



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOF 2014

Nuevos escenarios  
en la enseñanza de la ingeniería

Cartagena de Indias, 7 al 10 de octubre de 2014  
Centro de Convenciones Cartagena de Indias

# IMPLEMENTACIÓN DE GRAFOS Y ALGORITMOS DE BÚSQUEDA DE CAMINOS SOBRE UN MAPA TOPOLÓGICO DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO

Víctor Hugo Benachi Rivera, Julián Andrés Palacios Gordon, Rocío Segovia Jiménez

Universidad de San Buenaventura  
Santiago de Cali, Colombia

## Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica son actualmente una herramienta muy utilizada en la gestión de información en diferentes áreas como minería, urbanismo, medio ambiente y turismo entre otras. El siguiente trabajo presenta el diseño y desarrollo de una aplicación donde se utilizan los conceptos de grafos y algoritmos de búsqueda de caminos, y se visualizan mediante geo-referenciación. Obteniendo así una aplicación que ofrece a la comunidad de estudiantes y visitantes una ayuda tecnológica de ubicación e información sobre su campus universitario. La aplicación de dichos conceptos en el desarrollo de esta herramienta interactiva, permite al usuario simular un desplazamiento virtual y obtener información adicional activando procesos de comunicación entre los integrantes de la comunidad académica.

**Palabras clave:** grafos; mapa; sistemas de información geográficas; caminos y algoritmos

## Abstract

Geographic Information Systems are now a widely used in information management in different areas such as mining, urban development, environment and tourism among other tools. This work presents the design and development of an application where the concepts of graphs and pathfinding algorithms used, and visualized by geo-referencing. Obtaining an application that provides the community of students and visitors a technological aid location and information on its campus. The application of these concepts in the development of this interactive tool allows the user to simulate a virtual displacement and additional information processes enabling communication among members of the academic community.

**Keywords:** graph; map; geographic information systems; roads and algorithms

## 1. Introducción

Actualmente el encontrar sistemas de geo-referenciación de lugares, ciudades y países ya no es una novedad, sin embargo, no todos los sitios a los que asisten comunidades representativas en cantidad de usuarios, están totalmente documentados o identificados en este tipo de sistemas<sup>1</sup>. Por esta razón, a pesar de que los estudiantes o visitantes de los campus universitarios pueden considerar que es posible contar con herramientas de esta clase, para acceder a información detallada de su universidad, se encuentran con la sorpresa de que estas no existen.

---

<sup>1</sup> (VARGAS & ALVAREZ, 2013, pp.2)

Por otra parte, los mismos integrantes de las comunidades académicas se encuentran con la necesidad de contar con herramientas en las que puedan publicar sus eventos, cambios de horarios y lugares, entre otros, de manera efectiva. De aquí la pertinencia de desarrollar *UbiKTV2.0*.

*UbiKTV2.0* es un sistema que permite a los integrantes de una comunidad académica establecer comunicación mediante la geo-referenciación de su campus universitario. Este sistema cuenta con funcionalidades que le permiten al usuario del campus encontrar la ruta más corta desde un origen a un destino utilizando teoría de grafos y brinda información referente a cada sitio o evento. Este sistema fue desarrollado utilizando herramientas de uso masivo como son *Java*, *GoogleMaps*, *Prime Faces*, *Apache Tomcat* y *Oracle*.

Este documento presenta las etapas realizadas para el desarrollo de *UbiKT* en su versión 2.0, la experiencia de los desarrolladores al aplicar dichas tecnologías y lo que se incluirá en las nuevas versiones de este aplicativo.

## 2. Metodología del proyecto

Este proyecto inicia como un ejercicio final de la clase de Estructura de Datos, en el cual es necesario aplicar las teorías de grafos en un caso real, luego se convierte en un proyecto de semillero donde se toma como referencia trabajos anteriores como *UbiKT V1.0* y *Map Event*, que son tomados como base a este nuevo desarrollo generando una herramienta más robusta.

De acuerdo con esto, el desarrollo de *UbiKT* se plantea definiendo 4 fases, análisis del problema para definición de requerimientos, Diseño mediante el uso de teorías de grafos, Implementación utilizando *Prime Faces* y *GoogleMaps* y una fase final de mantenimiento que propone mejoras. A continuación se presenta cada una de estas fases describiendo las actividades realizadas y los productos resultantes de las mismas.

### a) Análisis del problema.

Con el propósito de definir los elementos funcionales necesarios para el desarrollo de la herramienta *UbiKT V.2.0* se presenta a continuación la versión preliminar.

**UbiKT V1.0:** es una herramienta que tiene como objetivo presentar información sobre ubicación y disposición física de sitios del campus universitario, utilizando fotos y planos. El usuario puede interactuar con el sistema, navegando mediante un click sobre el lugar de interés como edificios, cafeterías y auditorios. La ubicación para el usuario se hace mediante un mapa del campus dibujado a escala (ver figura 1), donde el usuario puede avanzar mediante un click, y así visualizar otras imágenes simulando acercamientos del lugar.

Esta herramienta es un aplicativo web, que permite identificar los sitios de interés que tiene la Universidad y el lugar al cual el usuario quiere dirigirse, posteriormente traza mediante una línea el camino desde la entrada del campus hasta el lugar elegido por el usuario (ver figura 2).



Figura 1. Imagen del campus.<sup>2</sup>

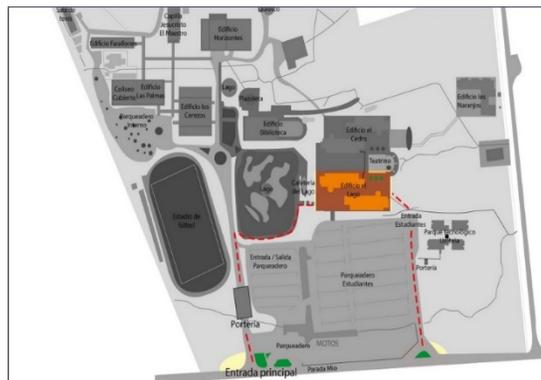


Figura 2. Camino desde las entradas.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> [http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la\\_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/index.html](http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/index.html)

<sup>3</sup> [http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la\\_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/ubicacion/edlago.html](http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/ubicacion/edlago.html)

Una de las limitantes que tiene esta aplicación es que los caminos siempre se presentan tomando como origen de la ruta la entrada de la universidad y no se cuenta con la posibilidad de que el usuario elija un origen diferente. Por otra parte el mapa del campus universitario se limita a representar los sitios y no cuenta con información de distancias, que permitirían además de presentar una ruta de acceso el camino de menor costo.

Por otra parte, otra de las necesidades detectadas que desde UbiKT V2.0 se quiere solucionar, es la publicación de eventos o información relativa a las actividades de la comunidad académica. Estos limitantes y nuevos intereses permiten fijar los objetivos funcionales que UbiKT V2.0 debe soportar. Map Event: es un aplicativo creado como proyecto de semillero en el que se representa información referente a eventos en Google Maps, con el propósito de ofrecer un servicio genérico de consulta de información sobre una región geográfica. Este proyecto nace de la necesidad de representar información de proyectos de investigación sobre un mapa, para permitir a los investigadores realizar consultas y obtener posibles referentes para sus nuevos proyectos. Por ejemplo, si una línea de investigación tiene más desarrollo en una región específica del mundo, el investigador puede activar convenios con universidades localizadas en dichas zonas.

Después de definir el alcance funcional de la nueva versión de UbiKT se estudian algunos referentes relativos a la presentación de información sobre referencias geográficas para lo cual se tienen en cuenta artículos como "Aplicación de los sistemas de información geográfica para la gestión de la malla vial de la ciudad de Medellín" y "Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos" entre otros trabajos que se han realizado en la ciudad de Medellín. De estos referentes se encuentra como factor común, que los procesos de gestión de comunidades y regiones específicas requieren del uso de referencias geográficas, para generar aplicaciones más dinámicas y atractivas para los usuarios de dicha información, justificando así el proyecto del campus universitario.

Se elige por lo tanto, el desarrollo de la nueva versión de UbiKT que mejore la anterior e incluya herramientas genéricas como Google Maps en su implementación.

#### b) Diseño basado en Teoría de grafos

Para obtener la referencia principal del desarrollo de esta nueva versión, se realiza un estudio sobre las teorías de grafos que mejoren el requerimiento de búsqueda de caminos óptimos para llegar desde un sitio origen a un destino. Para diseñar las estructuras que permitan cumplir con esta funcionalidad se parte de los siguientes conceptos:

"Un grafo  $G = (V, E)$  esta formado por un conjunto de vértices  $V$ , y un conjunto de aristas,  $E$ . Cada arista es un par  $(v, w)$ , donde  $v, w \in V$ . En ocasiones los vértices se denominan nodos, y las aristas arcos".<sup>4</sup>

El grafo que se diseña para la aplicación UbiKT consta de nodos asociados a sitios relevantes del campus universitario o puntos de cruce de caminos que implican bifurcaciones en las vías peatonales. Las aristas son la representación de los tramos de vías peatonales entre los nodos, y el peso representa la distancia en metros entre los nodos. Para obtener estas distancias se recurre directamente a la información que Google Earth brinda al interactuar mediante clicks sobre el mapa, en esta ocasión el campus de la Universidad.

Para el desarrollo de búsqueda óptima o de coste mínimo en el grafo, se identifican algoritmos como *Dijkstra*, planteado por *Edsger Wybe Dijkstra* el cual consiste en la obtención de los caminos más cortos entre un nodo origen y todos los demás nodos del grafo. La implementación desarrollada para UbiKT es una adaptación de *Dijkstra*, donde básicamente se toma como referencia el nodo inicial y final, que elige el usuario y partiendo del nodo inicial realiza el proceso de búsqueda del menor peso, de las aristas asociadas a los nodos que se interconectan con él. Después toma el nodo correspondiente a la conexión elegida y repite el proceso hasta llegar a cada nodo del grafo, al finalizar el proceso informa cual es el camino al nodo final. Esta implementación tiene dos restricciones importantes para su correcto funcionamiento, la primera es que el nodo al que se requiere llegar debe tener al menos una arista en el grafo y la segunda, consiste en que el coste de las aristas debe ser positivo, el cual se cumple por ser para el problema específico un valor relativo a distancias.

Otro de los algoritmos que se analizaron para el proceso de búsqueda de caminos fue el algoritmo de *Kruskal*, planteado por Joseph B-Kruskal, este tiene como propósito la construcción de un *árbol de mínimo recubrimiento*, por lo tanto, arma un subgrafo de aristas, formando un árbol de coste mínimo que incluya a todos los nodos del grafo.

<sup>4</sup>(WEISS, 2000, pp. 353)

Este algoritmo funciona de la siguiente manera: “Se crea un bosque B, Donde cada vértice del grafo es un árbol separado. Se crea un conjunto C que contenga a todas las aristas del grafo. Mientras C es no vacío; Eliminar una arista de peso mínimo de C. Si esa arista conecta dos árboles en un solo árbol. En caso contrario, se desecha la arista”<sup>5</sup>. En UbiKT se implementa también el algoritmo de Kruskal para definir otra alternativa de camino para sugerir al usuario.

### c) Implementación mediante tecnologías WEB

Después de definir los requerimientos funcionales del software y elegir las teorías de grafos que nos permitan soportar la búsqueda de caminos. Se plantea como patrón de arquitectura a implementar en el proyecto, el Modelo-Vista-controlador, debido a que permite separar los datos y la lógica de negocio de la interfaz de usuario. Esta arquitectura de software permitirá evolucionar el producto en un futuro, gracias a la facilidad de actualización de manera independiente entre capas.

Se elige *JAVA* como lenguaje de programación, ya que existen componentes de integración con muchos dispositivos y plataformas, por lo cual, su versatilidad para la implementación hace que sea un lenguaje dinámico y completo para el desarrollador.

Para el inicio del prototipo de *UbiKT V2.0*, se planteó el grafo a escala de la universidad. Para esto fue necesario calcular el área del campus utilizando Google Earth y diseñando una vista estática sobre java (vea figura 3), donde los nodos principales son los sitios de interés, como edificios o cafeterías del campus. Sin embargo se detecta en este momento un problema, al momento de generar el grafo, se requería construir los caminos por donde una persona puede transitar, así que se decidió incluir una serie de nodos auxiliares para poder conectar de una manera real los caminos que debe recorrer el usuario dentro del campus (vea figura 4).



Figura 3. Prototipo estático inicial



Figura 4. Diseño de grafo a escala



Figura 5. Obtención de coordenadas en Google Maps

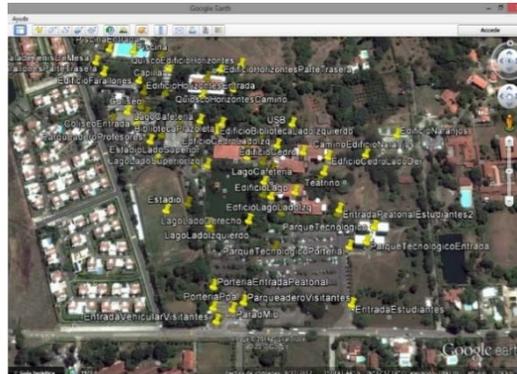


Figura 6. Construcción de grafo en Google Earth

Después de tener el prototipo funcional terminado, aun no era una herramienta de fácil acceso para los usuarios, a partir de esto se estudió la herramienta Map Event que utilizaba otras herramientas como *Google Maps*, *Prime Faces*, *Apache Tomcat* y *Oracle*.

<sup>5</sup> (KRUSKAL, 1956, pp. 48-50)

Para vincular estos nuevos componentes en el software fue necesario especificar una arquitectura de componentes que se presenta en el gráfico (ver figura 7).

El API de Google Maps permitió la referenciación geográfica del campus, convirtiendo la apariencia de la aplicación en un medio más agradable a la vista del usuario.

Prime Faces por otra parte, es el framework utilizado para la implementación de mecanismos de interacción con el usuario mediante recursos que mejoran la capa de Vista, estos se diseñan en XHTML. Adicionalmente, Prime Faces provee repositorios que facilitan el uso de un Web Service de Apache Tomcat.

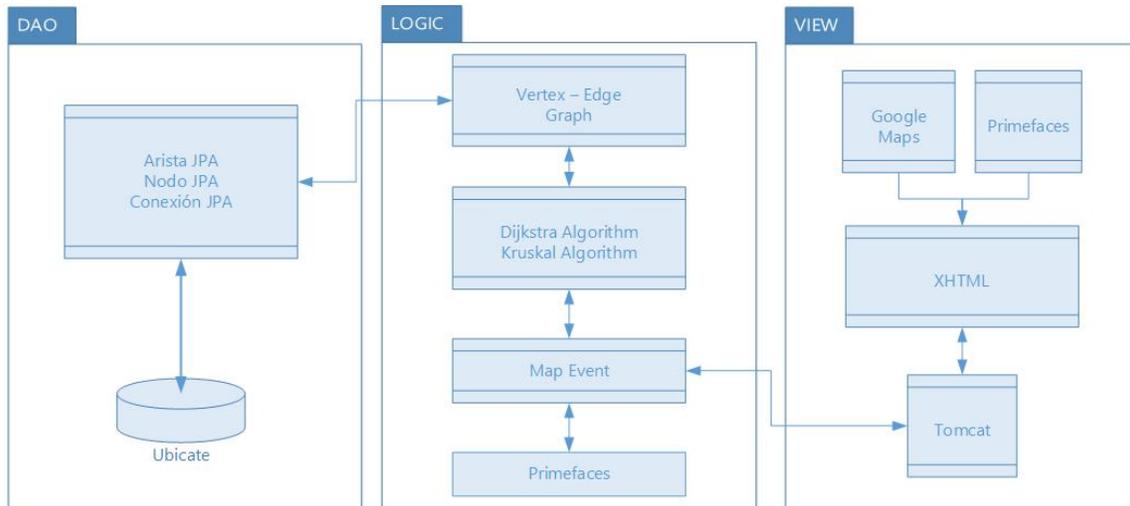


Figura 7. Arquitectura del Software

Para la gestión de la información asociada al grafo y en general la información que se espera almacenar sobre el campus, se utiliza una Base de Datos ORACLE en versión 10G.

Ya con la interfaz definida y la estructura de grafos cargada con la información del campus se puede observar el resultado de la aplicación en la Figura 8, donde se muestra el resultado del algoritmo de *Dijkstra* después de especificar el origen y el destino a buscar.

Con esta implementación y posterior al respectivo proceso de pruebas de la herramienta, se obtuvo como resultado mejorar la interfaz gráfica (vea figura 9), la cual ahora le permite al usuario visualizar la foto correspondiente del sitio de interés de la universidad. Como complemento a la consulta del usuario se puede especificar los sitios origen y destino para que los algoritmos le devuelvan el resultado esperado y así el usuario podrá movilizarse de una manera eficiente en el campus.



Figura 8. UbiKT V2.0

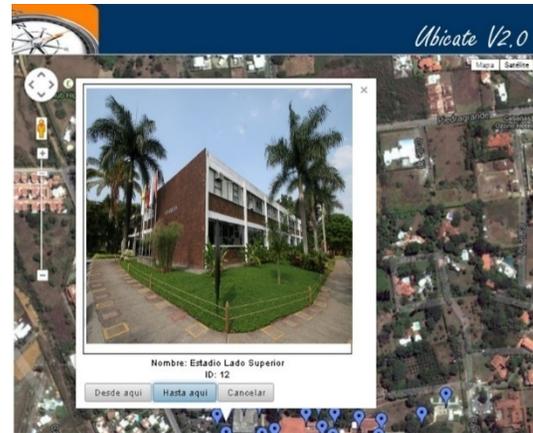


Figura 9. Imagen del edificio de los cerezos

#### d) Mantenimiento

Dadas las condiciones de la arquitectura del software se han realizado cambios que han permitido mejorar el proceso y plantear estrategias que permitan dar mayor funcionalidad sin tener que reconstruir toda la herramienta. Entre los cambios realizados están el uso de un otro gestor de base de datos como Postgress. Este cambio ha permitido demostrar la independencia de cada componente.

Actualmente se está desarrollando la siguiente versión del aplicativo, donde se espera vincular mayor cantidad de información académica para los estudiantes de la Universidad ya que en esta versión únicamente se alcanzó a incluir las imágenes de los nodos. La información que se espera vincular será sobre ubicación de profesores, clases, eventos o conferencias. La proyección de la nueva versión es poder convertir a *UbiKT* en un centro de información.

Otra de las metas por cumplir es que la herramienta sea usada oficialmente en la Universidad.

### 3. Conclusiones y Trabajos Futuros

- Las herramientas que se utilizaron para realizar el proyecto permitieron lograr los objetivos del proyecto como crear un sistema de información geo-referenciada del campus universitario y desarrollar una interfaz agradable y apropiada para el usuario.
- La implementación de algoritmos basados en teoría de grafos para la generación de caminos y ubicar a los usuarios del campus cumplió con los resultados esperados.
- El trabajo de investigación realizado pretende recomendar que el uso de una arquitectura debidamente estructurada permite que una solución informática pueda ser escalable y ser orientada a gestionar multiplicidad de servicios, interactivo y multiplataforma.
- Se espera que en las futuras versiones de la herramienta se pueda contar con un módulo para un usuario administrador que permita adicionar de manera dinámica sitios, eventos e información general que posteriormente será consultada por los estudiantes y visitantes del campus universitario.
- Entre los procesos de mejora se tiene el traslado del proceso de cálculo de caminos de la capa lógica a un proceso masivo que se ejecute solo al momento de adicionar nuevos nodos en el grafo y los caminos serán almacenados en la base de datos y consultados por el usuario al momento de navegar en el mapa.

### 4. Referencias

#### Artículos de revistas

- **CHACÓN**, José Luis (2005). *Matemáticas discretas: Introducción a la teoría de grafos*. Semestre A2005.
- **EULER**, Leonhard (1736). *Solutioproblematis ad geometriam situs pertinentis* (en latín). *Comment. Acad. Sci. U.Petrop* 8, 128-40 (Reimpreso en *Opera Omnia Series Prima*, Vol. 7. pp. 1-10, 1766).

- **KRUSKAL**, J.B (1956). On the shortest spanning subtree and the traveling salesman problem. En: Proceedings of the American Mathematical Society, PP. 48-50.
- **MURILLO**, Diego; **ORTEGA**, Irena; **CARILLO**, Juan David; **PARDO**, Andrés & **RENDON**, Jeiser (2012). "Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos". Ing. USBMed, Vol. 3, No 1, pp.62-68. ISSN: 2027-5846. Enero-Junio. . Medellín-Colombia.
- **VARGAS** Benjumea, Jaime A. & **ALVAREZ**, Daniel (2013). "Proceso de Geocodificación de direcciones en la Ciudad de Medellín, una técnica determinística de georeferenciación de direcciones". Ing. USBMed, Vol 4, No 1, pp.6-21. ISSN: 2027-5846. Enero-Junio. . Medellín-Colombia.
- **ZAPATA** Duque, Jaime A. & **CARDONA** Londoño, Gabriel J (2012). "Aplicación de los sistemas de información geográfica para la gestión de la malla vial de la ciudad de Medellín." Ing. USBMed, Vol. 3, No 2, pp.70-84. ISSN: 2027-5846. Julio-Diciembre. Medellín-Colombia.

### Libros

- **WEISS**, Mark Allen (2000). *Estructura de datos en JAVA™ compatible con JAVA™ 2*. Núñez de Balboa, Madrid: Pearson Educación S.A.

### Webgrafía

- [http://www.itnuevolaredo.edu.mx/takeyas/Apuntes/Estructura%20de%20Datos/Apuntes/grafos/Apuntes\\_Grafos.pdf](http://www.itnuevolaredo.edu.mx/takeyas/Apuntes/Estructura%20de%20Datos/Apuntes/grafos/Apuntes_Grafos.pdf)
- <http://www.vogella.com/tutorials/JavaAlgorithmsDijkstra/article.html>
- [http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la\\_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/index.html](http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/index.html)
- [http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la\\_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/edlago.html](http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/edlago.html)
- [http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la\\_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/pisos/lagoP1.html](http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/pisos/lagoP1.html)
- [http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la\\_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/ubicacion/edlago.html](http://www.usbcali.edu.co/images/stories/archivos/la_universidad/ubicate-en-la-usb/Version-Web/ubicacion/edlago.html)
- <http://www.oracle.com/technetwork/database/database10g/overview/index-095623.html>
- <https://maps.google.es/>
- <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- <http://primefaces.org/>
- <http://www.oracle.com/es/index.html>

### Sobre los autores

- **Benachi Rivera, Víctor Hugo**: Ingeniero de sistemas, Estudiante, Integrante del semillero de Investigación en Ingeniería de Software, del grupo de Investigación LIDIS. [victorbenacce@gmail.com](mailto:victorbenacce@gmail.com).
- **Palacios Gordon, Julián Andrés**: Ingeniero de sistemas, Estudiante, Integrante del semillero de Investigación en Ingeniería de Software, del grupo de Investigación LIDIS. [julyangordon@gmail.com](mailto:julyangordon@gmail.com).
- **Segovia Jiménez, Rocío**: MSc. Ingeniería de Sistemas, Profesora, Directora del grupo de investigación LIDIS. [ersegovia@usbcali.edu.co](mailto:ersegovia@usbcali.edu.co).

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2014 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)