



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



ingenio Magno

8
No. 1



ISSN (versión impresa)

2145-9282

ISSN (en línea)

2422-2399

Enero-junio de 2017, vol. 8, no. 1

Universidad Santo Tomás

Tunja, Boyacá

Publicación semestral

Hecho el depósito que establece la ley

© Derechos reservados

Universidad Santo Tomás

Suscripción y canje

Unidad de Investigación

Cll. 19 No. 11-64

Universidad Santo Tomás, Tunja-Colombia

PBX: 744 0494

Línea gratuita: 018000 932340

desde cualquier lugar del país

<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno>

Los conceptos expresados en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen a la Institución o a la publicación.

División de Arquitectura e Ingenierías

INGENIO MAGNO	Tunja Colombia	Vol. 8 No. 1	pp. 1-172	Enero- junio	2017
---------------	-------------------	-----------------	-----------	-----------------	------



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



Directivos

P. Jorge Ferdinando RODRÍGUEZ RUIZ, O.P.
Rector

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.
Vicerrector Administrativo-Financiero

P. Javier Antonio CASTELLANOS, O.P.
Vicerrector Académico

P. Samuel Elías FORERO BUITRAGO, O.P.
Decano de División de Ingeniería y Arquitectura

Jimena BOHÓRQUEZ HERRERA, Ph.D.
Directora Unidad de Investigaciones

Édgar Andrés GUTIÉRREZ CÁCERES, Esp.
Director Centro de Investigaciones en Ingeniería
San Alberto Magno - (CIAM)

Editor

Fredy Andrés Aponte Novoa, M.Sc.
Centro de Investigación en Ingeniería Alberto Magno
(CIAM)
ingeniomagno@ustatunja.edu.co

Equipo Editorial

Edwin Blasnilo Rúa Ramírez, M.Sc.
Coeditor Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
edwin.rua@usantoto.edu.co

José Ricardo Casallas Gutiérrez, M.Sc.
Coeditor Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
jose.casallas@usantoto.edu.co

John Fredy Guzmán Vargas
Profesional en Filosofía y Letras
Corrector de estilo, redactor
fredyguzmanvargas@gmail.com

Albany Milena Lozano Násner, M.Sc.
Traducción español-portugués
mlnasner@gmail.com

Departamento de Idiomas
Traducción español-inglés
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
coordinacion.idiomas@ustatunja.edu.co

David Enrique González Camargo
Administrador OJS
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
ing.investigacion@ustatunja.edu.co

Comité Científico

Antonio Moreira Teixeira, Ph.D.
Universidad de Aberta (Lisboa, Portugal)
antonio.teixeira@uab.pt

Electo Eduardo Silva Lora, Ph.D.
Univerdidad Federal de Itajubá (Itajubá M.G., Brasil)
electo@unifei.edu.br

María Julia Mazzarino, Ph.D.
Universidad de Buenos Aires (Buenos Aires, Argentina)
mmazzari@crub.uncoma.edu.ar

Antonio Rico Sulayes, Ph.D.
Universidad de las Américas Puebla (Puebla, México)
antonio.rico@udlap.mx

Carlos Enrique Montenegro Marín, Ph.D.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá
D.C., Colombia)
cemontenegrom@udistrital.edu.co

César Darío Guerrero Santander, Ph.D.
Universidad Autónoma de Bucaramanga (Bucaramanga
- Santander, Colombia)
cguerrer@unab.edu.co

Comité Editorial de la Revista

Antonio José Bula Silvera, Ph.D.
Universidad Católica del Norte (Barranquilla - Atlántico,
Colombia)
abula@uinorte.edu.co

Wilson Javier Pérez Holguín, Ph.D.
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
(Tunja - Boyacá, Colombia)
wilson.perez@uptc.edu.co

José Carlos Escobar Palacios, Ph.D.
Investigador Universidad Federal de Itajubá (Itajubá
M.G., Brasil)
jocesobar@unifei.edu.br

Camilo Andrés Lesmes Fabian, Ph.D.
Universidad Santo Tomás (Tunja - Boyacá, Colombia)
camilo.lesmes@usantoto.edu.co

Impresión

Editorial Jotamar Ltda.
Calle 57 No. 3-39
Tel.: (8) 745 7120
editorialjotamar@yahoo.com
Tunja - Boyacá - Colombia

**Desarrollo de una
aplicación móvil para
recolección de datos de
movilidad urbana**

**Development of a
mobile application for
urban mobility data
collection**

**Desenvolvimento de
um aplicativo móvel
para coleta de dados
de mobilidade urbana**

Para citar este artículo / To reference this article / Para
citar este artigo: Quevedo Reyes, J. E., Vega Báez,
L. A. y Fonseca Barinas, I. F. (2017). Desarrollo de una
aplicación móvil para recolección de datos de movilidad
urbana. *Ingenio Magno*, 8(1), 76-90.

Jorge Enrique Quevedo-Reyes

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Facultad de Ingeniería,
Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación,
Grupo Investigación en Manejo de Información
jorge.quevedo@uptc.edu.co

Luis Alfredo Vega-Báez

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Facultad de Ingeniería,
Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías,
Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación
y Operación del Transporte
luis.vega@uptc.edu.co

Iván Fernando Fonseca-Barinas

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Facultad de Ingeniería, Grupo Investigación en
Manejo de Información
ivanfernando.fonseca@uptc.edu.co

Resumen

El desarrollo de modelos y planes de transporte requiere de gran cantidad de información, que se obtiene generalmente de la realización de aforos, la revisión de indicadores nacionales y locales y la aplicación de encuestas domiciliarias de origen y destino. La elaboración de este tipo de proyectos de transporte, con la cobertura, las variables y la calidad exigida en los procesos de planificación, demanda grandes esfuerzos, así como la inversión de altos recursos económicos, que por lo general limitan la frecuencia con la que se deben realizar. Este trabajo presenta una propuesta de aplicativo con tecnología móvil para la captura de datos de movilidad urbana. En su realización de este estudio se partió de la experiencia obtenida del estudio *Caracterización de movilidad*, realizado en Tunja (Boyacá, Colombia) en 2012 por la Alcaldía y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Igualmente, este artículo se diseñó a partir de los lineamientos para estudios de origen y destino del Ministerio de Transporte de Colombia, con el fin de establecer las características de la aplicación móvil como una alternativa complementaria de captura de datos y valorar aspectos de usabilidad y accesibilidad.

Palabras clave: encuesta de movilidad, tecnología móvil, movilidad urbana.

Abstract

The development of transport models and plans requires a large amount of information, which is usually obtained by assessment of seating capacity, review of national and local indicators and application of household surveys of origin and destination. The development of such transport projects, with the coverage, variables and quality required in the planning processes, requires great efforts, as well as the investment of high economic resources, which usually limit the frequency with which they can be carried out. This paper presents an application proposal with mobile technology for the capture of urban mobility data. The study began with the experience gained from the *Mobility Characterization study*, carried out in Tunja (Boyacá, Colombia) in 2012 by the Mayor and the Pedagogical and Technological University of Colombia (UPTC). Also, this article was designed from the guidelines for studies of origin and destination produced by the Ministry of Transport of Colombia, in order to establish the characteristics of the mobile application as a complementary alternative to data capture and assess aspects of usability and accessibility.

Keywords: mobility survey, mobile technology, urban mobility.

Resumo

O desenvolvimento de modelos e planos de transporte preceitua uma grande quantidade de informações, que em geral são obtidas a partir da avaliação, a revisão de indicadores nacionais e locais e a aplicação de pesquisas domésticas de origem e destino. O desenvolvimento de tais projetos de transporte, com a cobertura, variáveis e qualidade exigida nos processos de planejamento, precisa grandes esforços, do mesmo modo que o investimento de altos recursos econômicos, que geralmente limitam a frequência com que se deve executar. Este artigo apresenta uma proposta de aplicação de tecnologia móvel para a captura de dados de mobilidade urbana.

A realização do presente trabalho, iniciou com a revisão da experiência obtida do estudo “Caracterização de mobilidade da Cidade de Tunja - Colômbia” pela prefeitura e a Universidade Tecnológica de Colômbia (UPTC). Da mesma maneira, o presente trabalho foi projetado a partir das diretrizes estabelecidas nos estudos de origem e destino do Ministério de Transporte da Colômbia. Com o objetivo de determinar as características da aplicação móvel como uma alternativa complementar para capturar dados e avaliar aspectos de usabilidade e acessibilidade.

Palavras chave: pesquisa de mobilidade, tecnología móvel, mobilidade urbana.

I. Introducción

La toma de decisiones en el desarrollo de proyectos de transporte, en los niveles operacional, táctico y estratégico, requiere de estudios y soportes tecnológicos que permiten describir de una manera más precisa y ágil la situación actual de cada uno de los elementos que lo conforman, específicamente en estudios de movilidad en las ciudades. El caso de referencia es el estudio de caracterización de movilidad realizado en Tunja, Boyacá, en 2012; este estudio fue realizado por la Alcaldía en articulación con el Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte (GIDPOT) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. A partir de esta experiencia, se planteó la construcción de una aplicación para dispositivos móviles que recolectara variables socioeconómicas, de movilidad y localización en tiempo real, como una alternativa complementaria para captura de datos.

La obtención de información sobre la movilidad urbana demanda grandes recursos económicos para cubrir salarios, equipos, impresión, transporte, personal experto en la recolección de datos; además, se debe contar con varios meses para realizar las diferentes actividades, que incluyen diseñar la encuesta, aplicar pruebas piloto, contactar citas previas

con cada familia para aplicar la encuesta, procesar y analizar los resultados. Estos factores dificultan la frecuencia necesaria de, al menos, diez años Ortúzar *et al.* (2011). De igual forma, el nivel de detalle buscado en las encuestas no es tarea simple, pues a menudo es obstaculizado por la dificultad de contar en las entrevistas con un conjunto suficientemente amplio de individuos que participen en este esfuerzo, más aún cuando se requieren atributos detallados del comportamiento de viaje, caso en el cual el encuestado, al no recordar, puede no responder a todas las preguntas propuestas, por lo que los errores ocurren con frecuencia (Asakura, Hato y Maruyama, 2015).

Teniendo en cuenta la masificación de tecnologías móviles en Colombia, con unos 55 millones de líneas activas, así como el conjunto de sensores y características con los que cuentan los teléfonos inteligentes, el uso de estas tecnologías se presenta como una gran oportunidad para obtener variables socioeconómicas y variables de movilidad urbana como el desplazamiento y el modo utilizado (a pie, bicicleta, vehículo), durante cada momento del viaje de una persona, que reduzcan tiempos y mejoren la calidad de la información (Fishman, 2012).

Este trabajo describe el proceso que se siguió para la construcción de una aplicación móvil, destinada a capturar y registrar datos que van

a ser utilizados para obtener información de movilidad; asimismo, en el estudio se realiza la evaluación de la aplicación desde aspectos de funcionalidad usabilidad y accesibilidad.

II. Estado del arte

Los teléfonos inteligentes están equipados con sensores capaces de capturar datos de localización con el GPS y cambios en los movimientos generados en el dispositivo con el sensor acelerómetro. Los datos registrados por estos sensores son la fuente principal para el desarrollo de estudios tendientes a la identificación de variables de movilidad como la localización, identificar el modo a pie, vehículo, generar la ruta completa de un viaje, entre otras.

Los primeros estudios conocidos en los que se utilizaron teléfonos inteligentes con GPS para recopilar datos de los viajes fueron realizados por el Departamento de Transporte de la Florida y el Centro de Investigación del Transporte Urbano en 2007. En este estudio, catorce participantes dotados con dispositivos Sanyo SCP 7050 o Motorola iDEN i580 y una aplicación basada en GPS registraron sus trayectos durante tres semanas; el propósito fue mostrar cómo la tecnología podía obtener datos sobre la movilidad de los participantes en tiempo real. Simek *et al.* (2014) señalan que el despliegue de estas tecnologías puede ser más costoso que el uso de la encuesta tradicional origen-destino; sin embargo, el registro real de los datos de origen-destino con mayor precisión merecen los costes adicionales.

En los estudios de Bayat y Pomplun (2014), Wang, Chen y Ma (2010) y Reyes (2014) se describe cómo los datos recolectados con el uso de teléfonos inteligentes son utilizados para reconocer ciertos tipos de actividad humana como la localización, el tiempo e incluso el modo de desplazamiento como caminar,

montar bicicleta o viajar en vehículo. En los estudios utilizan los datos recolectados por el sensor acelerómetro para clasificar los modos de desplazamiento a pie, correr, subir escaleras, montar en bicicleta y viajar en vehículo, por medio de algoritmos de aprendizaje automático como redes bayesianas y reglas de asociación. Dentro de las limitaciones de los estudios se encuentra que el número de participantes es de 5 a 16, así como el número de modelos de teléfonos inteligentes que se utilizan.

III. Movilidad urbana

La movilidad se refiere a la capacidad que tienen las personas de moverse libremente desde el lugar en que viven hasta el lugar de trabajo o estudio, donde realizan compras, acuden a servicios salud o a cualquier otro sitio, usando uno o varios de los modos de transporte y la infraestructura suministrada por las ciudades. La movilidad urbana, de acuerdo con García-Castro (2014), se puede explicar como el derecho de las personas a desplazarse a lo largo y ancho de la ciudad para realizar sus actividades; de esta forma, la movilidad debe ser garantizada con un sistema de transporte y movilidad que tome en cuenta las características socioeconómicas y demográficas de la población, la identificación de actividades, la organización espacial, la estructura existente del transporte y la inclusión de la población; puede afirmarse que “el objetivo principal del transporte es vencer los efectos de segregación espacial intrínseca en la evolución de la ciudad” (Miralles, 2002).

Las encuestas origen y destino son un instrumento imprescindible para estimar el futuro de la movilidad y el transporte sobre la base de información estadística. Las técnicas estadísticas del estudio del transporte urbano han permitido incorporar todo el rigor del muestreo

(p. e., tamaño y grupos de interés). Estas encuestas suelen ser de dos tipos: a la población en general (encuestas domiciliarias) y a los usuarios de vehículos (encuestas esporádicas de cordón para el vehículo privado y conteos para el transporte público) (Herce, 2009).

Existen diversos medios para realizar encuestas origen destino como: encuestas dirigidas al hogar, hojas enviadas por correo, cuestionarios, entrevistas telefónicas personales, sitios web de internet. Con los nuevos avances en la tecnología móvil y su masificación en todo el mundo, los teléfonos inteligentes se han convertido en una fuente de datos de suma importancia (Conrad, 2016). Además, por medio de estos dispositivos móviles es posible capturar datos de forma activa y pasiva; la primera involucra al usuario para registrar datos, en tanto la segunda utiliza los sensores del dispositivo como el GPS o el acelerómetro, manteniendo la aplicación trabajando en segundo plano sin la intervención del usuario (Asakura, 2014).

IV. Materiales y métodos

Este apartado presenta la metodología, las herramientas y los recursos para el desarrollo de una encuesta de diario de viajes para dispositivos móviles, la cual tiene como objetivo obtener periódicamente datos de movilidad urbana con el fin de estimar los modelos desagregados; lo anterior, con miras a satisfacer las necesidades de movilización de una población dada.

1. Identificación y caracterización de variables de movilidad

El primer paso en la construcción de la encuesta de diario de viajes para dispositivos móviles consistió en identificar, conceptualizar y caracterizar las variables de movilidad siguiendo las pautas de Richardson (1995) y el *Manual para estudios origen-destino* del Ministerio de Transporte (2012) (tabla 1).

Tabla 1. Caracterización de variables de movilidad

	Variable	Indicador	Recurso
Viaje	Marca de Tiempo	Fecha-hora-minuto	Tiempo del dispositivo
	Posición	Latitud y longitud	GPS
	Modo	Pie, bicicleta, bus, taxi, vehículo particular	Datos de sensor acelerómetro
	Motivo	Trabajo, trámites, compras, recreación, salud, estudio	Registro activo del modo
Variables socioeconómicas	Nombre		Registro activo de variables
	Edad	20 años	
	Género	Masculino, femenino	
	Rango salarial	Salario mínimo (1, 2, 3, 4, 5)	
	Formación académica	Bachillerato, superior, primaria, preescolar, posgrado, ninguno	
	Estrato	1, 2, 3, 4, 5	
	Actividad	Estudiante, empleado, independiente, ama de casa, jubilado, buscando empleo, otro	
	Propietario de modo de transporte	Bicicleta, moto, vehículo	

B. Análisis de requisitos

Siguiendo buenas prácticas en la gestión de *software* (Universidad de Alberta, 2016), integrantes de los grupos de investigación GIDPOT

y GIMI establecieron las funcionalidades del aplicativo móvil y del aplicativo en el lado del servidor, las cuales se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Requisitos funcionales de la aplicación móvil

	Funcionalidad	Descripción
<p>Aplicación móvil Diario de Viajes</p> 	Iniciar viaje	Al iniciar el viaje, el dispositivo móvil captura la posición del dispositivo cada veinte metros. Cada punto se almacena en el dispositivo con datos adicionales como los datos del acelerómetro, el modo, el motivo y el tiempo.
	Pausar viaje	El dispositivo pausa el registro de datos.
	Seleccionar motivo	El dispositivo almacena el nuevo motivo de viaje.
	Seleccionar modo	El dispositivo almacena el nuevo modo del viaje.
	Visualizar puntos	Las ubicaciones almacenadas cada veinte metros se visualizan en la pantalla del dispositivo móvil.
	Visualizar mapa	Las ubicaciones de todos los puntos registrados se muestran en el mapa proporcionado por el API de Google Maps.
	Activar modo en línea	Un dispositivo móvil captura los datos del viaje sin necesidad de contar con acceso a internet. Una vez se encuentre con una red inalámbrica, el dispositivo activa el modo <i>online</i> , para poder enviar los datos recolectados al servidor.
	Registrar encuesta	El usuario cuenta con la opción de registrar su información sobre estrato, actividad, profesión, entre otra.
	Subir documento del viaje	Los datos se mantienen en la memoria del dispositivo, hasta que el usuario envíe los datos al servidor.

C. Software para construcción de la aplicación

En el estudio de Mavletova (2013) se discute la dificultad para aplicar encuestas con dispositivos móviles a una muestra representativa, debido a la gran cantidad de sistemas operativos, versiones y a la diversidad de características de *hardware* existentes. Al utilizar tecnologías nativas para sistemas operativos Android o iOS, se debe construir una versión de encuesta por cada sistema operativo; incluso se debe tener en cuenta las especificaciones

del *hardware*, haciendo que se incrementen los costos y los tiempos para contar con una solución que incluya a una población más amplia. Para corregir en gran medida la limitación mencionada, se seleccionaron herramientas de tecnología híbrida, que si bien tecnológicamente no son las más óptimas, es preferible sacrificar la eficiencia de algunas herramientas por construir una sola vez la aplicación, para utilizarse en diversos tipos de dispositivos. Las tecnologías híbridas, específicamente Apache Cordova, funcionan como un puente entre las peticiones realizadas en el lenguaje JavaScript

para acceder a algún recurso del dispositivo móvil y el sistema operativo encargado de su administración.

La evolución de los teléfonos inteligentes y los sistemas operativos móviles impulsó el crecimiento de las aplicaciones móviles; las aplicaciones móviles son aquellas que se ejecutan en dispositivos móviles y que se clasifican en aplicaciones web, nativas e híbridas (Chaniotis, Kyriakou y Tselikas, 2014). Las tecnologías híbridas se ejecutan dentro de un contenedor nativo y aprovechan el motor del navegador del dispositivo para hacer que el HTML y JavaScript se procesen a nivel local; esto permite hacer llamados al API del sistema operativo mediante una interfaz para acceder a todas las características de los dispositivos modernos, sensores, datos y estado de la red (IBM Corporation, 2012).

Las tecnologías utilizadas en la construcción de la plataforma móvil se describen a continuación:

- **HTML.** Lenguaje de marcas de hipertexto. Hace referencia al lenguaje utilizado para la creación de páginas web que puede ser visualizado por los navegadores web.
- **CSS. Hoja de estilo en cascada.** Se utiliza para proporcionar colores, formas y animaciones al contenido de las páginas web.
- **Javascript.** Es un lenguaje de programación interpretado; para el desarrollo de la aplicación, se utilizó tanto en el lado del servidor web como en la aplicación móvil.
- **Apache Cordova.** Es un *framework* que funciona como un puente entre las peticiones realizadas por la aplicación híbrida y los recursos de *hardware* del dispositivo móvil.
- **Node.** Se basa en el motor v8 de Google, para poder ejecutar código Javascript en el

lado del servidor (Holmes, 2016). Trabaja de forma asincrónica en una arquitectura basada en eventos, similar a las llamadas que se realizan con Ajax. Todas las peticiones son delegadas en un *pool* de hilos; al finalizar cada tarea, Node recibe un evento para que una función *callback* termine de procesar la solicitud.

- **MongoDB.** Es un sistema de administración de base de datos, diseñado para el rápido crecimiento de las aplicaciones web y la infraestructura de internet. El modelo de datos y la estrategia de persistencia son contruidos para un alto rendimiento de lectura y escritura y la capacidad para escalar con facilidad evitando errores (Banker *et al.*, 2016).

D. Diseño de la aplicación

Las pantallas pequeñas significan menos opciones visibles en un momento dado, lo que obliga a los usuarios a confiar en su memoria a corto plazo para construir una comprensión de un espacio de información en línea; esto hace que casi todas las interacciones sean más difíciles (Nielsen, 2012). Debido a esta dificultad, una de las primeras observaciones realizadas es cómo distribuir las preguntas de la encuesta en un espacio limitado. En el estudio de Mavletova y Couper (2016) se indica que al presentar en una sola pantalla treinta preguntas, la forma de navegar es por medio del desplazamiento de la barra de navegación. En este caso, los usuarios responden con mayor velocidad que cuando se presentan en pantalla cinco preguntas por pantalla y se hace uso del paginado. Sin embargo, las tasas de no respuesta en el primer caso son mayores que cuando se presentaron menores preguntas en la pantalla.

Con el fin de construir la encuesta disminuyendo el número de preguntas sin responder

y considerando la limitación del tamaño de pantalla, se utilizó la técnica de tarjetas, la cual presenta una pregunta por tarjeta, evita colocar el enunciado de la pregunta, permite añadir elementos como imágenes y utilizar tamaños de fuente grandes para facilitar la lectura de los usuarios (Díaz, 2001). En la figura 1 se presenta el resultado del diseño de la encuesta. Cada pregunta ocupa la totalidad de la pantalla y se ajusta automáticamente a las diferentes resoluciones.

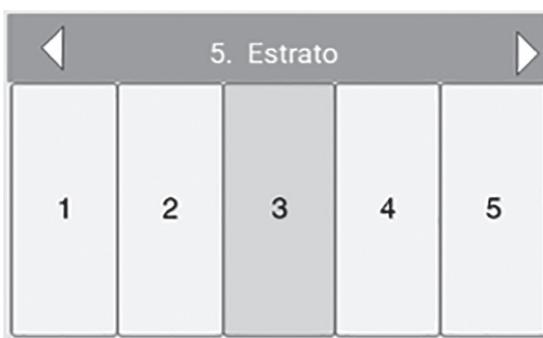


Figura 1. Diseño de encuesta de diario de viajes para dispositivos móviles

E. Aplicación móvil y arquitectura de la solución

La aplicación que se denominó Mobydick se compone de una serie de pantallas que muestran íconos de fácil acceso y permiten una interacción sencilla e intuitiva. Entre las funcionalidades se describen las siguientes:

- El acceso al aplicativo no requiere algún tipo de credencial como correo electrónico, nombres o número de documento, con lo cual se mantiene la identidad de los investigadores y de las personas, que pueden utilizar el aplicativo en anonimato. El identificador utilizado para los viajes generados funciona por medio del identificador del dispositivo.

- Al entrar a la aplicación, un usuario o participante cuenta con las opciones para iniciar un viaje e incluir datos, como modo utilizado para realizar el desplazamiento, pie, bicicleta, taxi, bus o vehículo particular. Por otro lado, se debe seleccionar la actividad por desarrollar, como compras, educación, trabajo, trámites, diversión. Cada nueva ubicación del viaje se va mostrando en recuadros con los datos de latitud y longitud, modo y motivo. Los datos del GPS se capturan cada veinte metros de acuerdo con los requisitos funcionales. La aplicación permite visualizar los puntos en un mapa, haciendo uso del API de Google Maps.

- Cuando el dispositivo no cuenta con acceso a internet, el aplicativo almacena los datos en el *storage* del dispositivo. Al contar con acceso a internet, el usuario puede subir estos datos en la nube utilizando el servicio RESTFul construido. Los datos almacenados tanto en el dispositivo móvil como en la base de datos en la nube se encuentran en formato JSON.

- Las variables socioeconómicas se registran al ingresar en el menú, en la opción *información general*. Aquí aparecen las preguntas de la encuesta de diario de viajes siguiendo el diseño propuesto.

En la figura 2 se presenta la interfaz móvil del aplicativo, llamada Mobydick, como instrumento para recolectar datos de la encuesta de diario de viajes.

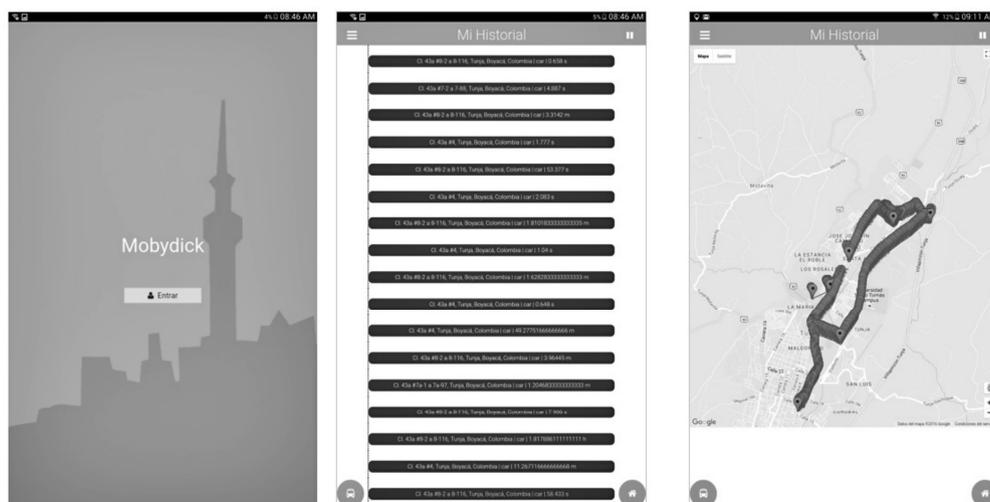


Figura 2. Interfaz de la aplicación móvil

F. Prueba de funcionalidad de la aplicación

En esta etapa, integrantes de los grupos de investigación GIMI y GIDPOT utilizaron la aplicación para registrar sus viajes en la aplicación móvil construida durante un tiempo de cuatro horas. Cada participante fue puesto en conocimiento sobre la actividad por desarrollar, el instrumento utilizado (aplicativo móvil), junto con su funcionalidad y el tratamiento de los datos recolectados.

Cada participante registró el origen del viaje desde el hogar y realizó diferentes recorridos, portando el dispositivo móvil con la aplicación construida; en cada viaje, los participantes indicaron el motivo y los modos de viaje. Al finalizar el recorrido, los participantes registraron las variables de nombre, edad, género, formación académica, estrato, actividad, número de carros, número de motos, número de bicicletas. Finalmente, los participantes, al contar con acceso a internet en sus dispositivos, utilizaron la funcionalidad del aplicativo para almacenar los datos en servicio dispuesto en la nube.

Posteriormente, a los integrantes del proyecto se les aplicó una encuesta para evaluar aspectos de la usabilidad, accesibilidad y funcionalidad del prototipo. Con los resultados arrojados por la encuesta, se planteó ajustar el prototipo a partir de las sugerencias resultantes.

G. Variables de evaluación

Para el diseño de la aplicación y construcción de la móvil, se seleccionaron características cuantitativas y cualitativas de usabilidad y accesibilidad propuestas por Nielsen (2012) y Enríquez y Casas (2013), los cuales se describen a continuación:

- *Tiempo requerido para introducir los datos.* Esta métrica mide el tiempo tomado por el usuario para ingresar datos de entrada.
- *Errores al teclear los datos.* Esta métrica mide el número de errores cometidos, mientras el usuario introduce datos al utilizar la aplicación.
- *Tiempo necesario para aprender.* Este indicador mide el tiempo empleado por los usuarios para aprender a utilizar la aplicación.

- *Tiempo necesario para conectarse a la red.* El tiempo empleado por la aplicación para conectarse a la red es una medida esencial porque refleja la satisfacción de los usuarios.
- *Satisfacción con la optimización del tamaño de pantalla.* Este indicador mide el nivel de satisfacción de los usuarios con la optimización del tamaño de la pantalla.
- *Satisfacción con la interfaz.* Es también una medida importante porque una buena interfaz atraerá a más usuarios a utilizar la aplicación.
- *Funcionalidad del aplicativo.* Mide el cumplimiento de los requisitos funcionales.

H. Escala de valoración

La escala definida para medir cada variable fue de 1 a 10, donde 1 no cumple con los objetivos y 10 se cumple el objetivo plenamente; si una calificación fue por debajo de 7, de forma voluntaria el evaluador podría agregar observaciones tendientes a mejorar algún aspecto en el prototipo.

V. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

En esta etapa se aplicaron encuestas a los participantes para evaluar la funcionalidad, usabilidad y accesibilidad del prototipo. Los resultados de la evaluación se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Métricas usabilidad móvil

Métricas	Calificación
Tiempo requerido para introducir los datos	7,2
Errores al teclear los datos	7,5
Tiempo necesario para aprender	9,0
Tiempo necesario para conectarse a la red	8,5
Satisfacción con la optimización del tamaño de pantalla	9,0
Satisfacción con la interfaz	9,5
Funcionalidad del aplicativo	9,0

Fuente: autores, adaptado de Enriquez y Casas (2013).

Teniendo en cuenta la tabla 2, ahora es posible describir cada una de las métricas mencionadas.

- *Tiempo requerido para introducir los datos.* Al utilizar la técnica de tarjetas en el dispositivo móvil, como se muestra en la figura 1, las preguntas sobre variables socioeconómicas, estrato, número de vehículos, nivel

escolar, entre otras, se presentaban una a una en la pantalla, lo cual facilitaba la lectura y la selección de la respuesta. Con el diseño propuesto, el tiempo requerido para responder las preguntas tuvo un promedio de 74 segundos, lo cual fue percibido por los participantes como sobresaliente, obteniendo así un resultado final de 7,2.

- *Errores al teclear los datos.* Uno de los inconvenientes de la encuesta tradicional es intentar obtener la mayor cantidad de detalles sobre el viaje que realiza una persona, debido a que se recurre a la memoria al indagar sobre los viajes realizados durante la semana, hora del viaje, modo utilizado, ruta seleccionada, origen y destino. Con el aplicativo construido, los errores producto del registro de la ruta del viaje se reducen con el sensor GPS que captura las coordenadas de latitud y longitud cada veinte metros. En esta variable, el aplicativo obtiene un resultado de 7,5.
- *Tiempo necesario para aprender.* La calificación en esta variable fue de 9,0, debido a que el tiempo utilizado por los participantes para aprender las funcionalidades de la aplicación —las cuales incluyen responder la encuesta de movilidad, iniciar el viaje, seleccionar el modo, registrar la actividad estudio, trabajo, diversión, salud, finalizar el viaje y enviar el registro de datos a la nube— fue de 10 a 15 minutos.
- *Tiempo necesario para conectarse a la red.* La aplicación fue construida para dispositivos sin acceso a red de datos; de esta forma, los datos se registran en la memoria del dispositivo. Cuando el dispositivo se conecta a una red inalámbrica, el usuario con la aplicación puede enviar los registros a la nube para ser almacenados en la base de datos. El tiempo para realizar esta actividad toma menos de 60 segundos. La evaluación de esta variable obtuvo 8,5.
- *Satisfacción con la optimización del tamaño de pantalla.* Esta variable fue evaluada con 9,5 por cuanto la aplicación móvil construida se adapta a cualquier resolución de pantalla, tableta, teléfonos inteligentes e incluso portátiles.
- *Satisfacción con la interfaz.* Esta variable fue calificada con 9,5. Los participantes describen que el uso de elementos de accesibilidad, como fuentes de gran tamaño, junto con elementos gráficos adecuados, íconos, botones y colores, como se muestra en la figura 2, permiten interactuar con las funcionalidades de la aplicación.
- *Funcionalidad del aplicativo.* La calificación por parte de los usuarios al evaluar la funcionalidad de la aplicación fue de 9,0. En este punto se evaluó el cumplimiento de los requisitos funcionales de la aplicación descritos en la tabla 2. Los resultados obtenidos aseguraron alcanzar varias de las características que deben tener los bancos de datos en estudios de movilidad, propuestos por Ortúzar *et al.* (2011), dentro de las que se encuentra:
 - Recolección de datos considerando las diferentes etapas del viaje, asegurándose de que es posible relacionar modos específicos a diferentes localizaciones, diferentes horarios del día y longitudes de viajes.
 - Inclusión de modos de viaje, incluso los no motorizados.
 - Recolección de motivos del viaje altamente desagregado.
 - Recolección de datos tanto socioeconómicos como de movilidad.

Después de varias versiones en la aplicación híbrida para teléfonos inteligentes, en los resultados de la evaluación se aprecia que el prototipo cumple con los criterios de aceptación propuestos en los objetivos.

VI. DISCUSIÓN

En proyectos de movilidad urbana, la dificultad para realizar encuestas frecuentemente se refleja en los esfuerzos humanos y económicos que se requieren para capturar los datos de la encuesta domiciliaria. A partir de esta situación, Asakura (2014) menciona cómo las herramientas de comunicación móviles y sistemas se presentan como una gran oportunidad para mejorar la calidad de los datos de viaje en términos de largo plazo.

En los estudios que abarcan teléfonos inteligentes, el número de marcas y sistemas operativos fue reducido, así como el número de los participantes. Este vacío en las investigaciones se presenta como una oportunidad para los investigadores en el desarrollo de aplicaciones móviles que funcionen en diversos dispositivos, al igual que para la generación de estrategias para cubrir esa misma cantidad de encuestas con métodos tradicionales.

Con el uso de tecnologías móviles, se destaca la captura de datos de localización precisos al utilizar sensores como el GPS. Usando estas tecnologías, es posible aplicar encuestas en forma indefinida, manteniendo grandes volúmenes de datos o Big Data para analizar la información de movilidad constantemente. Ello facilita la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo en las ciudades.

Con el uso de técnicas de usabilidad y accesibilidad, se generan beneficios a los usuarios que van más allá de un agradable aspecto visual de la aplicación. Esto se evidencia en los resultados de la evaluación, al reducir errores en el registro de datos, mejorar la lectura de las preguntas y facilitar el aprendizaje de la aplicación móvil. Por su parte, de acuerdo con Ortúzar (2008), el diseño de

encuestas de movilidad cubre detalles superiores a la encuesta de diario de viajes; esto haría que desapareciera. Contrario a esta afirmación, los resultados encontrados en este estudio evidencian que la encuesta de diario de viajes, utilizando tecnologías móviles, logra capturar datos con alta precisión y cálida.

Este trabajo se centró en el desarrollo de la aplicación y la evaluación de su funcionalidad como complemento tecnológico de captura de datos para encuestas de movilidad, sin reemplazar los métodos tradicionales; por ello, no se aplicó en un estudio de movilidad real. Lo anterior, por cuanto el estudio de movilidad real fue aplicado recientemente y depende de factores gubernamentales y económicos con los que no se puede contar.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, que ha financiado la realización de esta investigación.

VIII. CONCLUSIONES

- El diseño y la construcción de la aplicación utilizando técnicas de usabilidad y accesibilidad como contraste de colores, ajuste de pantalla de acuerdo con el tamaño del dispositivo y la presentación de la encuesta en forma de tarjetas gráficas generaron la reducción de errores en el registro de datos y facilitaron el aprendizaje de los participantes en el uso de la aplicación.
- Las tecnologías híbridas, si bien tecnológicamente no son las más óptimas, disminuyen los tiempos en la construcción de aplicaciones, sin depender de las particularidades de los sistemas operativos ni de características del dispositivo.

- Las tecnologías híbridas permiten disminuir el sesgo en una muestra, al posibilitar la inclusión de usuarios con diferentes tipos de dispositivos y de sistemas operacionales.
- La evaluación de funcionalidad del aplicativo destaca cómo la recolección de datos de movilidad se puede realizar durante cada etapa del viaje; esto asegura que es posible relacionar modos específicos y actividades, junto con el tiempo y la ubicación del desplazamiento.
- La identificación y caracterización de variables de movilidad urbana utilizadas para el desarrollo del aplicativo es resultante de la metodología propuesta por el Ministerio de Transporte para la elaboración de las encuestas de movilidad.
- El aplicativo desarrollado se convierte en una alternativa que complementa la encuesta tradicional de origen y destino para la recolección de datos de movilidad; tiene como ventajas la precisión de datos de localización y de tiempo.

REFERENCIAS

Asakura, Y., Hato, E. y Maruyama, T. (2014). Behavioural data collection using mobile phones. En S. Rasouli y H. Timmermans, (Eds.), *Mobile technologies for activity-travel data collection and analysis* (pp. 17-35). Hershey: IGI Global.

Banker, K., Bakkum, P., Garrett, D. y Hawkins, T. (2016). *MongoDB in Action*. Recuperado de <http://pepa.holla.cz/wp-content/uploads/2016/11/MongoDB-in-Action-2nd-Edition.pdf>

Bayat, A. y Pomplun, M. (2013). A study on human activity recognition using accelerometer data from smartphones. *Procedia Computer Science*, 34, 450-457.

Chaniotis, I., Kyriakou, K. y Tselikas, N. (2014). Is Node.js a viable option for building modern web applications? A performance evaluation study. *Computing*, 97, 1023-1044.

Comisión de las Comunidades Europeas (2007). *Libro verde, Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*. Bruselas: Autor.

Conrad, F. (2016). Interview with Aigul Mavletova. Recuperado de <https://www.coursera.org/learn/data-collection-methods/lecture/tntnF/4-4-interview-with-aigul-mavletova-national-research-university-higher-school-of>

Díaz, V. (2001). *Diseño y elaboración de cuestionarios para la investigación comercial*. Madrid: ESIC.

Enríquez, J. y Casas, S. (2013). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informe Científico Técnico UNPA*, 5(2), 25-47.

Express (2016). Express: Fast, unopinionated, minimalist web framework for Node.js. Recuperado de <https://expressjs.com/>

Fishman, T. (2012). *Digital-age transportation: The future of urban mobility*. Nueva York: Deloitte University Press.

García-Castro, L. (2014). *Hacia un sistema de movilidad urbana integral y sustentable en la zona metropolitana del valle de México* (tesis doctoral). Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.

Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. Barcelona: Reverté.

Holmes, S. (2016). *Getting MEAN with Mongo, Express, Angular, and Node*. Recuperado de <https://www.manning.com/books/getting-mean-with-mongo-express-angular-and-node>

- IBM Corporation (2012). *Desarrollo de aplicaciones móviles, híbridas y nativas*. Recuperado de ftp://ftp.software.ibm.com/la/documents/gb/commons/27754_IBM_WP_Native_Web_or_hybrid_2846853.pdf
- Mavletova, A. (2013). Data quality in PC and mobile web surveys. *Social Science Computer Review*, 31(6), 725-743.
- Mavletova, A. y Couper, M. (2015). Grouping of Items in Mobile Web Questionnaires. *Field Methods*, 28(2), 170-193.
- Ministerio de Transporte de Colombia (2012). *Manual para estudios de origen y destino de transporte de pasajeros y mixto en áreas municipales distritales y metropolitana*. Bogotá: Autor.
- Miralles, C. (2002). *Ciudad y Transporte: el binomio imperfecto*. Madrid: Ariel.
- Nielsen, J. (2012). *Mobile Usability*. Recuperado de <https://www.safaribooksonline.com/library/view/mobile-usability/9780133122152/>
- Ortúzar, J. y Willumsen, L. (2008). *Modelos de transporte* (vol 1). Cantabri: Universidad de Cantabria.
- Reyes, J. (2014). *Smartphone-Based Human Activity Recognition* (tesis de doctorado). Cataluña: Universitat Politècnica de Catalunya y University of Genoa.
- Simek, C., Bricka, S., Wood, N. y Baker, R. (2014). Origin-destination data collection technology. En S. Rasouli y H. Timmermans (Eds.), *Mobile technologies for activity-travel data collection and analysis*. (pp. 1-16). Hershey: IGI Global.
- Universidad de Alberta (2016). Client needs and software requirements. Recuperado de <https://www.coursera.org/learn/client-needs-and-software-requirements/lecture/ZzPyb/lecture-2-types-of-requirements>
- Wang, S., Chen, C. y Ma, J. (2010). Accelerometer based transportation mode recognition on mobile phones. *2010 Asia-Pacific Conference on Wearable Computing Systems, 2010*, 44-46.