

Universidad de las Ciencias Informáticas  
FACULTAD 6



**Sistema para la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés haciendo uso de las tecnologías integradas en dispositivos móviles.**

---

Trabajo de Diploma para optar por el título de  
Ingeniero en Ciencias Informáticas

**Autor:** Jorge Fuentes Rodríguez

**Tutor:** Ing. Gerdys Ernesto Jiménez Moya

La Habana, mayo de 2013.

“Año 55 de la Revolución.”

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Declaramos ser autores de la presente tesis y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## DATOS DE CONTACTO

**Nombre:** Gerdys Ernesto Jiménez Moya.

**Profesión:** Ingeniero en Ciencias Informáticas.

**Categoría docente:** Asistente.

**Año de graduado:** 2008.

**Correo:** [gejimenez@uci.cu](mailto:gejimenez@uci.cu)

**Breve descripción:** Labora como profesor de la Facultad # 6 de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Está vinculado desde que se graduó a los proyectos productivos del centro GEySED, desempeñándose en los roles de Líder de Proyecto, Administrador de base de datos y Analista principal de varios de los proyectos del Departamento Geoinformática. Actualmente ocupa el cargo de Jefe de Departamento de Geoinformática.

## AGRADECIMIENTOS

*A Nana y al Papa, por guiar hacia colinas más altas estos 17 años de estudios.*

*A mi mamá Odalys por ser hermana, amiga y madre a la vez.*

*A mi papá Rubén, por el apoyo y los consejos.*

*A Claudia, por el amor, los momentos lindos y las peleas que disfrutamos juntos.*

*A Mayra, mi abuela Yuya y mi mamá Tata por el cariño de tantos años.*

*A mi hermano Rubén porque al luchar por sus sueños me anima a luchar por los míos.*

*A Yadir, Javier, David, Aiman y Carlos Julio mis amigos de aquí.*

*A Alejandro, Oscar y David mis amigos de allá.*

*A mi equipo UCI2ndTWF, José Carlos, Bruceta y Charchabal.*

*A mi tutor Gerdys y todos los excelentes profesores que he tenido.*

*A todos esas personas que me han ayudado, mi tía Mayra, mi prima Yune, en fin todos los que han contribuido a crear la persona que soy.*

## DEDICATORIA

*A quien más sino a Nana y al Papa.  
A ellos que han guiado estos años de estudio.*

## RESUMEN

Los teléfonos móviles gozan en la actualidad de una gran popularidad debido a que brindan servicios como: el acceso a Internet, la reproducción de música y videos así como la posibilidad de tomar fotografías. Son utilizados además para la búsqueda de información asociada a la ubicación geográfica en la que se encuentre el usuario. Esto es posible debido al receptor *GPS (Global Positioning System)* incluidos en este tipo de dispositivos. Sin embargo en Cuba las condiciones de conectividad de las redes móviles de datos imposibilitan la utilización de aplicaciones que necesiten conectarse a Internet para su funcionamiento. Por tal motivo en este trabajo se propone un sistema para la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés utilizando las tecnologías integradas en los dispositivos móviles que se adapte a las limitaciones existentes en el país. Este emplea el servicio de mensajes cortos (SMS, por sus siglas en inglés) para el intercambio de información entre los usuarios y el servidor de aplicaciones. Permite también mediante la participación de los propios usuarios generar y mantener una base de datos actualizada de puntos de interés que facilite su utilización en aplicaciones de terceros.

**Palabras clave:** *android*, dispositivos móviles, georreferenciación, puntos de interés, SMS.

## TABLA DE CONTENIDOS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>   | <b>5</b>  |
| 1.1 INTRODUCCIÓN .....   | 5         |
| 1.2 CONCEPTOS ASOCIADOS AL DOMINIO DEL PROBLEMA.....                                     | 5         |
| 1.3 PROCESOS DE GEORREFERENCIACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....                               | 7         |
| 1.3.1 <i>Modelo geográfico</i> .....   | 8         |
| 1.3.2 <i>Modelo de representación</i> .....  | 8         |
| 1.3.3 <i>Modelo de almacenamiento</i> .....  | 9         |
| 1.3.4 <i>Fuentes de datos espaciales</i> .....   | 10        |
| 1.4 ALGORITMOS PARA LA BÚSQUEDA DE LOS PUNTOS DE INTERÉS MÁS CERCANOS EN REDES .....     | 12        |
| 1.4.1 <i>Vecino más cercano en redes basado en Voronoi (VN3)</i> .....                   | 13        |
| 1.4.2 <i>Búsqueda rápida del vecino más cercano en redes de carreteras (BRVMC)</i> ..... | 14        |
| 1.4.3 <i>Aproximación de islas</i> .....   | 15        |
| 1.4.4 <i>Comparación del rendimiento de los algoritmos estudiados</i> .....              | 16        |
| 1.4.5 <i>Conclusiones de la comparación del rendimiento de los algoritmos</i> .....      | 19        |
| 1.5 ESTUDIO DE SOLUCIONES EXISTENTES .....   | 19        |
| 1.5.1 <i>Valoración del análisis de las soluciones existentes</i> .....                  | 21        |
| 1.6 METODOLOGÍAS, HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS .....                                       | 21        |
| 1.6.1 <i>Metodología de desarrollo de software</i> .....                                 | 22        |
| 1.6.2 <i>Lenguaje y herramienta de Modelado</i> .....                                    | 22        |
| 1.6.3 <i>Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD)</i> .....                                | 23        |
| 1.6.4 <i>Lenguaje de desarrollo: Aplicación cliente</i> .....                            | 24        |
| 1.6.5 <i>Lenguaje de desarrollo: Aplicación servidor</i> .....                           | 26        |
| 1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO .....  | 26        |
| <b>CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....</b>                                     | <b>28</b> |
| 2.1 INTRODUCCIÓN .....   | 28        |
| 2.2 MODELO DE DOMINIO .....  | 28        |
| 2.2.1 <i>Diagrama de clases del Modelo de dominio</i> .....                              | 30        |
| 2.3 REQUISITOS FUNCIONALES.....  | 30        |
| 2.4 REQUISITOS NO FUNCIONALES .....  | 32        |
| 2.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....  | 33        |
| 2.5.1 <i>Descripción del actor</i> .....   | 33        |
| 2.5.2 <i>Diagrama de casos de uso del sistema</i> .....                                  | 34        |
| 2.5.3 <i>Descripción textual de los casos de uso del sistema</i> .....                   | 34        |
| 2.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO .....  | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....</b>                         | <b>42</b> |
| 3.1 INTRODUCCIÓN .....  | 42        |
| 3.2 PATRONES DE DISEÑO.....   | 42        |
| 3.2.1 <i>Patrones generales de software para la asignación de responsabilidades .....</i> | <i>42</i> |
| 3.2.2 <i>Patrones GOF.....</i>  | <i>43</i> |
| 3.3 APLICACIONES Y SU CICLO DE VIDA EN LA PLATAFORMA ANDROID .....                        | 43        |
| 3.4 MODELO DE DISEÑO.....   | 44        |
| 3.4.1 <i>Diagrama de clases del diseño .....</i>  | <i>44</i> |
| 3.5 MODELO DE IMPLEMENTACIÓN .....  | 45        |
| 3.6 MODELO DE DESPLIEGUE .....  | 46        |
| 3.7 PRUEBAS DEL SISTEMA PROPUESTO .....   | 47        |
| 3.8 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS .....  | 52        |
| 3.9 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO .....   | 53        |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>   | <b>54</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>62</b> |
| <b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>   | <b>65</b> |

## **INTRODUCCIÓN**

La necesidad del hombre de describir el medio donde vive impulsó la creación de los primeros mapas en los tiempos de la antigua Grecia (Ortega, 2007). Los avances tecnológicos alcanzados desde entonces han cambiado la forma de manejar, recopilar y representar la información geográfica. La aparición de la gran red de redes conocida como Internet y de servicios asociados como el correo electrónico, la mensajería instantánea y recientemente las redes sociales, han facilitado la agilización de los procesos de intercambio de información. El desarrollo de las tecnologías de las informáticas y las comunicaciones (TIC) ha tenido una marcada influencia en las ciencias geográficas y en la sociedad en general.

La telefonía móvil, sobre todo en la última década, se ha acoplado perfectamente con estas tecnologías. La creación de unidades que además de permitir la comunicación telefónica, posibilitan acceder a Internet, ha convertido la movilidad en un factor a tener en cuenta en el campo de las TIC. La capacidad de obtener la localización geográfica a partir de receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), la incorporación de cámaras fotográficas y de video, junto a su creciente poder de cálculo ha marcado el predominio de estos dispositivos sobre las tradicionales computadoras personales (IDC Corporate USA, 2012). Estos equipos están provistos además, de un sistema operativo que facilita la explotación de sus adelantos de *hardware* por los desarrolladores.

Es en este contexto que surgen los servicios basados en localización (LBS). Estos se caracterizan por combinar información proveniente de Internet con la posición del usuario para ofrecer una experiencia con un mayor nivel de personalización (Rouse, 2010). Un ejemplo es la aplicación que muestra el pronóstico del tiempo y destaca la región donde está siendo ejecutada, sin embargo, la gran mayoría están vinculadas a elementos conocidos del medio circundante como: la distribución de las calles, ubicación de hospitales, tiendas o gasolineras. Estos sistemas son de suma importancia como apoyo a la toma de decisiones.

El tipo de información geográfica que describe un lugar exacto, que puede considerarse útil o interesante, es conocido como punto de interés (Group, 2012). Tradicionalmente se agrupan en esta clasificación, edificaciones creadas por el hombre donde se ofrecen bienes o servicios. Sectores como el turístico hacen uso extensivo de esta información, permitiéndoles confeccionar guías, panfletos y sitios web que promocionen las ofertas

disponibles en aras de aumentar el número de visitantes. El sector empresarial la utiliza en la determinación de la localización de nuevas entidades (Arnold C. Cooper, 2011), pues es necesario tener en cuenta las ya existentes. Debido a su importancia se han tomado variadas alternativas para contar con vías de actualización. A diferencia de otros elementos como ríos, costas o montañas, estos tienden a variar más rápidamente en el tiempo. Existen compañías que recopilan este tipo de información para luego comercializarla, no obstante, existen iniciativas libres que proponen la participación de una gran comunidad de usuarios que actualicen los datos de su medio circundante. Precisamente Internet y este tipo de dispositivos móviles han sido las herramientas escogidas por estos proyectos debido a que son recursos propios de los colaboradores.

En Cuba, el desarrollo alcanzado en el campo de las TIC ha llevado a la creación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Rodríguez Gámez, y otros, 2010), (Espinosa, 2010), (Oficina del Historiador de la Habana, 2012). Estos se especializan en temáticas específicas y la información con que trabajan es aportada por las instituciones rectoras en dichos temas. Al mismo tiempo la actualización de la política económica que vive la nación, ha conllevado a una explosión de nuevos establecimientos comerciales. Tiendas, cafeterías, restaurantes y hostales han colmado las calles siendo muy difícil la georreferenciación de cada uno de ellos. Es de señalar también las condiciones especiales de conectividad existentes en el país, pues a pesar del auge de las tecnologías móviles en los últimos años la disponibilidad y el acceso a redes móviles de datos es limitado. El servicio de conexión inalámbrica es brindado por la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. (ETECSA), pero este sólo está disponible para el sector empresarial (ETECSA S.A., 2012), por tanto la población en general no tiene acceso al mismo.

En estas condiciones se identifican las siguientes limitaciones; no se cuenta con un mecanismo que permita conocer con inmediatez y exactitud la ubicación de un móvil, imposibilitando mantener un control sobre la disponibilidad de estos recursos. No existe un sistema que garantice la disponibilidad de datos actualizados sobre los puntos de interés, afectando la precisión de las aplicaciones que los utilizan. No se cuenta con un mecanismo de intercambio de información referente a puntos de interés entre dispositivos móviles o entre dispositivos móviles y servidores lo que implica que no se puedan desarrollar aplicaciones informáticas para estos dispositivos que necesiten dicha funcionalidad para

orientar al usuario. La información sobre los puntos de interés no se encuentra centralizada y accesible para consumo desde otras soluciones informáticas de terceros.

Debido a los elementos antes planteados se define el siguiente **problema a resolver**:  
¿Cómo garantizar la actualización de la información geográfica para georreferenciar y buscar puntos de interés por usuarios en movimiento?

El **objeto de estudio** está constituido por: Los procesos de georreferenciación y búsqueda de puntos de interés.

Se define como **objetivo general** de la investigación: Desarrollar un sistema informático que basado en las tecnologías móviles permita la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés. El mismo se desglosa en los siguientes **objetivos específicos**:

- ✓ Identificar y caracterizar las tecnologías y herramientas necesarias para el desarrollo de la aplicación informática.
- ✓ Implementar la propuesta de solución basado en las tecnologías integradas en los dispositivos móviles.
- ✓ Validar la propuesta de solución a partir de la realización de pruebas al software.

El **campo de acción** está enmarcado en: Los procesos de georreferenciación y búsqueda de puntos de interés utilizando tecnologías móviles sin conectividad de datos.

El autor de la investigación plantea la siguiente **idea a defender**: Con el desarrollo de un sistema informático que aproveche las tecnologías móviles se garantizará la actualización eficiente de la información geográfica para la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes **métodos científicos**:

Métodos Teóricos:

- ✓ **Analítico-Sintético**: Se utiliza para la formulación de la idea a defender, pues se analizan elementos por separados (ej. SMS, puntos de interés) para luego en su combinación, obtener nuevos conocimientos.

- ✓ **Análisis Histórico-Lógico:** Se utiliza para el estudio del estado del arte de los sistemas existentes que permiten la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés, destacando sus ventajas y desventajas.
- ✓ **Sistémico:** Se utiliza para el análisis de los procesos de georreferenciación como el conjunto de sus componentes individuales, identificando las interrelaciones entre ellos como creadora de nuevas características.

Métodos Empíricos:

- ✓ **Observación:** Se utiliza para la comprobación de la existencia de cobertura GPS en Cuba.

Una vez concluida la investigación se espera contar con los siguientes **resultados esperados**:

- ✓ Un sistema informático que apoyado en las tecnologías integradas en los dispositivos móviles, permita la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés
- ✓ La documentación asociada al proceso de desarrollo del sistema.

La investigación cuenta con una estructura de 3 capítulos según se detallan a continuación:

**Capítulo 1:** Se profundiza en el estudio del problema, realizándose la fundamentación teórica, además de la caracterización del objeto de estudio y de las soluciones existentes. Se establecen las metodologías y herramientas que se utilizan para el desarrollo de la propuesta de solución.

**Capítulo 2:** Se describen las características del sistema, definiéndose sus requisitos funcionales y no funcionales. Teniendo en cuenta los requisitos funcionales se construye el modelo de casos de uso del sistema y se presenta la descripción de algunos de los más importantes.

**Capítulo 3:** Se describen los diagramas de clases del diseño, diagrama de despliegue y modelo de implementación. Se realiza la validación de la propuesta de solución a partir de la realización de pruebas al sistema.

## **CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.1 Introducción**

En el presente capítulo se profundiza en el análisis del problema de la investigación. Se definen los principales conceptos asociados al dominio del problema. Se abordan los procesos de georreferenciación como vías de obtención de datos geográficos y se incluye además una caracterización de los principales algoritmos para la búsqueda de puntos de interés. Se analizan las soluciones existentes a problemas similares y se precisan las limitantes que imposibilitan su utilización como solución al problema a resolver de la investigación. Se especifican las principales metodologías, herramientas y tecnologías que se utilizan en la implementación de la solución.

### **1.2 Conceptos asociados al dominio del problema**

**Teléfonos móviles:** son dispositivos que permiten la comunicación telefónica de forma inalámbrica. Su funcionamiento se basa en la transmisión de ondas de radio entre las terminales y las antenas receptoras. Estas últimas se disponen de manera que dividen la superficie terrestre en celdas de cobertura, por este motivo son también conocidos como teléfonos celulares. Uno de los primeros estándares de comunicación fue el *GSM*, surgido en 1991 y utilizado aún en gran cantidad de países (Portillo García, y otros, 2005). Luego aparecieron los estándares de transición *GPRS*, *HSCSD* y *EDGE*. En especial *GPRS*, al estar basado en *GSM*, ofrecer velocidades de transmisión de datos de hasta 115 *Kbps* e integrarse con el protocolo *TCP/IP* se ha convertido en el medio ideal para servicios avanzados de *WAP* y mensajería multimedia. Posteriormente se desarrollaron protocolos más potentes, los llamados de tercera y cuarta generación con velocidades de hasta 2 *Mbps* y 14 *Mbps* respectivamente.

- ✓ **Teléfonos inteligentes:** conocidos también como *Smartphone*, son teléfonos móviles con alta capacidad de procesamiento. Presentan características que originalmente no estaban asociadas con los teléfonos: sistema operativo, navegador web, la habilidad de instalar y ejecutar aplicaciones de software, poder conectarse a redes inalámbricas, cámara digital y sensor *GPS*. (Rouse, 2007).
- ✓ **Servicio de mensajes cortos:** el servicio de mensajes cortos o *SMS* por sus siglas en inglés, permite el envío de mensajes cortos de hasta 160 caracteres a teléfonos móviles. Es posible llegar hasta 224 caracteres en estos mensajes usando el modo de 5

bits. El servicio no requiere que el móvil esté activo o en el rango de alcance de la señal celular ya que los SMS se almacenan un número de días hasta que la entrega sea posible. (Rouse, 2007).

**Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer necesidades concretas de información. (Clarke, 1986).

**Georreferenciación:** Es un concepto relativamente nuevo que aún no es reconocido por la Real Academia de Lengua Española (RAE), sin embargo es comúnmente empleado en múltiples textos (Beltran, 2012), (Chávez, 2011), (Cuesta, 2012). La definición más aceptada hace referencia al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante punto, vector, área, volumen) en un sistema de coordenadas determinado (Chávez, 2011), (SIGIS, 2012). Es un proceso frecuentemente realizado en los SIG.

**Punto de interés:** El *Open Geospatial Consortium* (OGC) (Open Geospatial Consortium, 2013) define los puntos de interés (POI por sus siglas en inglés), como una ubicación con posición definida donde se pueden encontrar bienes o servicios, típicamente identificados por un nombre y no por una dirección. Se caracterizan con una categoría y pueden ser usados como puntos de referencia o como destino en un servicio basado en localización.

Por su parte, el grupo de trabajo sobre puntos de interés perteneciente a la W3C, en su página oficial lo define como parte de un conjunto interrelacionado de términos geográficos compuesto por: ubicación, sitio de interés y lugar (Group, 2012)

- ✓ **Ubicación:** es la estructura geográfica que representa un punto físico sobre la superficie terrestre. Está compuesta por latitud y longitud en un sistema de coordenadas como por ejemplo el WGS-84.
- ✓ **Sitio de interés:** Es una definición humana para describir qué puede ser encontrado en una ubicación dada. La descripción de un sitio debe contener los siguientes atributos:

nombre, dirección, categoría o tipo, identificador único, dirección e información de contacto.

- ✓ **Lugar:** Son típicamente construcciones administrativas de mayor escala (países, provincias, municipios, barrios y zonas postales). Generalmente, un lugar contiene varios POI y tienen los mismos atributos, con diferencias basadas en el tamaño; por ejemplo la dirección de un lugar se refiere al local de administración.

En el marco de la investigación, al caracterizar los puntos de interés, solo se asumirán los elementos “ubicación” y “sitio de interés”. Además se tendrán en cuenta los atributos propuestos por (Group, 2012) en la descripción de los sitios de interés.

### **1.3 Procesos de georreferenciación de la información**

Los datos geográficos son el elemento fundamental dentro de un SIG. Estos se relacionan estrechamente con el resto de los elementos que son necesarios para la visualización y el análisis. Incluso, el factor organizativo y las personas tienen como principal objetivo buscar y extraer de ellos la mayor cantidad de datos posible. Al mismo tiempo la confiabilidad de los datos es un elemento muy importante para un SIG. Es la base de la exactitud de cualquier análisis que se realice.

La información geográfica se divide para su estudio en una componente espacial y una temática (Olaya, 2010). La primera proporciona una ubicación dentro de un sistema de referencia, mientras la segunda establece las características particulares del fenómeno o proceso que tiene lugar en la localización establecida por la componente espacial. Otros autores como el caso de (Sinton, 1978) proponen una componente temporal adicional. Así, al medir alguna de las componentes, es necesario acotar otra de ellas y fijar o ignorar la tercera (generalmente no se tiene en cuenta el tiempo).

Uno de los problemas fundamentales desde el surgimiento de los SIG ha sido convertir la información que se puede extraer de un área geográfica en datos que puedan ser utilizados por estos sistemas. El principal elemento ha sido el infinito número de detalles existentes en la naturaleza, mientras que la representación y el almacenamiento de dicha realidad, son finitos. El proceso que traduce la realidad en un conjunto de valores numéricos pasa por tres etapas:

- ✓ Establecimiento de un modelo geográfico.

- ✓ Establecimiento de un modelo de representación o modelo de datos.
- ✓ Establecimiento de un modelo de almacenamiento.

### **1.3.1 Modelo geográfico**

El primer elemento en la creación del dato geográfico es establecer un modelo conceptual que permita interpretar el espacio y la variable estudiada, así como la variación de la misma a lo largo del espacio. Los dos modelos geográficos más importantes son:

- ✓ **Campo:** Es un modelo de variación dentro de un espacio  $n$ -dimensional, donde para cada punto dentro de dicho espacio existe un valor para la variable estudiada. Habitualmente consiste en la asociación de un único valor escalar a cada vector dentro del campo. No obstante, en casos como en la medición del movimiento de los vientos se asocia a cada vector dentro del espacio, otro vector compuesto por dos valores: la dirección y la velocidad en la que sopla dicho viento. En los SIG estas situaciones se tratan frecuentemente utilizando varios campos escalares, cada uno de ellos en distintas capas. Este modelo resulta adecuado para el estudio de variables continuas tales como temperatura del aire, presión atmosférica o elevación.
- ✓ **Entidades discretas:** Concibe un espacio geográfico vacío, en el que se ubican elementos (entidades) que lo van llenando. Una de sus principales características es que un punto del espacio puede pertenecer a varios elementos o no pertenecer a ninguno. Las entidades pueden ser cualquier elemento geométrico existente en el espacio definido, tales como puntos, líneas o polígonos. En el caso de espacios de al menos tres dimensiones pueden ser figuras volumétricas. La modelización de variables como la presencia de vías de comunicación y puntos de interés se realizará mejor con este modelo.

### **1.3.2 Modelo de representación**

Una vez establecido el modelo geográfico a utilizar, el siguiente paso es reducir las propiedades de dicho modelo a un conjunto finito de características que al ser almacenadas describan la realidad estudiada. Para ello se emplean los modelos de representación o de datos, estos se clasifican en dos grupos: ráster y vectorial (Olaya, 2010).

El modelo ráster subdivide todo el espacio y lo maneja como un conjunto ordenado de entidades elementales. Estas pueden ser entendidas como celdas regulares de una malla,

en cada una de las cuales se almacena un valor que describe la zona ocupada por dicha celda. La exactitud de este modelo es inversamente proporcional al área que representa cada celda. Frecuentemente estos valores son transformados en un color mediante una escala, dando lugar a una imagen (Harvey, 2008).

El modelo vectorial define el espacio mediante un conjunto de figuras geométricas (puntos, líneas y polígonos) con valores asociados. La disposición de estos está en correspondencia con los accidentes geográficos presentes en la zona que se estudia. Se define así la componente espacial en la propia primitiva y la componente temática con sus valores asociados. Es importante destacar que una única entidad puede necesitar para su representación de varias primitivas geométricas (Harvey, 2008).

Es precisamente este último el recomendado en la representación de redes de carreteras y puntos de interés accesibles desde ellas. Las figuras geométricas “líneas” describen adecuadamente la disposición de las carreteras mientras que sus intersecciones y los puntos de interés, son representados por “puntos” en el espacio bidimensional. Este modelo, sin embargo, no contempla que la distancia entre dos puntos ubicados sobre la red de carreteras no se corresponde con el concepto de distancia Euclidiana, sino con el de camino más corto en grafos. Es por ello que autores como (Speičvcys, y otros, 2003), (Papadias, y otros, 2003), justifican la necesidad de mantener además una estructura de datos “grafo”. En ella, las aristas representan las carreteras y los nodos sus intersecciones. En cuanto a los puntos de interés, solo se tiene en cuenta su localización dentro de la red, por lo que es suficiente conocer la arista sobre la que se encuentra y la distancia al nodo inicial o final.

### **1.3.3 Modelo de almacenamiento**

Los modelos de almacenamiento son el paso final en el proceso de convertir el medio circundante en datos manejables dentro de un SIG. Estos definen como almacenar los valores en un soporte digital de manera más eficiente. Los aspectos fundamentales tenidos en cuenta por estos modelos son: minimizar el espacio ocupado por los datos y maximizar la eficiencia de los cálculos realizados sobre ellos (Olaya, 2010). El tipo de modelo de almacenamiento a utilizar está restringido por el modelo de representación.

En el caso del modelo *ráster*, lo más sencillo es utilizar una matriz de datos. El empleo de esta estructura presenta un formato muy intuitivo. Además es cómoda de implementar y resulta sencilla de recorrer, lo que facilita las operaciones que se realicen sobre ella

(Egenhofer, y otros, 1991). Sin embargo, el hecho de que los valores consecutivos dentro de la matriz tienden a tener valores similares, conlleva al desperdicio de gran cantidad de espacio de almacenamiento. Es por eso que se utilizan procesos de codificación sobre la matriz (ej. *RLE*) o estructuras de datos más complejas como los árboles cuaternarios (Sanet, 1994). Estos últimos dividen el espacio en cuadrantes de forma recursiva, alcanzando mayor profundidad en las zonas que contengan mayor cantidad de elementos distintos.

Los modelos para el caso vectorial no priorizan reducir el volumen de almacenamiento sino optimizar las operaciones sobre los datos. En este sentido el factor clave es facilitar el acceso a los datos y para ello se emplean estructuras de indexación espacial. Las más comunes son el *R-Tree* (Guttman, 1984) y sus variantes *R+-Tree* (Sellis, y otros, 1987) y *R\*-Tree* (Beckmann, y otros, 1990). Estas pueden ser consideradas extensiones multidimensionales de los árboles binarios (*B-Tree* (Cormen, y otros, 2002)). En ellos, los puntos cercanos entre sí son almacenados en el mismo nodo hoja representado como un rectángulo encapsulador mínimo. Los nodos son progresivamente agrupados siguiendo el mismo principio hasta el nivel superior, la raíz. Las estructuras mencionadas son muy eficientes en el trabajo con consultas en rangos y por tanto son utilizadas en el almacenamiento de la representación de las redes de carreteras y los puntos de interés.

#### **1.3.4 Fuentes de datos espaciales**

Una vez definidos los modelos anteriores, se procede a la recolección de los datos geográficos. Tomando en cuenta si fueron o no capturados para su utilización en SIG se clasifican en datos primarios o secundarios (Olaya, 2010). Los primarios son los que en su forma original es posible utilizarlos en operaciones de análisis utilizando herramientas SIG, mientras que los secundarios han de ser transformados para este fin. Entre los primarios se encuentran las imágenes digitales y los datos obtenidos con un dispositivo GPS, mientras que las versiones digitalizadas de los mapas impresos son datos secundarios.

Las fuentes de los datos pueden ser muy variadas, entre las principales destacan:

- ✓ **Teledetección:** Hace alusión al estudio y medida de las características de una serie de objetos sin que exista contacto físico (Lillesand, y otros, 1997). Se basa en la medición de las perturbaciones provocadas por los objetos en su entorno, principalmente las de tipo electromagnética. Esta medición es realizada utilizando sensores que son acoplados en plataformas que proporcionan la distancia requerida del objetivo.

Tradicionalmente se han utilizado globos aerostáticos y aviones como plataformas dentro de la atmósfera terrestre y satélites fuera de esta. Uno de los principales productos de esta técnica son las fotografías aéreas. El costo asociado a esta práctica es uno de sus mayores inconvenientes, pues resulta muy elevado debido a los elementos tecnológicos necesarios. Existen además muchos elementos de gran importancia que no pueden ser recogidos de esta forma, como los topónimos o los bienes y servicios ofertados dentro de las edificaciones.

- ✓ **Digitalización de cartografía impresa:** Uno de los primeros soportes en los se almacenó la información geográfica fueron los mapas impresos. Aun se cuenta con gran cantidad de material en ese formato, imprescindible al realizar análisis históricos. Para la obtención de datos factibles de utilizar en SIG a partir de estos documentos, resulta necesario someterlos al proceso de digitalización, por tanto son considerados una fuente secundaria. Las fotos aéreas impresas también son factibles de ser digitalizadas, la rama que se especializa en ello es denominada fotogrametría. Uno de los elementos más complejos de tratar es que tradicionalmente se incluyen varias variables tales como ríos, elevaciones, usos del suelo, en un mismo material cartográfico. Existen dos variantes, la digitalización manual y la automática, en dependencia de si se utilizan programas informáticos para la recuperación de la información o si es realizada directamente por personal humano. El empleo de esta técnica ha disminuido puesto que la mayor parte de los materiales ya han sido digitalizados y las nuevas mediciones se realizan directamente en formato digital.
- ✓ **GPS:** Los sistemas globales de navegación por satélite permiten obtener las coordenadas geográficas de un lugar determinado. Existen en la actualidad varios de ellos, como el *Galileo* europeo o el *GLONASS* ruso. Sin embargo el más utilizado es el sistema de posicionamiento global (GPS). En él se identifican tres subsistemas, el espacial, compuesto por 27 satélites (EEUU, 2012), el de control, formado por las estaciones que controlan dichos satélites y el de usuario, donde se agrupan los receptores de las señales emitidas por los satélites. Existen diferentes tipos de receptores con precisiones en sus mediciones que van desde el orden de los metros hasta milímetros. En los últimos años, la inclusión de versiones de bajo costo en teléfonos celulares, ha permitido elevar su popularidad. La gran mayoría de estos receptores permiten el almacenamiento de las coordenadas obtenidas, elemento vital en su utilización como fuente de datos.

- ✓ **Información geográfica voluntaria:** No es una nueva fuente de datos sino un caso especial de la utilización de receptores GPS en la obtención de datos geográficos. La proliferación de este tipo de dispositivos unido a los principios participativos propuestos por la *Web 2.0* ha llevado al surgimiento de iniciativas en las que los usuarios sin formación como cartógrafos, contribuyen a la creación de base de datos geográficos (Goodchild, 2007). Algunos de sus mayores exponentes son (OpenStreetMap, 2013), (Tagzania, 2013), (Wayfaring, 2013).

Esta última variante constituye un nuevo paradigma, en el que la información es constantemente creada, actualizada y verificada por múltiples personas. Además la mayor parte de los contribuidores son bien intencionados, aportando información con calidad (Goodchild, 2007). Sobre la utilización de equipos de bajo coste y falta de preparación como cartógrafos de los usuarios (Olaya, 2010) añade “Un usuario sin formación no está capacitado para efectuar un levantamiento topográfico preciso, pero sí para situarse delante de la puerta de una tienda y marcar su posición”. El éxito de las iniciativas que la utilizan y la opinión positiva de los autores citados validan su utilización como alternativa económica para obtener información geográfica con calidad.

#### **1.4 Algoritmos para la búsqueda de los puntos de interés más cercanos en redes**

Varios investigadores se han enfocado en el problema de la búsqueda de los puntos de interés más cercanos, (Papadias, y otros, 2003), (Kolahdouzan, y otros, 2004), (Haibo Hu, 2006), (Xuegang Huang, 2006), referido en la bibliografía como consulta del *k-ésimo* vecino más cercano en bases de datos espaciales. Este tipo de consultas es frecuentemente usada en los SIG y se define como: dado un conjunto de objetos espaciales (puntos de interés), y un punto de consulta, encontrar los *k* objetos más próximos a dicho punto (Kolahdouzan, y otros, 2004). Del mismo existen tres variantes principales en dependencia de si desde el punto de consulta es posible moverse: libremente, teniendo en cuenta obstáculos o restringidos a una red, siendo esta última, la abordada en esta investigación. Es necesario tener en cuenta que en redes espaciales los objetos están forzados a moverse sobre caminos predefinidos como calles o carreteras. Esto implica que la menor distancia en la red, depende de la conectividad de la misma y no de la posición geográfica de los objetos. Tómese como ejemplo, una consulta inicializada por un dispositivo GPS en un vehículo para encontrar los cinco restaurantes más cercanos.

La aproximación más simple utiliza el mismo principio que los algoritmos actuales para el cálculo de distancia mínima (ej. Dijkstra (Cormen, y otros, 2002)) entre un objeto  $q$  y uno  $p$ . Estos calculan la distancia mínima entre  $q$  y todos los objetos que están más cerca de  $q$  que  $p$ . Este principio da lugar a la aproximación conocida como Exploración Incremental en Redes (INE) y tiene la ventaja que solo considera los  $k$  objetos más cercanos a  $q$ . Este sencillo algoritmo tiene un rendimiento aceptable, sin embargo, cuando los objetos buscados no están densamente distribuidos en la red, se hace necesaria la exploración de una porción mayor, lo que provoca un pobre desempeño.

En general se define que una solución apropiada para las consultas a bases de datos de redes espaciales debe contemplar los siguientes requerimientos (Kolahdouzan, y otros, 2004):

1. Considerar la conectividad de la red para el cálculo de la distancia real entre objetos.
2. Responder las consultas eficientemente en tiempo real en orden de soportar las consultas desde objetos en movimiento.
3. Ser escalables para su aplicación en redes muy grandes.
4. Ser independientes de la densidad y distribución de los puntos de interés.
5. Adaptarse eficientemente a las actualizaciones de la base de datos, donde los nodos, aristas y puntos de interés pueden ser insertados o eliminados.
6. Ser extensibles a considerar restricciones de dirección y alcance.

A continuación se realiza un análisis de aproximaciones más complejas a dicho problema:

#### **1.4.1 Vecino más cercano en redes basado en Voronoi (VN3)**

Propone dividir la red en regiones de Voronoi más pequeñas y manejables; cada región tendrá como centro un punto de interés. Se pre-calcula la distancia entre todos los puntos bordes de la celda y su centro, así como la distancia entre todos los puntos bordes de celdas adyacentes. Para encontrar el  $k$ -ésimo vecino más cercano de un objeto  $q$ , primero se encuentra el primer vecino más cercano simplemente localizando la celda de Voronoi que contiene a  $q$ . Esto puede ser fácilmente logrado utilizando una estructura de indexación espacial (dígase un *R-Tree*), que es generado sobre las celdas de Voronoi. Finalmente, el vecino más cercano de  $q$  se encuentra dentro de alguna de las celdas adyacentes a las previamente exploradas (Kolahdouzan, y otros, 2004).

Esté algoritmo si bien puede manejar redes dispersas, es inapropiado para redes densas o que requieran actualizaciones frecuentes por la cantidad de pre-cálculos y datos almacenados que requiere. Además no provee una manera clara de representar diferentes categorías de puntos de interés. Es posible construir una estructura multinivel computando un diagrama de Voronoi para cada categoría, pero esto no posibilita un procesamiento eficiente de consultas para múltiples tipos de puntos de interés.

#### **1.4.2 Búsqueda rápida del vecino más cercano en redes de carreteras (BRVMC)**

Se basa en la indexación de la topología de la red, dado que tiende a cambiar mucho menos comparado con los puntos de interés. Aplica una reducción en la red para disminuir el número de aristas mientras preserva las distancias y disminuye la complejidad del grafo con estructuras más sencillas.

La idea básica para la reducción es empezar desde un nodo llamado raíz y construir un árbol de caminos mínimos (*SPT*) desde él utilizando el algoritmo de Dijkstra. Cuando un nuevo nodo  $v$  es añadido al árbol, se chequea si su distancia a todos los nodos ya adicionado se conserva dado que Dijkstra solo garantiza que se conserve con respecto al nodo raíz. Esta tarea es realizada comprobando si existe alguna arista adyacente a  $v$  que lo conecte a algún nodo ya añadido de forma más cercana que el camino a través del árbol. Tal arista es llamada atajo. Si no existen atajos,  $v$  es añadido al árbol, de lo contrario se convierte en una nueva raíz. El nuevo *SPT* se conecta a algún otro *SPT* a través del atajo de  $v$ . El proceso continúa hasta que los *SPT* cubren todos los nodos en la red. Con el objetivo de reducir el número de *SPT* se permiten aristas entre nodos que estén a la misma altura, convirtiéndose en estructuras denominadas *SPH*.

A continuación se modifican los *SPH* de manera tal que el peso de cada arista, ya sea del árbol u horizontal, represente la distancia mínima entre dos nodos adyacentes. En otras palabras que cumplan con la desigualdad triangular:

$$\forall (ab, bc, ca) \in SPH \rightarrow w(ac) \leq w(ab) + w(bc) \quad (1)$$

Donde  $ab, bc, ca$  son aristas y  $w(x)$  representa la longitud de  $x$ ; esta nueva estructura es llamada *SPIE*. Los caminos mínimos en los *SPIE* es igual que en los árbol tradicionales excepto que las aristas horizontales remplazan otras dos hacia el ancestro común más cercano (Haibo Hu, 2006).

La búsqueda sobre *SPIE* es mucho más eficiente que sobre el grafo original y en algunos casos supera a otros algoritmos como el *VN3* tratado anteriormente. Sin embargo algunas limitaciones lo hacen impracticable en condiciones reales. Primero, esta aproximación asume que los puntos de interés están distribuidos en los vértices de las redes, cuando en muchos casos estos necesitan una referencia con desplazamiento lineal pues se encuentran sobre aristas entre dos vértices. Esto puede ser tratado convirtiendo todos los puntos de interés en vértices, pero complejiza demasiado el trabajo con la red pues necesitan ser insertados y eliminados frecuentemente. Segundo, las redes de carreteras a menudo involucran calles de un solo sentido, prohíben los giros de 180 grados (en *U*) o existen restricciones de giro en las intercepciones. Esto difiere de un grafo no dirigido tradicional, provocando que los beneficios al realizar la reducción utilizando los *SPIE* sean mucho menores (Xuegang Huang, 2006).

### 1.4.3 Aproximación de islas

Propone demarcar a partir de cada punto de interés (*dp*), regiones de radio *r*, que faciliten la búsqueda de los mismos. Esta es la percepción de isla, que llevada a redes de carreteras se convierte en el subconjunto de caminos cubiertos por una expansión sobre la red con un rango *r*. Intuitivamente, todos los vértices con distancia a *dp* menor o igual al radio, pertenecen a la isla y se nombran vértices de la isla. Especialmente, si todos sus vértices vecinos pertenecen a la misma isla, son denominados vértices internos, si al menos uno pertenece a una isla diferente se consideran vértices bordes. Para almacenar información sobre las islas, cada vértice en la red mantiene una referencia y la distancia a los *dp* centros de las islas que lo cubren. Entonces el proceso de expansión en la red se reducirá, dado que un punto de interés puede ser declarado como hallado cuando se visite un vértice borde de su isla (Xuegang Huang, 2006).

En general esta aproximación consiste de un componente de pre-cálculo y un componente de expansión online sobre redes. Durante el pre-cálculo se almacena la información descrita permitiendo que en la expansión se comprueben primero las islas dentro de la cual está el punto de consulta (*qp*) y mantenga en una cola con prioridad los puntos de interés encontrados. Entonces comienza un proceso de expansión para buscar los puntos bordes de las nuevas islas. El mismo termina cuando la suma del radio de la expansión y el mínimo radio de todas las islas pre-calculadas sea mayor que la distancia desde *qp* al *k-ésimo* punto

de interés en la cola. El proceso de expansión en sí es una modificación del algoritmo de Dijkstra para el cálculo del camino mínimo desde una sola fuente.

Algunos ajustes son necesarios para adaptar lo anterior al mundo real dado que es necesario considerar caminos que no son bidireccionales o que no permiten el giro en U. Se introducen entonces elementos como la distancia de ida que puede diferir de la de retorno, por tanto en el componente de pre-cálculo cada punto de interés tendrá asociado dos islas: una entrante y otra saliente. La isla entrante es construida realizando una expansión sobre las aristas entrantes y la saliente usando las aristas salientes. Entonces el proceso de expansión encontrará los  $k$  puntos de interés más cercanos desde un punto de consulta utilizando las aristas salientes de cada vértice hasta que se encuentren suficientes islas entrantes.

#### **1.4.4 Comparación del rendimiento de los algoritmos estudiados**

Una vez presentados y analizados los cuatro algoritmos anteriores, se evidencia que el denominado *BRVC* presenta limitaciones que lo hacen poco factible en condiciones reales. Se impone entonces realizar una comparación entre los tres restantes, para ello se tomarán como referencias los experimentos realizados en (Xuegang Huang, 2006).

En los mismos se utilizaron dos juegos de datos, uno perteneciente al área de Aalborg en la región de Jutland, Dinamarca referido como *AAL* y el otro de la ciudad de Los Ángeles, California referido con las letras *LA*. La densidad de los puntos de interés a la que se hace referencia es la relación entre estos y la cantidad de aristas en la red. Los criterios de comparación que se tuvo en cuenta fueron el tiempo de uso del CPU y la cantidad de accesos a disco, elementos estos muy importante para garantizar una respuesta rápida del sistema.

#### **Rendimiento en el procesamiento de las consultas con respecto al número de puntos de interés.**

Los resultados son mostrados en Figura 1. Se puede apreciar que con el aumento de  $k$ , el costo computacional de las tres aproximaciones aumenta. El tiempo de CPU de la aproximación *Isla* es mejor que el de las otras dos. La variante *VN3* e *Isla* muestran accesos a disco inferiores que la *INE*. La aproximación *Isla* resulta la mejor de las tres en este aspecto hasta que  $k$  supera los 50.

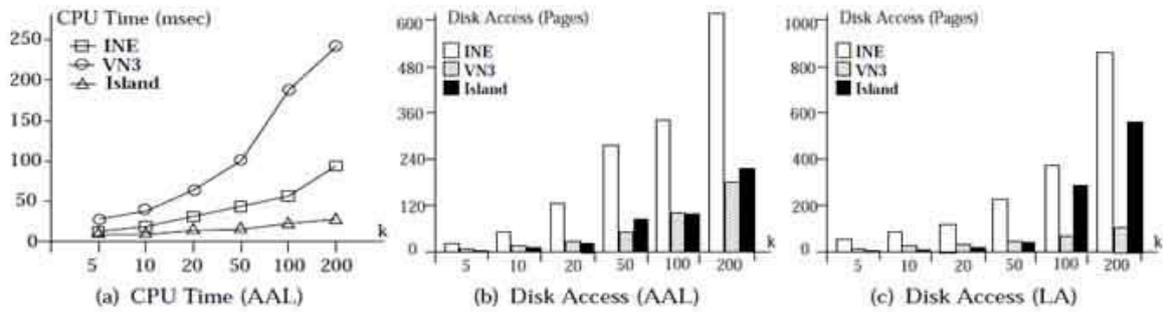


Figura 1: Rendimiento en el procesamiento de las consultas con respecto a  $k$ . (Xuegang Huang, 2006)

### Rendimiento en el procesamiento de las consultas con respecto a la densidad de los puntos de interés

Los resultados son mostrados en la Figura 2. A medida que la densidad aumenta la aproximación *INE* mejora sustancialmente y se vuelve competitiva. La aproximación *Is/a* tiene un rendimiento similar, siendo peor que *VN3* cuando la densidad es menor que 0.005, pero se convierte en la mejor de las tres cuando se supera esta cifra.

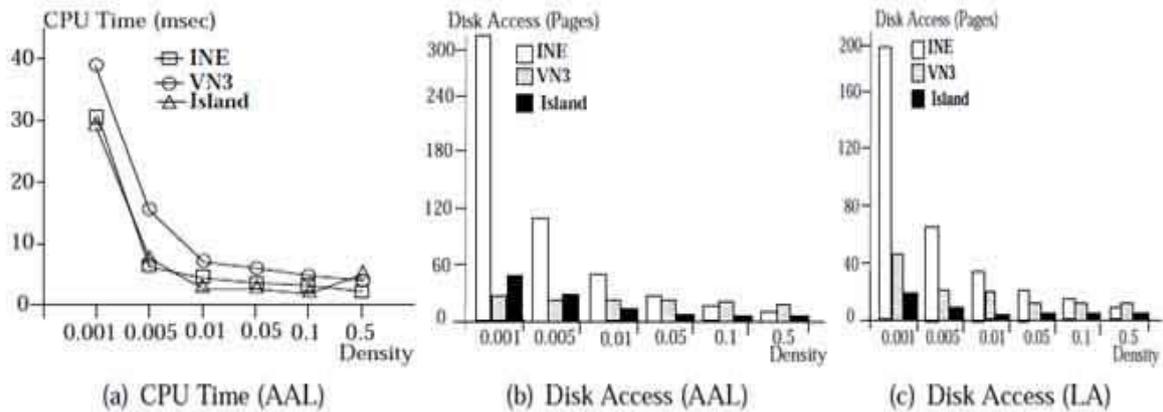


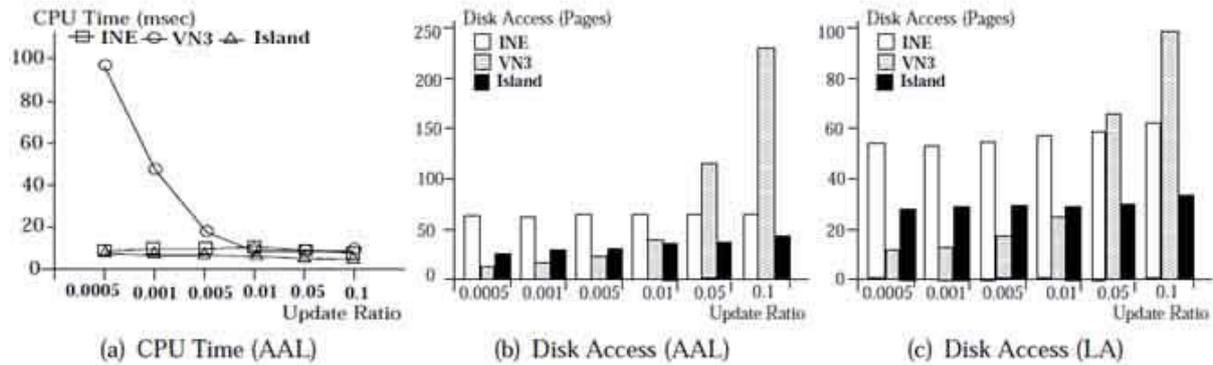
Figura 2: Rendimiento en el procesamiento de las consultas con respecto a la densidad de los puntos de interés (Xuegang Huang, 2006)

### Rendimiento conjunto en el procesamiento de las consultas y las actualizaciones con respecto a la frecuencia de actualizaciones.

El valor de  $k$  se estableció fijo a 10 durante todo el experimento. Una actualización consiste en el cambio de la longitud de una arista o en la posición de un punto de interés. La frecuencia de actualizaciones se mide como la cantidad de actualizaciones realizadas por

consulta. En el cálculo del rendimiento conjunto se sumó el costo de las consultas y el de las actualizaciones, y se dividió por el total de consultas.

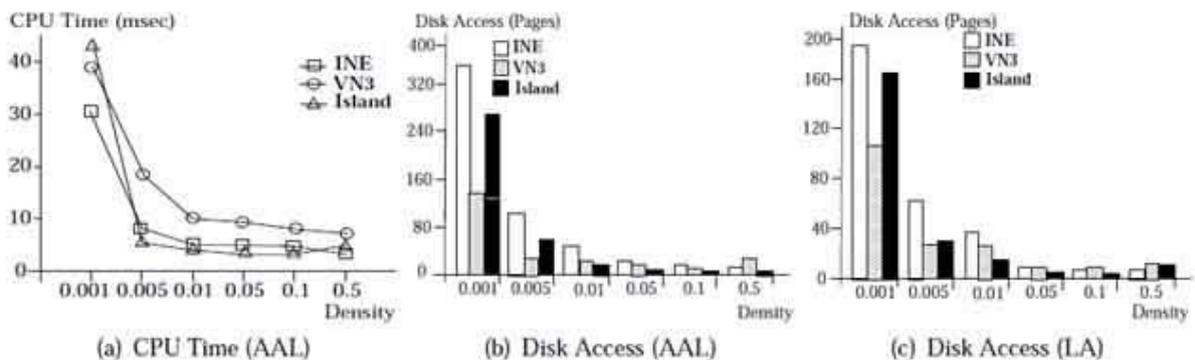
Los resultados se muestran en la Figura 3. La aproximación *INE* e *Isla* tienen un rendimiento estable. La aproximación *VN3* es peor que las otras dos cuando la frecuencia de actualizaciones es menor que 0.01.



**Figura 3: Rendimiento conjunto de procesamiento de las consultas y las actualizaciones con respecto a la frecuencia de actualizaciones. (Xuegang Huang, 2006)**

**Rendimiento conjunto en el procesamiento de las consultas y las actualizaciones con respecto a la densidad de los puntos de interés.**

La frecuencia de actualización es fijada a 0.01. Los resultados se muestran en la figura 4. A medida que la densidad aumenta el rendimiento de las tres aproximaciones mejora. A muy bajas densidades, la aproximación *VN3* tiene el mejor rendimiento. Entre 0.01 y 0.5 sobresale la aproximación *Isla* y a partir de este último valor es superado por la *INE*.



**Figura 4: Rendimiento conjunto de procesamiento de las consultas y las actualizaciones con respecto a la densidad de los puntos de interés. (Xuegang Huang, 2006)**

#### 1.4.5 Conclusiones de la comparación del rendimiento de los algoritmos

La comparación realizada muestra que la aproximación *Isa* es más versátil y puede optimizarse para obtener mejores resultados en la mayoría de los casos. Presenta un mejor rendimiento cuando  $k$  es menor que 50. En redes no demasiado dispersas (densidad mayor que 0.005) es superior a las otras dos variantes. Presenta un rendimiento estable con respecto al procesamiento de actualizaciones en la red y en la ubicación de puntos de interés. Teniendo en cuenta estos elementos se recomienda su utilización en servicios a móviles basados en la localización.

#### 1.5 Estudio de soluciones existentes

Se realizó el análisis de diferentes bases de datos geográficas, con especial interés en aquellas que consideran la información geográfica voluntaria como fuente de datos. Las siguientes son las dos más relevantes.

**OpenStreetMap (OSM):** Es una base de datos geográficos de todo el mundo, libre y editable. La iniciativa ofrece los datos en sí y no solamente los mapas obtenidos a partir de los mismos, siendo necesaria su generación pero permitiendo un mayor control sobre la información. El carácter libre está dado también por permitir a los usuarios editar gratuitamente los datos geográficos almacenados así como agregar nuevos, siendo esta la vía de actualización del sistema. El servicio se ofrece bajo la licencia de bases de datos abiertas (ODBL) que establece libertades de uso sobre los datos que se ofrecen siempre que se esté de acuerdo en que cualquier modificación o adición a los mismos permanecerán bajo la misma licencia (Foundation, 2012).

**Servicio de Mapas de Google:** Servicio de mapas ofrecido de forma gratuita por la empresa *Google Inc.* Ofrecen además la herramienta *Google Map Maker* para la edición de la información cartográfica como puede ser la adición de puntos de interés o el trazado de nuevas carreteras, dichos cambios han de pasar por un proceso de aprobación antes de ser reflejados en *Google Map* (Google, 2012). La utilización de estos mapas por parte de terceros se realiza a través de una interfaz de programación de aplicaciones (API) cuyos términos de uso no son accesibles desde Cuba (Google Maps, 2011). Debido a problemas de licencia no es posible utilizar este servicio de mapas como base para ninguna aplicación desarrollada para su utilización en Cuba.

A continuación se describen características de las principales aplicaciones para dispositivos móviles estudiadas. Se destacan las funcionalidades que no necesitan de conexión a Internet por ajustarse a las condiciones de conectividad en Cuba.

**Google Maps:** Aplicación creada por *Google Inc.*, su funcionalidad principal es mostrar mapas del mundo. Entre sus características está la sugerencia de rutas para llegar a un punto indicado por el usuario en dependencia de los medios de transporte de que disponga, es decir, si caminará utilizará el transporte público, bicicleta o automóvil. El servicio ofrece la posibilidad de realizar búsquedas sobre negocios locales y obtener sugerencias sobre los mismos (Google Inc., 2012). A pesar de las ventajas que ofrece el uso de esta aplicación, la misma depende de la conexión constante a *Internet* para su correcto funcionamiento. Además la información mostrada sobre Cuba pierde precisión y en muchos casos no se encuentra actualizada.

**OsmAnd:** Es un visor de mapas de código abierto. Desarrollado para ser empleado tanto conectado directamente a Internet (*on-line*) como de manera aislada (*off-line*). Posee entre sus principales funcionalidades guiar giro por giro al usuario hasta llegar a la posición indicada por este. Trabaja por defecto con la cartografía del proyecto *OpenStreetMap (OSM)* aunque es posible configurarlo para que utilice *Google Maps*. Permite la búsqueda y edición de puntos de interés pero para ello debe conectarse a Internet. Sus funcionalidades *off-line* se basan en la descarga de mapas vectoriales de las regiones deseadas (OsmAnd Team, 2012).

**NavFree USA:** Es una aplicación que se encuentra disponible gratis en Internet. Obtiene sus mapas desde el proyecto *OSM* y está disponible en varios idiomas. Permite almacenar localmente en el teléfono mapas solamente de EEUU, Canadá y México, por lo que no es factible su utilización en Cuba.

**MapDroyd:** Es una aplicación concebida para la visualización de mapas *off-line*. La obtención de los mismos se realiza mediante la descarga de los ficheros necesarios desde un servidor. Utiliza el formato *MicroMap* para el almacenamiento de la información geográfica en lugar de los tradicionales *tiles* reduciendo el espacio de almacenamiento requerido. Sus funcionalidades son limitadas, no considerando por ejemplo la búsqueda de puntos de interés. Utiliza los datos del proyecto *OSM* para compilar sus archivos de mapas (MapDroyd, 2010).

En la bibliografía consultada no se han encontrado aplicaciones desarrolladas en Cuba con las características antes mencionadas, sin embargo en la búsqueda de soluciones alternativas a las limitantes de conectividad se han implementado una serie de servicios de valor agregado al servicio de SMS. Estos se encuentran disponibles para cualquier usuario con un dispositivo móvil no necesariamente un teléfono inteligente. Se basan en el envío de un texto predeterminado al número 8888 recibándose otro SMS con la información solicitada. La gestión de estos SMS en el servidor es realizada por la plataforma *Blue Eyes*, desarrollada en Cuba (Guimeras, 2010). A continuación se describen algunos ejemplos de los servicios mencionados:

**PELOTA:** Servicio concebido para la consulta de resultados de los partidos de la Serie Nacional de Beisbol. Utiliza la abreviatura de tres letras para identificar a cada uno de los equipos. Tiene un costo de 16 centavos y proporciona los resultados de las últimas fechas en que se hayan realizados juegos. (Etecsa - Desoft, 2012)

**TIEMPO:** Servicio concebido para la consulta del pronóstico del tiempo en todo el país. Permite realizar la consulta en tres variantes, para todo el país, por región (occidental, central y oriental) y por provincia. (Etecsa - Desoft, 2012)

### **1.5.1 Valoración del análisis de las soluciones existentes**

El estudio realizado se enfocó en aplicaciones para teléfonos inteligentes que consideran el funcionamiento sin conexión. A pesar de las variadas funcionalidades con que cuentan las soluciones analizadas, ninguna presenta una vía de actualización de la información que tenga en cuenta las condiciones de conectividad existentes en Cuba, por tanto, no es posible implantarlas en el país. Durante la investigación se identificaron varias funcionalidades de gran importancia en este tipo de sistemas, tales como la capacidad de mostrar mapas, ubicar al usuario en los mismos y mostrar puntos de interés. El estudio identificó el servicio de mapas *OpenStreetMap* como el más factible de utilizar en aplicaciones de este tipo en el país. Se estableció además que los servicios de valor agregado sobre SMS constituyen una iniciativa factible para el intercambio de información entre dispositivos móviles.

### **1.6 Metodologías, herramientas y tecnologías**

El desarrollo de sistemas informáticos está determinado por las metodologías, herramientas y tecnologías que se utilicen. El principal objetivo de estas, es guiar y facilitar el proceso de

creación, garantizando a su vez la calidad del producto final. A continuación se definen las utilizadas por el autor en la implementación de la solución propuesta.

### **1.6.1 Metodología de desarrollo de software**

Las metodologías de desarrollo de software se dividen en dos grupos: ágiles y pesadas. El principal exponente de las pesadas es RUP, esta establece quién, cómo, cuándo y qué debe hacerse en el proyecto. Es adecuado para equipos de trabajo con poca experiencia y por ello describe detalladamente las actividades que han de realizarse en cada momento. Genera abundante documentación que facilita la detección de errores desde etapas tempranas del proceso. Es dirigida por casos de uso que recogen los requisitos que ha de cumplir el sistema (Pressman, 2010). Se centra en una arquitectura que va madurando en las sucesivas iteraciones y sobre la cual se desarrollan todos los componentes.

El autor decide utilizar esta metodología, pues la documentación generada por la metodología RUP crea las condiciones para que al finalizar la investigación se cuente con los elementos necesarios para el entendimiento del sistema desarrollado e incluso se extiendan sus funcionalidades. Además, al ser una metodología iterativa e incremental permite realizar de forma organizada, refinamientos sucesivos del producto de software, por tanto facilita la continuidad del trabajo realizado.

### **1.6.2 Lenguaje y herramienta de Modelado**

Uno de los resultados esperados de la presente investigación es la documentación asociada a la misma. Esta incluye, entre otros elementos, diagramas que facilitarán el entendimiento del sistema por el personal encargado de proporcionarle mantenimiento o desarrollar nuevas funcionalidades. Por estos motivos es importante la definición de un estándar para la representación de los mismos.

El lenguaje unificado de modelado (UML por sus siglas en inglés) en su versión 2.0, es un lenguaje de modelado orientado a objetos. Permite realizar abstracciones del sistema y de sus componentes, al tiempo que se adapta muy bien a la metodología RUP. Existen además una serie de herramientas computacionales que facilitan la creación de los diagramas utilizando este lenguaje, estas son denominadas herramientas CASE. Una de las más completas es *Visual Paradigm*, disponible en su versión 8.0 del 2010. Es una aplicación multiplataforma que posibilita su utilización tanto en sistemas operativos Linux como en

Windows, permite exportar los diagramas como imágenes. Por estas razones se ajusta perfectamente a los requisitos del proyecto.

### 1.6.3 Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD)

La solución informática a desarrollar utilizara la cartografía de Cuba. Debido a la gran cantidad de información geográfica que se necesita almacenar, es preciso utilizar un SGBD que facilite el trabajo con la misma. Teniendo en cuenta el carácter espacial de los datos el gestor que se utilice debe proporcionar tipos de datos especiales para la manipulación de objetos geométricos.

Uno de los primeros en proveer estas funcionalidades fue *Oracle* con su complemento *Locator* (*Oracle*, 2012), pero debido al alto costo de su licencia no será tenido en cuenta. *SQL Server 2008* también brinda soporte a partir de los tipos de datos incluidos: geometría y geografía, pero es desarrollado por *Microsoft* como software propietario. *MySQL* ha tenido soporte espacial por algún tiempo, pero el avance en esta dirección está estancado y actualmente es propiedad de *Oracle*, no hay evidencias sobre la continuidad del desarrollo y actualización de la versión actual. El popular proveedor de bases de datos comerciales *Environmental Systems Research Institute* (*ESRI*) comercializa su motor de base de datos espacial (*SDE* por sus siglas en inglés) pero al estar integrado dentro de su línea de productos *ArcGIS* es necesario utilizar su servidor y por tanto pagar además su correspondiente licencia de *software*.

Una vez descartados los sistemas anteriores se definió *PostgreSQL 9.1* junto con su extensión espacial *PostGIS* como SGBD. Tal decisión está basada en los siguientes elementos:

- ✓ *PostgreSQL*, *Oracle* e *IBM DB2* son los únicos que permiten el almacenamiento de arreglos en sus campos, funcionalidad muy útil para el trabajo con geometrías (*PostGIS*, 2012).
- ✓ Es multiplataforma.
- ✓ *PostGIS* soporta la indexación de geometrías mediante *R-Tree*, elemento imprescindible en la optimización del acceso a datos. Proporciona además la indexación mediante *GIST* que permite procesar columnas con elementos nulos y que igualmente utiliza *R-Tree* (*PostGIS*, 2012). Proporciona además numerosas funciones

para el trabajo con geometrías indexadas mediante *R-Tree*. Permite, entre otras funcionalidades conocer la línea sobre la que cae un punto dado.

- ✓ La herramienta *pgRouting* permite el modelado de grafos a partir de la representación geométrica de una red de carreteras.
- ✓ Existen numerosas herramientas que permiten importar datos desde *OpenStreetMap* a bases de datos creadas utilizando *PostgreSQL/PostGIS*. *Osm2pgsql*, *shp2pgsql* y *oms2pgrouting* son algunas de ellas (OBE, et al., 2011).

#### 1.6.4 Lenguaje de desarrollo: Aplicación cliente

En la selección del lenguaje de desarrollo de la aplicación cliente se ha de tener en cuenta que es necesario que esta intercambie información utilizando *SMS* y se ejecute en un dispositivo móvil. Este dispositivo ha de tener incorporado un receptor *GPS*, por tanto, ha de ser un *Smartphone*. El mercado de estos productos es dominado por dispositivos que cuentan con *iOS* o *Android* como sistema operativo. Estos dos gigantes abarcaron el 85% de la distribución de estas unidades en el segundo cuarto del 2012 teniendo *Android* la supremacía con el 68.1% (IDC Corporate USA, Kevin Restivo, 2012)

El sistema operativo de los productos móviles de *Apple Inc.* es *iOS*, empresa que se destaca por la calidad de sus productos, siendo el *IPhone* su teléfono móvil. Otras características menos favorables de la compañía son sus elevados precios y que se encuentra radicada en los EEUU y se rige por las leyes de este país. La vía proporcionada por *Apple* para instalar nuevas aplicaciones en un *IPhone* es acceder desde este a su tienda de aplicaciones en Internet conocida como *Appstore* (Apple Inc, 2013). Otras vías son utilizadas por los usuarios pero requieren de procedimientos más complicados.

*Android* es un sistema operativo desarrollado por *Google Inc.* basado en *Linux*. Es distribuido como software libre y utilizado en los teléfonos de prestigiosos productores como *Samsung*, *Motorola*, *LG*, *HTC* y *ZTE*. Existe una gran variedad de terminales de diversos diseños y precios. Cuenta también con una tienda en Internet (*Google Play*) pero no permite consumir sus servicios desde Cuba. Es posible adicionar nuevas aplicaciones directamente desde el instalador sin realizar ningún procedimiento adicional.

En Cuba se desarrollan institucionalmente aplicaciones para este sistema operativo. *Ecured*, la enciclopedia cubana fue recientemente lanzada para este tipo de plataforma en la Feria Internacional "Informática 2013", ofreciéndose el servicio de instalación en todos los Joven

Club del país (Guerra, 2013). En esta feria se expusieron terminales de las empresas chinas *ZTE* y *Huawei* en fase de homologación para su comercialización en el país. En la búsqueda de alternativas a la utilización de *Google Play*, se desarrolló *Jaas*, un repositorio de aplicaciones con funcionalidades similares (Donésteves, 2013).

Teniendo en cuenta el análisis anterior se decide desarrollar la aplicación cliente para la plataforma *Android*. Con el objetivo de abarcar la mayor cantidad de usuarios, el sistema será compatible con las versiones desde la 1.5 hasta la más reciente. *Eclipse* es utilizado como entorno de desarrollo, pues la existencia del complemento *ADT* (del inglés, *Android Development Tools*) facilita en gran medida el trabajo con las interfaces visuales así como la simulación de los procesos de envío y recepción de SMS.

### **Bibliotecas de clases para la visualización de mapas**

Para facilitar el desarrollo de aplicaciones sobre la plataforma *Android*, *Google* proporciona un *SDK* muy completo (Google, 2013). El mismo contiene las clases necesarias para visualizar mapas utilizando el servicio de mapas de *Google* directamente desde Internet. Existen otras alternativas que permiten que la información cartográfica se encuentre almacenada en el dispositivo móvil. A continuación se presentan dos de las más utilizadas:

**OsmDroid:** Es empleado en gran cantidad de proyectos como *AndNav2* y *OsmAnd*. Está disponible bajo licencia *GPL*. Utiliza la información geográfica disponible en *OpenStreetMap*, permite mostrar mapas tanto descargados directamente de Internet como almacenados previamente en el dispositivo (JMPergar, 2012). La herramienta *Mobile Atlas Creator* provee una interfaz visual cómoda e intuitiva para preparar los archivos de mapas en el formato necesario. Estos se almacenan como imágenes de un teselado. Los diferentes niveles de *zoom* se almacenan por separado lo que hace que el tamaño de estos archivos crezca considerablemente teniendo en cuenta que los móviles no presentan gran cantidad de memoria.

**Mapforge:** Está disponible bajo licencia *LGPLv3*. Al igual que *OsmDroid* utiliza la información geográfica de *OpenStreetMap* y permite mostrar mapas en dispositivos móviles tanto descargados directamente desde Internet como almacenados previamente (JMPergar, 2012). La mayor diferencia es que esta biblioteca crea la representación visual del mapa en el dispositivo cuando es solicitado por el usuario, por tanto reduce el espacio necesario para el almacenamiento de la información geográfica. Para esto es necesario codificar el mapa

en un formato propio de la biblioteca. Es posible la personalización de la visualización de los elementos en el mapa a partir de la configuración de un archivo *XML*. Permite resaltar sobre el mapa elementos de tipo punto, línea, polígono y círculo.

Ambas bibliotecas ofrecen funcionalidades similares pero *Mapforge* en su versión 0.3 necesita de un espacio de almacenamiento menor permitiendo incorporar la información cartográfica de Cuba en el propio instalador de la aplicación. Se define utilizar esta para la visualización de mapas en la aplicación.

#### **1.6.5 Lenguaje de desarrollo: Aplicación servidor**

En Cuba existe un único proveedor de servicios de telefonía móvil y por tanto de servicios de SMS: Cubacel. Este cuenta con una plataforma denominada *Blue Eyes* que brinda facilidades para el desarrollo de aplicaciones que requieran el envío y recepción de *SMS* (Guimeras, 2010), por tanto resulta idóneo para el sistema que se propone. La plataforma está implementada sobre tecnología *Java* en su variante de edición empresarial, siendo necesaria su utilización en las aplicaciones que sobre ella se implementen.

En base a las consideraciones anteriores se define *Java* en su edición empresarial como lenguaje de desarrollo del lado del servidor. Para el trabajo con la base de datos *PostgreSQL* desde *Java* se utilizará el conector *JDBC*.

### **1.7 Conclusiones del capítulo**

Luego de realizar un estudio de los procesos de georreferenciación y de los principales algoritmos para la búsqueda de los puntos de interés más cercanos, así como de las soluciones existentes, las metodologías y herramientas, se concluye lo siguiente:

- ✓ El estudio de los procesos de georreferenciación reflejó la factibilidad de apoyarse en los usuarios para obtener de forma económica datos geográficos actualizados y confiables.
- ✓ Entre los algoritmos para el cálculo de los puntos de interés más cercanos en redes se definió la aproximación de islas como la más apropiada dadas las características de dichos puntos en Cuba.
- ✓ El análisis de las soluciones existentes demostró la inexistencia de soluciones aplicables al problema a resolver, por tanto se demuestra la necesidad de desarrollar una aplicación teniendo en cuenta las limitantes de conectividad imperantes en el país.

- ✓ Se definió *RUP* como metodología de desarrollo de software empleando *UML* como lenguaje de modelado.
- ✓ La aplicación cliente será implementada sobre la plataforma Android y se utilizará la biblioteca *Mapsforge* para la visualización de mapas.
- ✓ *Java* en su edición empresarial será utilizado para el desarrollo del sistema del lado del servidor, haciéndose uso del *SDK* facilitado por la plataforma *Blue Eyes*.
- ✓ Debido a la gran cantidad de información geográfica que es necesario manejar se utilizará *PostgreSQL* como *SGBD* junto con sus extensiones *PostGIS* y *pgRouting*.

## **CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

### **2.1 Introducción**

En el presente capítulo se describe la propuesta de solución en correspondencia con la metodología *RUP* y el lenguaje de modelado *UML*. Se muestra el modelo de dominio que identifica los conceptos significativos en el contexto del problema. Se definen las principales funcionalidades que debe proveer el sistema así como otros requisitos de importancia. Se presenta además, el diagrama de casos de usos derivado de los requisitos funcionales y se describen dos de ellos.

### **2.2 Modelo de dominio**

El modelo de dominio describe conceptos de la realidad con el objetivo de que sus creadores comprendan el contexto de la futura aplicación. Es un paso esencial del análisis orientado a objetos y ayuda a esclarecer cuál es la terminología utilizada. A continuación se relacionan los términos que aparecen en el diagrama y se proporciona una pequeña descripción de los mismos.

**Usuario:** Persona que necesita conocer información sobre los puntos de interés más cercanos o está interesada en que otros la conozcan. Su interacción con el sistema se realiza al aire libre y generalmente en movimiento. Dispone de un teléfono inteligente con servicio y crédito de Cubacel. Su desplazamiento está restringido a las carreteras existentes.

**Mapa:** Es una representación gráfica y métrica de una porción de territorio sobre una superficie bidimensional generalmente plana, pero que puede ser también esférica como ocurre en los globos terráqueos. Las propiedades métricas implican que ha de ser posible tomar medidas de distancia, ángulos o superficies sobre él y obtener un resultado aproximadamente exacto. Su función fundamental es describir el mundo real con el objetivo de orientar a los usuarios. Es la base mediante la cual se obtiene todo el flujo de datos necesario para realizar las funcionalidades del GeoSMS.

**Carretera:** Concepto que generaliza el de calle, camino o cualquier área por donde es posible la circulación de los usuarios. Las intercepciones entre ellas son los únicos puntos desde donde es posible alcanzar otra carretera por lo que son de gran importancia en el análisis del movimiento. Son generalmente modeladas con estructuras de tipo grafo. Los

POI se encuentran en alguno de sus laterales aunque es posible considerarlos sobre ellas sin pérdida de precisión.

**POI:** Ubicación donde se pueden encontrar bienes o servicios, típicamente identificados por un nombre y no por una dirección. Se caracterizan con una categoría y pueden ser usados como puntos de referencia o como destino en un servicio basado en localización.

**Ubicación:** Estructura geográfica que representa un punto físico sobre la superficie terrestre. Está compuesta por latitud y longitud en un sistema de coordenadas como el *WGS-84*.

**Teléfono Inteligente:** Teléfonos móviles con alta capacidad de procesamiento. Presentan características que originalmente no estaban asociadas con los teléfonos: sistema operativo, navegador web, la habilidad de correr aplicaciones de software, poder conectarse a redes inalámbricas, cámara digital y sensor *GPS*.

**SMS:** Servicio de mensajes cortos o *SMS* por sus siglas en inglés, permite el envío de mensajes cortos de hasta 160 caracteres a teléfonos móviles. El servicio no requiere que el móvil esté activo o en el rango de alcance de la señal celular ya que los *SMS* se almacenan un número de días hasta que la entrega sea posible

**SMSC:** Centro de servicio de mensajes cortos. Entidad dentro de la red telefónica móvil encargada de redirigir los *SMS* enviados hacia los destinatarios.

**Receptor GPS:** Receptor del Sistema de Posicionamiento Global. Permite conocer con exactitud la ubicación donde se encuentra el receptor.

### 2.2.1 Diagrama de clases del Modelo de dominio

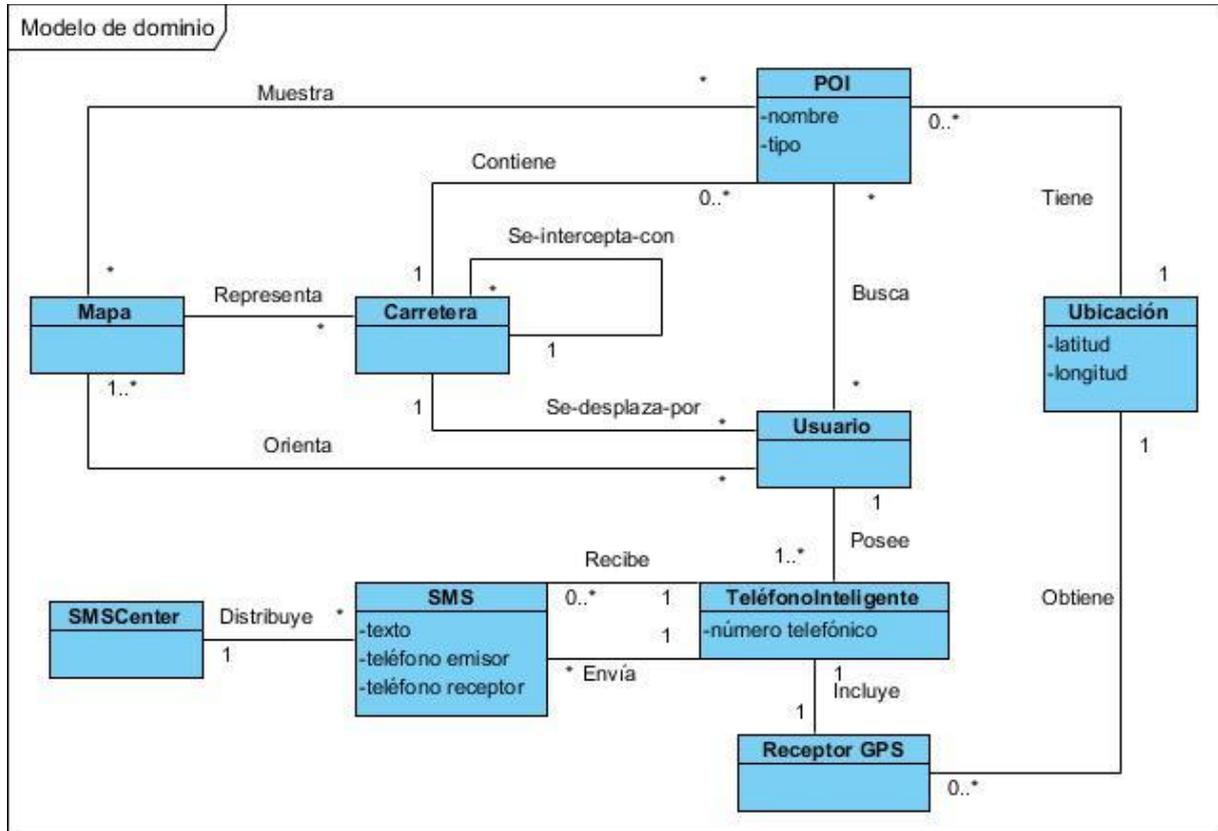


Figura 5: Diagrama de clases del Modelo de dominio.

### 2.3 Requisitos Funcionales

#### RF 1. Visualizar todo el mapa

Esta funcionalidad permite visualizar el mapa según la escala inicial de la aplicación.

#### RF 2. Visualizar diferentes regiones del mapa

Con este requerimiento se desea que el usuario pueda mover el mapa variando con el dedo la posición de la vista que se presenta.

#### RF 3. Acercar determinada región del mapa

Esta funcionalidad permite aumentar el tamaño del mapa y disminuir la escala, ubicando en el centro del mapa el punto en el que el usuario realizó la operación de Acercar.

#### RF 4. Alejar determinada región del mapa

Esta funcionalidad disminuye el tamaño del mapa y aumenta la escala.

#### RF 5. Centrar mapa en usuario

El sistema debe permitir centrar permanentemente el mapa en la ubicación del usuario.

#### **RF 6. Representar usuario**

El sistema debe permitir, opcionalmente, representar la ubicación del usuario en el mapa. Para ello se obtendrá la ubicación desde el receptor GPS.

#### **RF 7. Representar otro usuario**

El sistema debe ser capaz de representar en el mapa la ubicación de otro usuario. Para esta funcionalidad se requiere:

- ✓ Ubicación (Formato: Numérico Obligatorio: Sí)

La ubicación se obtendrá del contenido de un SMS recibido del usuario a representar.

#### **RF 8. Mostrar información de usuario**

El sistema debe ser capaz de mostrar información de un usuario representado en el mapa. Para ello el usuario debe seleccionarlo con el dedo. Debe buscarse datos en la lista de contactos del teléfono.

#### **RF 9. Representar puntos de interés**

El sistema debe ser capaz de representar POI en el mapa, teniendo en cuenta para ello la iconografía que le corresponde a cada uno. Para esta funcionalidad se requiere:

- ✓ Nombre (Formato: Alfabético Obligatorio: Sí)
- ✓ Categoría (Formato: Alfabético Obligatorio: Sí)
- ✓ Ubicación (Formato: Numérico Obligatorio: Sí)

Todos los valores se obtendrán del contenido de un SMS enviado por el servidor.

#### **RF 10. Mostrar información de POI**

El sistema debe ser capaz de mostrar información de un POI representado en el mapa. Para ello el usuario debe seleccionarlo con el dedo.

#### **RF 11. Georreferenciar punto de interés**

El sistema debe permitir georreferenciar un nuevo POI, definiendo su:

- ✓ Nombre (Formato: Alfabético Obligatorio: Sí)
- ✓ Categoría (Formato: Alfabético Obligatorio: Sí)

- ✓ Ubicación (Formato: Numérico Obligatorio: Sí)

La ubicación será obtenida del receptor GPS.

#### **RF 12. Eliminar punto de interés**

El sistema debe permitir eliminar un POI. Para ello lo seleccionará directamente en el mapa.

#### **RF 13. Editar punto de interés**

El sistema debe editar eliminar un POI. Para ello lo seleccionará directamente en el mapa.

#### **RF 14. Almacenar punto de interés**

El sistema debe ser capaz de almacenar en los POI creados y recibidos.

#### **RF 15. Almacenar ubicación de otro usuario**

El sistema debe permitir almacenar, opcionalmente, la ubicación recibida de otro usuario

#### **RF 16. Compartir ubicación**

El sistema debe permitir compartir la ubicación del usuario con otros. Para ello se requiere:

- ✓ Número telefónico del receptor (Formato: Numérico Obligatorio: Sí)
- ✓ Ubicación (Formato: Numérico Obligatorio: Sí)

Se brinda la posibilidad de elegir el número desde la lista de contactos. La ubicación será obtenida desde el receptor GPS.

#### **RF 17. Buscar puntos de interés más cercanos.**

El sistema debe ser capaz de realizar la búsqueda de los POI más cercanos a una ubicación dada. Esta funcionalidad requiere:

- ✓ Ubicación (Formato: Numérico Obligatorio: Sí)

La ubicación será obtenida desde el receptor GPS.

### **2.4 Requisitos no Funcionales**

#### **Usabilidad**

El sistema podrá ser usado por personas con conocimientos básicos en el manejo de dispositivos móviles. Se emplearán componentes que indiquen al usuario el estado de los procesos que por su complejidad requieran de un tiempo de procesamiento apreciable.

Las funcionalidades principales del sistema estarán orientadas a iconos para un mayor reconocimiento por parte del usuario.

El sistema pedirá siempre la confirmación del usuario cuando necesite enviar un SMS.

### **Eficiencia**

El tiempo de respuesta estará dado por la cantidad de información a procesar, entre mayor cantidad de información mayor será el tiempo de procesamiento.

Al igual que el tiempo de respuesta, la velocidad de procesamiento de la información, la actualización y la recuperación dependerán de la cantidad de información que tenga que procesar el sistema.

### **Restricciones de diseño**

Diseño sencillo con pocas entradas, donde no sea necesario mucho entrenamiento para utilizar el sistema. El producto de software final debe diseñarse sobre una arquitectura cliente-servidor. Se deben emplear los estándares establecidos (diseño de interfaces, base de datos y codificación).

## **2.5 Descripción del sistema**

### **2.5.1 Descripción del actor**

Un actor es un agente externo que interactúa con el sistema en pos de obtener un resultado. El sistema cuenta con un solo actor, el Usuario.

| <b>Actor</b>   | <b>Descripción</b>                                   |
|----------------|--|
| <b>Usuario</b> | Persona que utiliza las funcionalidades del sistema. |

### 2.5.2 Diagrama de casos de uso del sistema

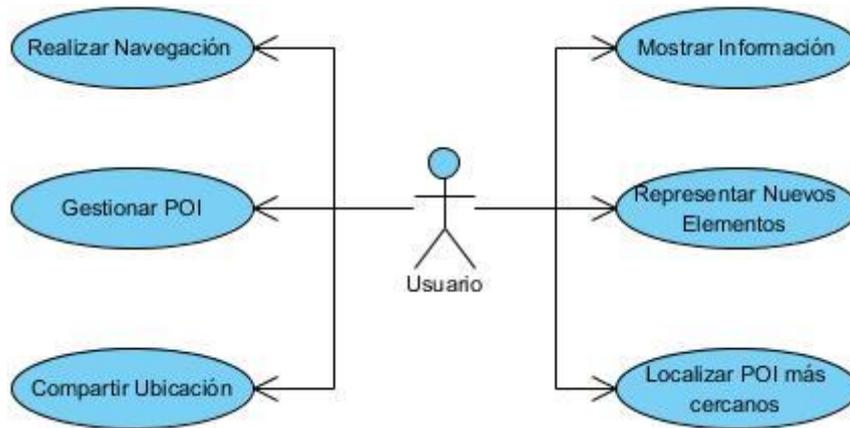


Figura 6: Diagrama de casos de uso del sistema.

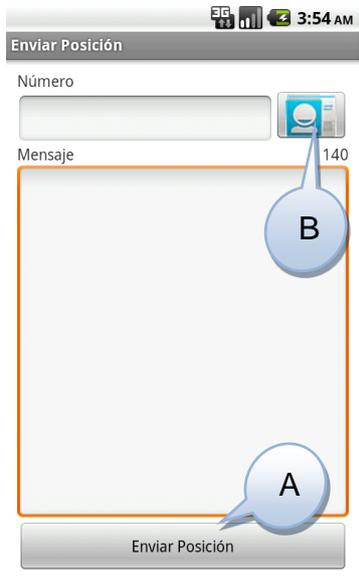
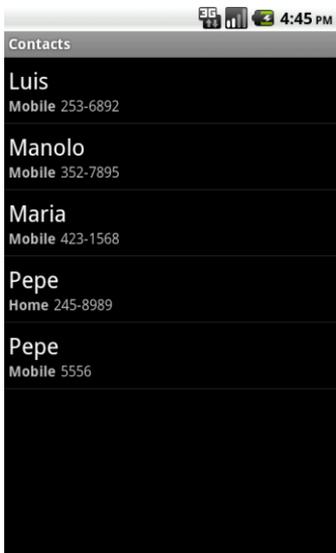
### 2.5.3 Descripción textual de los casos de uso del sistema

A continuación se describen los casos de uso Compartir Ubicación y Gestionar POI. Las descripciones de los casos de uso restantes pueden consultarse en el documento GeoSMS Modelo de Sistema.

|                                |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| <b>Caso de Uso:</b>            | Compartir Ubicación   |  |
| <b>Actores:</b>                | Usuario   |  |
| <b>Propósito:</b>              | Este caso de uso se lleva a cabo con el propósito de compartir la ubicación del usuario con otro.   |  |
| <b>Resumen:</b>                | El caso de uso se inicia cuando el usuario desea compartir su ubicación con otro usuario, tiene además la opción de adjuntar un mensaje pequeño. Termina cuando una notificación avisa al destinatario que ha recibido la posición. |  |
| <b>Precondiciones:</b>         |   |  |
| <b>Referencias:</b>            | RF 16   |  |
| <b>Prioridad:</b>              | Medio   |  |
| <b>Flujo Normal de Eventos</b> |   |  |
| <b>Acción del Actor</b>        | <b>Respuesta del Sistema</b>  |  |

|  |   |
|--|---|
| <p>1. El caso de uso inicia cuando el usuario selecciona la opción “Compartir Ubicación” (A interfaz 2).</p>   | <p>2. El sistema muestra la Interfaz “Compartir Ubicación” ver interfaz 6.</p>  |
| <p>3. El usuario introduce los datos requeridos, siendo obligatorio especificar el número de un dispositivo móvil. El usuario selecciona la opción “Enviar”.</p> | <p>4. El sistema muestra un mensaje informando al usuario que se enviará un SMS y por <i>tanto</i> se incurrirá en un gasto del saldo.</p>  |
| <p>5. El usuario selecciona la opción “Aceptar” confirmando que desea enviar la solicitud.</p>   | <p>6. El sistema le muestra al destinatario una notificación informándole de la ubicación recibida.</p> <p>El caso de uso termina cuando el sistema muestra un mensaje de confirmando que el mensaje ha sido enviado.</p> |

**Prototipo de Interfaz**

|   |  |
|---|--|
|  <p style="text-align: center;">interfaz 1</p> |  <p style="text-align: center;">interfaz 2</p> |
|---|--|

**Flujos Alternos**

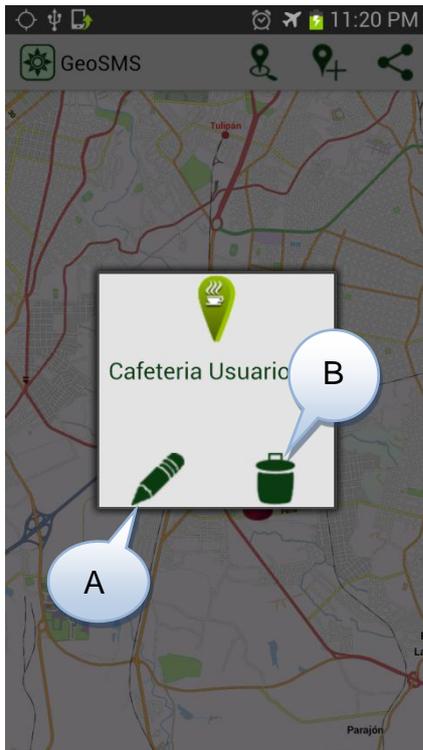
| Acción del Actor                                | Respuesta del Sistema                    |
|---|--|
| 5.1 El usuario presiona el botón (B interfaz 6) | 6.1 El sistema muestra la interfaz 7 con |

|   |  |
|---|--|
|   | los números telefónicos almacenados en la lista de contactos del teléfono.   |
| <b>7.1</b> El usuario selecciona uno de los números telefónicos mostrados.    | <b>8.1</b> El sistema regresa a la interfaz 6, rellenando el campo “Número” con el del contacto seleccionado por el usuario. |
| <b>5.2</b> El usuario no especifica un número telefónico o este no es válido. | <b>6.2</b> El sistema muestra un mensaje especificando el error.   |
| <b>5.3</b> El usuario oprime el botón atrás.                                  | <b>7.1</b> El oculta la venta “Compartir Ubicación” y muestra el mapa.   |
| <b>Poscondiciones</b>   | Se envía un SMS con la posición del usuario y se muestra un mensaje de confirmación.   |

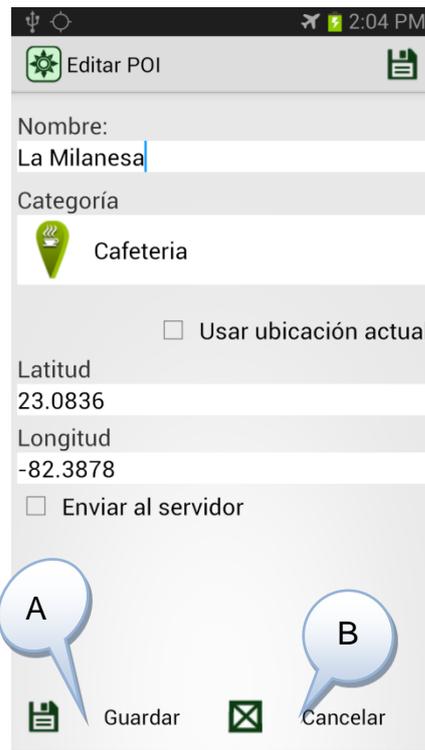
**Tabla 1: Descripción textual del caso de uso Compartir Ubicación**

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Caso de Uso:</b>            | Gestionar POI  |
| <b>Actores:</b>                | Usuario  |
| <b>Propósito</b>               | Este caso de uso se lleva a cabo para que el usuario pueda georreferenciar, editar y eliminar puntos de interés.   |
| <b>Resumen:</b>                | El caso de uso se inicia cuando el usuario desea georreferenciar, editar o eliminar un punto de interés y termina cuando el sistema registra los cambios realizados. |
| <b>Precondiciones:</b>         |  |
| <b>Referencias</b>             | RF11, RF12, RF13, RF14   |
| <b>Prioridad</b>               | Crítico  |
| <b>Flujo Normal de Eventos</b> |  |

| <b>Acción del Actor</b>   | <b>Respuesta del Sistema</b>               |
|---|--|
| <p>1. El caso de uso inicia cuando el usuario realiza un TAP sobre un punto de interés representado sobre el mapa o selecciona la opción “Adicionar POI” del menú principal de la aplicación (ver sección “Adicionar”).</p>                   | <p>2. El sistema muestra la interfaz 4</p> |
| <p>3. El usuario realiza una de las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Selecciona “Editar” (A interfaz 4) ver sección “Editar”.</li><li>- Selecciona “Eliminar” (B interfaz 4) ver sección “Eliminar”</li></ul> |  |
| <b>Prototipo de Interfaz</b>  |  |



interfaz 3



interfaz 4

**Sección “Eliminar”**

| Acción del Actor   | Respuesta del Sistema   |
|--|---|
|  | <p>1. El sistema pide la confirmación del usuario para eliminar el punto de interés. Si el elemento es un POI almacenado en el servidor, en este mensaje se proporciona la opción de eliminar del servidor mediante el envío de un SMS.</p> |
| <p>2. El usuario selecciona la opción Aceptar (A interfaz 6)</p> | <p>3. El sistema oculta la ventana de confirmación y suprime la representación en el mapa del punto de interés eliminado.</p>   |

| <b>Flujos Alternos</b>  |  |
|---|--|
| <b>Acción del Actor</b>   | <b>Respuesta del Sistema</b>   |
| <b>2.1</b> El usuario presiona el botón “Cancelar” (B interfaz 6).  | <b>3.1</b> El sistema oculta la ventana de confirmación y muestra el mapa.   |
| <b>2.2</b> El usuario selecciona la opción de “Eliminar en el servidor” y selecciona “Aceptar” (A interfaz 6) | <b>3.2</b> El sistema oculta la ventana de confirmación, envía un SMS con la solicitud de eliminación del POI y suprime la representación en el mapa del punto de interés eliminado. |
| <b>Sección “Editar”</b>   |  |
| <b>Acción del Actor</b>   | <b>Respuesta del Sistema</b>   |
|   | <b>1.</b> El sistema muestra la interfaz 5.  |
| <b>2.</b> El usuario edita los datos correspondientes y selecciona la opción Aceptar (A interfaz 5)           | <b>3.</b> El sistema oculta la ventana “Editar POI” y actualiza la representación en el mapa del punto de interés editado.   |
| <b>Flujos Alternos</b>  |  |
| <b>Acción del Actor</b>   | <b>Respuesta del Sistema</b>   |
| <b>2.1</b> El usuario presiona el botón “Cancelar” (B interfaz 5).  | <b>3.1</b> El sistema oculta la ventana “Editar POI” quedando en pantalla la interfaz 4.   |
| <b>2.2</b> El usuario deja vacío algún campo.   | <b>3.2</b> El sistema muestra un mensaje aclarando que debe entrar el campo que aún no ha sido especificado.   |
| <b>Sección “Adicionar”</b>  |  |
| <b>Acción del Actor</b>   | <b>Respuesta del Sistema</b>   |

|   |  |
|---|--|
| <p><b>1.</b> El sistema selecciona la opción Adicionar POI (A interfaz 2)</p>   | <p><b>1.</b> El sistema muestra la interfaz 5.</p>   |
| <p><b>2.</b> El usuario inserta los datos del nuevo punto de interés y selecciona la opción “Guardar” (A interfaz 5)</p>  | <p><b>3.</b> El sistema oculta la ventana “Adicionar POI” y crea la representación en el mapa del punto de interés adicionado.</p>   |
| <b>Flujos Alternos</b>  |  |
| <b>Acción del Actor</b>   | <b>Respuesta del Sistema</b>   |
| <p><b>2.1</b> El usuario presiona el botón “Cancelar” (B interfaz 5).</p>   | <p><b>3.1</b> El sistema oculta la ventana “Adicionar POI”.</p>  |
| <p><b>2.2</b> El usuario no introduce información en todos los campos.</p>  | <p><b>3.2</b> El sistema muestra un mensaje aclarando que debe entrar el campo que aún no ha sido especificado.</p>  |
| <p><b>2.3</b> El usuario selecciona la opción “Enviar al servidor”</p>  | <p><b>3.3.</b> El sistema muestra un mensaje informando al usuario que se enviará un SMS y por tanto se incurrirá en un gasto del saldo.</p>   |
| <p><b>4.3.</b> El usuario selecciona la opción “Aceptar” confirmando que está consciente del gasto asociado y selecciona la opción “Guardar” (A interfaz 5)</p> | <p><b>5.3.</b> El caso de uso termina cuando el sistema envía los datos sobre el nuevo punto de interés al servidor, muestra un mensaje de éxito en la operación y representa en el mapa el nuevo POI.</p> |
| <b>Poscondiciones</b>   | El sistema modifica la información sobre puntos de interés almacenada.   |

**Tabla 2: Descripción textual del caso de uso Gestionar POI**

## **2.6 Conclusiones del capítulo**

- ✓ El modelo de dominio realizado esclareció los elementos que intervienen en el problema así como sus interacciones.
- ✓ Los requisitos funcionales y no funcionales definidos establecen las características del sistema que se implementará.
- ✓ Acorde a la metodología definida, se agruparon los requisitos funcionales en seis casos de uso. Se describieron los casos de uso en el Modelo del Sistema, definiendo las respuestas que ha de proporcionar la aplicación ante las acciones del usuario.

## **CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

### **3.1 Introducción**

Una vez definidos los requisitos del sistema y las interacciones entre el usuario y el mismo, es necesario establecer la estructura de la aplicación. En esta fase se consideran las características de la tecnología escogida y por tanto se presenta una breve introducción a las aplicaciones sobre la plataforma *Android*. Se expone además, el diagrama de clases del diseño del que se describen sus principales clases. Debido a la importancia que tienen para el paradigma de programación orientada a objeto, se hace referencia a los patrones de diseño fundamentales.

### **3.2 Patrones de diseño**

Los patrones de diseño son una pareja de problema-solución al que se le ha asignado un nombre y que es aplicables en varios contextos (Larman, 1999). Estos encapsulan buenos principios y sugerencias ante problemas recurrentes.

#### **3.2.1 Patrones generales de software para la asignación de responsabilidades**

Los patrones generales de software para la asignación de responsabilidades (GRASP) describen los principios esenciales de la asignación de responsabilidades a objetos, por tanto fueron considerados en la confección de las clases que componen el modelo de diseño. A continuación se describen brevemente algunos de los más importantes según se define en (Larman, 1999).

**Experto:** Define el principio fundamental en virtud del cual se asignan las responsabilidades en un diseño orientado a objetos. Plantea que la responsabilidad debe recaer en la clase que cuenta con la información necesaria para cumplir con ella.

**Creador:** Define quien debe ser el responsable de crear una nueva instancia de una clase. Plantea que debe recaer en la clase que agrega, contiene, registra, utiliza o tiene los datos de inicialización de la nueva instancia. La prioridad en caso de que exista más de una posibilidad es en el orden enunciado.

**Bajo Acoplamiento:** Define como fomentar una menor dependencia y una mayor reutilización. Plantea mantener la fuerza de las conexiones entre clases lo más bajo posible. Este parámetro es conocido como acoplamiento.

**Alta Cohesión:** Define que las responsabilidades asignadas a una misma clase deben guardar relación y estar enfocadas al mismo objetivo. Fomenta de esta forma que las clases no adquieran una complejidad excesiva o realicen un trabajo enorme.

**Controlador:** Define quien debería de encargarse de atender un evento del sistema. Asigna la responsabilidad de administrar estos mensajes a una clase que represente una de las siguientes opciones: el negocio o la organización global, el sistema, un controlador de papeles o una clase artificial que represente el caso de uso.

### 3.2.2 Patrones GOF

Los patrones *GOF* son igualmente alternativas de solución a problemas conocidos pero son mucho más específicas las situaciones en las que se aplican. Se clasifican en creacionales, estructurales y de comportamiento. A continuación se enuncian brevemente los utilizados en el sistema.

**Singleton:** Este patrón permite controlar la cantidad de instancias de una clase que es posible crear. En el sistema propuesto se restringe a una sola instancia de las clases *GPSManager* y *GeoSMSController*, contribuyendo así al ahorro de memoria, elemento muy importante en los dispositivos móviles.

**Observador:** Define una dependencia de uno a muchos entre objetos, tal que, cuando un objeto cambia de estado todos los que son dependientes de este son actualizados automáticamente (Gamma, y otros, 1997). En la aplicación se utiliza este patrón para asegurar que cuando el objeto de tipo *GPSManager* obtenga una nueva actualización de la ubicación donde se encuentra el usuario, todas las clases interesadas en conocer dicho evento son actualizadas. Para esto las clases observadas han de implementar la interfaz *ILocationAware*.

### 3.3 Aplicaciones y su ciclo de vida en la plataforma Android

A diferencia de los paradigmas de programación tradicionales en los que las aplicaciones son lanzadas a través del método *main* de la clase principal, el sistema Android lo hace invocando métodos específicos de una instancia de una clase *Activity*, la cual viene incluida en el kit de desarrollo de este sistema operativo. Entender como esto sucede permitirá que la aplicación se comporte bien aun cuando el usuario reciba una llamada, cambie a otra aplicación o rote la pantalla.

La primera vez que el usuario elige lanzar una aplicación, el sistema ejecuta en orden los métodos *onCreate*, *onStart* y *onResume* de la *Activity* registrada como inicial. Como resultado se muestra la interfaz gráfica asociada a dicha *Activity*. Si la *Activity* no se encuentra totalmente visible, como el resultado por ejemplo del lanzamiento de un cuadro de diálogo, el sistema ejecuta el método *onPause* y si se oculta totalmente el sistema ejecuta el método *onStop*. Si la *Activity* vuelve a ser mostrada se le notifica a través de los métodos *onRestart* y *onStart*.

Es necesario considerar además que el sistema puede destruir la *Activity* si se encuentra detenida y no ha sido usada durante algún tiempo, o la *Activity* que se muestra al usuario necesita más recursos de los que se encuentran disponibles. Cuando esto ocurre, el sistema recuerda su existencia y si es necesario vuelve a crear una instancia, utilizando un conjunto de valores guardados que describen el estado en que se encontraba cuando fue destruida. Una *Activity* es destruida y vuelta a crear también cuando el usuario gira la pantalla.

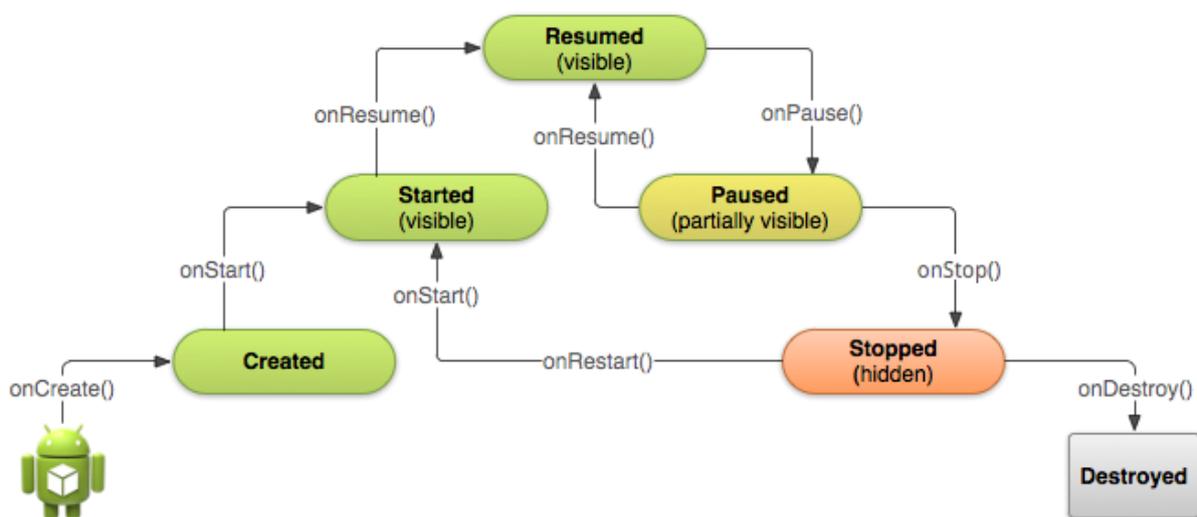


Figura 7: Ciclo de vida de una aplicación en Android

### 3.4 Modelo de diseño

#### 3.4.1 Diagrama de clases del diseño

Uno de los artefactos que genera el modelo de diseño es el diagrama de clases del diseño, en este se definen clases, interfaces, y las relaciones entre ellos. Por la cantidad de elementos que intervienen se realiza un diagrama por cada caso de uso. Estos diagramas visualizan, especifican y documentan el modelo estructural, lográndose una muestra amplia

y confiable del sistema previo a su implementación. En este epígrafe se muestra el diagrama de clases del diseño asociadas al caso de uso *Compartir Ubicación*. Para acceder a los diagramas de clases de los restantes casos de uso, ver Anexos del 1 al 5.

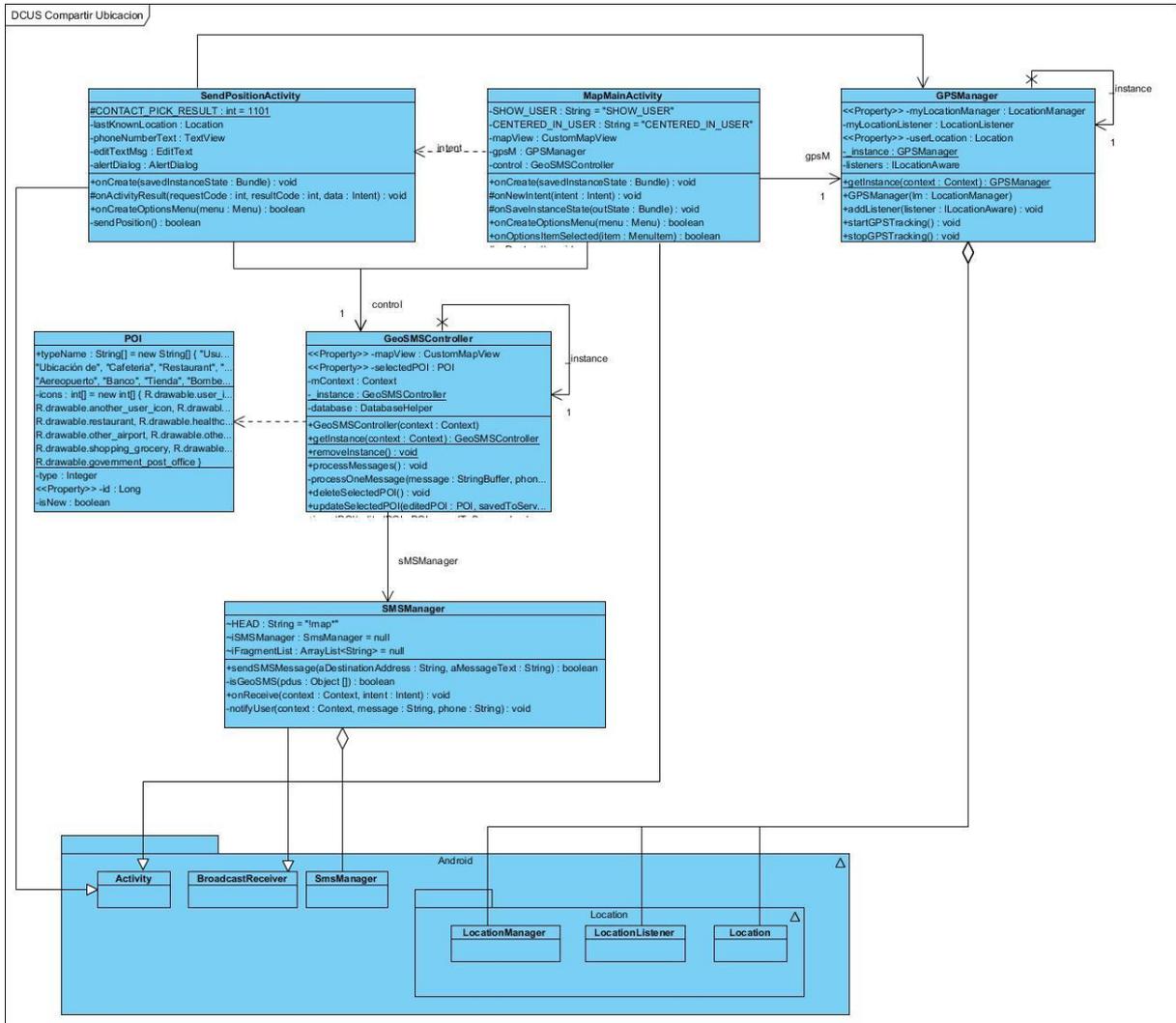


Figura 8: Diagrama de clases del diseño del caso de uso *Compartir Ubicación*.

Además de los estándares de codificación propios del lenguaje utilizado, se decidió que los nombres de las clases que interactuaran con la interfaz visual, se les agregara el sufijo *Activity* para identificarlas fácilmente.

### 3.5 Modelo de implementación

El modelo de implementación describe la estructura física del sistema. En él se agrupan las clases y sus relaciones en los paquetes a los que pertenecen, reflejándose la utilización de

bibliotecas de clases que encapsulan el código, como es el caso de *mapforge.jar* y *Android.jar*. Además queda especificado que el archivo *poiDB.db* es utilizado para almacenar datos empleando el sistema gestor de base de datos *SQLite*.

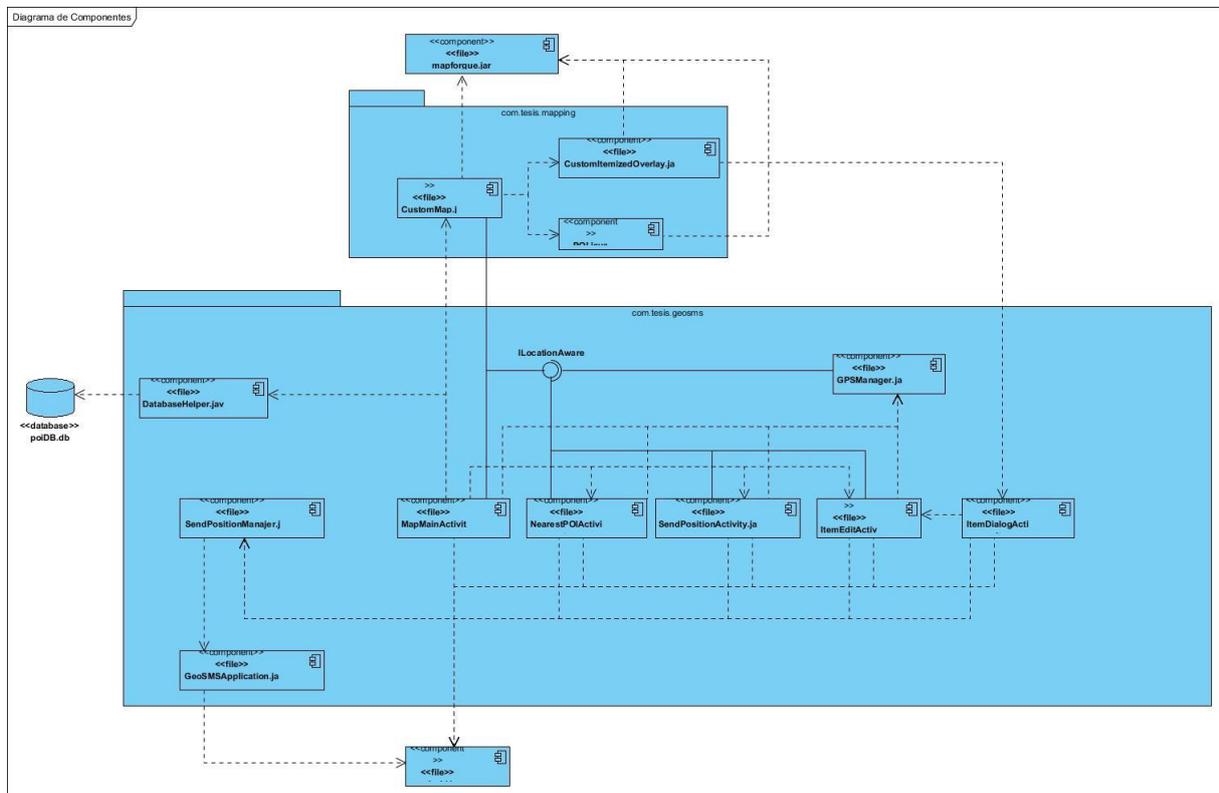


Figura 9: Diagrama de componentes

### 3.6 Modelo de despliegue

El modelo de despliegue describe la distribución física del sistema mostrando las relaciones entre el *hardware* y el *software*. Especifica en que nodos computacionales se distribuyen las funcionalidades, así como los protocolos de comunicación entre ellos. A continuación se muestra el modelo de despliegue correspondiente a la solución propuesta.

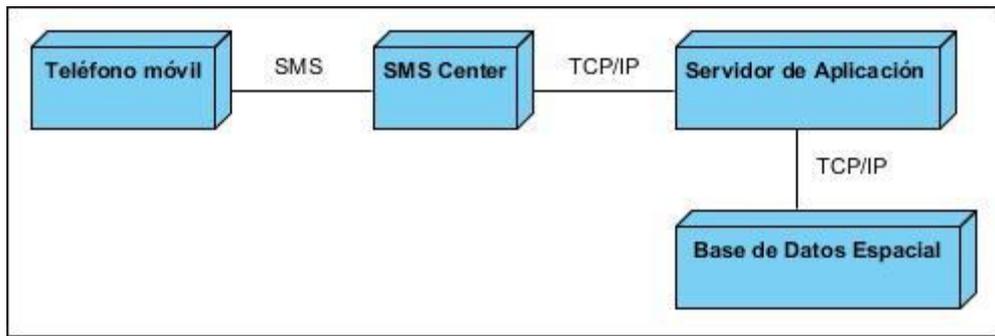


Figura 10: Modelo de despliegue

### 3.7 Pruebas del sistema propuesto

Las pruebas al *software* son fundamentales para garantizar su calidad. Se valida mediante su aplicación el cumplimiento de las especificaciones funcionales y no funcionales definidas con anterioridad. Aunque es importante realizar pruebas en las etapas de análisis y de diseño, es precisamente una vez concluida esta última donde mayor interés adquiere su aplicación.

Existen dos variantes principales: pruebas de caja blanca y pruebas de caja negra. Las primeras se enfocan en el código de la aplicación e intentan verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los flujos que ocurren en el mismo. Las de caja negra se realizan a través de la interfaz de la aplicación, en este caso la interfaz gráfica de usuario. Su objetivo es comprobar las respuestas del sistema ante las posibles acciones que pueda realizar el usuario. En ellas se utilizan datos de entrada correctos e incorrectos.

La variante de caja negra es la utilizada para probar el sistema, dentro de ella existen varias técnicas, una de las más prácticas y eficaces es la conocida como “partición de equivalencia”. Esta divide la entrada en clases de datos según las funcionalidades a las que tributan en el sistema, brindando así la posibilidad de descubrir funcionalidades incorrectas o ausentes, errores en la interfaz, de rendimiento, de inicialización o de terminación.

A continuación se muestra el diseño del caso de prueba para el caso de uso *Compartir Ubicación*. Los diseños de los restantes casos de pruebas pueden ser consultados en los artefactos GeoSMS - DCP Gestionar POI, GeoSMS - DCP Localizar POI más cercanos, GeoSMS - DCP Mostar Información, GeoSMS - DCP Realizar Navegación, GeoSMS - DCP Representar nuevos elementos.

### Descripción General

El caso de uso se inicia cuando el usuario desea compartir su ubicación con otro usuario, tiene además la opción de adjuntar un mensaje pequeño.

### Condiciones de Ejecución:

No presenta

### Secciones a probar en el Caso de Uso

| Nombre de la sección        | Escenarios de la sección                           | Descripción de la funcionalidad  | Flujo central  |
|-----------------------------|--|--|--|
| SC1:<br>Compartir Ubicación | EC 1.1: Compartir Ubicación satisfactoriamente.    | El sistema muestra la portada de la aplicación.  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ejecutar en la aplicación en el teléfono.</li><li>• Introducir los datos en el formulario que muestra el sistema.</li><li>• Seleccionar la opción "Guardar".</li></ul> |
|                             | EC 1.2: Introducción de los datos incorrectamente. | El sistema muestra nuevamente el formulario para compartir la ubicación con el campo vacío para que el usuario introduzca un número telefónico válido. | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ejecutar en la aplicación en el teléfono.</li><li>• Introducir los datos en el formulario que muestra el sistema.</li><li>• Seleccionar la opción "Guardar".</li></ul> |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | <p>EC 1.3: No se ha determinado la posición GPS.</p>                     | <p>El sistema muestra nuevamente el formulario para que el usuario intente nuevamente compartir su ubicación.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar en la aplicación en el teléfono.</li> <li>• Introducir los datos en el formulario que muestra el sistema.</li> <li>• Asegurarse que el GPS no haya fijado una posición.</li> <li>• Seleccionar la opción "Guardar".</li> </ul> |
|  | <p>EC 1.4: Salir de la vista compartir ubicación</p>                     | <p>El sistema muestra la portada de la aplicación.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar en la aplicación en el teléfono.</li> <li>• Cerrar la vista de compartir la ubicación presionando el botón atrás del dispositivo.</li> </ul>   |
|  | <p>EC 1.5: Seleccionar la opción "Cancelar".</p>                         | <p>El sistema muestra la portada de la aplicación</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar en la aplicación en el teléfono.</li> <li>• Seleccionar la opción "Cancelar".</li> </ul>   |
|  | <p>EC 1.6: Se recibe una llamada y luego se regresa a la aplicación.</p> | <p>El sistema da la posibilidad al usuario de atender la llamada y al terminar retorna a la aplicación manteniendo los datos que fueron introducidos.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar en la aplicación en el teléfono.</li> <li>• Introducir los datos en el formulario que muestra el sistema.</li> <li>• Realizar una llamada al número del usuario desde otro teléfono.</li> </ul>                                |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rechazar la llamada.</li> </ul> |
|--|--|--|--|

**Descripción de variable.**

| No | Nombre de campo | Clasificación                  | Valor Nulo | Descripción   |
|----|-----------------|--------------------------------|------------|---|
| 1  | Número          | Campo de texto numérico entero | No         | Solamente contiene números formados por dígitos del 0 al 9. |
| 2  | Mensaje         | Campo de texto                 | No         | Contiene texto hasta un máximo de 140 caracteres.           |

**Matriz de Datos SC 1 Compartir Ubicación. (V-válido, I-inválido).**

| ID del EC. | Escenario | Variable 1<br>Teléfono | Variable 2<br>Mensaje | Variable 3<br>Posición GPS | Respuesta del Sistema | Resultado de la Prueba |
|------------|-----------|------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
|            |           |                        |                       |                            |                       |                        |

*CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN*

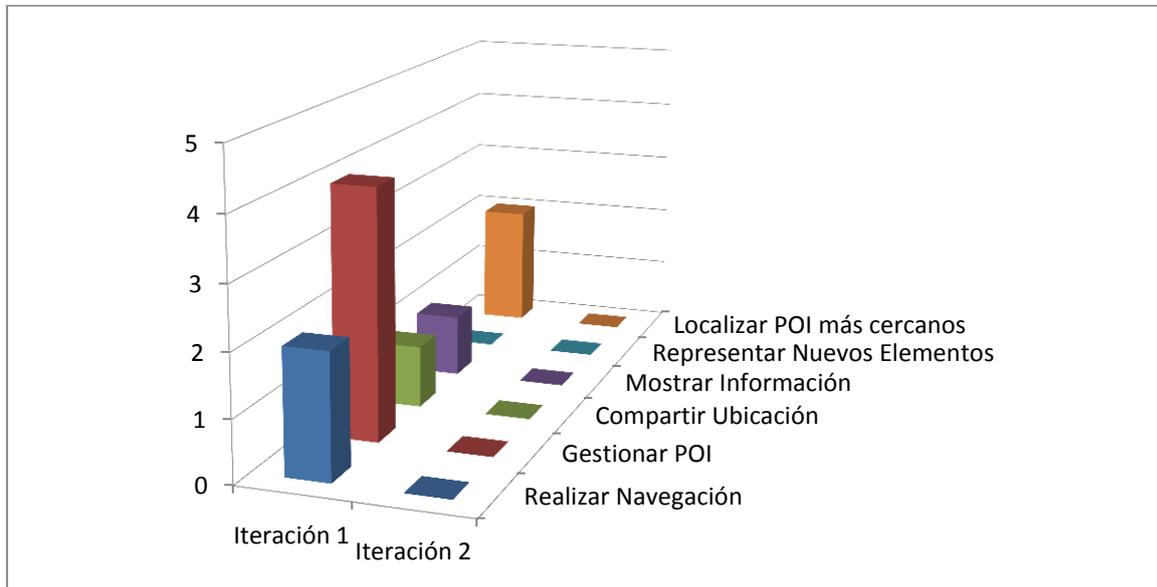
| ID del EC. | Escenario                                  | Variable 1<br>Teléfono | Variable 2<br>Mensaje                | Variable 3<br>Posición<br>GPS | Respuesta del Sistema  | Resultado de la Prueba |
|------------|--|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|------------------------|
| EC 1.1     | Compartir Ubicación satisfactoriamente.    | V<br>(58182645)        | V<br>(Te espero aquí, no te demores) | V<br>Coordenadas fijadas      | El sistema muestra la portada de la aplicación.  |                        |
| EC 1.2     | Introducción de los datos incorrectamente. | I<br>("")              | V<br>(Te espero aquí, no te demores) | V<br>Coordenadas fijadas      | El sistema muestra nuevamente el formulario para compartir la ubicación con el campo vacío para que el usuario introduzca un número telefónico válido. |                        |
|            |  | V<br>(2645)            | V<br>(Te espero aquí, no te demores) |                               |  |                        |
| EC         | No se ha determinado                       | V                      | V<br>(Te                             | I<br>Coordena                 | El sistema muestra nuevamente el formulario  |                        |

| ID del EC. | Escenario   | Variable 1<br>Teléfono | Variable 2<br>Mensaje        | Variable 3<br>Posición<br>GPS | Respuesta del Sistema  | Resultado de la Prueba |
|------------|---|------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|------------------------|
| 1.3        | la posición GPS.  | (58182645)             | espero aquí, no te demores ) | das no fijadas                | para autenticarse con los campos vacíos para que el usuario vuelva a intentar autenticarse.  |                        |
| EC<br>1.4  | Salir de la vista compartir ubicación                     | NA                     | NA                           | V<br>Coordenadas fijadas      | El sistema muestra la portada de la aplicación.  |                        |
| EC<br>1.5  | Seleccionar la opción "Cancelar".                         | NA                     | NA                           | V<br>Coordenadas fijadas      | El sistema muestra la portada de la aplicación.  |                        |
| EC<br>1.6  | Se recibe una llamada y luego se regresa a la aplicación. |                        |                              | V<br>Coordenadas fijadas      | El sistema da la posibilidad al usuario de atender la llamada y al terminar retorna a la aplicación manteniendo los datos que fueron introducidos. |                        |

### 3.8 Resultados de las pruebas realizadas

Se efectuaron dos iteraciones de pruebas de los seis casos de prueba diseñados. Se detectaron un total de diez no conformidades en la primera iteración según se muestra en la

figura 9. Luego de darle solución a las mismas se realizó una segunda iteración, en la que no se detectaron no conformidades.



**Figura 11: No conformidades por iteración**

### 3.9 Conclusiones del capítulo

En el presente capítulo se han descrito los principales patrones GRASP así como los GOF que han sido utilizados en el sistema. Se caracteriza además el ciclo de vida de las aplicaciones en el sistema operativo *Android*. Se exponen los principales modelos que describen la implementación y se ofrecen los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

Finalmente se concluye lo siguiente:

- ✓ El estudio y aplicación de los patrones de diseño propició la creación de un modelo de diseño más flexible y escalable.
- ✓ Los diagramas de diseño e implementación mostrados describen el sistema de modo que se facilite el trabajo con el mismo si fuese necesario.
- ✓ Es apropiado realizarle pruebas de caja negra al sistema y se comprobó que el resultado de su aplicación valida el cumplimiento de los requisitos definidos.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

Como resultado de la investigación realizada se obtuvo un sistema que permite la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés utilizando las tecnologías integradas en los dispositivos móviles, el mismo se adapta a las condiciones de conectividad de las redes móviles de datos existentes en Cuba. En base a los resultados obtenidos se arribó a las siguientes conclusiones:

- ✓ El estudio de los procesos de georreferenciación y en especial de las fuentes de datos espaciales, reflejó la factibilidad de apoyarse en comunidades de usuarios para obtener de forma económica datos geográficos actualizados y confiables.
- ✓ La comparación de la eficiencia de los algoritmos para el cálculo de los puntos de interés más cercanos en redes demostró que la aproximación de islas es la más apropiada dadas las características de dichos puntos en Cuba.
- ✓ La dependencia de Internet de las aplicaciones que permiten la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés plantea la necesidad del desarrollo de un sistema que no necesite esta tecnología no disponible en muchos países.
- ✓ El sistema fue construido con herramientas libres lo que redujo el costo de su desarrollo y se evitan los problemas asociados con el pago de licencias de software.
- ✓ Los resultados de la aplicación de las pruebas de caja negra al software, validaron el cumplimiento de los requisitos funcionales y quedó certificada su calidad.

## **RECOMENDACIONES**

Debido a la gran cantidad de elementos cuya georreferenciación y búsqueda puede resultar útil para los usuarios imposibilita que este trabajo los aborde a todos, por lo que se recomienda:

- ✓ Agregar nuevas funcionalidades relacionadas con la posibilidad de georreferenciar y buscar rutas de transportes.
- ✓ Fomentar la creación de una comunidad de usuarios para propiciar la actualización de la información geográfica relacionada con los puntos de interés en una base de datos centralizada.
- ✓ Aplicar técnicas de decisión con múltiples criterios para la selección de los puntos de interés debido a la limitante de la cantidad de caracteres permisibles en los SMS.

## BIBLIOGRAFÍA

**Apple Inc. 2013.** *Sitio Oficial de Apple Inc.* [En línea] 2013. [Citado el: 4 de marzo de 2013.] <http://www.apple.com/iphone/>.

**Arnold C. Cooper, William C. Dunkelberg. 2011.** *Entrepreneurship and paths to business ownership.* s.l. : Strategic Management Society, 2011. Vol. 7.

**Beckmann, N, y otros. 1990.** *The R\*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles.* s.l. : SIGMOD, 1990.

**Beltran, Gerson. 2012.** Geolocalización, redes sociales y turismo. [En línea] 14 de Junio de 2012. [Citado el: 20 de Enero de 2013.] <http://gersonbeltran.com/2012/06/14/diferencias-entre-geolocalizar-gps-y-localizar>.

**Chávez, María Evangelina. 2011.** Escritorio del docente. *sitio educativo argentina.* [En línea] Ministerio de educación Argentina, 2011. [Citado el: 20 de Febrero de 2013.] [http://escritoriodecentes.educ.ar/datos/Introduccion\\_geolocalizacion\\_google\\_earth.html](http://escritoriodecentes.educ.ar/datos/Introduccion_geolocalizacion_google_earth.html).

**Clarke, K. C. 1986.** *Advances in geographic information systems, computers, environment and urban systems.* 1986.

**Cormen, Thomas H., y otros. 2002.** *Introduction to Algorithms.* Massachusetts : The MIT Press, 2002. 0-262-03293-7.

**Cuesta, Ricardo Ovejero. 2012.** Geolocalización y georreferenciación . [En línea] 30 de octubre de 2012. [Citado el: 20 de febrero de 2013.] <http://geogeoloca.blogspot.com/2012/10/geolocalizacion-y-gerreferenciacion.html>.

**Donésteves, Abel A. Firvida. 2013.** HumanOS. *Just Another Android Store (jaas).* [En línea] 4 de abril de 2013. [Citado el: 15 de mayo de 2013.] <http://humanos.uci.cu/2013/04/comparte-tu-software-just-another-android-repository-jaas/>.

**EEUU, Gobierno de los. 2012.** Información oficial del Gobierno de los Estados Unidos relativa al Sistema de Posicionamiento Global y temas afines. *Información oficial del Gobierno de los Estados Unidos relativa al Sistema de Posicionamiento Global y temas afines.* [En línea] Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y

Cronometría por Satélite, 7 de Diciembre de 2012. [Citado el: 10 de enero de 2013.] <http://www.gps.gov/>.

**Egenhofer, M. y Herring, J. 1991.** High-Level Spatial Data Structures. *Geographical Information Systems, Vol. 1: Principles*. s.l. : Longman, 1991.

**Espinosa, MSc. Alexander Mena. 2010.** *Sistema de Información Geográfica para la Gestión del Área Protegida Varahicacos*. Matanzas : CSAM, 2010.

**Etecsa - Desoft. 2012.** En Tu Movil - Pelota. [En línea] 2012. [Citado el: 14 de enero de 2013.]

[http://www.entumovil.cu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54&Itemid=135](http://www.entumovil.cu/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=135).

—. **2012.** En Tu Movil - Tiempo. *Sitio web de los servicios de valor agregado en Cuba*. [En línea] 2012. [Citado el: 14 de enero de 2013.]

[http://www.entumovil.cu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=59&Itemid=118](http://www.entumovil.cu/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=118).

**ETECSA S.A. 2012.** Sitio Oficial de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. [En línea] 2012. [Citado el: 7 de enero de 2013.]

[http://www.etecsa.cu/index.php?page=telefonía\\_movil&sub=servicios\\_valoragregado](http://www.etecsa.cu/index.php?page=telefonía_movil&sub=servicios_valoragregado).

**Foundation, OpenStreetMap. 2012.** About OpenStreetMap. *wiki de OpenStreetMap*. [En línea] 30 de noviembre de 2012. [Citado el: 14 de enero de 2013.]

<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/About>.

**Gamma, Erich, y otros. 1997.** *Design Patterns*. Zurich, Suiza : Hawthorne, 1997.

**Goodchild, Michael F. 2007.** Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the world of Web 2.0. 2007, Vol. 2.

**Google. 2012.** Acerca de Map Maker. [En línea] Google, 14 de noviembre de 2012. [Citado el: 14 de enero de 2013.] <http://support.google.com/mapmaker/answer/157176?hl=es>.

—. **2013.** Android Developer Guide. [En línea] Google, enero de 2013. [Citado el: 4 de marzo de 2013.] <http://developer.android.com/index.html>.

**Google Inc. 2012.** Google Map - Google Play. *Google Map - Google Play*. [En línea] Google, 17 de diciembre de 2012. [Citado el: 14 de enero de 2013.]

[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps&feature=related\\_apps](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps&feature=related_apps).

**Google Maps. 2011.** Add Google Maps to your website - Advanced. [En línea] 2011. [Citado el: 14 de enero de 2013.] [maps.google.es/help/maps/getmaps/advanced.html](http://maps.google.es/help/maps/getmaps/advanced.html).

**Group, Points of Interest Working. 2012.** Points of Interest Working Group Main Page. [En línea] 1 de Noviembre de 2012. [Citado el: 2013 de enero de 12.] [http://www.w3.org/2010/POI/wiki/Main\\_Page](http://www.w3.org/2010/POI/wiki/Main_Page).

**Guerra, Sheyla Delgado. 2013.** Móviles con Android podrán acceder a EcuRed. *Diario Granma*. [En línea] COMITÉ CENTRAL DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA, 27 de marzo de 2013. [Citado el: 12 de mayo de 2013.] <http://www.granma.cubaweb.cu/2013/03/27/nacional/artic08.html>.

**Guimeras, Noel García. 2010.** *BLUEEYE. UNA PLATAFORMA PARA LA GESTIÓN DE SERVICIOS DE VALOR AGREGADO PARA DISPOSITIVOS MÓVILES*. La Habana : s.n., 2010.

**Guttman, A. 1984.** *R-trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching*. s.l. : SIGMOD, 1984.

**Haibo Hu, Dik Lun Lee, and Jianliang Xu. 2006.** *Fast Nearest Neighbor Search on Road Networks*. Hong Kong : Research Grants Council, 2006.

**Harvey, Francis. 2008.** Choices in How We Make Representations. *A PRIMER OF GIS*. New York : THE GUILFORD PRESS, 2008.

**IDC Corporate USA. 2012.** *Worldwide Quarterly Tablet Tracker*. Massachusetts : IDC Corporate USA, 2012.

**IDC Corporate USA, Kevin Restivo. 2012.** IDC - Press Release. *Android and iOS Surge to New Smartphone OS Record in Second Quarter, According to IDC*. [En línea] 8 de agosto de 2012. [Citado el: 14 de enero de 2013.] <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS23638712>.

- JMPergar. 2012.** Androcode. *MapsForge: OpenStreetMap en Android 1/3* . [En línea] diciembre de 2012. [Citado el: 4 de marzo de 2013.] <http://code.google.com/p/mapsforge/>.
- . **2012.** OSMDROID – Introducción a OpenStreetMap en Android (OSM Parte I). *Androcode*. [En línea] junio de 2012. [Citado el: 4 de marzo de 2013.] <http://code.google.com/p/osmdroid/>.
- Kolahdouzan, Mohammad y Shahabi, Cyrus. 2004.** *Voronoi-Based K Nearest Neighbor Search for Spatial*. Los Angeles, : University of Southern California, 2004.
- Larman, Craig. 1999.** *UML y Patrones*. Mexico : Prentice Hall, 1999. ISBN: 970-17-0261-1.
- Lillesand, M. Tt. y Kiefer, W. R. 1997.** *Remote Sensing and Image Interpretation 3rd Edition*. s.l. : John Wiley & Sons Inc., 1997.
- MapDroyd. 2010.** MapDroyd Maps on Android - Unplugged! *Sitio Oficial de MapDroyd*. [En línea] 24 de julio de 2010. [Citado el: 14 de enero de 2013.] <http://www.mapdroyd.com/map-android-home>.
- OBE, REGINA O. y HSU, LEO S. 2011.** *PostGIS in Action*. Greenwich : Manning, 2011. ISBN: 9781935182269.
- Oficina del Historiador de la Habana. 2012.** Sistemas de Información Geográfica en ciudades patrimoniales. *Plan Maestro para la Revitalización Integral de la Habana Vieja*. [En línea] Oficina del Historiador de la Habana, 12 de Octubre de 2012. [Citado el: 20 de Febrero de 2013.] <http://www.planmaestro.ohc.cu/index.php/noticias/47-avanza-implementacion-de-sistemas-de-informacion-geografica-en-ciudades-patrimoniales>.
- Olaya, Víctor. 2010.** *Sistemas de Información Geográfica*. 2010.
- Open Geospatial Consortium. 2013.** Open Geospatial Consortium. *Sitio oficial del Open Geospatial Consortium*. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de abril de 2013.] [www.opengeospatial.org/](http://www.opengeospatial.org/).
- OpenStreetMap. 2013.** OpenStreetMap. *El WikiMapaMundi libre*. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de abril de 2013.] <http://www.openstreetmap.org/>.

**Oracle. 2012.** Oracle Spatial and Graph. [En línea] 2012. [Citado el: 4 de marzo de 2013.] <http://www.oracle.com/technetwork/database-options/spatialandgraph/overview/index.html>.

**Ortega, Lilia Rojas. 2007.** *Geografía*. 2da. México, D.F : Thomson, 2007. 9706866485 9789706866486.

**OsmAnd Team. 2012.** OsmAnd Automated Navigation Directions. [En línea] OsmAnd Team, 21 de noviembre de 2012. [Citado el: 14 de enero de 2013.] <http://osmand.net/>.

**Papadias, Dimitris , y otros. 2003.** Query Processing in Spatial Network Databases. *29th VLDB Conference*. 2003.

**Portillo García, Javier y Carretero de los Ángeles, Noelia. 2005.** Dispositivos portátiles y usabilidad. [aut. libro] Consejo Social Universidad Politécnica de Madrid. *Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información*. Madrid : Consejo Social Universidad Politécnica de Madrid, 2005.

**PostGIS. 2012.** *PostGIS 2.0.0 Manual*. 2012. SVN Revision (9605).

**Pressman, Roger. 2010.** *Ingeniería de Software: Un enfoque práctico*. New York : Mac Graw Hill, 2010. ISBN 978-0-07-337 .

**Rodríguez Gámez, María , y otros. 2010.** *Utilización de un sistema de información geográfica para realizar los estudios de impacto ambiental en la Empresa Eléctrica Provincial de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba : Cubasolar, 2010.

**Rouse, Margaret. 2010.** Search Mobile Computing. [En línea] Diciembre de 2010. [Citado el: 7 de enero de 2013.] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/location-awareness>.

—. **2007.** SearchMobileComputing. [En línea] junio de 2007. [Citado el: 12 de enero de 2013.] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/smartphone>.

—. **2007.** SearchMobileComputing-Short Message Service (SMS). [En línea] julio de 2007. [Citado el: 10 de enero de 2013.] <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/Short-Message-Service>.

**Sanet, Hanan. 1994.** *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. University of Maryland : Addison - Wesley Publications Company Inc., 1994.

**Sellis, T, Roussopoulos, N. y Faloutsos, C. 1987.** *The R+-tree: a Dynamic Index for Multi-Dimensional Objects*. s.l. : VLDB, 1987.

**SIGIS. 2012.** SIGIS Soluciones Integrales GIS. [En línea] SIGIS, 2012. [Citado el: 20 de Febrero de 2013.] [http://www.sigis.com.ve/index.php?view=article&catid=58%3Aconceptos-basicos&id=94%3Aageorreferenciacion&tmpl=component&print=1&layout=default&page=&option=com\\_content&Itemid=63](http://www.sigis.com.ve/index.php?view=article&catid=58%3Aconceptos-basicos&id=94%3Aageorreferenciacion&tmpl=component&print=1&layout=default&page=&option=com_content&Itemid=63).

**Sinton, D. F. 1978.** *The inherent structure of information as a constraint to analysis: Mapped thematic data as a case study*. s.l. : Addison-Wesley, 1978.

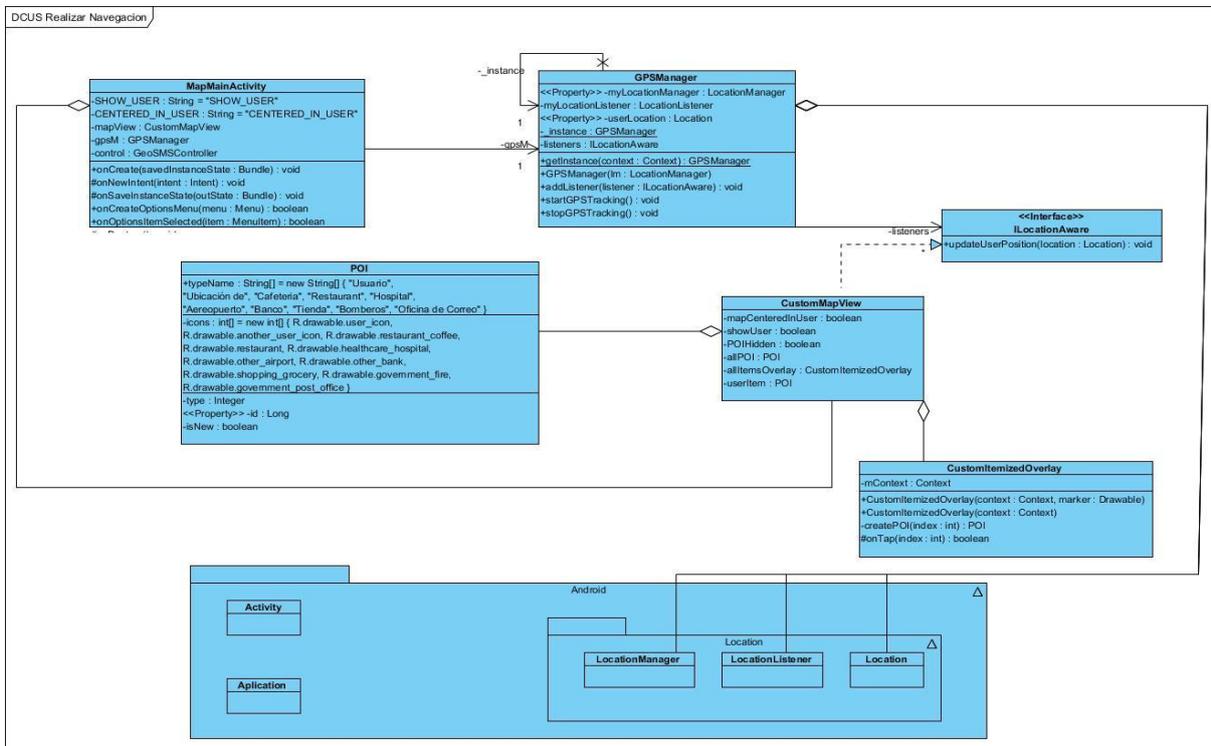
**Speičvcys, Laurynas, Jensen, Christian S. y Kligys, Augustas. 2003.** *Computational data modeling for network-constrained moving objects*. New York : GIS '03 Proceedings of the 11th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, 2003. ISBN:1-58113-730-3.

**Tagzania. 2013.** Tagzania. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de abril de 2013.] <http://www.tagzania.com/es/>.

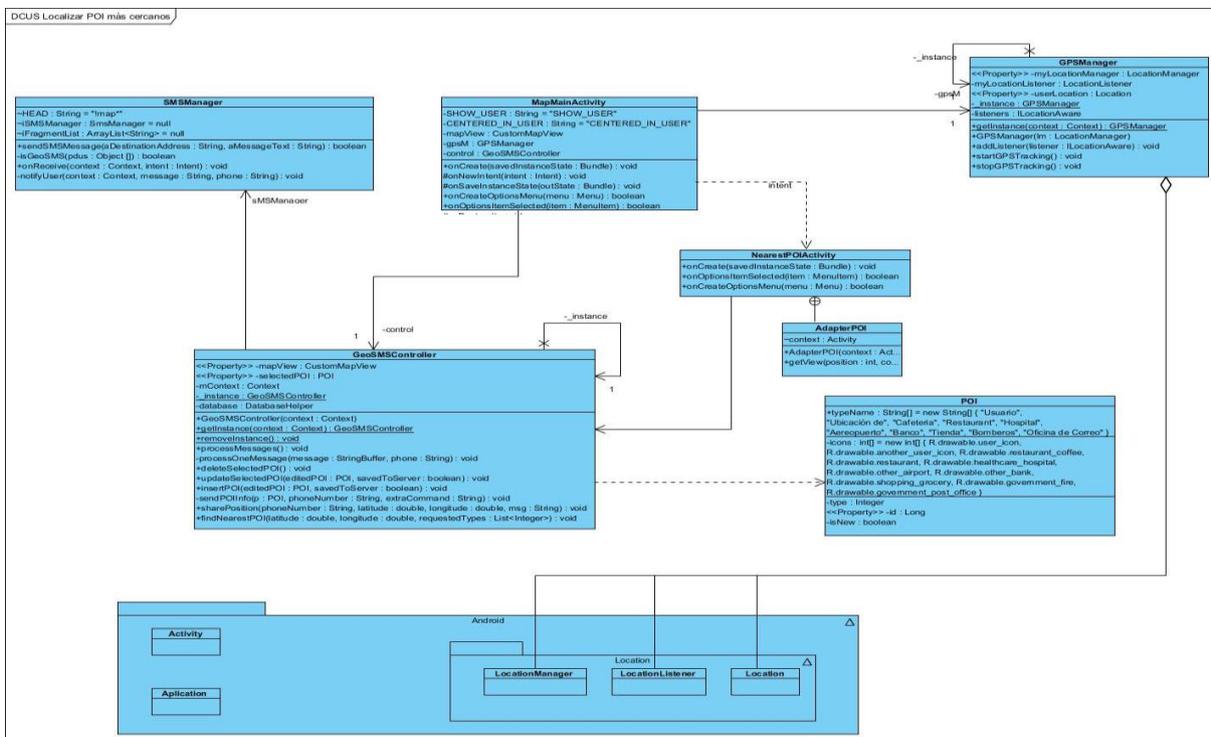
**Wayfaring. 2013.** Wayfaring. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de abril de 2013.] <http://www.wayfaring.com/>.

**Xuegang Huang, Christian S. Jensen, Simonas Šaltenis. 2006.** *The Islands Approach to Nearest Neighbor*. s.l. : DB TECH REPORTS, 2006.

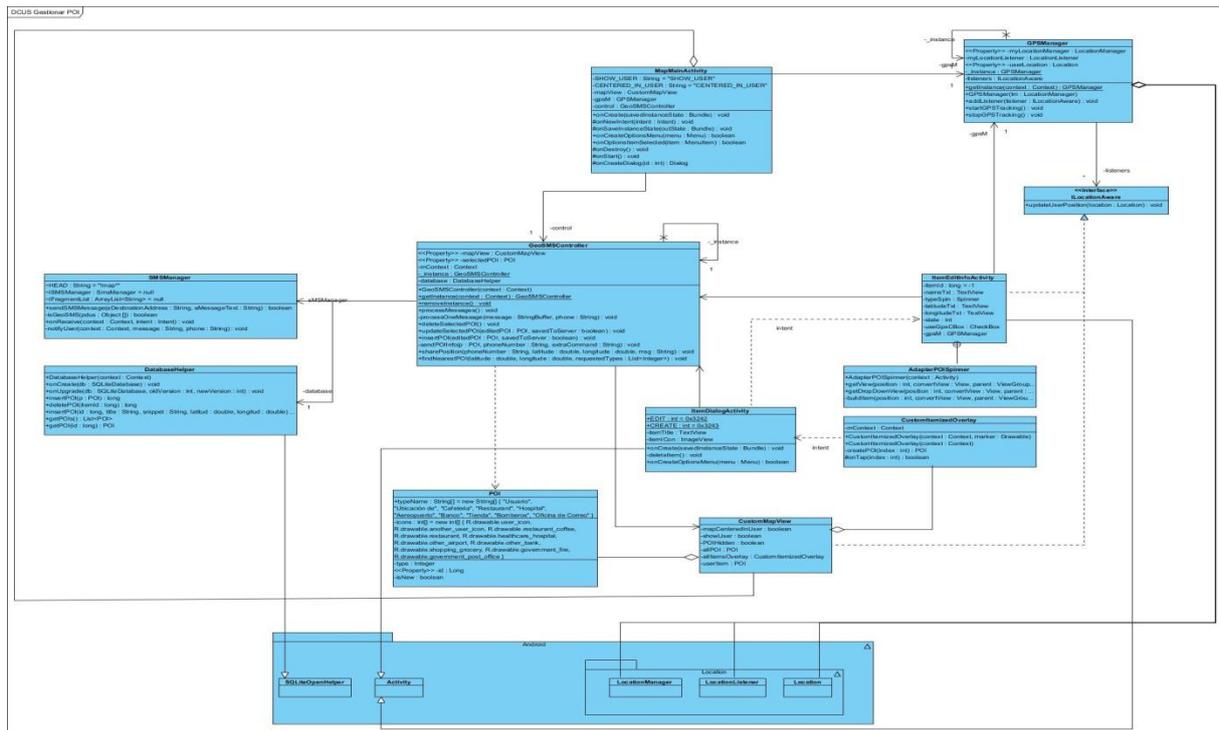
ANEXOS



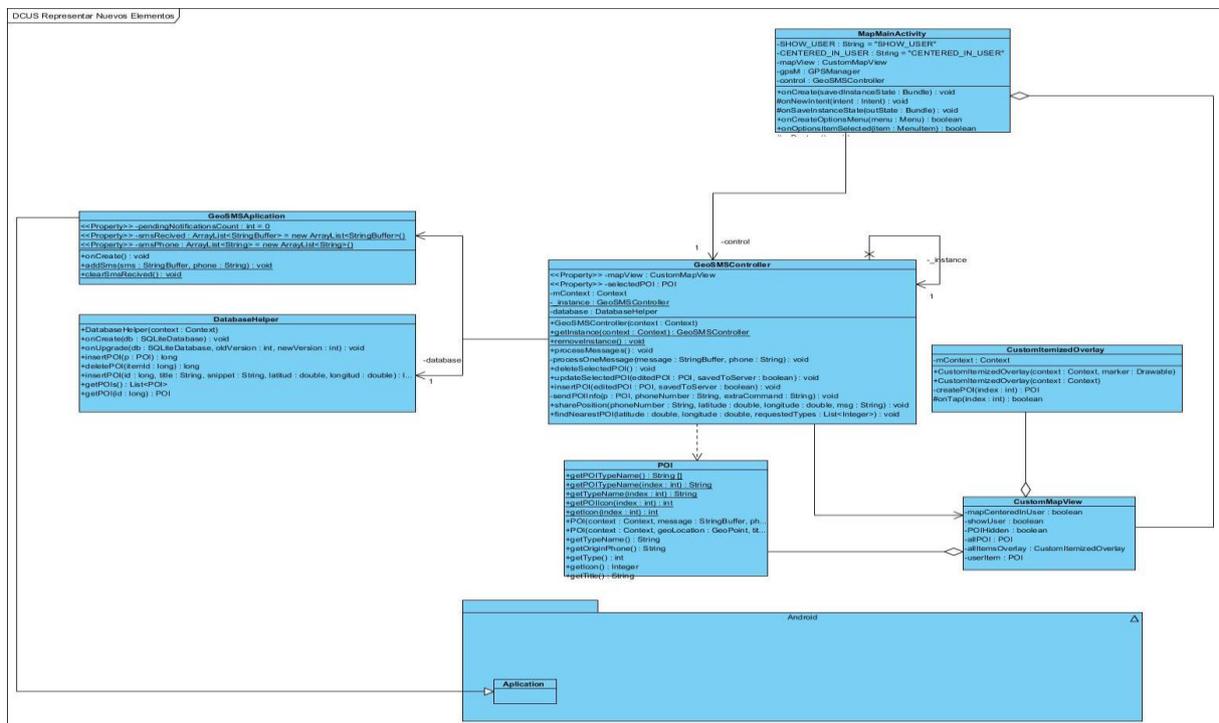
Anexo 1. Diagrama de clases del diseño: CU Realizar Navegación.



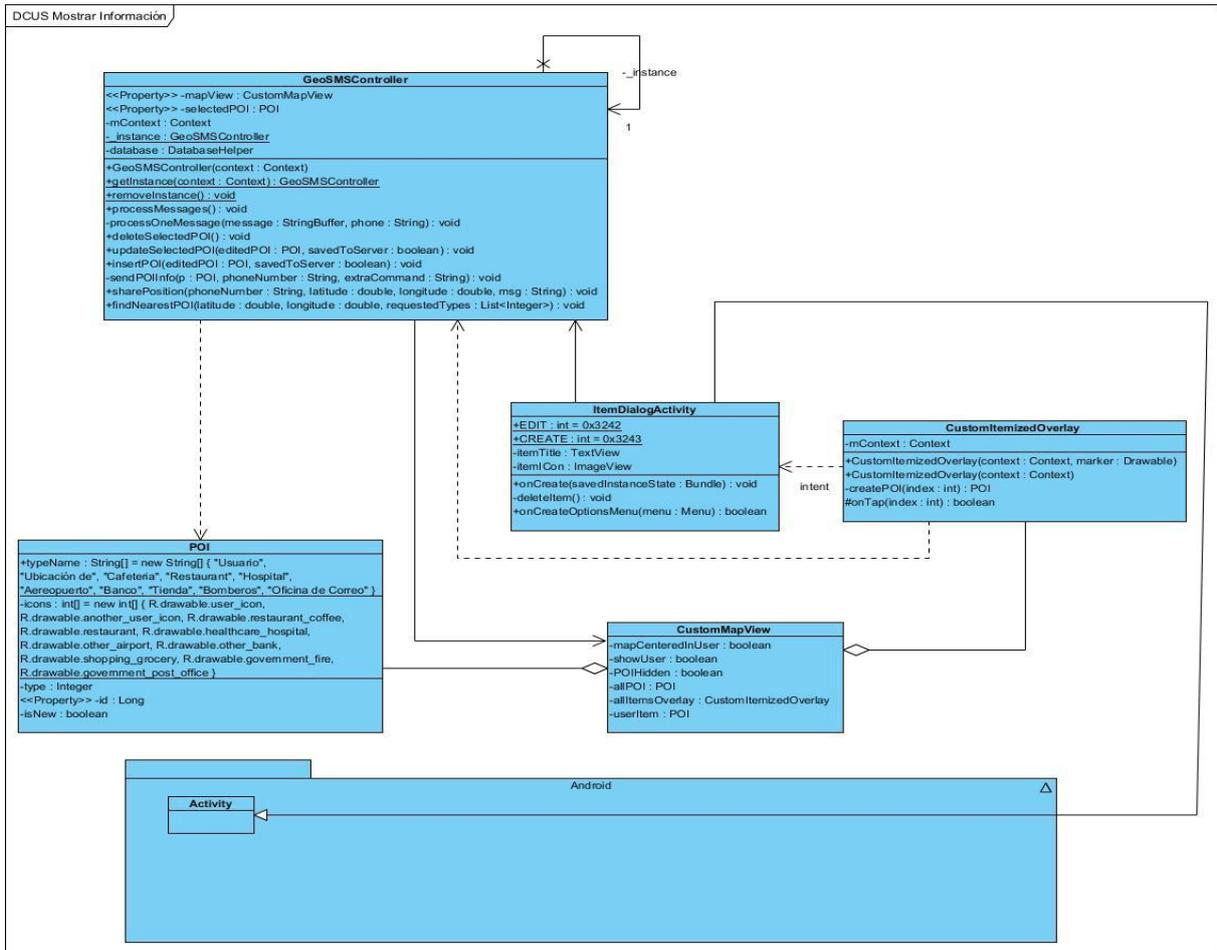
Anexo 2. Diagrama de clases del diseño: CU Localizar POI más cercanos.



Anexo 3. Diagrama de clases del diseño: CU Gestionar POI.



Anexo 4. Diagrama de clases del diseño: CU Representar Nuevos Elementos.



Anexo 5. Diagrama de clases del diseño: CU Mostrar Información

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**API:** *Application Programming Interface*. Interfaz de Programación de Aplicaciones (en español) es un conjunto de funciones que facilitan el intercambio de mensajes o datos entre dos aplicaciones.

**CASE:** Ingeniería de Software Asistida por Computadora, por sus siglas en inglés (*Computer Aided Software Engineering*), son diversas aplicaciones informáticas destinadas a aumentar la productividad en el desarrollo de software.

**Consortio OpenGIS:** (*Open GIS Consortium, OGC*). Consorcio encargado de definir los estándares a seguir por los SIG. Es un consorcio internacional formado por 256 empresas, organismos estatales y universidades, que participan en un proceso para el desarrollo de especificaciones de interfaces disponibles para el público en general.

**GPS:** Sistema de posicionamiento global.

**Internet:** Red de computadoras alrededor de todo el mundo que comparten información unas con otras por medio de páginas o sitios.

**J2EE:** *Java Platform Enterprise Edition* es una plataforma de programación basada en la plataforma Java para desarrollar y ejecutar aplicaciones empresariales con una arquitectura de n-capas distribuida, basándose en componentes de software modulares que se ejecutan sobre un servidor de aplicaciones.

**LGPLv3:** *GNU Lesser General Public License*. Tercera versión de la licencia de software LGPL, creada por la *Free Software Foundation* que pretende garantizar la libertad de compartir y modificar el software cubierto por ella, asegurando que el software es libre para todos sus usuarios.

**MicroMap:** Formato para el almacenamiento de la información geográfica.

**OdbL:** *Open Database License* licencia abierta para bases de datos.

**POI:** Punto de interés.

**RF:** Requisito Funcional.

**RLE:** *Run-Length Encoding*. Algoritmo de codificación que almacena una serie de valores idénticos como una dupla valores. El primero representa el valor del elemento y el segundo la cantidad de veces que se repite.

**RNF:** Requisito no Funcional.

**RUP:** *Rational Unified Process*, Proceso Unificado de desarrollo de software.

**SDK:** *Software Development Kit*, Conjunto de herramientas para el desarrollo de software.

**SIG:** Sistema de información geográfica.

**SMSC:** Un centro de mensajería es un elemento de la red de telefonía móvil que cumple la función de recibir los mensajes desde los usuarios emisores y enviarlos a los usuarios destinos.

**SPT:** *Shortest Path Tree*. Árbol de caminos mínimos. Estructura de datos.

**TAP:** Denominación del Clic en los dispositivos táctiles.

**TCP/IP:** *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* protocolo de comunicación en el que está basado Internet.

**Topónimos:** Nombre propio de un lugar.

**W3C:** *World Wide Web Consortium*. Consorcio internacional que produce recomendaciones para la Web.

**WAP:** *Wireless Access Protocol* Protocolo de acceso inalámbrico.

**WGS-84:** Sistema de coordenadas geográficas que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de *World Geodetic System 84* que significa Sistema Geodésico Mundial 1984.