuaron, con base en los casos

Figura 4. Esquema de la aplicación.



**Figura 5.** Caso de uso principal.



de uso definidos, un total de 12 a los cuales se le realizaron 16 pruebas, resultando al final satisfactorios los 12 casos. Entre tanto, las inconsistencias fueron solucionadas directamente sobre el *código fuente* de las páginas web y de los archivos de configuración, los cuales presentaban errores por el acceso a la base de datos.

**Tabla 1.** Resumen de las pruebas CDU-sitio web.

Total CDU	12
Pruebas realizadas	16
Errores en CDU	4
Errores corregidos	4

**Tabla 2.** Resumen de las pruebas de la aplicación móvil.

Pruebas realizadas	3
Satisfactorias	3
Tiempo promedio de respuesta	1 minuto

En el caso de la aplicación móvil se determinó que, tras efectuar dos pruebas, la aplicación funciona correctamente.

Las pruebas mencionadas se llevaron a cabo en un emulador suministrado por la herramienta de desarrollo NetBeans y en dos teléfonos reales (Motorola EM 30 y Sony Ericsson W910).

Por su parte, la aplicación funciona de la siguiente manera: se selecciona **ingresar** (figura 6) y luego una **estación origen** (figura 7). En seguida, se **confirma** (figura 8) y se finaliza con una **estación destino**. Las imágenes mostradas en las figuras fueron captadas del modelo Motorola EM30.

Figura 6. Ingreso a la aplicación.



Figura 7. Selección de estación.

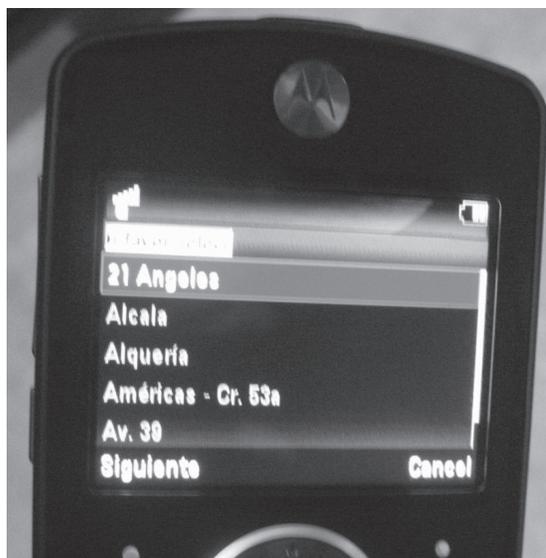


Figura 8. Confirmación de estación.

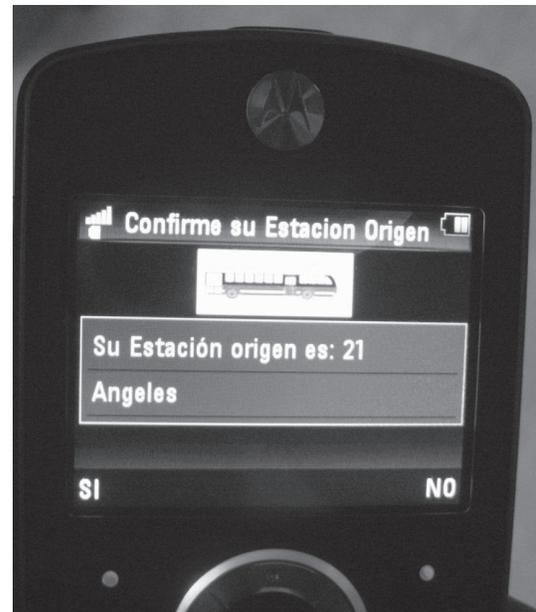
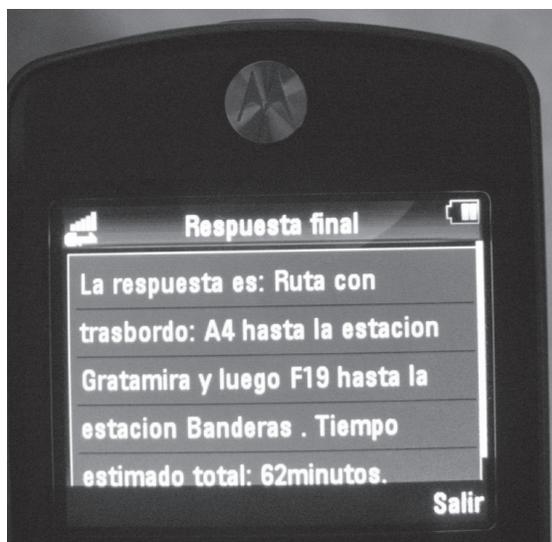


Figura 9. Selección de la consulta.



Una vez confirmadas las estaciones aparecerá un mensaje en el cual debe convalidarse la consulta (figura 9). Es allí donde se obtiene la respuesta correspondiente (figura 10).

**Figura 10.** Confirmación de estación.



Cabe resaltar que estas pruebas se realizaron en los modelos Motorola EM30 y Sony Ericsson W810. Es posible que en otros prototipos la apariencia de la aplicación se modifique e incluso, debido las configuraciones de cada fabricante, pueden presentarse algunas inconsistencias en su funcionamiento.

La tabla 3 expone los costos obtenidos en un mismo mensaje usando los operadores Comcel y Tigo.

**Tabla 3.** Costos por operador.

Operador	Tx. promedio (kbytes)	Valor por kB	Total
Comcel	3	19,48	\$ 58,44
Tigo	3	12	\$ 36,00
Movistar	3	14	\$ 42,00

## Conclusiones

El uso de aplicaciones móviles facilita, en gran parte, el crecimiento del uso de tecnología en la mayoría de la población, pues el teléfono celular es un dispositivo empleado por un gran porcentaje de ciudadanos. Así mismo, la aplicación de algoritmos de búsqueda en el análisis de sistemas de transporte masivo podría permitir, a mediano y largo plazo, una utilización mucho más eficiente de estos sistemas por parte de sus usuarios (sobre todo en las grandes ciudades).

Por su parte, dadas las nuevas posibilidades de acceso a la Internet, el desarrollo de las aplicaciones que se ejecuten bajo este medio serán determinantes; otorgarán grandes ventajas no sólo en lo relacionado con las ubicaciones, sino también con la posibilidad de obtener información fiable –en tiempo real– con mayor facilidad.

## Recomendaciones

Se sugiere continuar la investigación en este tema, pues los avances tecnológicos permiten que, en poco tiempo y cada vez con mayor frecuencia, se desarrollen aplicaciones más efectivas, completas y con mejores tiempos de respuesta.

## Referencias

- [1] Colombia, Asociación de la Industria Celular (AÑO), “Crecimiento móviles Colombia” [en línea], disponible en: [http://www.asocel.org.co/pdf/crecimiento\\_moviles\\_colombia.pdf](http://www.asocel.org.co/pdf/crecimiento_moviles_colombia.pdf), recuperado: fecha.

- [2] Olivera, A. (AÑO), "Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos" [en línea], disponible en: <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/rep-tec/TR0408.pdf>, recuperado: fecha.
- [3] Galvez S. y Ortega, L. (AÑO), "Java a tope: J2ME", [en línea], disponible en: [http://mygnet.net/it/descargas/manuales/tutorial\\_j2me\\_el\\_mejor\\_que\\_he\\_visto.370.zip](http://mygnet.net/it/descargas/manuales/tutorial_j2me_el_mejor_que_he_visto.370.zip), recuperado: fecha.
- [4] Web service. Recuperado del sitio web: [http://en.wikipedia.org/wiki/Web\\_service](http://en.wikipedia.org/wiki/Web_service).
- [5] Hernández, M. (AÑO), "Diseño estructurado de algoritmos" [en línea], disponible en: [http://jhonnatti-k.blogspot.es/img/Manual\\_algoritmos.doc](http://jhonnatti-k.blogspot.es/img/Manual_algoritmos.doc), recuperado: fecha.