

TESIS DEFENDIDA POR
Orlando Barrera Juárez
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. Jorge Torres Rodríguez
Director del Comité

Dra. Ana Isabel Martínez García
Miembro del Comité

M.C. Raúl Tamayo Fernández
Miembro del Comité

Dr. Hugo Homero Hidalgo Silva
*Coordinador del programa de posgrado
en Ciencias de la Computación*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

25 de Marzo de 2011.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MÓVIL BASADO
EN COMUNICACIONES INALÁMBRICAS Y VISUALIZACIÓN
DE MAPAS EN INTERNET**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

ORLANDO BARRERA JUÁREZ

Ensenada, Baja California, México, 25 de Marzo de 2011.

RESUMEN de la tesis de **Orlando Barrera Juárez**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** en **Ciencias de la Computación**. Ensenada, Baja California, Marzo de 2011.

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MÓVIL BASADO EN
COMUNICACIONES INALÁMBRICAS Y VISUALIZACIÓN DE MAPAS EN
INTERNET.**

Resumen aprobado por:

Jorge Torres Rodríguez
Director de Tesis

La colecta de información en campo es una de las actividades más demandantes en tiempo y esfuerzo, así como en la asignación de recursos económicos y humanos. La colecta de datos en campo es parte fundamental en el desarrollo de proyectos relacionados con una amplia variedad de disciplinas, que van desde recreativas y comerciales, hasta científicas y militares. La mayoría de los métodos utilizados actualmente para realizar trabajo de campo son analógicos y obsoletos, y constituyen además una brecha tecnológica al tratar de integrarse con las herramientas utilizadas para el procesamiento de los datos a través del flujo de trabajo.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) móviles son una extensión de los SIG en la Web, y son utilizados como apoyo en aplicaciones directamente en el campo. Los SIG Móviles (SIGM) han cobrado especial importancia dentro del ámbito de la Geomática debido a los buenos resultados que han mostrado al permitir la colecta de información geográfica con mayor facilidad y precisión que los métodos analógicos tradicionales.

En este trabajo se presenta el desarrollo de una herramienta SIGM basada en dispositivos de cómputo móvil, tales como PDAs o Smartphones, la cual permite adquirir, editar, almacenar y visualizar información geográficamente referenciada. Además se considera la comunicación con un servidor web que permite compartir, administrar y visualizar información geográfica en un ambiente a nivel de Intranet y/o Internet. Por medio de este canal de comunicación es posible el envío de datos geoespaciales desde el dispositivo móvil, donde se ejecuta la herramienta, hacia una base de datos en el servidor, en el cual un cliente usuario puede hacer consultas a bases de datos actualizadas mediante el uso de una herramienta de visualización.

Para el desarrollo de este trabajo se consideraron aspectos técnicos tales como las tecnologías de comunicaciones inalámbricas para dispositivos móviles y la compatibilidad con estándares académicos y comerciales. Además de aspectos económicos como la disponibilidad de cartografía digital actualizada y los altos costos asociados a licencias de software comerciales. Con base en un escenario de uso real, se llevó a cabo un experimento de evaluación con el fin de conocer factores de usabilidad del sistema desarrollado. Para ello se siguieron metodologías de investigación en interacción humano-

computadora, obteniendo resultados favorables en la validación del sistema por parte de los usuarios.

Palabras clave: Geomática, SIG móvil, SIG distribuido, Cómputo móvil, Tecnologías de la Información.

ABSTRACT of the thesis presented by **Orlando Barrera Juárez** as a partial requirement to obtain the MASTER SCIENCE degree in COMPUTER SCIENCE. Ensenada, Baja California, México, March 2011.

MOBILE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM BASED ON WIRELESS COMMUNICATIONS AND MAP VISUALIZATION OVER THE INTERNET

Field data collection is a highly demanding activity in time and effort, as well as in human and economical resources. Field data collection plays a fundamental role in projects related to a wide variety of disciplines, ranging from recreational and commercial affairs to scientific and military applications. Most methods used nowadays for field working activities are analogical and obsolete, and represents a technological breach when they are integrated with the digital data processing tools used throughout the work flow.

Geographic Information Systems (GIS) in mobile environments are considered a Web GIS extension, and are applied as a problem solution support directly in the field. Mobile GIS (MGIS) have gained great importance in the realm of Geomatics world due to the good results shown in gathering geospatial information with a higher level of precision and easiness of use than traditional analogical methods.

In this work, the development of a MGIS system based on mobile devices, such as PDA's and smartphones is presented. This tool allows the acquisition, edition, storage and visualization of geographically referenced data. Additionally, communications with a web server is provided, then geospatial data sharing, administration and visualization is possible through an Intranet/Internet environment. By using this communications channel it is possible to send geospatial data from the mobile device, hosting the MGIS tool, to a database in the server, meanwhile a web client user is allowed to query the database through a visualization tool hosted in the same server.

Technical issues, such as the different technologies of wireless communications available for mobile devices, and the compatibility of geospatial data with academic and commercial standards were considered for the development of this work. In addition, economical issues such as the availability of updated digital cartography and the high fees for commercial GIS software licenses were also considered. Based in a real scenario, an evaluation experiment to assess the usability of the software was performed. Human-computer interaction research methodologies were applied in order to validate the system, obtaining satisfactory results from end-users.

Keywords: Geomatics, Mobile GIS, Distributed GIS, Mobile computing, Geotechnologies.

Dedicatorias

A mis padres,
por darme vida, enseñanzas y apoyo hoy y siempre.

A mis hermanos,
por compartir vida y crecimiento conmigo.

A mis amigos y familiares,
por los buenos momentos vividos y los que están por venir.

Agradecimientos

Al Dr. Jorge Torres,
por sus enseñanzas y dirección en este trabajo.

A los miembros de mi comité
Dr. Ana Martínez
MC Raúl Tamayo
por sus consejos, comentarios y apoyo brindado a mi trabajo.

A mis compañeros de generación, investigadores y personal del departamento.

Al personal de Telemática de CICESE,
por su apoyo técnico en la realización de este trabajo.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada,
por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,
por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
Resumen en español	i
Resumen en inglés	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Contenido	vi
Lista de figuras	x
Lista de tablas	xiv
Capítulo I. Introducción	1
I.1. Antecedentes y justificación.....	1
I.2. Problemática.....	4
I.3. Objetivo general.....	6
I.4. Objetivos específicos.....	6
I.6. Estructura de la tesis.....	7
Capítulo II. Los Sistemas de Información Geográfica y su Evolución hacia el SIG Móvil	9
II.1. Antecedentes e importancia de los Sistemas de Información Geográfica.....	9
II.2. Sistemas de Información Geográfica.....	10
II.3. Introducción del SIG al Internet (WebGIS).....	11
II.3.1. Arquitectura de un WebGIS.....	12
II.4. Evolución del WebGIS al SIG móvil.....	13
II.4.1. Arquitectura de un SIGM.....	15
II.4.2. Arquitecturas cliente-servidor delgadas y gruesas.....	16
II.4.3. Tecnologías inalámbricas en SIGM.....	16
II.4. Resumen.....	18
Capítulo III. Los Sistemas de Información Geográfica Móvil: Elementos, aplicaciones, restricciones y otros aspectos.	19
III.1 SIGM.....	19

CONTENIDO (continuación)

	Página
III.2 Elementos, funcionalidad y limitaciones de los SIGM	21
III.3 Aplicaciones del SIGM.....	26
III.4 Uso de SIGM en actividades de trabajo en campo	27
III.5 Datums y coordenadas en SIGM	33
III.5.1 Datums	34
III.5.2 Sistemas de coordenadas	38
III.6 El rol del GPS en el SIGM	40
III.7. Resumen	42
Capítulo IV. Diseño del Sistema Propuesto.....	43
IV.1 Análisis de los datos geográficos	43
IV.1.1 Información vectorial	44
IV.1.2 Información raster.....	45
IV.2 Descripción general del funcionamiento y los módulos del sistema.....	48
IV.3 Requerimientos del sistema.....	50
IV.3.1 Requerimientos para C_MobileGIS	50
IV.3.2 Requerimientos para el Visualizador Web	52
IV.3.3 Otros requerimientos	53
IV.4 Diseño de los componentes utilizando UML	53
IV.2.1. Diseño de C_MobileGIS	55
IV.2.2 Diseño del Visualizador Web	60
IV.4. Resumen	63
Capítulo V. Implementación del sistema propuesto	64
V.1 Arquitectura del sistema	64
V.2 Implementación del sistema.....	68
V.2.1 Implementación de C_MobileGIS	69
V.2.1.1 Componente de visualización	70
V.2.1.2 Componente lector de GPS.....	72
V.2.1.3 Componente administrador de capas	75

CONTENIDO (continuación)

	Página
V.2.1.4 Componente administrador de archivos.....	76
V.2.1.4 Componente administrador de transferencias.....	78
V.2.2 Implementación del Visualizador Web.....	81
V.2.2.1 Seguridad del sistema	82
V.2.2.2 Componente de visualización	84
V.2.2.4 Componente de base de datos	88
V.2.2 Implementación de C_RouterGIS.....	90
V.3 Servidor Geoweb	91
V.4 Escenario de uso del sistema	92
V.5. Resumen.....	95
Capítulo VI. Evaluación del sistema	96
VI.1 Metodología de evaluación.....	96
VI.2 Definición del problema de evaluación	97
VI.3 Diseño del experimento	98
VI.3.1 Preguntas de investigación	98
VI.3.2 Factores a evaluar	98
VI.3.3 Descripción de los participantes	99
VI.3.4 Características del escenario.....	99
VI.3.5 Actividades del experimento	99
VI.4. Análisis de resultados	101
VI.4.1 Análisis mediante teoría fundamentada.....	101
VI.4.2 Análisis mediante el modelo TAM.....	107
VI.4 Resumen	110
Capítulo VII. Conclusiones	111
VII.1 Conclusiones	111
VII.2 Aportaciones	113
VII.3 Limitaciones.....	113
VII.4 Trabajo a futuro.....	114
Referencias	115

CONTENIDO (continuación)

	Página
Apéndice A. Casos de Uso	118
A.1. Casos de Uso para C_MobileGIS	118
A.2. Casos de Uso para el Visualizador Web	120
Apéndice B. Diagramas de Secuencia	122
B.1. Diagramas de Secuencia para C_MobileGIS	122
B.2. Diagramas de Secuencia para el Visualizador Web.....	129
Apéndice C. Instrumentos de Captura	136
C.1. Encuesta de Entrada	136
C.2. Entrevista de Salida.....	137
C.3. Cuestionario sobre Utilidad	138
C.4. Cuestionario sobre facilidad de Uso	139

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
Figura 1. Arquitectura Típica de un WebGIS.....	13
Figura 2. Entorno de trabajo de un Sistema de Información Geográfica Móvil.....	14
Figura 3. Ejemplo de un de Servicio Basado en Localización. Se trata del sistema de navegación para peatones/ciclistas TomTom ejecutándose en un teléfono celular. Se muestran algunas de sus interfaces gráficas.	20
Figura 4. Infraestructura básica de un Servicio Basado en Localización.	22
Figura 5. Interfaz de MapXtend.....	30
Figura 6. El sistema ArcPad de la compañía ESRI.....	31
Figura 7. Relación entre la esfera, el esferoide y el geoide.	35
Figura 8. Definición de un <i>datum</i> global mediante WGS84.....	37
Figura 9. Definición de un conjunto de coordenadas esféricas.	38
Figura 10. Definición de un conjunto de coordenadas cartográficas.....	39
Figura 11. La constelación del Sistema de Posicionamiento Global.....	41
Figura 12. Representación de objetos geográficos en formato vectorial.	44
Figura 13. Representación de la información en formato raster. Se observa que una imagen consiste en una malla de pixeles donde cada pixel contiene un valor característico.	46
Figura 14. Esquema arquitectónico de alto nivel.....	49
Figura 15. Ejemplo de un Diagrama de Casos de Uso.	54
Figura 16. Ejemplo de un Diagrama de Clases.....	55
Figura 17. Diagrama de Casos de Uso para C_MobileGIS.	56
Figura 18. Diagrama de Clases de C_MobileGIS.....	59
Figura 19. Diagrama de Casos de Uso para el Visualizador Web.....	60
Figura 20. Diagrama de Clases del Visualizador Web.	62
Figura 21. Arquitectura del Sistema Propuesto.	65
Figura 22. Ejemplo de un Diagrama de Secuencia.	68
Figura 23. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Visualizar Información Geoespacial.....	71

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
Figura 24. Visualización y Navegación en Datos Raster. a) utilizando alejamiento, b) vista normal, c) utilizando acercamiento.....	72
Figura 25. Visualización de datos vectoriales en diferentes formas. a) visualizando puntos, b) visualizando polígonos, c) visualizando líneas.	72
Figura 26. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Capturar Información Geoespacial.	74
Figura 27. Visualización y captura de datos vectoriales mediante coordenadas obtenidas del GPS.	75
Figura 28. Manejo y administración de datos por medio de capas temáticas.....	76
Figura 29. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Almacenar Información Geoespacial.....	77
Figura 30. Estructura de archivo cmg con objetos vectoriales de tipo Punto con coordenadas definidas para el <i>datum</i> WGS84.	78
Figura 31. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Transferir Información Geoespacial: Internet.....	79
Figura 32. Transferencia de datos mediante un enlace directo a Internet.....	80
Figura 33. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Transferir Información Geoespacial: bluetooth/SMS.....	81
Figura 34. Proceso de solicitud y entrega de un applet certificado digitalmente.	83
Figura 35. Cuadro de dialogo para verificar el autor y ejecución del applet.	84
Figura 36. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Visualizar Información Geoespacial.....	85
Figura 37. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Seleccionar Imagen de Visualización	86
Figura 38. Visualizador Web desplegando una imagen raster.....	87
Figura 39. Visualizador Web desplegando iconos representativos para la capa de hidrantes de acuerdo al caso de uso seleccionado.	88

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
Figura 40. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Consultar Información Geoespacial.....	89
Figura 41. Visualizador Web desplegando las capas de Hidrantes, Negocios, Salud y Monumentos.	89
Figura 42. Forma de captura diseñada para la colecta de hidrantes y sus características.....	93
Figura 43. Etapa de colecta de datos mediante el uso de C_MobileGIS.	94
Figura 44. Etapa de consulta de información mediante el Visualizador Web.	95
Figura 45. Pasos a seguir en la metodología de evaluación.....	96
Figura 46. Teoría fundamentada comparada con la investigación experimental (Glasser y Struass, 1967).....	102
Figura 47. El modelo de aceptación de la tecnología (Davis, 1989).	107
Figura 48. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Agregar Capa de Información.....	123
Figura 49. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Aplicar Zoom.	124
Figura 50. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Lectura de GPS.	125
Figura 51. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Editar Información Geoespacial.	126
Figura 52. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Agregar Información Geoespacial.	127
Figura 53. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Eliminar Información Geoespacial.	128
Figura 54. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Configurar GPS.....	128

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
Figura 55. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Configurar Enlace de Transmisión.	129
Figura 56. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Visualizar Información Geoespacial.	130
Figura 57. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Consultar Información Geoespacial.	131
Figura 58. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Iniciar Sesión.	132
Figura 59. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Seleccionar Información Geoespacial.	132
Figura 60. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Aplicar Zoom.	133
Figura 61. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Editar Información Geoespacial.	134
Figura 62. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Eliminar Información Geoespacial.	135

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla</i>	<i>Página</i>
Tabla I. Diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica (Quinn et al, 2005).....	17
Tabla II. Comparación de las características entre ArcPad, TerraSync y el sistema propuesto.....	32
Tabla III. <i>Datums</i> globales más utilizados y sus parámetros (Iiffe, 2000).	36
Tabla IV. Requerimientos para C_MobileGIS.	51
Tabla V. Requerimientos para el Visualizador Web.	52
Tabla VI. Otros Requerimientos.....	53
Tabla VII. Características de los participantes según la encuesta aplicada.	99
Tabla VIII. Desarrollo de conceptos a partir de la codificación de una de las preguntas aplicadas a los participantes.....	103
Tabla IX. Filtrado de la lista inicial de conceptos para la obtención de la lista final.	103
Tabla X. Identificación de categorías, propiedades y dimensiones.	104
Tabla XI. Formulación de teoría mediante las afirmaciones predictivas.....	105
Tabla XII. Resultados obtenidos del cuestionario para medir Utilidad del sistema.	108
Tabla XIII. Resultados obtenidos del cuestionario para medir Facilidad de uso del sistema.	109

Capítulo I

Introducción

I.1. Antecedentes y justificación

Un Sistema de Información Geográfica (SIG, ó GIS por sus siglas en inglés) es una colección de herramientas de hardware y software. Son sistemas que permiten la captura, administración, visualización y análisis de información geográficamente referenciada (georreferenciada). Los SIG representan una parte sustancial de la geomática y de las tecnologías de información geoespacial.

Los avances obtenidos en distintas áreas de la geomática han contribuido a un aumento exponencial en la cantidad de información geográfica que actualmente está siendo generada ó producida. Debido a esto, la demanda en la generación y utilización de herramientas y sistemas que puedan explotar de la mejor manera la utilidad que se le puede dar a este tipo de información ha ido en constante aumento. Por consecuencia de lo anterior, hoy en día podemos encontrar a los SIG como herramientas de trabajo rutinario en muchos departamentos y laboratorios de dependencias, tanto públicas como privadas.

Empresas privadas como la Environmental Systems Research Institute (ESRI¹, por sus siglas en inglés) ó Trimble² están constantemente desarrollando diferentes tipos de tecnologías geoespaciales y herramientas SIG para su utilización en diversos tipos de usos ó casos de aplicación. Además existen también instituciones de gobierno, como es el caso del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), las cuales se dedican a la generación de diferentes tipos de información geográfica como estándar de referencia en todo el País. Por otra parte, instituciones de distinto nivel profesional y académico, así como dependencias de gobierno, hacen uso de los productos (herramientas de software e

¹ <http://www.esri.com/>

² <http://www.trimble.com/>

información) generados por estas organizaciones. Su uso es principalmente en actividades orientadas a las áreas de administración de recursos, tanto urbanos como ambientales. Mediante el uso de estos productos, investigadores, profesionales y personal dedicado al manejo de recursos naturales y/o demográficos, pueden hacer mejores tomas de decisiones, basándose en la información derivada de los SIG.

En la mayoría de los casos, los SIG son altamente costosos. Los precios de las licencias para la adquisición y mantenimiento de estas herramientas resultan poco accesibles para algunas organizaciones y dependencias. Esto sin tomar en consideración otro tipo de gastos asociados a la compra de una herramienta de este tipo, como puede ser la adquisición del hardware necesario, contratación de recursos humanos, capacitación especializada, datos geográficos, etc.

Los avances en los SIG y sus tendencias tecnológicas han evolucionado rápidamente durante los años recientes. Esto se debe en gran parte al surgimiento de la World Wide Web (WWW, por sus siglas en inglés) y de otras tecnologías derivadas. Hoy en día podemos darnos cuenta de la gran importancia que ha tomado el atributo de "localización" en muchos tipos de datos. En el año 2005 se lanza Google Earth, la cual ha pasado a ser uno de los SIG más importantes de los últimos tiempos. Google Earth es una herramienta consistente en una plataforma interactiva que permite el acceso y la consulta a cantidades masivas de información geoespacial de manera rápida. El lanzamiento de esta herramienta causó un gran incremento en el interés del público por las tecnologías geoespaciales y sus aplicaciones.

Los SIG nacieron como herramientas arraigadas a equipos de cómputo de escritorio, principalmente utilizados en tareas que involucran la toma de decisiones basadas en la disseminación y procesado de datos provenientes de una base de datos local. Sin embargo, su evolución ha permitido que sean introducidos en ambientes de cómputo distribuido a través de internet. Este campo es conocido como WebGIS, y hace posible la visualización y, en cierta medida, la manipulación e interacción con la información en entornos de red, ya sea a nivel Intranet o Internet (Valencia Rocha, 2008). Siguiendo esta línea de evolución, los SIG han pasado de ser sistemas autónomos en equipos de escritorio, a sistemas en entornos de red, WebGIS, y ahora, se han introducido en entornos de cómputo móvil,

donde los mapas y la información son desplegados y procesados en dispositivos móviles tales como Asistentes Digitales Personales (PDA, por sus siglas en inglés) o Smarthphones (Rajinder, 2004). Este nuevo campo recibe el nombre de Sistemas de Información Geográfica Móvil (SIGM ó MGIS, por sus siglas en inglés) y es precisamente el área medular de este trabajo de tesis.

Los SIGM se basan en la integración de diferentes tecnologías para el ofrecimiento de diferentes tipos de servicios basados en localización. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), las tecnologías de comunicaciones inalámbricas y los dispositivos móviles son los principales elementos que componen un SIGM. Mediante esta convergencia tecnológica es posible el acceso a datos geoespaciales a través del uso de dispositivos móviles directamente en el campo. Diferentes avances tecnológicos han permitido minimizar las limitaciones técnicas encontradas en los dispositivos móviles y de esta manera incrementar sus capacidades y posibilidades de desarrollo tecnológico (Vckovski, 1999). Esto ha posibilitado el manejo y visualización de datos geográficos en este tipo de dispositivos, que en adición a los incrementos en las capacidades de transmisión en redes inalámbricas, les ha permitido a este tipo de dispositivos convertirse en una parte activa de los SIG (Luimula y Kuutti, 2008). Dada esta evolución, los servicios basados en localización se han convertido en una de las áreas de mayor crecimiento en el cómputo móvil.

Con la emergencia del SIGM, están surgiendo también nuevas maneras y posibilidades para la colección, el procesado, la manipulación y la diseminación de información geoespacial. Cada vez se ven más lejanos los días en que se requería el uso y la diseminación de mapas de papel en el campo para la revisión, captura y edición de datos, pues el acceso a datos en campo es la principal función que ofrece el SIGM.

Entre las aplicaciones más relevantes de los SIGM podemos destacar las siguientes:

- Sistemas de navegación.
- Sistemas de rastreo.
- Servicios turísticos.
- Colecta de datos en campo.

Diferentes aspectos deben ser considerados en el desarrollo de tecnologías de información geoespacial y SIG en dispositivos móviles:

- Interoperabilidad de los datos: Establecimiento o utilización de formatos que faciliten la transferencia, procesado, visualización y actualización de los datos geográficos a través de diferentes plataformas o herramientas (Vckovski, 1999).
- Requerimientos de funcionalidad: Establecimiento de las funcionalidades básicas que se implementarán en el sistema para facilitar la captura y visualización de datos en campo.
- Tecnologías de comunicación: Aprovechamiento de las capacidades y medios de transmisión que proveen los dispositivos de comunicación móviles.
- Tecnologías de información: Utilización de tecnologías que sean consideradas estándar y de acceso libre para el desarrollo de herramientas SIG tanto en ambientes de Internet como ambientes móviles.
- Proyecciones geográficas y *Datums*: Establecimiento o utilización de sistemas de referencia espacial adecuados para garantizar la correcta referencia de los datos dentro de un área de estudio determinada.

I.2. Problemática

El trabajo de campo es considerado uno de los principales componentes dentro de la Geografía, ciencias ambientales, ciencias de la tierra y ciencias urbanas. Este tipo de trabajo ocupa un nicho esencial en disciplinas científicas tales como la geología, arqueología, biología, administración urbana, entre otras (Wagtendonk, 2004).

La obtención de datos que sean de interés o de utilidad para el área de trabajo o de estudio en cuestión, es una actividad más que necesaria para la propia ejecución del mismo. Investigaciones sobre trabajo de campo revelan que, aunque han cambiando los alcances, objetivos y metodologías, es común que la colección de datos se siga haciendo de la misma manera que hace 10 o 15 años, es decir, mediante el uso de papel y lápiz como los principales instrumentos de grabación. Estos métodos que durante tanto tiempo se han

empleado para esta actividad, son por demás analógicos y obsoletos, por lo que se han convertido en una limitante en el desarrollo de algunos proyectos (Wagtendonk, 2007). Además, generalmente requieren de la manipulación de otros artefactos, tales como herramientas, notas o libros de consulta, y, en escenarios donde el contexto geográfico es esencial, se requiere también el uso de cartografía impresa o cualquier otro tipo de información que sea de utilidad para la localización de objetos geográficos dentro de ese contexto geoespacial. Por otro lado, en el ambiente de oficina o laboratorio, donde la preparación y el post-procesamiento de los datos colectados son llevados a cabo, los procedimientos utilizados para ello han cambiado significativamente. Esto gracias a los avances en términos de bases de datos, sistemas expertos, SIG y otras formas de automatización.

Como consecuencia de lo anterior, se ha generado una brecha tecnológica entre la colecta y el procesado de datos geoespaciales. Es decir, el uso de computadoras, bases de datos y técnicas avanzadas de análisis de datos geográficos en la oficina o laboratorio y por contraparte, el uso de papel y lápiz como los principales instrumentos de captura de datos que sirven de entrada para estos sistemas. A pesar de que el trabajo de campo puede ser muy avanzado o sofisticado en el sentido metodológico, usualmente tienen su limitante en su integración con los procedimientos digitales, puesto que surgen una serie de pasos que consumen bastante tiempo y suelen ser altamente propensos a errores, por ejemplo: digitalización de objetivos en mapas analógicos, o la inserción y digitalización de los datos capturados a bases de datos espaciales.

Una oportunidad para superar esta brecha reside en los avances en cómputo móvil, los cuales permiten que este tipo de tecnologías puedan ser empleadas en entornos de movilidad, y así extender los métodos de trabajo asistidos por computadora al trabajo de campo.

Es claro que el potencial encontrado en los métodos asistidos por computadora en el flujo completo de los datos, desde que son capturados en el campo hasta que llegan a la base de datos de la oficina para su procesamiento, puede ser enorme. En este sentido, las principales ventajas encontradas podrían ser:

- Reducción de errores de transcripción, mediante la eliminación total o parcial de la necesidad de traducción de datos analógicos a datos digitales.
- Formas de entrada uniformes y automatizadas, con la posibilidad de incluir medidas de validación (Nykänen, 2002).
- Incremento en la precisión espacial de los datos capturados.
- Homogeneidad en los datos capturados.
- Posibilidades de comunicación e intercambio de datos y retroalimentación por parte de los especialistas en la oficina o laboratorio.
- Entre otras ventajas.

I.3. Objetivo general

El objetivo general de este proyecto de tesis es: diseñar, desarrollar e implementar un Sistema de Información Geográfica Móvil para el apoyo en actividades de trabajo de campo desde la colecta de datos, hasta su visualización como apoyo en un sistema de visualización.

I.4. Objetivos específicos

Se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Analizar diferentes herramientas y tecnologías para el manejo de información geoespacial.
- Generar las bases de datos espaciales necesarias para realizar las pruebas y evaluación del sistema.
- Definir los estándares y herramientas que serán utilizados para la implementación del sistema.
- Diseñar y desarrollar el sistema de captura para el dispositivo móvil con base en un análisis de requerimientos.
- Diseñar y desarrollar una herramienta de apoyo que permita la visualización de datos geoespaciales en un entorno de red a nivel de Intranet/Internet.

- Implementar diferentes enlaces de comunicación entre el móvil y el servidor mediante la utilización de diferentes tecnologías de comunicación inalámbricas.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema mediante sesiones de trabajo de campo.
- Diseñar y ejecutar el experimento para evaluar la utilidad y facilidad de uso del sistema propuesto dentro de un escenarios real.

I.6. Estructura de la tesis

El contenido de este trabajo de tesis está distribuido en siete capítulos estructurados de la siguiente manera:

- Capítulo 2: Se presentan conceptos fundamentales que describen a la Geomática y las áreas que la conforman, introducción de conceptos propios de los SIG y como se ha llevado a cabo la evolución hacia el SIG en Web y posteriormente a SIG Móvil.
- Capítulo 3: Se detalla a mayor precisión lo que es el SIG Móvil, sus elementos principales, áreas y escenarios de aplicación, restricciones y funcionalidades, así como aspectos teóricos de importancia para su aplicación en actividades de trabajo de campo.
- Capítulo 4: Se hace una descripción de los tipos y formatos de datos geográficos para su uso en SIG. Se presenta el análisis y especificación de los requerimientos que serán utilizados para el diseño e implementación del sistema. Se muestran los aspectos relacionados al diseño del sistema. El sistema fue modelado en base a los conceptos y diagramas del Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés).
- Capítulo 5: Se presentan la implementación de los componentes del sistema, la funcionalidad básica desarrollada y la integración de los componentes que lo

conforman. Se muestra el escenario de uso donde se aplicaron las pruebas de funcionalidad y la evaluación del sistema

- Capítulo 6: Se describen los aspectos y metodologías de importancia en aplicados en el proceso de evaluación del sistema, con base en el escenarios de uso seleccionado.
- Capítulo 7: Se presentan las conclusiones finales de este trabajo de tesis, sus aportaciones, sus limitaciones y trabajo a futuro.

Capítulo II

Los Sistemas de Información Geográfica y su Evolución hacia el SIG

Móvil

II.1. Antecedentes e importancia de los Sistemas de Información Geográfica

El conocimiento del entorno en el que vivimos y la administración de los recursos que en éste se encuentran disponibles, ha sido siempre una constante preocupación para los seres humanos que lo administran y lo habitan. Este entorno es dinámico, es decir, está cambiando constantemente. Estos cambios pueden ser producto de la influencia de las acciones humanas, o bien, causados por influencia de la naturaleza. Por estas razones resulta necesario mantener actualizada la información y el conocimiento del contexto geográfico en que se habita, implicando el control sobre este entorno para así poder obtener el mejor provecho del mismo.

Hoy en día existe una tendencia creciente hacia el uso y explotación de los recursos para la generación de productos y servicios. Estos recursos no son infinitos, sino todo lo contrario. Por ello, es necesario y muy importante administrarlos adecuada y conscientemente. El contar con información geográfica actualizada, homogénea y precisa es de vital importancia para la toma de decisiones en las que se involucra el uso y manejo de los recursos disponibles en nuestro entorno. Estas decisiones deben ser adecuadas en términos del bienestar de los sectores sociales y zonas ambientales que pueden ser directamente afectados. La población mundial y las zonas habitadas son cada vez mayores. Por ello la toma de decisiones y manejo de recursos se vuelve más compleja, pues son mayores los factores y sectores sociales que se verán afectados. De tal manera que hoy en día resulta altamente importante la utilización de metodologías, tecnologías y herramientas

para la obtención y administración de cualquier tipo de información de carácter espacial acerca del entorno en el que se desenvuelve el ser humano.

Se define a la geomática como la ciencia que estudia la estructura y las propiedades de la información geoespacial, los métodos para su captura, su clasificación, su definición dentro de un contexto espacial, así como su representación y la infraestructura para su aplicación. La geomática engloba un conjunto de requerimientos para la generación y el procesado de la información geoespacial utilizados actualmente.

La geomática está conformada por diferentes áreas, dentro de las cuales podemos destacar las siguientes:

- Percepción remota: Se dedica a la obtención de información geográfica mediante el uso de tecnologías o instrumentos a bordo de plataformas aéreas y espaciales, es decir, sin mantener contacto directo con el terreno o las fuentes de información.
- Geodesia: Se dedica al estudio y la generación de modelos que representen lo más fielmente posible la forma del geoide y el relieve de la superficie del planeta Tierra, o bien, de alguna región en particular.
- Fotogrametría: Se dedica a la extracción de información métrica de objetos ó toposformas en la superficie terrestre, a partir de imágenes satelitales o de fotografía aérea.
- SIG: Herramientas de software y hardware para la captura, administración y manejo de diferentes tipos de información geográficamente referenciada.

II.2. Sistemas de Información Geográfica

Un SIG es una tecnología de la información que consiste en un conjunto de herramientas de hardware, software y datos geográficos utilizados para la adquisición, visualización, almacenamiento y administración de diversas formas de información geográficamente referenciada (Tang, 2005). Los SIG constituyen herramientas de soporte en la toma de decisiones que permiten la integración de información georreferenciada dentro de un entorno espacial determinado, y sirven para la solución de problemas relacionadas con la

administración de recursos urbanos y naturales, entre otros campos de aplicación (Cowen, 1988).

El origen conceptual de los SIG data desde hace siglos. Aunque en aquellos tiempos no eran definidos formalmente como SIG, desde el momento que se empleaban para coleccionar, procesar y almacenar datos a partir de mapas preparados especialmente para esa labor, es que se puede considerar como un SIG. Los SIG como tecnología de la información comenzaron entre los años 50's y 60's, y han sido introducidos en distintas aplicaciones tales como: cartografía, planeación urbana, administración ambiental, clasificación de suelos, entre muchas otras. Su uso se generalizó en los años 80's como resultado del impacto en el uso de computadoras personales. Gracias a ello los SIG pudieron expandirse más allá de dependencias de gobierno, e introducirse en ámbitos profesionales, académicos y/o personales. Su desarrollo, utilidad y popularidad les ha permitido evolucionar hacia entornos de Internet y posteriormente hacia entornos con movilidad.

II.3. Introducción del SIG al Internet (WebGIS)

La Internet es conocida como la red de redes, puesto que se trata de una red de telecomunicaciones a nivel mundial (Peng y Tsou, 2003). El incremento en la popularidad del Internet, desde la simple navegación, el comercio-electrónico y las distintas formas de interacción social, lo han llevado a formar una parte integral de la sociedad actual. Su acceso casi ubicuo y su contenido interactivo lo han convertido en un medio muy poderoso para el acceso, procesado e intercambio de información de distintos tipos dentro de diferentes contextos. Muchas aplicaciones de diferentes tipos han experimentado cambios para adaptarse al Internet (Plewe, 1997). De tal forma, el Internet también ha cambiado la forma de acceder, procesar e intercambiar información geográficamente referenciada. La demanda en el acceso a datos geográficos necesitaba la integración de tecnologías de Internet y SIG, dando nacimiento al SIG en Internet ó WebGIS. El WebGIS puede describirse como el marco de trabajo del SIG en la red, el cual hace uso de tecnologías de Internet para acceder a datos geográficos y herramientas de procesamiento geoespacial. En

la actualidad es posible encontrar una amplia variedad de sistemas WebGIS disponibles en la red. La funcionalidad que implementan estos sistemas es variable, es decir, podemos encontrar sistemas enfocados a una aplicación muy particular, y dependiendo de esto varía también el grado de interacción y manipulación de los datos que puede tener el usuario.

Existe una gran cantidad de trabajo realizado en esta área de los SIG. Valencia (2008) presenta el desarrollo de un WebGIS para el análisis y visualización de información geográfica en ambientes distribuidos. Este sistema permite la visualización de diferentes tipos de información geoespacial, creación de mapas, análisis de datos y visualización en 3D mediante el uso de modelos de elevación digitales.

Existen otros trabajos de características similares tanto en el ámbito comercial como en el de software libre, entre los que se pueden mencionar:

- iMapper (Hamilton, 2010): Una extensión gratuita de ArcView que permite a los usuarios el despliegue de mapas y datos a otros usuarios a través la Web.
- GoogleMaps (Google, 2010): Permite el despliegue de mapas de Google y de otros datos geográficos provenientes de diferentes fuentes en sitios Web.
- Chameleon (MapTools, 2010): Es un entorno distribuido y altamente configurable para el desarrollo de aplicaciones WebGIS. Permite la incorporación de widgets configurables dentro del documento HTML donde reside la aplicación.

II.3.1. Arquitectura de un WebGIS

Los componentes en la arquitectura de un WebGIS pueden variar dependiendo principalmente de la demanda en el sistema, el área específica de aplicación y del problema que se desea resolver. Generalmente los componentes que conforman la arquitectura de un WebGIS son: el cliente, el servidor y la red de comunicaciones con sus componentes. El cliente normalmente está conformado por una computadora personal, ya sea una laptop o un equipo de escritorio que implemente una interfaz de navegación en Internet, para la solicitud, acceso y presentación de la información proveniente del servidor. Este servidor se encarga de obtener la información residente en una base de datos espacial, de acuerdo a una solicitud por parte del usuario. Posteriormente, esta solicitud es presentada al usuario. La

interacción entre el cliente y el servidor se hace posible mediante una red de comunicaciones y sus distintas formas de presentar información de acuerdo a las peticiones del usuario. Esta red puede ser alámbrica o inalámbrica, y provee la plataforma de comunicación entre el cliente y el servidor. De manera estándar, esta comunicación se efectúa mediante el uso de los protocolos TCP/IP y HTTP, que son protocolos utilizados para la solicitud de recursos residentes en algún lugar específico de una red computacional (Figura 1). Es posible la utilización de otros protocolos que provean los estándares adecuados, siempre y cuando, tanto el cliente como el servidor implementen las interfaces necesarias para su utilización.

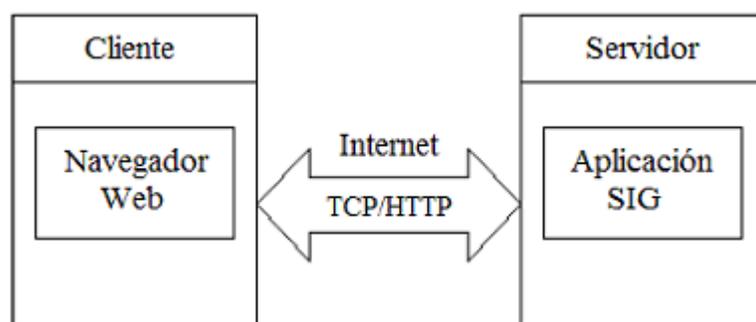


Figura 1. Arquitectura Típica de un WebGIS.

II.4. Evolución del WebGIS al SIG móvil

En la actualidad, los dispositivos móviles han superado a las computadoras de escritorio en número y están evolucionando, de ser considerados juguetes, hacia convertirse en herramientas. Bajo esta perspectiva, se logra la introducción del SIGM. Sin embargo, la finalidad de un SIGM no es la de implementar sistemas o funcionalidades de los SIG tradicionales siendo adaptados para su ejecución sobre dispositivos móviles. El propósito de SIGM es el de proveer a los usuarios información geoespacial directamente en el campo de aplicación.

Los dispositivos móviles pueden ser catalogados en dos categorías principales: PDA/Pocket PCs y Smartphones. Las laptops suelen tener características de movilidad,

tales como su capacidad de conexión inalámbrica mediante diferentes interfaces, pero éstas son mucho más parecidas a una computadora de escritorio convencional en términos de capacidad de procesamiento y almacenamiento. Por lo tanto no suelen ser considerados como dispositivos móviles, sino dispositivos portátiles. Las PDAs y Smartphones difieren drásticamente de las computadoras de escritorio y laptops en términos de sus capacidades.

El SIGM busca convertirse en una extensión del WebGIS basada en tecnologías de red y telecomunicaciones inalámbricas para el acceso a datos geográficos en campo (Fangxiong y Zhiyong, 2004). Un SIGM consiste en un entorno de hardware y software que permite el acceso a datos geográficos y servicios basados en localización, a través de dispositivos móviles vía comunicaciones inalámbricas (Figura 2).

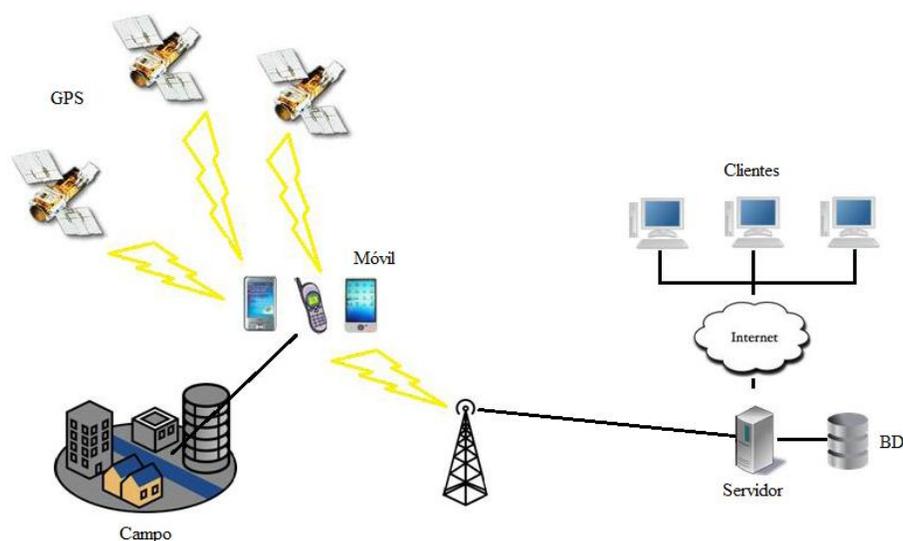


Figura 2. Entorno de trabajo de un Sistema de Información Geográfica Móvil.

Con los avances recientes y la convergencia entre el sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), Internet y las tecnologías de comunicación inalámbrica, el SIGM ha adquirido el potencial suficiente para desempeñar un papel importante en la adquisición y validación de datos en campo, así como el acceso a datos geoespaciales en tiempo real.

Al tratarse de sistemas que se ejecutan sobre dispositivos móviles, se tienen muchas más limitaciones en términos de capacidad de memoria, velocidad de procesamiento y capacidades de transmisión que los SIG de escritorio, o SIG en el Web. Debido a esto la complejidad de los procesamientos que se pueden ejecutar sobre los datos es bastante reducida, por esta razón resulta imposible portar gran parte de la funcionalidad de los SIG tradicionales en una plataforma de este tipo. Sin embargo es precisamente el factor de movilidad lo que le permite a estas herramientas satisfacer las necesidades de captura y acceso a datos geoespaciales directamente en el campo. Dejando de esta manera, que el procesamiento complejo sobre la información obtenida siga siendo responsabilidad de las herramientas SIG convencionales en computadoras de escritorio que tengan la capacidad de ejecutarlos.

II.4.1. Arquitectura de un SIGM

En esencia, la arquitectura de un SIGM no varía mucho con respecto a la de SIG en Internet o WebGIS. La excepción radica en el hecho de que la interacción se lleva a cabo mediante tecnologías de comunicación inalámbrica. Sin embargo es necesario tomar en consideración las limitantes encontradas en el cómputo móvil. En una arquitectura típica de SIGM, el cliente está representado por un dispositivo móvil, ya sea una PDA ó un Smarthphone, y posiblemente haya una herramienta SIG ejecutándose sobre este dispositivo. Esto dependerá de que la arquitectura del sistema sea gruesa o delgada, es decir, si existe una herramienta embebida en el mismo dispositivo, o en caso contrario, se trate de una herramienta accesible a través de una interfaz de navegación en Web. Otros elementos que intervienen en el lado del cliente pueden ser un receptor GPS, el cual puede estar integrado o conectado al mismo dispositivo, o bien un conjunto de interfaces de comunicación inalámbrica para la interacción con el servidor. Por otra parte, los componentes en el lado del servidor pueden ser uno o más componentes de software SIG para procesamiento de datos, una o más bases de datos espaciales y en algunos entornos se puede hacer uso de herramientas independientes que sirvan como medio de enlace entre el cliente y el servidor. Finalmente, un SIGM puede contar con un enlace de comunicación

inalámbrica que permite la interacción entre ambos extremos del sistema, ya sea para la transmisión o recepción de datos del móvil al servidor o viceversa.

II.4.2. Arquitecturas cliente-servidor delgadas y gruesas

Al hablar de arquitecturas para el desarrollo de un SIG Móvil existen dos enfoques principales: el de arquitectura delgada o el de arquitectura gruesa. La utilización de una u otra dependerá de diferentes factores, entre ellos el área de aplicación para la que esté siendo desarrollado el sistema, y por otro lado los requerimientos de los usuarios.

La arquitectura delgada resulta adecuada en situaciones donde el cliente tiene procesamiento limitado, en este enfoque las actividades y funcionalidades de procesamiento residen en el servidor. El cliente se limita a la solicitud de información y su visualización. Algunas ventajas encontradas en este enfoque son: menor ancho de banda necesario para transmisión de datos y menor capacidad de procesamiento necesaria en el dispositivo móvil cliente.

En contraparte, en la arquitectura gruesa, la aplicación SIG para procesamiento y visualización de datos se ejecuta en el dispositivo móvil. Los datos geográficos pueden ser enviados y/o solicitados al servidor. Las ventajas obtenidas en esta arquitectura son: bajo nivel de desempeño requerido en el servidor y por consiguiente, menos carga en el mismo, tiempos de respuesta menores y la posibilidad de poder atender a un mayor número de clientes al mismo tiempo.

II.4.3. Tecnologías inalámbricas en SIGM

Una de las principales capacidades que ofrecen los SIGM es la posibilidad de establecer comunicación con un servidor. Un SIGM depende de las tecnologías de comunicación inalámbrica para la realización de intercambios de información con el servidor. El entorno de comunicación (redes inalámbricas) resulta más limitado que las conexiones alámbricas utilizadas en un WebGIS. Por tal motivo, la utilización de un enlace de comunicación adecuado representa un componente esencial del SIGM. Por medio de este enlace se hace

posible la realización de transacciones de datos geoespaciales entre el dispositivo móvil y el servidor.

Los avances en términos de los dispositivos móviles que hoy en día abundan en el mercado son considerables. Tecnologías como bluetooth, infrarrojo, WAP o GSM han estado presentes en estos dispositivos desde varias generaciones atrás, mientras que en los dispositivos de generaciones más recientes ya se ofrece conectividad directa a la Internet por medio de WiFi o 3G. Está claro que las capacidades de transmisión, y por ende, las posibilidades de interacción entre unas y otras interfaces pueden incrementar o disminuir según sea el caso. Sin embargo todas pueden ser de utilidad y se pueden aprovechar bajo distintos escenarios y/o circunstancias. En la Tabla I se muestran las principales tecnologías de comunicación inalámbricas.

Tabla I. Diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica (Quinn et al, 2005)

Tecnología	Características
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de transmisión alta. • Rango de conexión corto (10m). • Bajo consumo de energía. • Permite comunicación entre dispositivos en el mismo rango de operación. • Disponible en la mayoría de dispositivos móviles.
WiFi	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa muy alta de transmisión. • Rango de conexión mediano-corto (50m). • Consumo de energía medio-bajo. • Disponible en un amplio rango de dispositivos móviles.
GSM, CDMA	<ul style="list-style-type: none"> • Redes globales. • Permiten comunicación entre dispositivos. • Consumo de energía dependiente del dispositivo. • Provee servicios de mensajería (SMS, MMS).
3G	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de transmisión alta. • Conexión a red global. • Consumo de energía medio. • Disponible en dispositivos de generaciones recientes.

II.4. Resumen

En este capítulo se presentaron aspectos generales sobre la utilización que se le está dando a los SIG en general. Se habla también de la evolución de estos sistemas al entorno del cómputo móvil, así como sus similitudes y diferencias con el WebGIS. En el siguiente capítulo se presenta un revisión mas a detalle del SIGM, sus características principales y trabajo previo existente en el campo.

Capítulo III

Los Sistemas de Información Geográfica Móvil: Elementos, aplicaciones, restricciones y otros aspectos.

En este capítulo se presenta una revisión más detallada de la arquitectura y características un SIGM. Se abordan los temas más comunes alrededor de este tipo de tecnologías. La forma en la que se produce el surgimiento de estas tecnologías, sus componentes y funcionalidades, el tipo de necesidades y requerimientos de usuario que se tratan de cubrir, las ventajas y limitaciones de estos sistemas, entre otros. Estos son aspectos esenciales en la temática de esta tesis y por tanto serán abordados en este capítulo.

III.1 SIGM

El SIG Móvil se considera una extensión del WebSIG, el cual ha sido introducido a entornos de cómputo móvil y opera en dispositivos móviles. De acuerdo con Livingston (2004), podemos considerar dispositivos móviles a aquellos dispositivos que son lo suficientemente pequeños como para tener cabida dentro de una bolsa, en un bolsillo ó en una funda. De esta manera el usuario puede traerlo consigo en cualquier momento y en cualquier lugar sin inconvenientes ni complicaciones. Por consiguiente, las Tablet PCs y Laptops no se incluyen dentro de esta categoría, sino que son considerados dispositivos portátiles (Anderson y Blackwood, 2004).

El SIG Móvil es considerado parte del computo basado en localización (LBC, por sus siglas en inglés) y puede ser introducido dentro de la categoría de los servicios basados en localización (LBS, por sus siglas en inglés). Los LBS son aplicaciones de software que se ejecutan sobre dispositivos móviles y que involucran el uso de distintas formas de información geoespacial, en conjunto con la posición geográfica actual del usuario móvil, o bien, de objetos o lugares geográficos de interés para el usuario. El propósito de estos

sistemas es proveer a los usuarios servicios e información geoespacial en tiempo real. Los tipos de información y la manera en que ésta es presentada al usuario puede variar dependiendo del tipo de aplicación o servicio que se ofrece.

Este tipo de tecnologías surgieron para satisfacer la creciente demanda de información geoespacial en distintas categorías de usuarios: usuarios cotidianos que necesitan un sistema que pueda dar soporte a sus actividades y responder a sus preguntas basadas en localización; usuarios que requieren servicios de información turística-comercial de acuerdo a su localización geoespacial; personal que requiera de la ejecución de trabajo de campo para la colecta de datos, entre otros (Figura 3). Cualquiera que sea la categoría, la capacidad de proveer información geográfica e información contextual referente a la localización del usuario se considera el objetivo principal.



Figura 3. Ejemplo de un de Servicio Basado en Localización. Se trata del sistema de navegación para peatones/ciclistas TomTom³ ejecutándose en un teléfono celular. Se muestran algunas de sus interfaces gráficas.

El aspecto de movilidad ha estado tomando un rol con bastante importancia dentro de las actividades diarias de los usuarios. De tal manera que el soporte tecnológico para los procedimientos de toma de decisiones espacio-temporales se está volviendo cada vez más importante (Reichenbacher, 2001). A medida que pasa el tiempo, aumenta más la demanda

³ <http://www.tomtom.com/>

en servicios que aprovechan las capacidades de movilidad y localización de los dispositivos móviles para dar soporte a estos procedimientos.

III.2 Elementos, funcionalidad y limitaciones de los SIGM

Como se ha mencionado, el SIGM difiere tanto de los SIG de escritorio como del SIG en Internet en diferentes aspectos. Entre estos, el más importante radica en el hecho de que se toman las ventajas de la integración de diferentes tecnologías de la información, en estas tecnologías se consideran las de cómputo móvil, de redes y comunicaciones inalámbricas y el sistema de posicionamiento global (GPS). Según López (2004) los requerimientos más importantes que se busca cubrir son los siguientes:

- Buen desempeño: En términos de las limitantes asociadas a los dispositivos móviles.
- Escalabilidad: En el manejo de conjuntos de datos grandes y atención a múltiples usuarios cuando se requiere acceso a través del Web.
- Movilidad: Capacidad de mantenerse en constante movimiento, a la vez que se hace uso de información geoespacial.
- Seguridad: En el acceso y veracidad de la información geográfica que está siendo utilizada.
- Interoperabilidad: En el uso y manejo de información geográfica definida bajo diferentes formatos.

Los componentes principales que se requieren en este tipo de aplicaciones consisten en: un dispositivo móvil, un componente que ofrezca información de posición en tiempo

real, una red de comunicaciones inalámbrica, una vía de acceso a este tipo de redes de comunicación, un servidor de aplicación y un servidor de datos (Figura 4).

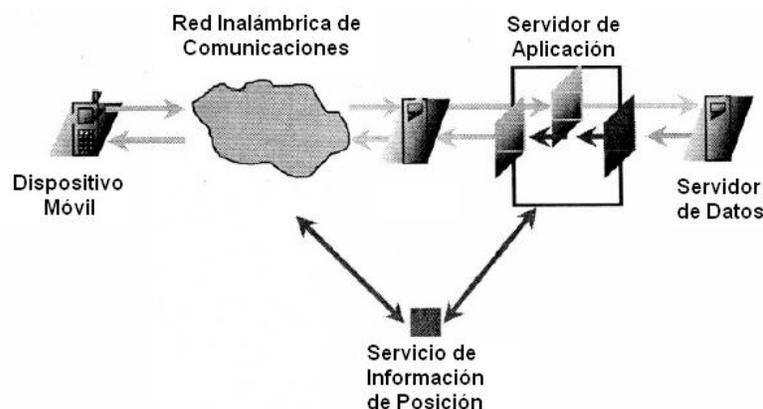


Figura 4. Infraestructura básica de un Servicio Basado en Localización.

Se explican brevemente estos componentes:

Dispositivo Móvil. Representa la parte esencial del SIGM, el factor de movilidad y capacidad de aprovechamiento de la información de localización. Las PDAs y Smartphones son los principales dispositivos para la interacción con la información geoespacial por parte de los usuarios.

Componente de Localización. Permite la obtención de la posición geográfica del usuario. Existen dos formas para la obtención de datos de posicionamiento en aplicaciones móviles. La primera se basa en los servicios de red, en los cuales es posible obtener una estimación aproximada de la posición del dispositivo mediante el uso de técnicas variadas. En redes celulares es posible utilizar técnicas como multilateración⁴ de señales recibidas de antenas cercanas. Otra técnica utilizada para localización en interiores, es la triangulación basada en el uso de la potencia de la señal recibida mediante puntos de acceso WiFi. Por otra parte, la

⁴ La multilateración es una técnica que emplea la magnitud TDOA para el posicionamiento tridimensional de una estación móvil mediante un mínimo de 4 antenas

segunda forma se basa en el dispositivo móvil, en donde un receptor GPS integrado o conectado al dispositivo se encarga de la obtención de información de posicionamiento (Li, 2005; Ramm et al, 2006).

Red de Comunicaciones. El SIGM depende de las tecnologías de comunicación inalámbrica para el envío/solicitud de información. Por lo tanto, su desempeño se ve afectado por el tipo de arquitectura o tecnologías de comunicación utilizadas, puesto que éstas cuentan con distintas tasas y capacidades de transmisión.

Enlace de comunicación. Los dispositivos móviles son muy variados, y estos implementan diferentes tipos de enlace que les permiten establecer conexión y hacer uso de las redes de comunicación inalámbricas. A medida que surgen nuevas generaciones de dispositivos, son más y mejores los enlaces que estos implementan. Uno de los objetivos de este trabajo es sacar provecho de diferentes enlaces, pues cada uno tiene sus ventajas y desventajas bajo ciertas circunstancias en sus aplicaciones.

Servidor de aplicación. Representa el otro extremo de la red de comunicación del móvil. Es el componente con el que se comunica directamente el móvil. Dependiendo del tipo de comunicación o servicio solicitado, este servidor debe ser capaz de comunicarse con la base de datos o con el servicio solicitado y resolver la petición del usuario.

Servidor de datos. Es el servidor donde reside la información geoespacial utilizada por el sistema. En algunas aplicaciones es vital la actualización o solicitud de datos geográficos en tiempo real. No tiene interacción directa con el móvil, sino que las peticiones se hacen a través del servidor de aplicación.

La visualización de la información representa una parte fundamental de los SIG, y en ese sentido uno de los elementos más importantes en el uso y desarrollo de SIGM son los mapas digitales. Los mapas utilizados como medio de presentación de información geoespacial al usuario representan un rol significativo. El uso de mapas sirve de ayuda para la comprensión de conceptos tales como localización, orientación, direcciones, distancias,

áreas, patrones, entre otros. La interfaz gráfica de los mapas le permite al usuario obtener una abstracción más entendible del entorno real en el que se mueve y desempeña. Este entendimiento resulta más complicado cuando solo se cuenta con una interfaz textual o auditiva. Un ejemplo típico de esto son los sistemas de guía de navegación. Estos sistemas, en su mayoría, cuentan con interfaces gráficas mediante el uso de mapas en conjunto con instrucciones de voz, además de simbología y textos informativos, lo que facilita en gran medida el entendimiento que el usuario tiene del entorno espacial.

Los mapas digitales como parte esencial en los SIGM de cualquier tipo, ayudan en el proceso de navegación y al mismo tiempo permiten el acceso y la visualización de diferentes fuentes de información geográfica (Rajinder, 2004). Sin embargo, existe también una serie de restricciones en cuanto a la visualización de mapas e información geográfica en dispositivos móviles. Una de estas es el tamaño de la pantalla, la cual resulta ser una de las limitantes más difíciles de superar. Otras limitantes encontradas tienen que ver con la baja resolución de pantalla, el máximo número de colores disponibles para visualización, el bajo poder de procesamiento y la poca disponibilidad de memoria. Todas estas son cuestiones que afectan directamente en el procesado y visualización de información en dispositivos móviles.

El reto en la visualización de mapas consiste en mantener la interfaz gráfica lo más despejada, en la medida de lo posible, pero al mismo tiempo que sea agradable y útil al usuario (Düpmeyer y Ruchter, 2004), es decir, que se le provea la cantidad y el tipo de información que pueda satisfacer sus requerimientos, necesidades y expectativas. El tamaño reducido de la pantalla no es favorable para el despliegue de grandes cantidades de objetos en una porción de la vista, puesto que esto suele confundir al usuario. Además, una práctica frecuente en la utilización de estos sistemas es la aplicación de etiquetas descriptivas a estos objetos, lo cual suele saturar aún más la pantalla si se usan excesivamente (Heidmann et al, 2003). En este sentido, es necesario llevar un buen manejo en la cantidad de elementos desplegados en pantalla para mantener la eficiencia del sistema en un buen nivel, y al mismo tiempo que el usuario tenga la capacidad de seleccionar solo la información que desea visualizar en un determinado momento, en que ésta le sea de utilidad.

Otro aspecto importante en el uso de SIGM y de las aplicaciones móviles en general, radica en las limitaciones encontradas en los métodos existentes para introducir datos a este tipo de aplicaciones. Un ejemplo de esto es cuando se requiere introducir información textual en la aplicación. La mayoría de los dispositivos móviles no cuentan con teclado físico, lo cual suele dificultar esta labor. Este proceso en sí ya es difícil en dispositivos que cuentan con teclado, puesto que este es pequeño o poco flexible. Una estrategia es tratar de limitar en medida de lo posible el uso frecuente del teclado u otras formas de interacción. Variables tales como la localización, el perfil del usuario o el tipo de aplicación pueden ser usadas para adaptar, automatizar o ajustar las necesidades de datos de entrada, y minimizar la necesidad de utilizar métodos de interacción que dificulten o entorpezcan las tareas.

Finalmente, el intercambio de datos y la interacción con el servidor también debe mantenerse en un nivel que sea lo más bajo posible. Esto debido en gran parte a los altos costos en el uso de tecnologías de comunicación inalámbricas para el acceso a Internet. Además, el ancho de banda limitado en este tipo de conexiones y los cambios continuos en los factores de transmisión también afectan la calidad y velocidad de la comunicación (Markoulidakis et al, 2004). Una solución alternativa que se visualiza en este rubro, es el uso de tecnologías de comunicación inalámbricas que sean más accesibles. Una de estas es el uso de los mensajes de texto cortos (SMS, por sus siglas en inglés), una tecnología presente en la gran mayoría de los teléfonos celulares y que además resulta económica. Aunque esta tecnología tiene muchas limitaciones en cuanto a la cantidad y tipo de datos que permite enviar, en ciertos escenarios donde no se requieren datos muy complejos, puede resultar muy útil y dar buenos resultados.

Es importante recalcar que no es estrictamente necesario el establecimiento de una comunicación directa entre el móvil y el servidor. La información geográfica necesaria y los datos que se están obteniendo, pueden ser almacenados en la memoria interna o bien, en extensiones de memoria del dispositivo móvil. Además, los datos de posicionamiento pueden estar siendo adquiridos mediante un dispositivo GPS, logrando de esta manera que la herramienta sea autónoma. El punto débil encontrado al no utilizar un enlace de comunicación radica en la imposibilidad de realizar actualizaciones en tiempo real. Aunque

este requerimiento es considerado una necesidad en algunos casos de aplicación, resulta innecesario en otros escenarios de uso del SIG Móvil.

Independientemente de la existencia de comunicación entre el móvil y el servidor, resulta importante que el sistema cuente con buena interoperabilidad de los datos geográficos. Con esto, lo que se busca es que los datos geográficos generados mediante el uso de un software SIG puedan ser reutilizados o procesados mediante el uso de otros SIG o de otras herramientas existentes. Otro de los propósitos en la interoperabilidad, es generar formatos que faciliten la transmisión o solicitud de datos geográficos a una base de datos o servidor de mapas.

La interoperabilidad en aplicaciones de SIGM es administrada mediante estándares definidos. Uno de estos estándares es el Shapefile, el cual fue desarrollado por ESRI para su línea de productos ArcGIS. Este formato es hoy en día considerado un estándar de facto y es utilizado por muchas aplicaciones SIG. Otros formatos de propósitos similares son el Geographic Markup Language y el Keyhole Markup Lenguaje (GML y KML respectivamente, por sus siglas en inglés). Estos formatos se basan en la estructuración mediante etiquetas de los archivos XML, para definir objetos geoespaciales de diferentes tipos y sus propiedades. Como ya se mencionó, los datos geográficos pueden ser transferidos desde el servidor al móvil o viceversa. Esto se puede realizar mediante el uso de algún estándar definido. Un ejemplo de estándares para la transmisión de datos es el WML (Wireless Markup Language).

Todos estos son aspectos que han sido considerados en el diseño e implementación del sistema propuesto en esta tesis. Algunos aspectos se han considerado con mayor detalle, pero teniendo en cuenta a todos con fin de hacer el sistema lo más versátil y completo posible.

III.3 Aplicaciones del SIGM

En la actualidad, los SIGM están siendo utilizados en una variedad de aplicaciones de diferente índole y enfocadas hacia distintos tipos de usuarios. Desde aplicaciones comerciales, recreativas, informativas o sociales, hasta aplicaciones que están más

enfocadas hacia el apoyo en la solución de problemas reales. Se pueden categorizar las aplicaciones del SIGM en términos de dos tipos de usuarios: trabajadores de campo y consumidores de SBL.

En el caso de los trabajadores de campo, el objetivo principal es el de proveerle a estos, el acceso y formas de manipulación de información geoespacial en su zona de trabajo. La capacidad de captura de información sobre infraestructura, vegetación, o cualquier tipo de información de campo que sea de relevancia es la necesidad y prioridad en este tipo de aplicaciones. Entre los usos que se le están dando a los SIGM dentro de este rubro son: colección y validación de datos en campo, recuperación de información histórica, actualización de información en tiempo real, entre otros usos.

Por otra parte, para el caso de consumidores de SBL, la importancia radica en la obtención de información de interés en tiempo real. Esta información puede ser acerca de lugares cercanos a la ubicación del usuario, o instrucciones detalladas sobre cómo llegar de un punto a otro. En este tipo de servicios, algunas de las aplicaciones más comunes son: búsqueda de servicios cercanos, obtención de direcciones de manejo, servicios de rastreo, etc. Para este tipo de aplicaciones, es posible la utilización de perfiles de usuario. La ventaja de utilizar perfiles de usuario, es que la aplicación sea capaz de utilizar esta información para la presentación de información que le sea de utilidad de acuerdo a sus intereses en un determinado momento. Distintos parámetros pueden ser utilizados para determinar qué tipo de información le interesa al usuario. Algunos ejemplos de esto pueden ser su posición geográfica actual, el estado del tiempo, día de la semana, etc.

III.4 Uso de SIGM en actividades de trabajo en campo

Una de las aplicaciones más importantes que se le puede dar a los Sistemas de Información Geográfica Móvil, es en la colecta de datos durante actividades de trabajo en campo. El factor de movilidad de estos sistemas, su capacidad para obtener información de localización confiable y a buen nivel de precisión mediante el uso de GPS, sus capacidades de visualización y disseminación de información geoespacial, así como sus capacidades de

transmisión, entre otras características, dan como resultado una excelente solución de apoyo para la realización de trabajo de campo.

El uso de SIGM en este tipo de aplicaciones se hace con el fin de facilitarle a los trabajadores que desarrollan este tipo de labor, los métodos de captura de información, así como la digitalización y homogeneización de estos datos de manera automatizada. Como consecuencia, se minimiza la brecha existente entre la obtención de datos analógicos y la digitalización de estos, una tarea que suele ser demandante en tiempo, tediosa y altamente propensa a errores.

Existe una buena cantidad de literatura en la que se describe el uso de métodos y herramientas de SIG Móvil para la colecta de datos mediante trabajo de campo. Algunos ejemplos de sus aplicaciones en casos particulares son:

Colecta y validación de datos en campo

Gracias a su integración con la tecnología GPS, el SIGM se ha convertido en una importante herramienta para la colección y validación de datos. Por mencionar algunas aplicaciones tenemos: Valoración de propiedades, estudios de hábitat, inventarios de señales de tráfico o infraestructura urbana, administración de pavimentación de calles y lectura de medidores. Los usuarios, en este caso trabajadores de campo, pueden coleccionar datos e introducirlos directamente a la base de datos espacial o hacer modificaciones mediante observaciones de campo.

Por ejemplo, la NRCS (Natural Resources Conservation Service) de la ciudad de Iowa en los EUA, ha utilizado métodos de SIGM para la conducción de actividades tales como inventariado de recursos naturales y la inspección de daños por inundaciones (Geospatial Solutions, Septiembre, 2006, p.26). Los ingenieros de la NRCS utilizaron un GPS para almacenar la localización de sitios afectados y para la medición de los límites de estas áreas afectadas. Estos datos, en conjunto con otras observaciones e imágenes digitales de los sitios afectados fueron transmitidos al centro de operaciones diariamente, y almacenados en una base de datos especializada. Estos datos fueron después sometidos a evaluación para identificar tipos de daños y las necesidades de reparación y asistencia.

Mapeo y detección de cambios

Las regiones y hábitats naturales son escenarios dinámicos que sufren cambios constantemente. El mapeo sistemático de las propiedades de estas regiones resulta una tarea ideal para llevarse a cabo mediante el uso de herramientas de SIGM. En Niu, et al (2004) se desarrolló un SIGM para la toma de decisiones en la administración de zonas costeras. El incremento en la erosión de las costas en el Lago Erie, Ohio, causaba pérdidas valoradas en millones de dólares, por lo que era necesario tomar las medidas adecuadas. Se desarrolló un SIG que implica el uso de una aplicación de SIGM contenida en una página web, la cual está accesible mediante una PDA con conectividad a Internet. Esta herramienta permite la colecta y mapeo de información correspondiente a los cambios debidos a la erosión del litoral, permitiendo actualizaciones a una base de datos central en tiempo real.

Investigación de Incidentes y Análisis de Sitios

Mediante el acceso a información en tiempo real, los trabajadores de campo pueden tener más información en la investigación de sitios. Un trabajador de campo puede utilizar herramientas de SIGM para obtener información histórica acerca de un sitio en particular desde su dispositivo móvil. Por ejemplo, supongamos que un policía encuentra un código de violación en una propiedad. Él podría obtener información relevante acerca de esa propiedad, como puede ser el nombre del dueño o el historial de violación. Incluso, el policía podría escribir y enviar una multa electrónica al dueño del sitio. De manera similar, el policía podría utilizar una herramienta para escribir un reporte más preciso del incidente. Así mismo, un arquitecto en campo puede obtener información de diseño acerca de un sitio en particular desde su dispositivo móvil. En base a un reconocimiento de campo, ese arquitecto puede realizar cambios en la información de ese sitio. Los nuevos datos pueden estar disponibles para otros arquitectos en la oficina inmediatamente. Esta aplicación puede ser de utilidad para dependencias a cargo de catastro y desarrollo urbano.

Mucha de la literatura donde se describe la utilización de SIGM para la solución de distintos problemas, se basan en el uso de herramientas SIGM existentes en el mercado. Algunos ejemplos de estas son TerraSync, SuperPad y principalmente el sistema ArcPad

(ESRI, 2010). Otros trabajos tratan sobre la integración de este tipo de herramientas con otras geotecnologías para la generación de entornos completos de trabajo aplicados a escenarios muy específicos. Existe una buena cantidad de trabajo realizado en términos de desarrollo de aplicaciones SIGM. Algunas de estas desarrolladas por las grandes compañías comerciales dentro del ámbito. Estas herramientas ofrecen diferentes funciones y características, y en algunos casos van enfocadas hacia aplicaciones muy particulares. Se mencionan a continuación algunas de las más importantes.

- MapXtend (MapInfo, 2010)

Es un entorno de desarrollo para la creación y distribución de aplicaciones basadas en localización en una variedad de dispositivos móviles. Su arquitectura es muy similar a la arquitectura genérica un de SIG Móvil. Consiste en una aplicación cliente muy delgada donde la mayoría del procesado de datos se ejecuta en el servidor (Figura 5). El cliente puede descargar datos provenientes del servidor en formato GML u otros formatos soportados. Además, el usuario puede seleccionar, editar, consultar o actualizar los datos que ha descargado. La comunicación entre el cliente y el servidor se lleva a cabo mediante HTTP y XML.

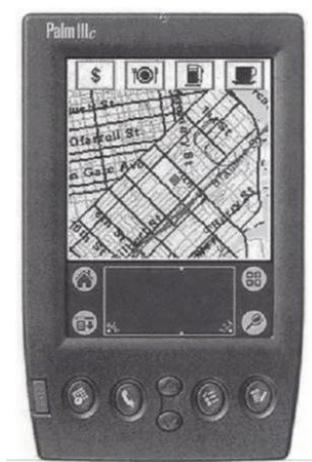


Figura 5. Interfaz de MapXtend.

- Intelliwhere LocationServer (Crisp, 2002)

Es una aplicación basada en un servidor que provee servicios e información geoespacial a cualquier otra aplicación o dispositivo móvil que lo requiere. La funcionalidad básica de Intelliwhere consiste en recibir peticiones de aplicaciones que solicitan algún servicio, contestar esas peticiones y entregar la información en el formato solicitado. La comunicación entre clientes e Intelliwhere se realiza mediante XML. Intelliwhere resuelve peticiones sobre localización de lugares o servicios, cálculo de distancias, trazo de rutas definidas, entre otras.

- ArcPad (ESRI, 2010)

Es un software para mapeo de datos que se ejecuta sobre plataformas Windows en dispositivos móviles. Está diseñado para la validación y colecta de datos en campo. Permite la captura, edición, consulta y visualización de datos y se puede extender su funcionalidad mediante el uso de extensiones para post-procesamiento de datos (Figura 6). ArcPad trabaja con funcionalidad multi-capas y puede desplegar datos en formatos convencionales como JPEG, bitmaps, Shapefile, entre otros. Se puede integrar con un servidor ArcIMS para la transferencia y solicitud de datos. Esto mediante conexiones TCP/IP tales como LAN inalámbricas o desde una red celular.

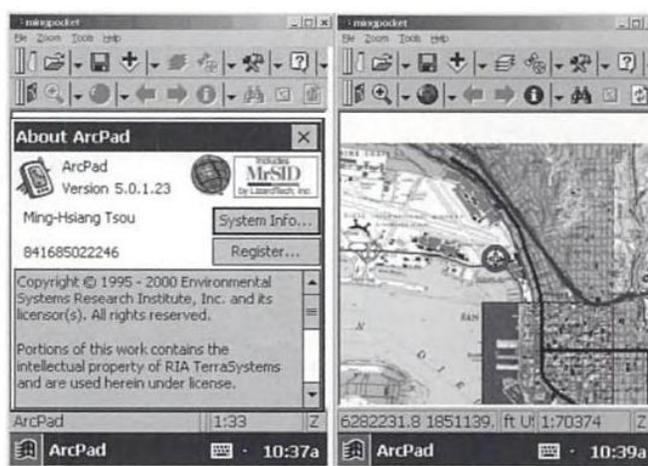


Figura 6. El sistema ArcPad de la compañía ESRI.

- TerraSync (Trimble, 2010)

Es una aplicación de software para la realización de colecta y mapeo de datos, disponible para la plataforma Windows Mobile. Este sistema ofrece funcionalidad muy parecida a la de ArcPad, aunque existen características no presentes en este sistema como la capacidad de integrar otros dispositivos o establecer conexión con servidores. Los formatos para almacenamiento que este sistema puede manipular también son inferior en número a los de ArcPad. Existe una versión reducida de este sistema para la colecta de datos sin utilización de un mapa o imagen de guía.

El sistema que se propone en esta tesis es similar en términos de funcionalidad, a lo que permite hacer un sistema como ArcPad o TerraSync. Aunque es necesario destacar que el objetivo de este trabajo no es el lanzamiento de una herramienta que haga competencia a estos sistemas, sino la creación de una herramienta de características similares, pero en términos más simples. Es decir, tomar solo la funcionalidad que se considere de mayor importancia para la realización de trabajo en campo, simplificando algunos aspectos que suelen ser complicados para los usuarios de este tipo de sistemas. En la Tabla II se presenta un cuadro comparativo entre las principales funciones de ArcPad, TerraSync y las funciones del sistema propuesto. Se toma ArcPad como referencia por ser el sistema más popular y utilizado.

Tabla II. Comparación de las características entre ArcPad, TerraSync y el sistema propuesto.

Característica	ArcPad	TerraSync	Sistema propuesto
Visualización de datos geográficos	Si	Si	Parcial
Colecta de datos geográficos	Si	Si	Si
Lectura de GPS	Si	Si	Si
Manejo de Capas	Si	Si	Parcial
Uso de Archivos	Si	Si	Parcial

Integración con cámara, telémetro	Si	No	No
Marco de desarrollo	Si	No	No
Integración con Servidor	ArcIMS	No	Bases de datos
Modos de transferencia	Internet	-	Internet, bluetooth, SMS

III.5 Datums y coordenadas en SIGM

La implementación de un SIG no se basa únicamente en aspectos técnicos y tecnológicos. Existen aspectos y conceptos teóricos del ámbito de la geomática (específicamente, de la geodesia) que deben ser considerados. Estos aspectos están directamente relacionados a la georreferenciación de los datos geográficos, dentro de un contexto geoespacial definido.

Hoy en día las fuentes de información geoespacial son bastas. Más y más información proveniente de estas fuentes se encuentra a disposición de los usuarios. Muchas veces la información que se produce está definida para un sistema de referencia diferente al que es requerido por parte del usuario. Algunos ejemplos de inconsistencias son los siguientes:

- La georreferenciación de una imagen satelital es hecha a partir de algunos puntos de control establecidos mediante GPS, y otros obtenidos a partir de cartografía impresa.
- El uso combinado de datos geográficos provenientes de estudios realizados por diferentes organizaciones, utilizando diferentes sistemas de referencia.
- Levantamientos tipográficos efectuados mediante el uso de GPS sobre mapas definidos en sistemas de referencia locales.

Estos ejemplos sirven para tener una idea del problema que resulta en combinar o utilizar datos provenientes de diferentes fuentes. En los SIG generalmente es necesario

realizar cálculos u operaciones computacionales sobre los datos, por eso es necesario entender lo que implica el uso de datums y proyecciones geográficas diferentes, pues estos introducen cierta distorsión que debe ser manejada correctamente para obtener un nivel de precisión óptimo en la visualización y captura de datos geoespaciales.

III.5.1 Datums

Un *datum* es el establecimiento de un punto o sistema de referencia a partir del cual se pueden georreferenciar un conjunto de datos geográficos. Si consideramos la siguiente declaración: la altura del punto es 3.223 m, quizás se tenga una muy buena precisión, sin embargo hay ambigüedad con respecto a qué se define esa altura. Para el ejemplo anterior podríamos definir un *datum*, correspondiente a un punto situado a una altura de 100 m. Si se cambia la declaración antes mencionada por la siguiente: la altura del punto es 3.22 m sobre el *datum* (100 m), se puede tener una mejor noción sobre la posición de tal punto. Si en cambio, el *datum* designado estuviera a 50 m de altura, la altura del punto antes mencionado cambiaría considerablemente.

Por supuesto que la definición de este *datum* es muy simple. El establecimiento de un *datum* geodésico es mucho más complejo y para esto se toman en consideración diferentes aspectos, partiendo de la forma geométrica de la Tierra para el caso de un *datum* global, o bien, de una región específica del planeta para *datums* regionales o locales.

La forma de la Tierra no es una esfera perfecta. Un *esferoide* es una aproximación más real a esta forma, mas no es una representación exacta. La forma real de la Tierra está dada por una superficie que es perpendicular a la fuerza de gravedad en cualquiera de sus puntos (una superficie equipotencial), y que es además, irregular. La superficie promedio del nivel del mar es una superficie equipotencial, por tanto, la verdadera forma de la Tierra es considerada un *geoide*, el cual se define como la superficie equipotencial que más cercanamente se aproxima al nivel medio del mar. A nivel global, la diferencia entre el geoide y el nivel del mar es a lo máximo de 1 m, por lo que para muchos propósitos pueden ser considerados equivalentes.

Un *esferoide* es una muy buena aproximación al *geoide*, pero hay diferencias considerables. Si se considera al esferoide que más se aproxima al geoide, la diferencia entre estos es de ± 100 m en distintas regiones (Figura 7).

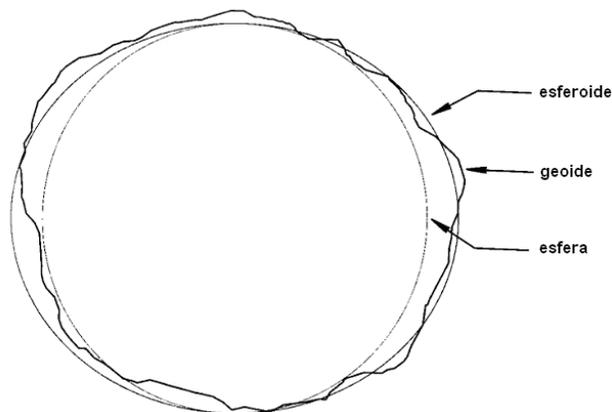


Figura 7. Relación entre la esfera, el esferoide y el geoide.

Para un cubrimiento global, la versión más apropiada de un esferoide es aquella que tiene su origen en el centro de masa de la Tierra y que tiene las medidas necesarias para aproximarse lo más posible a la forma del geoide. Tal esferoide es necesario para aplicaciones globales y es por consiguiente la base de un sistema de referencia satelital o *datum* global. Un *datum* cuyo origen se encuentra en el centro de la Tierra se dice que es geocéntrico. Desde los inicios de la Geodesia Satelital a principios de los 60's, se han llevado a cabo varios intentos para definir un *datum* global geocéntrico. El más reciente y quizás el más popular y utilizado en la actualidad es el World Geodetic System de 1984 (WGS84, por sus siglas en inglés). Sus parámetros están definidos de la siguiente manera:

$$a = 6378137 \qquad f = 1/298.257223563$$

donde a corresponde al radio ecuatorial del esferoide y f es el factor de aplanamiento del esferoide.

El Geodetic Reference System de 1980 (GRS80) es otro *datum* global. Sus parámetros son muy parecidos a los del WGS84 y para ciertos fines prácticos podrían

considerarse equivalentes. WGS72 fue la versión anterior del WGS84, sus parámetros varían ligeramente. Actualmente se ha demostrado que está desfasado del centro de la Tierra por casi 5 metros. WGS72 ya no es utilizado para la adquisición de datos, así que su interés se limita a la interpretación de los datos existentes definidos para éste. Lo mismo suele suceder con viejas versiones de *datums* utilizados hoy en día.

El Internacional Terrestrial Referente Framework (ITRF) es otro sistema de referencia o *datum* global. El conocimiento de este *datum* resulta especialmente importante, puesto que es el utilizado como referencia por varias instituciones en México, tal es el caso del INEGI. En la Tabla III se muestran algunos de los *datums* globales más utilizados.

Tabla III. *Datums* globales más utilizados y sus parámetros (Iliffe, 2000).

<i>Datum</i>	a	f
WGS84	6378137.0	1/298.257223563
SGS85	6378136.0	1/298.257
Clarke1866	6378206.4	1/294.978698214
GRS80	6378137.0	1/298.257222101

Los *datums* mencionados están definidos para sistemas globales, como es el caso del sistema GPS, que funciona en base a WGS84. A niveles regionales o locales, existen instituciones que han hecho esfuerzos para llegar a la definición de *datums* que se ajusten a su región de estudio o trabajo. Esta acción no se trata de la generación de un nuevo *datum* a partir de un nuevo esferoide, sino de la designación de un punto de origen distinto de un *datum* ya existente, para ajustarse a una región particular. Estos *datums* se conocen como locales o regionales. Un *datum* local se aproxima mucho mejor al geoide en una región en particular, que la aproximación de un *datum* global (Figura 8).

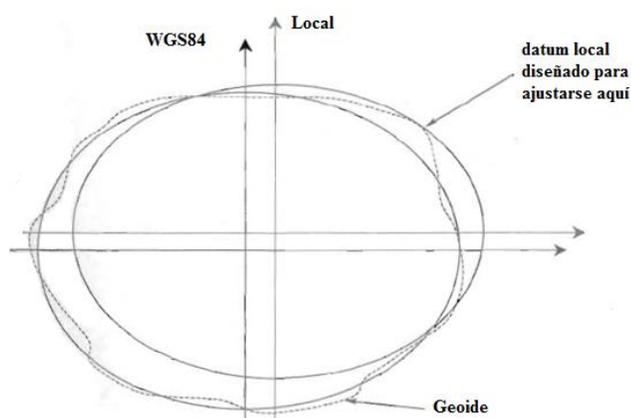


Figura 8. Definición de un *datum* global mediante WGS84.

Cuando se define un *datum* local, se está desfasando el punto de origen del esferoide geocéntrico en el que se basa el *datum*. Este desfasamiento se expresa en componentes $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$, donde estos valores corresponden a las coordenadas del origen del nuevo *datum* local o regional. Entonces, una transformación de coordenadas de un sistema local al sistema WGS84 está dada en la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{WGS84}} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{Local}} \quad (1)$$

Para la realización de transformaciones de coordenadas de un *datum* global a uno local o viceversa, es necesario conocer los parámetros de transformación entre ambos *datums*. Estos parámetros varían dependiendo de los esferoides en los que ambos *datums* estén basados. Existe un cierto grado de error en la precisión de los datos al hacer transformaciones de coordenadas de *datums* globales a locales. Este error se encuentra alrededor de 1 m, por lo que para muchos propósitos prácticos este error es admisible.

Para fines de esta tesis, es necesario acotar los *datums* utilizados en base a la información geoespacial que se tiene disponible, y a los *datums* más utilizados en esta región. Por tanto, para este trabajo resulta necesario realizar transformaciones entre WGS84, ITRF92 y NAD27. WGS84 porque es el *datum* en el que se basa el GPS, el cual

es vital para este trabajo. ITRF92 es el *datum* en el que se basa INEGI para referenciar su información. NAD27 debido a la cercanía de nuestra región geográfica con los Estados Unidos, el cual es utilizado para la georreferenciación de datos en algunas instituciones locales.

III.5.2 Sistemas de coordenadas

Un factor importante en la georreferenciación de los datos geoespaciales es la definición de un sistema de coordenadas. La definición de este sistema es muy importante, pues sirve para expresar la localización de un punto u objeto geográfico. Para la definición de este sistema es necesario tomar en consideración la forma geométrica de la Tierra. Un conjunto de coordenadas esféricas se definen con respecto a un objeto de forma esférica (Figura 9):

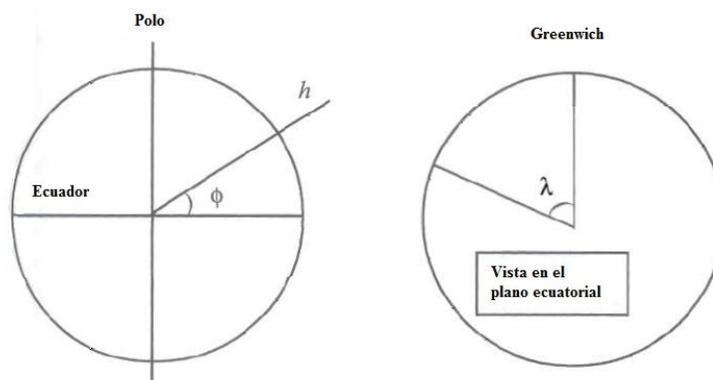


Figura 9. Definición de un conjunto de coordenadas esféricas.

- *Latitud*: es el ángulo hacia el norte o el sur desde el plano ecuatorial, representada por el símbolo ϕ .
- *Longitud*: es el ángulo hacia el este u oeste desde el meridiano de Greenwich, representada por el símbolo λ .
- *Altura*: distancia en metros sobre la esfera, representada por el símbolo h .

Como se ha mencionado, la esfera no es la verdadera forma de la Tierra, ni de los sistemas de referencia espacial. El *esferoide* es una mejor representación y es la base utilizada para la definición de un *datum*. Este mismo conjunto de coordenadas puede ser aplicado sobre un *esferoide*, al cual se le conoce como *coordenadas geodésicas*. Aunque varían ligeramente con respecto a una esfera perfecta, esta diferencia es mínima y puede ser ignorada para fines mapeo y navegación. En ese caso es común generalizar ambos conjuntos como *coordenadas geográficas*.

Este tipo de coordenadas resultan poco convenientes cuando se requiere hacer cálculos u operaciones computacionales, por lo tanto es común la utilización de *coordenadas cartográficas*, pues resultan más apropiadas para ello. Se define un conjunto de coordenadas (X, Y, Z) con su origen en el centro del esferoide (Figura 10).

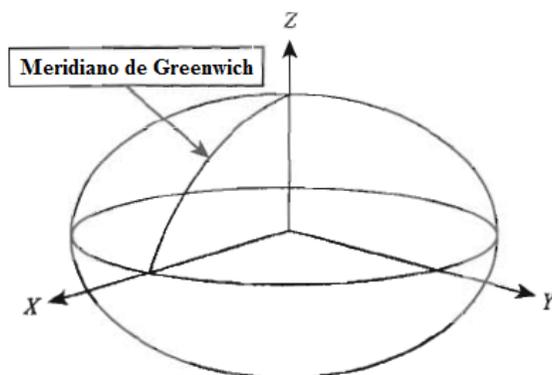


Figura 10. Definición de un conjunto de coordenadas cartográficas.

Las *coordenadas geodésicas* pueden ser transformadas a *cartográficas* mediante un conjunto de fórmulas que requieren conocimiento de los parámetros del esferoide:

$$X = (v + h)\cos\Phi\cos\lambda \quad (2)$$

$$Y = (v + h)\cos\Phi\sin\lambda \quad (3)$$

$$Z = \{(1 - e^2)v + h\}\sin\Phi \quad (4)$$

donde:

$$v = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \Phi)^{1/2}} \quad \text{y} \quad e^2 = 2f - f^2 \quad (5)$$

Φ es la latitud, positivo al norte; λ es la longitud, positivo al este; h es la altura sobre el esferoide; a y f son los valores del esferoide.

Otro motivo de importancia para la conversión de coordenadas geodésicas a cartográficas radica en el uso de coordenadas obtenidas mediante GPS, puesto que estos sistemas generalmente están dados en coordenadas geodésicas. Por otro lado, los parámetros necesarios para georreferenciar una imagen están dados en coordenadas cartográficas. Por lo tanto, para fines de poder graficar correctamente los datos del GPS sobre la imagen, es necesario hacer esta conversión.

III.6 El rol del GPS en el SIGM

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) ha cobrado una gran importancia en el desarrollo y evolución de los SIG y de la geomática en general (Hofmann, 1997) . Este sistema ha revolucionado la tecnología del SIG en términos del gran incremento en la demanda de datos de posicionamiento en tiempo real.

Esta tecnología surgió durante los años 80. Fue diseñado y desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos, originalmente para uso exclusivo militar. Fue hasta principios de los años 90 que se hizo factible su disponibilidad a nivel comercial, desde entonces, su éxito ha crecido de manera exponencial. Hoy en día sus aplicaciones van desde actividades de mapeo, navegación, topografía, agricultura, construcción, arqueología, biología y muchas otras más. En la actualidad es común encontrar receptores GPS en una gran variedad de productos comerciales y dispositivos móviles.

El sistema GPS consiste en una constelación de 27 satélites, denominados NAVSTAR, orbitando la Tierra a una altura aproximada de 12,600 millas; 5 estaciones de monitoreo y receptores individuales (Figura 11).

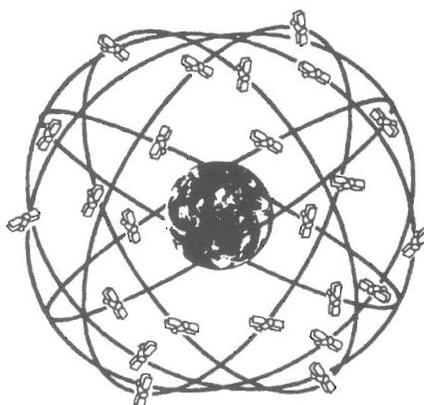


Figura 11. La constelación del Sistema de Posicionamiento Global.

El principio de funcionamiento del sistema GPS se basa en el uso de señales de radio transmitidas vía broadcast hacia todos los dispositivos receptores. El receptor es capaz de calcular su posición geográfica mediante un proceso de triangulación en el que toman participación 4 satélites como mínimo. Este proceso se basa en el tiempo que le toma a las señales viajar desde los satélites de origen hasta el dispositivo, y la posición actual de dichos satélites. Los datos recibidos por un receptor GPS son convertidos en mensajes en formato especial que contienen distintos tipos de información. Este formato fue desarrollado por la National Marine Electronics Association (NMEA), de ahí la razón de que estos mensajes se conozcan como NMEA. Un receptor GPS convencional es capaz de producir diferentes tipos de mensajes NMEA, cada uno con diferente contenido:

- GGA: Provee información de Tiempo, posición geoespacial, número de satélites en uso, separación del geoide, entre otros.
- GSA: Provee información sobre el modo de operación, número de satélites utilizados para calcular posición y grado de precisión.
- GSV: Provee información sobre el número de satélites visibles, elevación, altura, entre otros.

Para fines de este trabajo de tesis, los tipos GGA y GSA proveen la información que se considera de interés.

III.7. Resumen

En este capítulo se presentaron las principales características, funcionalidad y restricciones existentes dentro del campo del SIGM. Se presentaron algunos trabajos previos relacionados con el sistema que se propone en este trabajo de tesis. Se habló también sobre aspectos teóricos de la Geodesia que están fuertemente relacionados a la implementación de un SIG. En el siguiente capítulo se detalla el análisis y diseño del sistema propuesto.

Capítulo IV

Diseño del Sistema Propuesto

En este capítulo se hace un análisis de los requerimientos que deberá cumplir el sistema que se propone desarrollar y se realiza el diseño conceptual del mismo. Primeramente se hace una revisión de algunos conceptos y aspectos considerados en el desarrollo del sistema, como son los tipos de datos geográficos, los componentes necesarios, entre otros. Después se analizan estos componentes, su descripción y funcionamiento. Finalmente se establecen los requerimientos necesarios para la implementación de estos componentes.

IV.1 Análisis de los datos geográficos

Los SIG fueron diseñados para el manejo de información, o datos geográficos, de aquí que estos representen la parte más importante del mismo. Podemos definir a los datos geográficos como representaciones abstractas de objetos existentes dentro de un contexto geoespacial determinado. Los datos geográficos han tomado gran importancia en la actualidad, por lo tanto, podemos encontrar el atributo de "localización" en muchos conjuntos o bases de datos actuales. Un objeto geográfico está definido principalmente por su ubicación, la cual se determina dentro de un marco o sistema de referencia geoespacial bien definido. Existen diferentes tipos y formas de datos geográficos, por lo que es importante hacer un análisis de éstos para saber cómo manipularlos y representarlos gráficamente en un SIG.

De manera muy general, los datos geográficos pueden estar definidos en dos tipos para su almacenamiento y manipulación: información vectorial e información raster.

IV.1.1 Información vectorial

Los datos en formato vectorial se centran en la localización de objetos en un espacio geográfico determinado. Permiten la representación de objetos espaciales típicos, como son: puntos, líneas y polígonos. Aronoff (1989) describe cómo se puede utilizar el formato vectorial para definir la localización de un punto, una línea o un área geográfica (Figura 12). Un punto se define por medio de un par de coordenadas, una línea por una lista ordenada de pares de coordenadas. Un área es representada por un polígono definido mediante pares de coordenadas ordenados, donde el primer y último par representan el mismo punto. Cualquiera de estos tipos de objetos suele incluir atributos o metadatos asociados, es decir, información que ayuda a contextualizar de una mejor manera al objeto que es representado.

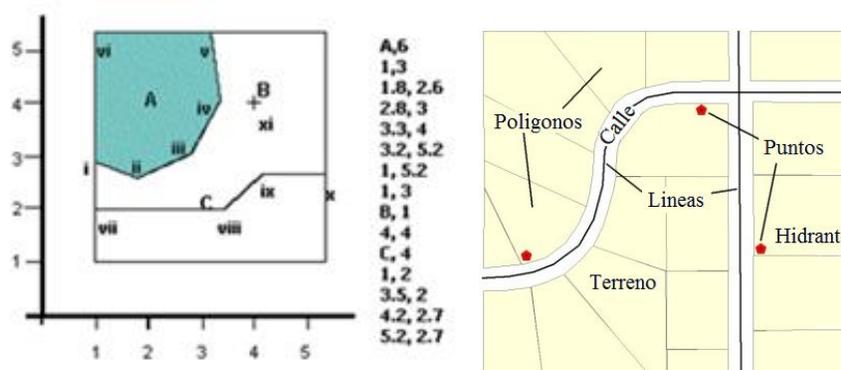


Figura 12. Representación de objetos geográficos en formato vectorial.

El uso de formatos estandarizados es una práctica muy común en el desarrollo de un SIG. Se han desarrollado una serie de formatos para la definición y almacenamiento de datos vectoriales. Esto con el objetivo de mantener una interoperabilidad y compatibilidad de los datos en otros SIG o con herramientas diseñadas para el manejo de datos geoespaciales.

Diferentes organizaciones, tanto privadas como comerciales han definido formatos especiales para el almacenamiento de objetos geográficos. Algunos de estos formatos son hoy en día considerados estándares de facto y son administrados por la OGC. ESRI por

ejemplo, desarrolló el formato Shapefile, el cual es considerado el estándar para el almacenamiento de objetos geográficos más utilizado. Casi cualquier SIG existente tiene capacidades de lectura y/o escritura de datos en este formato. Inclusive existen herramientas dedicadas solo para producir o hacer conversiones en base a este formato.

Un Shapefile almacena la geometría y los atributos espaciales y no espaciales de objetos geográficos en un arreglo de datos. Un archivo en formato Shapefile, típicamente consta de 3 archivos: archivo principal (main file), archivo índice (index file) y una tabla de base de datos (dbase file). A continuación se proporciona una breve descripción de cada uno de estos archivos:

- Archivo principal, extensión .SHP

Consiste de una estructura de datos de longitud variable, en el cual, cada uno de sus registros describe a un objeto geoespacial y la lista de sus vértices.

- Archivo Índice, extensión .SHX

Consiste en una estructura de datos, en la cual, cada uno de sus registros contiene el recorrido de cada registro de objeto con respecto al inicio del archivo principal.

- Tabla de base de datos, extensión .DBF

Contiene los atributos de cada uno de los objetos almacenados en los registros.

Existen otros formatos utilizados para el almacenamiento de datos vectoriales como por ejemplo MapInfo, BTS, STDS, KML, GML entre otros. Estos formatos han sido creados por otras empresas u organizaciones en el desarrollo de SIG, así como instituciones no comerciales para la definición de sus propios datos.

IV.1.2 Información raster

Sin duda, la forma de información geoespacial mas utilizada y conocida son los mapas. Los mapas continúan siendo el lenguaje de comunicación de la información geoespacial, aún en aplicaciones móviles (Anand, et al, 2002). Se utiliza el término mapa para referirse a la imagen utilizada como guía o referencia espacial. Los mapas pueden ser imágenes

obtenidas por satélite, fotografías aéreas, cartografía digital entre otras fuentes de información.

Los datos raster consisten en una malla de celdas que cubren un área geográfica en particular, cada celda contiene un pixel, el cual despliega un atributo único. Este tipo de datos podemos observarlos de manera superficial en forma de imágenes o mapas (Figura13).



Figura 13. Representación de la información en formato raster. Se observa que una imagen consiste en una malla de píxeles donde cada pixel contiene un valor característico.

Existen también muchos tipos de formatos para el almacenamiento de información raster. Algunos de estos formatos utilizan técnicas o algoritmos de compresión de información para hacer más eficiente y más rápida la lectura/escritura de archivos, esto a cambio de cierto grado de pérdida en la calidad de los mismos. Dependiendo de la fuente de origen de los datos, esta pérdida puede ser o no crítica. Los formatos para el almacenamiento de datos raster comúnmente utilizados en los SIG son los siguientes:

- JPEG (Joint Photographic Experts Group) es un algoritmo diseñado para comprimir imágenes con 24 bits de profundidad o en escala de grises. El formato JPEG se abrevia frecuentemente .jpg debido a que algunos sistemas operativos solo aceptan 3 letras en la extensión de un archivo. JPEG es un algoritmo de compresión con pérdida, es decir, al descomprimir la imagen no se obtiene exactamente la

misma imagen que se tenía antes de la compresión. Una de las características que favorecen a este formato es que las imágenes generadas tienen un tamaño menor al original.

- TIFF (Tagged Image File Format) es un formato de archivo para imágenes que contiene etiquetas en las que se archiva información sobre las características de la imagen. Estas etiquetas también sirven para especificar qué tipo de almacenamiento interno tiene el archivo: imágenes por bandas, imágenes completas o imágenes por secciones rectangulares. Esto permite a muchas aplicaciones optimizar los tiempos de carga o la lectura de solamente una zona de interés si se trata de una imagen grande.
- GIF (Graphics Interchange Format) es un formato gráfico utilizado ampliamente en Internet, tanto para el despliegue de imágenes como para el almacenamiento de animaciones o íconos sencillos. GIF es un formato sin pérdida de calidad para imágenes con hasta 256 colores. Por tal motivo, cuando se tienen imágenes con más de 256 colores la imagen debe ser adaptada mediante una reducción de colores, por consecuencia, se tiene una pérdida de calidad.

Una imagen satelital que se desea visualizar mediante el uso de un SIG debe estar debidamente ortorrectificada. Una imagen ortorrectificada, también conocida como ortoimagen, es una imagen digital transformada que muestra en proyección casi ortogonal, la escena fotografiada. Se trata de una imagen que cuenta con una corrección de los efectos de la proyección cónica y de las distorsiones de la cámara fotográfica, así como de los efectos por el relieve del terreno. Las ortoimágenes poseen el mismo valor cartográfico que un plano o mapa convencional sobre el que se pueden hacer mediciones de distancias, ángulos y superficies, además de la sobre-posición de datos vectoriales.

Es importante mencionar, que en el Laboratorio de Geomática del departamento de ciencias de la computación del CICESE se cuenta con las herramientas de hardware y software, además de la infraestructura necesaria para la generación de los diferentes tipos de información geográfica dentro de los estándares aquí descritos. Los datos utilizados para las etapas de pruebas y evaluación del sistema fueron generados en el Laboratorio de

Geomática, por lo que se pueden garantizar su validez y confiabilidad para el desarrollo de este y otros proyectos. La confiabilidad y precisión de los datos utilizados por usuarios externos es bajo su propia responsabilidad.

IV.2 Descripción general del funcionamiento y los módulos del sistema

En este trabajo de tesis, se propone un sistema SIGM que abarca desde la implementación de una herramienta móvil para la colecta de datos en campo, hasta las interfaces de comunicación con un servidor Web y la consecuente transferencia de datos a éste, y finalmente la visualización de los datos en entornos de Internet. Por ello el sistema desarrollado está conformado por los siguientes elementos principales:

- Cliente Móvil: Contiene a la herramienta para la visualización, manejo y captura de datos en campo.
- Enlaces de Transmisión: Es el medio de comunicación para la transferencia de datos del móvil al servidor.
- Servidor Web: Contiene a la herramienta para la visualización de información geoespacial capturada en campo y es accesible a través de Internet. Permite realizar transacciones con el cliente móvil
- Base de datos: Almacena los datos geoespaciales provenientes del cliente móvil. Estos datos pueden ser consultables mediante la herramienta de visualización.
- Cliente Web: Puede acceder a la herramienta de visualización mediante una conexión a Internet para realizar consultas y visualización de información geoespacial.

De acuerdo a los elementos que conformaran el sistema, en la Figura 14 se muestra la arquitectura de alto nivel del sistema propuesto.

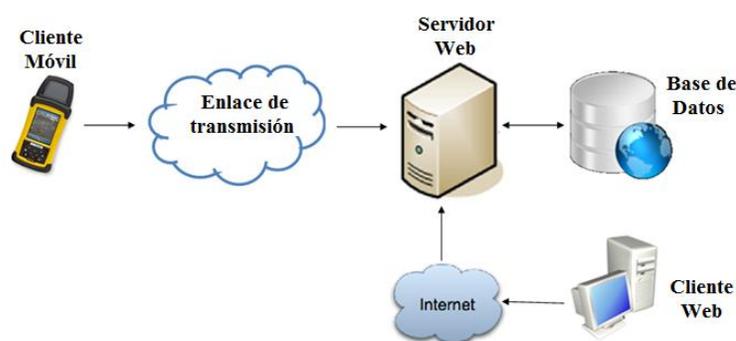


Figura 14. Esquema arquitectónico de alto nivel

De acuerdo a la arquitectura general, se identificaron tres sistemas de software que deben ser implementados. A continuación se hace una descripción breve de cada uno de estos:

Herramienta móvil: La herramienta SIGM desarrollada en este trabajo de tesis, será referida de aquí en adelante como " CICESE MobileGIS " o simplemente "C_MobileGIS". El sistema C_MobileGIS es una herramienta de software diseñada para trabajar en un dispositivo móvil de tipo PDA o smarthphone. El sistema permite la colecta y visualización de objetos geoespaciales convencionales como puntos, líneas y polígonos a partir de coordenadas espaciales recibidas mediante GPS. Estos objetos pueden ser administrados dentro del mismo dispositivo o bien, ser transferidos a un servidor web para su consecuente visualización.

Enlace de transmisión: Las formas de transmisión o comunicación con servidores en aplicaciones SIGM dependen en gran medida de las capacidades del dispositivo móvil con el que se está trabajando. Dispositivos móviles de nueva generación permiten conexión directa a Internet mediante el uso de la red celular o tecnologías como WiFi. Sin embargo, no todos los dispositivos tienen esta capacidad, por lo que uno de los objetivos de este trabajo es el de poder obtener provecho de diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica. Muchos dispositivos móviles como PDA's o *handheld computers* no cuentan con capacidades que les permitan acceder a Internet desde el campo, es por ello que se busca la interacción con otro dispositivo móvil que si tenga salida a algún tipo de red de

comunicación que le permita acceder a una red de Internet u otro tipo de red que permita transferencia de datos.

Herramienta de visualización: Esta herramienta será referida de aquí en adelante como Visualizador Web. Esta herramienta está diseñada para trabajar en entornos de Internet, es decir, que deberá ser accedida mediante un navegador Web. La principal utilidad de esta herramienta es la de proveer la información que está siendo capturada por el móvil, para que ésta pueda ser visualizada en un entorno más amigable y común para el usuario. Esto le será de utilidad en la toma de decisiones y resolución de problemas mediante el acceso a la información almacenada, en tiempo real.

Una vez definidos los tres componentes que conformaran el sistema, ahora es necesario especificar los requerimientos específicos de una manera clara y uniforme, con el fin de facilitar las tareas involucradas en el diseño y la implementación de los componentes del sistema.

IV.3 Requerimientos del sistema

Para la implementación de cualquier sistema de software en general, es necesario contar con un conjunto de requerimientos a partir de la cual se implementarán las funciones y capacidades que el sistema deberá tener. En base a los componentes principales y a los elementos básicos del SIGM se establecen a continuación los requerimientos necesarios para la implementación del sistema.

IV.3.1 Requerimientos para C_MobileGIS

Se establecieron los requerimientos especificados en la Tabla IV para el sistema de colecta de datos en campo C_MobileGIS.

Tabla IV. Requerimientos para C_MobileGIS.

ID	Requerimiento	Descripción
RCMG1	Visualización de información geoespacial.	El Usuario deberá poder visualizar información georreferenciada proveniente de diferentes fuentes y en distintos formatos.
RCMG2	Captura de información geoespacial.	El Usuario deberá poder capturar información geoespacial.
RCMG3	Edición de información geoespacial.	El Usuario deberá poder editar la información geoespacial utilizada.
RCMG4	Almacenamiento de información geoespacial.	El Usuario deberá poder almacenar información geoespacial en formatos definidos.
RCMG5	Uso de zoom.	El Usuario deberá tener disponibles diferentes herramientas de navegación.
RCMG6	Manejo de capas.	El Usuario deberá poder utilizar capas complementarias de información geoespacial.
RCMG7	Manejo de GPS.	El Usuario deberá poder hacer uso del GPS para la obtención de datos de posición.
RFCMG8	Configuración del GPS.	El usuario deberá poder configurar opciones básicas del GPS de acuerdo a sus necesidades.
RFCMG9	Captura de información geoespacial a partir de GPS.	El Usuario deberá poder capturar información geoespacial en diferentes formas, de acuerdo a los datos recibidos mediante el GPS.
RFCMG10	Transferencia de datos.	El Usuario deberá poder hacer transferencias de información a un servidor designado.
RFCMG11	Configuración de transferencia.	El Usuario deberá poder configurar el enlace y el servidor con el cual desea comunicarse.
RICMG12	Interfaz gráfica simple.	El sistema deberá contar con una interfaz lo mas despejada posible para maximizar el uso de pantalla.
RICMG13	Visualización de posición.	El sistema mostrará gráficamente las coordenadas geográficas actuales.
RICMG14	Interacción con dispositivo móvil	El sistema deberá poder enlazarse con otro dispositivo móvil para la transferencia de datos al servidor.
RICMG15	Interacción con servidor.	El sistema deberá poder comunicarse con el servidor para la transferencia de datos.

IV.3.2 Requerimientos para el Visualizador Web

Se establecieron los requerimientos especificados en la Tabla V para el sistema de visualización de datos en internet.

Tabla V. Requerimientos para el Visualizador Web.

ID	Requerimiento	Descripción
RVW1	Autenticación de Usuarios.	El Sistema solicitará al usuario su nombre de usuario y contraseña para darle acceso al mismo.
RVW2	Selección de Mapa.	El Usuario deberá poder seleccionar el mapa designado que le dé una mejor visión de acuerdo a sus necesidades.
RVW3	Visualización de información geoespacial.	El Usuario deberá poder visualizar información georreferenciada proveniente de diferentes fuentes y en distintos formatos.
RVW4	Uso de zoom.	El Usuario deberá tener disponibles diferentes herramientas de navegación.
RVW5	Edición de información geoespacial.	El Usuario deberá poder editar la información geoespacial utilizada.
RVW6	Uso de mapas locales.	El Usuario deberá poder utilizar mapas almacenados en su sistema de archivos local.
RVW7	Consultas de información	El Usuario deberá poder hacer consultas de información geoespacial.
RVW8	Selección de capas	El Usuario deberá poder desplegar capas temáticas para facilitar la ubicación contextual de los datos.
RVW9	Acceso en Web.	El sistema deberá poder ser accedido a través de un navegador Web.
RVW10	Conexión a base de datos.	El sistema deberá poder obtener información de bases de datos geoespaciales.

IV.3.3 Otros requerimientos

En esta sección se describen los requerimientos no funcionales asociados a ambos sistemas. Estos requerimientos tienden a ser subjetivos y generalmente están relacionados a otros ya establecidos. Estos requerimientos se describen en la Tabla VI:

Tabla VI. Otros Requerimientos.

ID	Requerimiento	Descripción	Requerimiento Relacionado
OR1	Confiabilidad de la información geoespacial.	La información geográfica que se maneje será confiable y exacta.	Todos
OR2	Uso de herramientas de software libre.	Utilización de herramientas de software libre para el diseño, desarrollo e implementación del sistema.	Todos
OR3	Manejo de distintos <i>Datums</i> y proyecciones.	Capacidad de georreferenciar datos definidos en los <i>Datums</i> establecidos (WGS84, NAD27, ITRF92).	Todos

IV.4 Diseño de los componentes utilizando UML

El diseño e implementación de un sistema de software es un proceso complejo en el que deben ser tomados diferentes aspectos tales como interacciones del usuario, subprocesos, cálculos y operaciones necesarias para entregar resultados. La complejidad de un sistema puede ser representada mediante el uso de diagramas, con el fin de abstraer las características más importantes de este sistema y establecer relaciones entre diferentes componentes. La abstracción es un mecanismo usado para representar una realidad compleja en términos simplificados usando algún tipo de modelo o lenguaje.

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés) es un lenguaje visual que provee herramientas para la visualización, construcción y documentación de los elementos de un sistema de software y su organización (Bennett, et al, 2001). UML es un lenguaje para la especificación formal de un sistema de software. En la actualidad UML

cuenta con una amplia gama de diagramas que permiten el análisis y modelado de sistemas de diferente índole. En el desarrollo del sistema propuesto se utilizó UML con el fin de alcanzar los siguientes objetivos: abstraer la funcionalidad del sistema, analizar las interacciones entre los componentes del sistema y los usuarios. Para esto, se utilizaron tres tipos de diagramas definidos en UML:

- Diagramas de Casos de Uso: Un diagrama de casos de uso muestra a los actores y a los casos de uso, así como las asociaciones entre ellos de manera gráfica. El caso de uso es una técnica para describir las interacciones de un sistema con sus usuarios potenciales (Schmuller, 2001). Existen dos relaciones básicas entre los casos de uso en la notación de UML, *include* y *extend*. Una relación *include* indica que un caso de uso incluye a otro caso de uso para lograr su cometido. Por otra parte, una relación *extend* indica que un caso de uso extiende el funcionamiento de otro caso de uso. Un caso de uso puede tener diferentes escenarios de ejecución, aunque siempre existe una ruta principal. Una práctica recomendable al realizar un diagrama de casos de uso es redactar la descripción y características de cada uno de los casos de uso involucrados. En la Figura 15 se muestra un ejemplo sencillo de un diagrama de casos de uso.

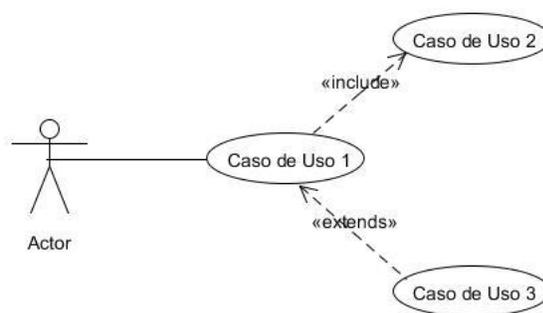


Figura 15. Ejemplo de un Diagrama de Casos de Uso.

- Diagrama de Clases: Un diagrama de clases muestra una vista estática de las clases en un modelo, o parte de un modelo. Permite ver los bloques básicos que componen

el sistema orientado a objetos que está siendo modelado. Cada clase cuenta con atributos y operaciones. Los atributos definen las características de la clase, mientras que las operaciones muestran las formas en que se pueda interactuar con esa clase. Existen diferentes tipos de asociaciones entre clases tales como agregación, composición y generalización. En la Figura 16 se muestra un ejemplo sencillo de un diagrama de clases:

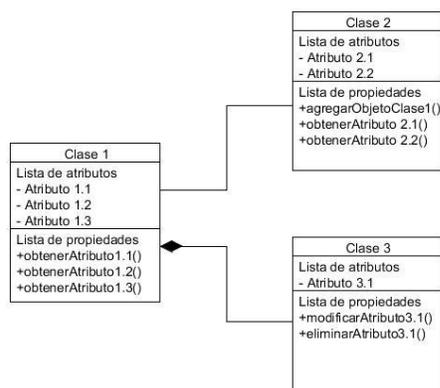


Figura 16. Ejemplo de un Diagrama de Clases.

Una vez que se definen los conceptos utilizados para el diseño del sistema, el siguiente paso es la realización del mismo. Como parte del análisis y de los requerimientos descritos en el capítulo IV de esta Tesis, se han definido tres componentes de software principales en el desarrollo del sistema. Estos componentes son la herramienta móvil C_MobileGIS, el Visualizador Web y el enlace de transmisión con el servidor Web. Dada la complejidad de C_MobileGIS y del Visualizador Web, a continuación se describe el diseño de cada uno de estos.

IV.2.1. Diseño de C_MobileGIS

La herramienta móvil C_MobileGIS representa la parte sustancial de este trabajo de tesis. Se trata de una herramienta para la colecta y administración de información geográfica para

fines de trabajo de campo. En la Figura 17 se muestra el Diagrama de Casos de Uso referente a C_MobileGIS.

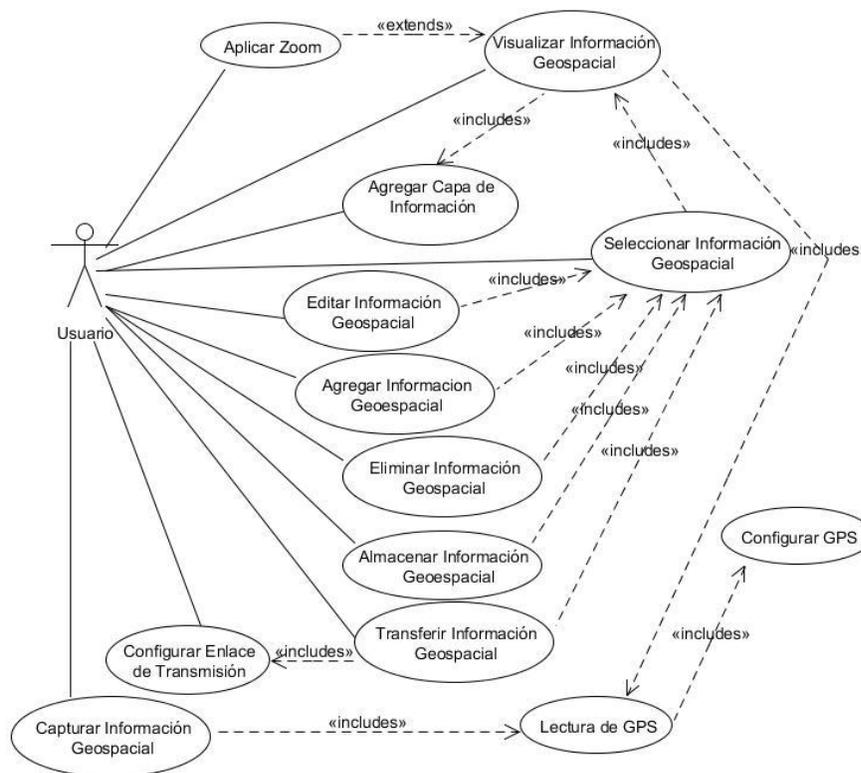


Figura 17. Diagrama de Casos de Uso para C_MobileGIS.

En el diagrama de casos de uso correspondiente a la herramienta C_MobileGIS podemos observar las principales funciones que el usuario podrá llevar a cabo. Algunas de estas funciones pueden requerir de alguna otra función y obtener resultados distintos por vías alternas de acuerdo a las necesidades del usuario.

En un diagrama de casos de uso solo se presentan los nombres de estos y sus relaciones. Como parte de un diagrama de casos de uso, es necesario realizar una descripción de cada uno de estos. A continuación se muestra la descripción de los casos de uso más importantes identificados para C_MobileGIS:

Caso de Uso: Visualizar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Presentar visualmente al usuario la información geográfica de su elección. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario selecciona alguna fuente de información geográfica de acuerdo a los formatos soportados por la herramienta, para lo cual se incluye el caso de uso Agregar Capa de Información. El sistema realizará la georreferenciación de los datos de acuerdo a su información de posición. Además, también puede incluir el caso de uso Lectura de GPS cuando se están recibiendo y graficando coordenadas del GPS.

Caso de Uso: Aplicar Zoom. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Utilizar herramientas de zoom para obtener una mejor visualización de los datos geoespaciales. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario selecciona algún tipo de zoom, ya sea para acercar o alejar la vista con respecto al mapa base con el que se está trabajando. El usuario puede también seleccionar ajustar la vista a su nivel original. Para poder utilizar las opciones de zoom es necesario que se esté visualizando algún tipo de imagen en la ventana de visualización. Para este caso, se extiende el caso de uso Visualizar Información Geoespacial, puesto que es necesario que haya información raster sobre la cual hacer zoom.

Caso de Uso: Agregar Capa de Información. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Agregar información geográfica a la sesión de trabajo de acuerdo a las necesidades del usuario. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea agregar más información de acuerdo a su contexto de trabajo. El usuario puede agregar capas para captura de nuevos datos de acuerdo a los tipos establecidos o bien, agregar una capa proveniente de algún archivo de datos vectoriales en un formato compatible.

Caso de Uso: Seleccionar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Seleccionar un objeto o capa geoespacial con que se desea trabajar. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario selecciona algún objeto geoespacial o capa de información dentro de la sesión de trabajo. Esto con el fin de realizar algún otro procesamiento sobre estos datos. Visualizar las características del objeto, modificar estas características o transferir el objeto, son algunas opciones para objetos geoespaciales individuales. Para alguna capa de datos es posible la edición de sus características o su propio almacenamiento en un formato designado.

Caso de Uso: Lectura de GPS. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Obtener las coordenadas geográficas recibidas por el GPS. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario activa la funcionalidad de un receptor GPS añadido al dispositivo móvil. El sistema debe obtener las coordenadas geográficas y desplegarlas en el tipo de coordenadas que le resulte más conveniente al usuario, realizando para ello los cálculos necesarios. El GPS debe poder producir mensajes NMEA para que el sistema pueda obtener y procesar las coordenadas.

Caso de Uso: Capturar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Capturar objetos espaciales a partir de coordenadas geográficas determinadas. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea capturar un objeto geoespacial ya sea de tipo punto, línea o polígono. El usuario puede hacer uso de las coordenadas que esté recibiendo mediante un GPS o bien, utilizar coordenadas obtenidas mediante un clic sobre la imagen con la que se está trabajando. El objeto capturado será agregado a la capa de datos correspondiente a su tipo, para lo cual se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial.

Caso de Uso: Almacenar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Almacenar una capa con objetos espaciales en un archivo en formato definido. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea almacenar su sesión de trabajo en un archivo ya sea con fines de post-procesamiento de datos con otra herramienta, o bien, la re-utilización de estos datos en sesiones de trabajo futuras. Para ello, el usuario selecciona la capa que desea almacenar mediante el caso de uso Seleccionar Información y se generará un nuevo archivo si es que esta capa no tiene ya uno asociado, caso contrario se sobrescribe el archivo existente.

Caso de Uso: Transferir Información Geoespacial. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Transferir datos espaciales predeterminados al servidor. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea hacer una actualización en la base de datos. El usuario selecciona el tipo de enlace de comunicación de acuerdo a sus posibilidades, por lo que se incluye el caso de uso Configurar Enlace de Transmisión. Dependiendo del tipo de enlace el usuario puede transferir capas completas con objetos espaciales o bien, objetos individuales. El resto de casos de uso de C_MobileGIS pueden ser consultados en el Apéndice A.

Para finalizar con el diseño conceptual de la herramienta C_MobileGIS, se definen las principales clases necesarias para la implementación del sistema y los diferentes tipos de relaciones entre estas clases. En la Figura 18 se muestra el Diagrama de Clases correspondiente a C_MobileGIS.

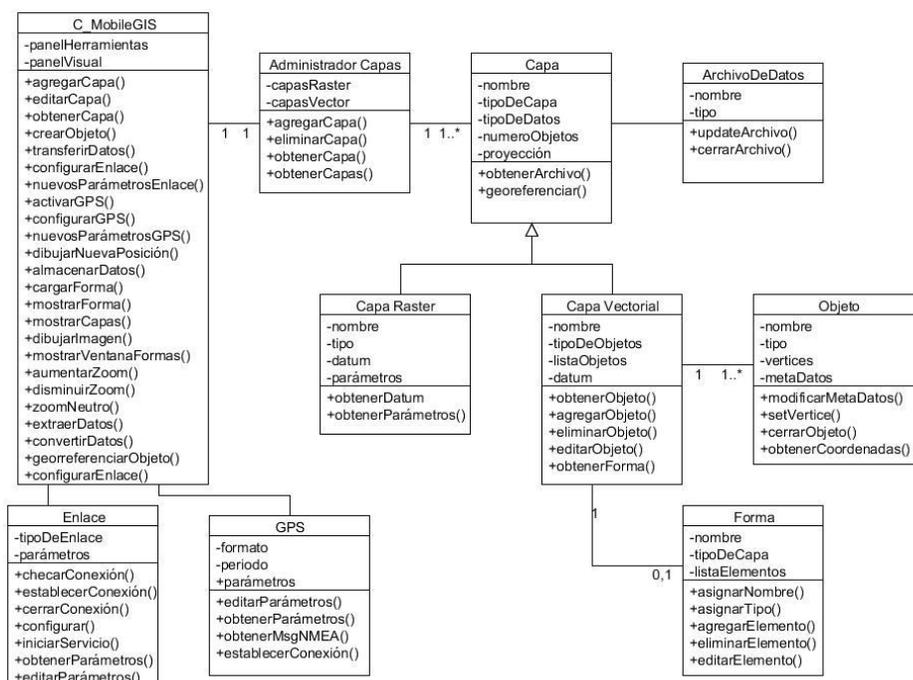


Figura 18. Diagrama de Clases de C_MobileGIS.

La clase principal lleva el nombre del sistema, es decir, C_MobileGIS, de esta se desprenden cuatro clases principales, una para el manejo de capas, una para el manejo de transferencias, una para el manejo de GPS y finalmente una para el manejo de archivos. Las relaciones con cada una de estas clases es de 1 a 1, a excepción de la clase Capa que es de 1 a muchos. Las clases Capa Raster y Capa Vectorial heredan de la clase Capa aunque implementan algunas funciones particulares. A la clase Capa Vectorial está asociada una clase Forma cuya relación es de 1 a 1 y contiene los elementos descriptivos de los objetos de la capa. A su vez, a la clase Capa Vectorial se le pueden agregar objetos de la clase Objeto Geoespacial, creándose una relación de 1 a muchos entre ambas clases.

IV.2.2 Diseño del Visualizador Web

El Visualizador Web representa el otro extremo del sistema. Se trata de una herramienta para la visualización de información geoespacial en un entorno de red accesible mediante el uso de un navegador Web. En la Figura 19 se muestra el Diagrama de Casos de Uso referente al Visualizador Web.

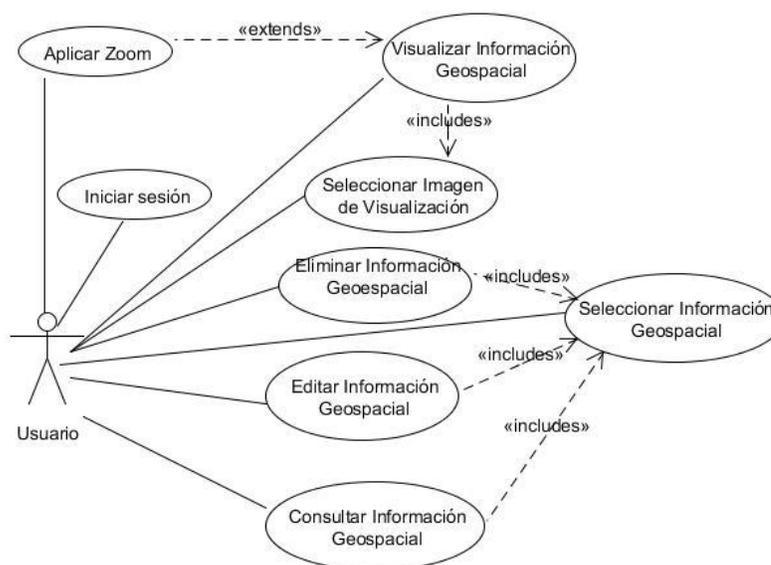


Figura 19. Diagrama de Casos de Uso para el Visualizador Web.

En el diagrama de casos de uso correspondiente al Visualizador Web podemos observar las principales funciones que el usuario podrá llevar a cabo. Algunas de estas funciones pueden requerir de alguna otra función y obtener resultados diferentes de acuerdo a las especificaciones del usuario.

De igual manera que la herramienta C_MobileGIS, en la tabla X se presenta la tabla correspondiente a la descripción de los casos de uso más importantes del Visualizador Web.

Caso de Uso: Visualizar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario *Objetivo:* Presentar visualmente al usuario la información geográfica de su elección. *Descripción:* El

caso de uso inicia cuando el usuario selecciona alguna fuente de información geográfica disponibles en el visualizador Web, para lo cual se incluye el caso de uso Seleccionar Imagen de Visualización. El sistema realizará la georreferenciación de los datos de acuerdo a su información de posición.

Caso de Uso: Consultar Información Geoespacial *Actores:* Usuario *Objetivo:* Consultar los objetos contenidos en las capas disponibles en la base de datos. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea visualizar alguna de las capas con datos geográficos hospedados en la base de datos. Para esto, el usuario selecciona alguna de las capas disponibles en la interfaz general del visualizador para lo cual se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial, posteriormente, se extraen los datos de la base de datos hospedadas en el servidor Geoweb para su presentación al usuario.

Caso de Uso: Iniciar Sesión *Actores:* Usuario *Objetivo:* Obtener acceso a la herramienta de Visualización. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando un usuario desea acceder a la visualización de datos por medio del Visualizador Web. Para ello, el usuario debe acceder a la página Web donde se hospeda la herramienta, ingresar los datos que lo validen como usuario del sistema. Si los datos ingresados son validos, se le da acceso al Visualizador Web.

Caso de Uso: Seleccionar Imagen de Visualización *Actores:* Usuario *Objetivo:* Seleccionar la imagen o mapa base sobre la cual desea observar los datos hospedados en la base de datos. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea proyectar una imagen en la vista de usuario. Para ello, el usuario puede seleccionar una de las opciones presentadas en la interfaz del Visualizador o bien, seleccionar una imagen proveniente de su base de archivos local. Una vez seleccionada, el sistema realizará los ajustes necesarios de georreferenciación de la imagen seleccionada y re-posicionara los datos previamente cargados en caso de ser necesario.

El resto de casos de uso para el Visualizador web pueden ser consultados en el Apéndice A.

Para finalizar con el diseño del Visualizador Web, se definen las principales clases necesarias para la implementación de esta herramienta y los diferentes tipos de relaciones entre estas clases. En la Figura 20 se muestra el Diagrama de Clases correspondiente.

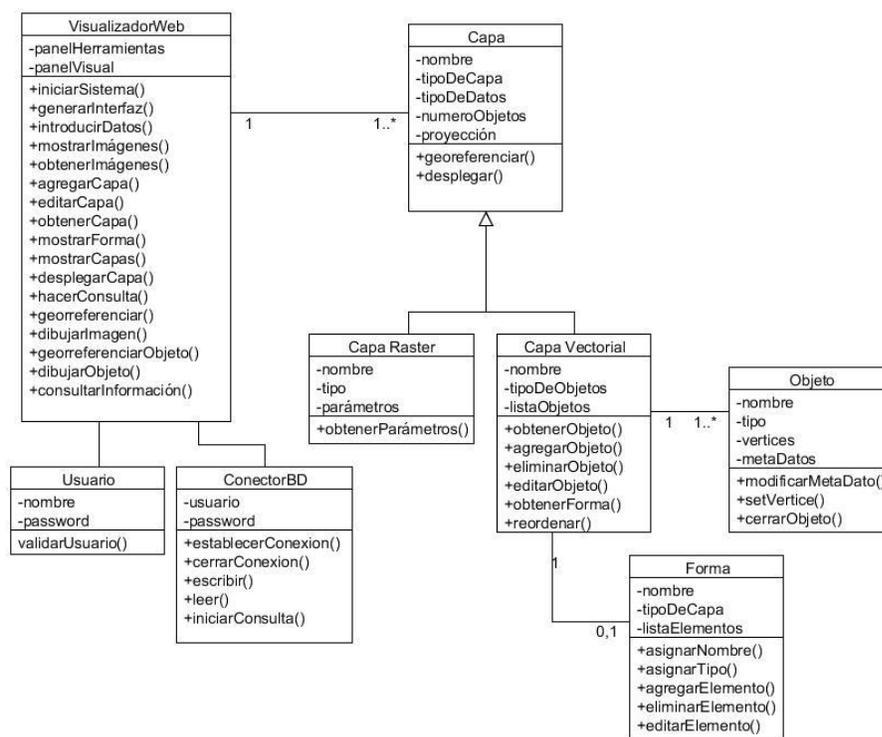


Figura 20. Diagrama de Clases del Visualizador Web.

La clase principal lleva el nombre Visualizador Web, de esta se desprenden tres clases principales, una para el manejo de capas, otra para el manejo de usuarios, y otra para el manejo de la base de datos. Las relaciones con cada una de estas clases es de 1 a 1, a excepción de la clase Capa que es de 1 a muchos. Las clases Capa Raster y Capa Vectorial heredan de la clase Capa aunque implementan algunas funciones particulares. A la clase Capa Vectorial está asociada una clase Forma cuya relación es de 1 a 1 y contiene los elementos descriptivos de los objetos de la capa. A su vez, a la clase Capa Vectorial se le pueden agregar objetos de la clase Objeto, creándose una relación de 1 a muchos entre ambas clases.

IV.4. Resumen

En este capítulo se realizó el análisis y el diseño conceptual del sistema utilizando UML. Se establecen los requerimientos que deberá cumplir el sistema y en base a estos se generó un diseño de alto nivel que sirve como base para la implementación de los componentes. En el siguiente capítulo se presentan los aspectos más importantes en la implementación del sistema.

Capítulo V

Implementación del sistema propuesto

En este capítulo se detallan los aspectos relacionados a la implementación de los componentes y los módulos que comprenden el sistema para posteriormente mostrar su aplicación en el escenario de uso seleccionado para la evaluación y pruebas del sistema.

Una vez que se han analizado los requerimientos del sistema y se ha realizado el diseño conceptual de éste, se puede proceder a la implementación del mismo. Para llevar a cabo este procedimiento se recurrió al paradigma de la Programación Orientada a Objetos (POO ó OOP por sus siglas en inglés). Este paradigma está compuesto por un conjunto de metodologías de desarrollo de software y lenguajes de programación basados en la utilización de abstracciones para la creación de objetos. Estos objetos cuentan con atributos y métodos de interacción con otros objetos para el diseño de aplicaciones de software. Entre las técnicas de programación más usadas en la POO sobresalen la herencia, modularidad, polimorfismo y encapsulamiento. La POO intenta emular el mundo real mediante la creación de objetos con características y funciones definidas. Este paradigma surgió en la década de los 80's tomando como base la programación estructurada. La POO dota al programador con elementos que le faciliten el análisis, diseño y desarrollo de software. Los lenguajes orientados a objetos se clasifican como lenguajes de quinta generación, y destacan por su popularidad y uso en diferentes aplicaciones: Java, C++ y Visual Basic son ejemplos de lenguajes orientados a objetos.

V.1 Arquitectura del sistema

Una vez que se han establecido los requerimientos del sistema, que se han identificado los componentes de este y que se han analizado las distintas arquitecturas que pueden ser

utilizadas en la implementación de un SIGM, se establece la arquitectura que será utilizada para la implementación de este sistema.

La arquitectura seleccionada para este sistema es la arquitectura cliente/servidor gruesa. De esta manera, se pretende tener un sistema que sea autónomo, es decir, que se pueda trabajar sin necesidad de establecer y mantener conexión con un servidor, aunque esta funcionalidad será posible cuando se requiera transferir datos al servidor.

Como parte de los requerimientos se estableció que la comunicación con el servidor debe ser posible mediante diferentes tipos de enlace de comunicación. Se establecen dos formas principales de conexión: por conexión directa a Internet o bien, mediante el uso de dispositivos móviles que ofrezcan las interfaces de comunicación necesarias. Por esto, se ha diseñado una arquitectura multicapas en la que el número de capas es variable y es dependiente de las capacidades del dispositivo móvil que ejecute la aplicación, de los dispositivos móviles adicionales con los que se cuente y de las tecnologías de comunicación disponibles (Figura 21).

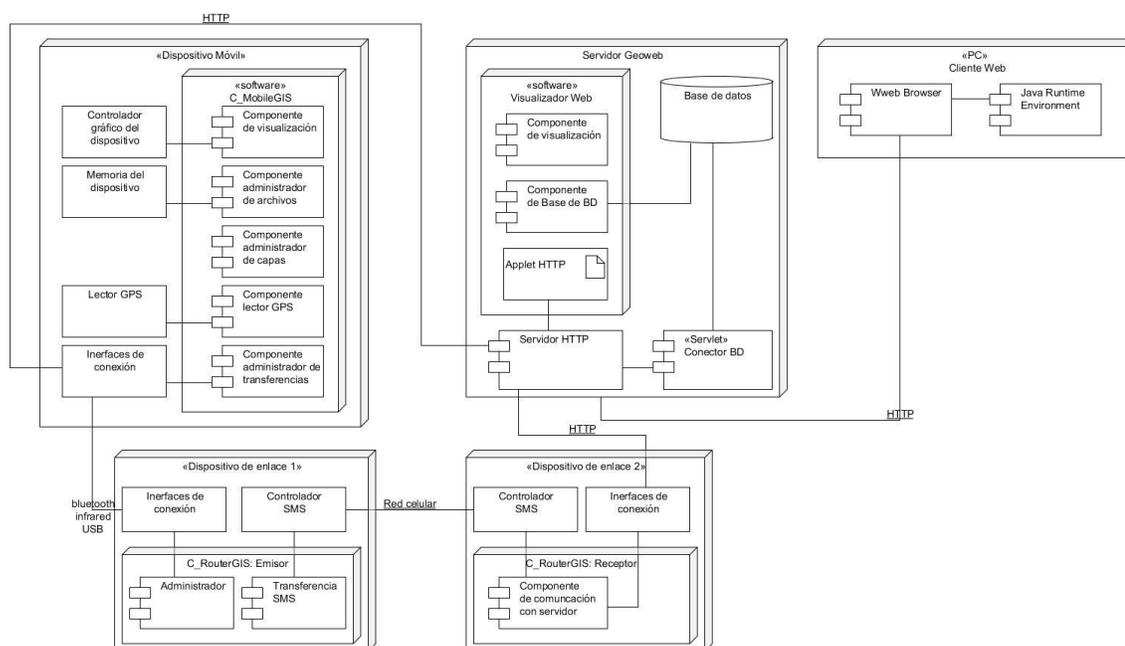


Figura 21. Arquitectura del Sistema Propuesto.

A continuación se describe brevemente cada uno de los componentes de hardware y software dentro de la arquitectura:

Dispositivo Móvil: En el dispositivo móvil se encuentra instalado el sistema C_MobileGIS, el cual consta con cinco componentes principales, los cuales hacen uso de diferentes prestaciones del dispositivo:

- *Componente de visualización:* Se encarga de la parte visual del sistema, tanto interfaces de usuario como de presentación de la información geográfica. Es dependiente del controlador gráfico del dispositivo.
- *Componente administrador de archivos:* Se realizan las operaciones de lectura/escritura de archivos que contienen información geoespacial. Es dependiente de la memoria de almacenamiento del dispositivo.
- *Componente administrador de capas:* Se encarga de la administración de los datos geográficos con los que se esté trabajando.
- *Componente lector de GPS:* Obtiene los datos de posicionamiento global para la colecta y visualización de datos geográficos. Es dependiente del receptor GPS instalado en el dispositivo.
- *Componente administrador de transferencias:* Permite las funciones de comunicación y transferencia con el servidor Geoweb, ya sea de manera directa o por medio de un dispositivo de enlace. Es dependiente de las interfaces de comunicación disponibles en el dispositivo móvil.

Dispositivo de Enlace: Dispositivo externo en donde se ejecuta la aplicación C_RouterGIS, la cual se enlaza con C_MobileGIS para la transferencia de datos al servidor. Sus componentes principales son:

- *Transferencias SMS:* Se encarga de las funciones de transferencia de datos en formato SMS hacia el modem celular designado. Es dependiente del controlador del servicio SMS en el dispositivo móvil.

- *Componente de comunicación con servidor:* Permite la transferencia de datos provenientes del móvil hacia el servidor Geoweb mediante peticiones HTTP. Es dependiente de las interfaces de comunicación del dispositivo de enlace.

Servidor Geoweb: Servidor Web encargado tanto de recibir como entregar información geoespacial según sea necesario. Dentro de este servidor se encuentra el sistema de visualización en web, la base de datos y las interfaces de comunicación con el móvil:

- *Visualizador Web:* Permite la visualización y administración de datos geográficos almacenados en la base de datos (BD) del servidor. Contiene tres componentes principales: uno encargado de las funciones de graficación y visualización de información geoespacial, otro para establecer la conexión y ejecutar las peticiones de lectura/escritura sobre la base de datos y un último componente que permite el acceso al visualizador mediante un navegador Web.
- *Servidor HTTP:* Se encarga de responder a las peticiones de envío/solicitud de los componentes que lo requieren, tal es el caso del Visualizador Web y del servlet para almacenar datos a la BD.
- *Conector BD:* Se encarga de recibir los datos enviados por el dispositivo móvil y de ejecutar las transacciones con la BD.
- *Base de datos:* Almacena el contenido geográfico que podrá ser visualizado y administrado mediante el sistema de visualización.

Cliente Web: Es el medio de acceso al Visualizador Web para los usuarios. Puede ser cualquier equipo de computo convencional con capacidades de navegación en web. Consta de dos componentes: un navegador web con capacidades de ejecución de *applets* de java y un entorno de ejecución de java adecuado.

Una vez que se ha definido la arquitectura en base a la cual será desarrollado el sistema, se procede a la implementación de los componentes necesarios.

V.2 Implementación del sistema

En esta sección se describe el proceso de integración e implementación de los componentes que conforman el sistema propuesto, lo cual se facilita una vez que se ha realizado el modelado de las principales características o funciones del sistema. La implementación del sistema se divide en sub-secciones de acuerdo a cada uno de los componentes que lo comprenden.

Se utilizan los diagramas de secuencia como apoyo a la explicación de los componentes implementados:

Diagramas de Secuencia: En los sistemas orientados a objetos, las tareas son llevadas a cabo mediante el uso de objetos que interactúan entre sí mediante el uso de mensajes. Los diagramas de secuencia son utilizados para modelar las interacciones entre distintos objetos en un contexto de colaboración durante un intervalo de tiempo determinado. Un diagrama de secuencia puede mostrar ya sea una instancia (un escenario) de un caso de uso, o puede ser genérico e incorporar todos los escenarios de un caso de uso (Schmuller, 2001). Los elementos básicos de un diagrama de secuencia son los mensajes, las líneas de vida, las actividades y los objetos. En la Figura 22 se observa un ejemplo sencillo de un diagrama de secuencia.

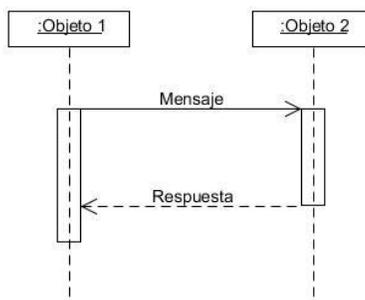


Figura 22. Ejemplo de un Diagrama de Secuencia.

V.2.1 Implementación de C_MobileGIS

Como se ha mencionado, la herramienta para colecta de datos: C_MobileGIS representa la parte más sobresaliente del sistema. Dicha herramienta ofrece una serie de funciones y capacidades que permiten realizar un trabajo eficiente de colecta de datos geoespaciales en campo.

C_MobileGIS está diseñado para ejecutarse en dispositivos móviles de media-alta capacidad, como lo son PDA's, PocketPC's ó Smarthphones. Esto debido a que la misma naturaleza del sistema requiere ciertas capacidades gráficas o de procesamiento que un dispositivo móvil más limitado no es capaz de soportar.

C_MobileGIS se desarrolló bajo el lenguaje de programación Java en su versión para dispositivos móviles J2ME. Asimismo existen diferentes configuraciones, versiones y/o perfiles de esta versión reducida del lenguaje que se ajustan a diferentes tipos de dispositivos. Para la implementación de C_MobileGIS se utilizó la *Connected Device Configuration* (CDC⁵). CDC consiste en un marco de desarrollo que implementa un conjunto de librerías básico y una maquina virtual de Java para la creación/ejecución de aplicaciones en dispositivos móviles no limitados. En conjunto con una configuración, se hace uso de algún Perfil. Un Perfil consiste en un conjunto de API's o clases que maximizan las capacidades de desarrollo de una Configuración. Se utilizó el *Personal Profile* (PP⁶, por sus siglas en inglés), dadas sus características para la creación de interfaces gráficas similares a las que implementa una distribución de Java de escritorio convencional.

De esta manera se obtiene un ambiente de desarrollo lo suficientemente poderoso para el desarrollo del sistema propuesto. Cabe mencionar que no existe una versión oficial 100% compatible con todas las especificaciones de J2ME para esta plataforma. Se utilizó PhoneMeAdvance⁷, una versión libre de esta plataforma que implementa una buena parte de las especificaciones de J2ME. La versión utilizada está desarrollada para dispositivos con Windows Mobile como sistema operativo.

⁵ http://java.sun.com/j2me/docs/j2me_cdc.pdf

⁶ <http://java.sun.com/products/personalprofile/>

⁷ https://phoneme.dev.java.net/content/phoneme_platforms.html#phonemeadvanced

A continuación se describe la implementación de los componentes que contiene la herramienta C_MobileGIS:

- Componente de visualización.
- Componente lector de GPS.
- Componente administrador de capas.
- Componente administrador de archivos.
- Componente administrador de transferencias.

V.2.1.1 Componente de visualización

La visualización de información o datos geoespaciales es la principal función que debe proveer un SIG de cualquier tipo. La herramienta C_MobileGIS es capaz de desplegar distintas formas de información geográfica proveniente de diferentes formatos. El sistema es capaz de desplegar datos en los formatos especificados en el capítulo anterior: JPEG, TIFF, GIF y Shapefiles.

Para el graficado de la información en ambos formatos se utilizó la librería AWT, aunque está posee ciertas limitaciones en su implementación para J2ME, resulta suficientemente potente para la aplicación deseada .

El sistema desarrollado provee los métodos necesarios para el procesado básico y graficado de imágenes en los formatos establecidos mediante el uso de librerías típicas del lenguaje. Para la visualización de información es necesario cargar una capa adecuada. Si se trata de una imagen, se cargan y almacenan en memoria los parámetros de georreferenciación así como el establecimiento del *datum* geodésico para el cual está definida tal imagen. En base a esto se proyecta la imagen en la ventana de visualización. Después de que se ha cargado la imagen, se habilitan las herramientas de navegación y zoom. Para el caso una capa de datos vectoriales, es posible visualizar datos de tipo *Puntos, Líneas y Polígonos*. Para ello, se accede a la capa vectorial que contiene los objetos para ir obteniendo la referencia de cada uno de estos y sus coordenadas, de esta manera es posible su graficación. En la Figura 23 se presenta el diagrama de secuencia que ilustra de

mejor manera este procedimiento:

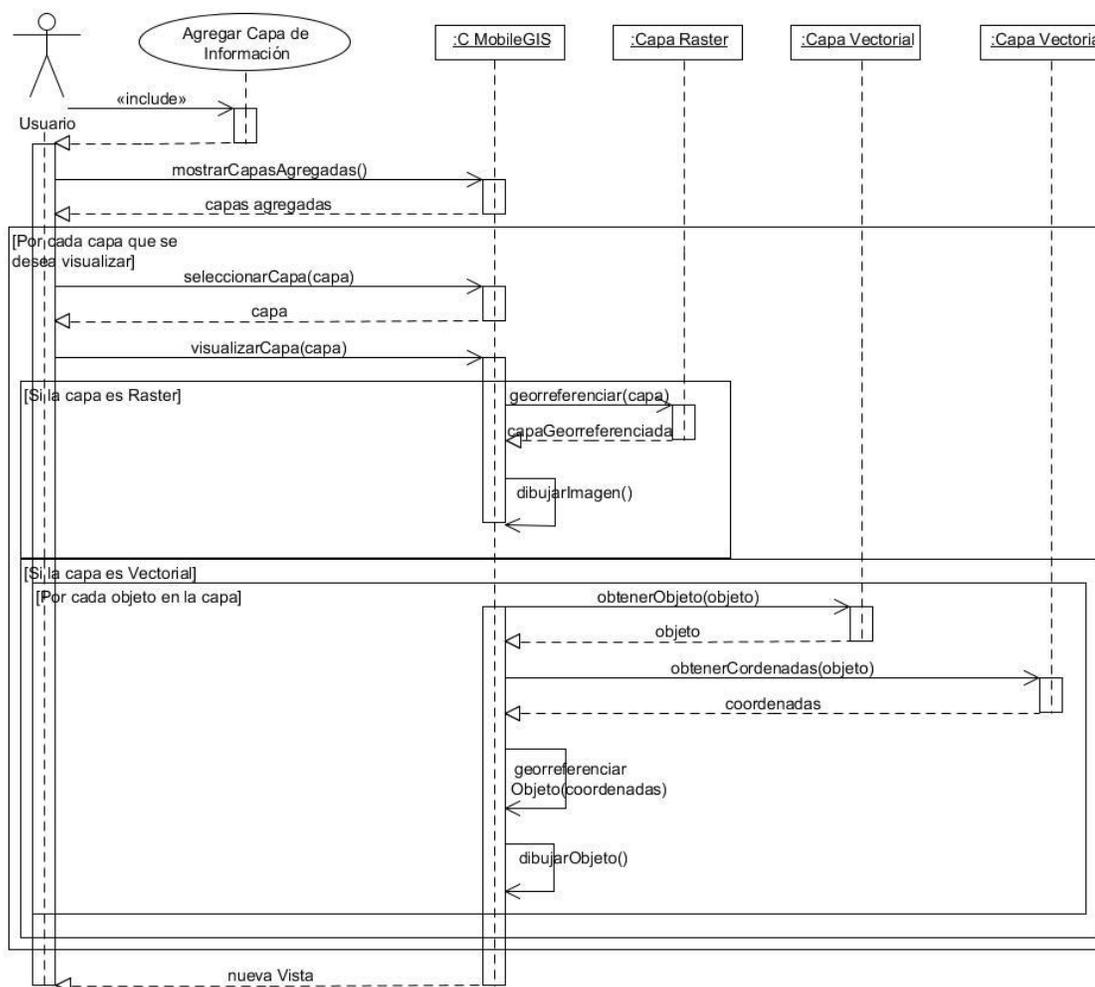


Figura 23. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Visualizar Información Geoespacial.

En las Figuras 24 y 25 se pueden observar los resultados obtenidos al visualizar datos vectoriales de diferentes tipos, tanto en formato raster como en vectorial.

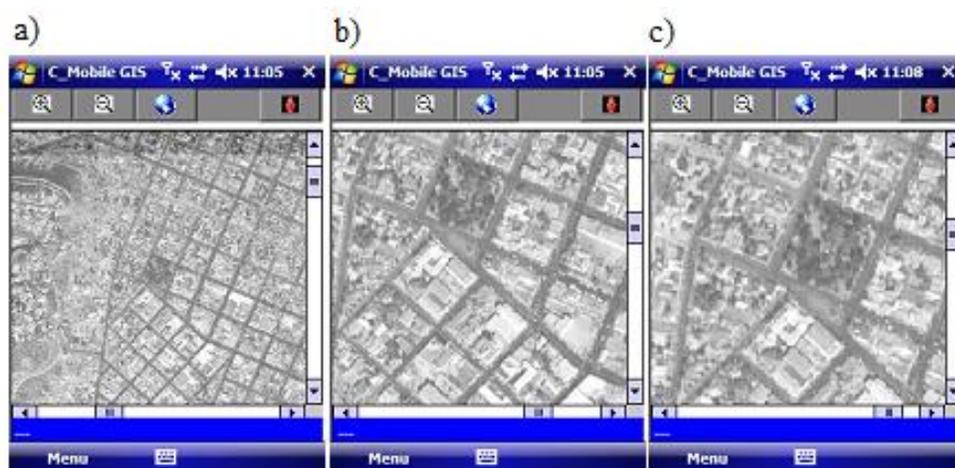


Figura 24. Visualización y Navegación en Datos Raster. a) utilizando alejamiento, b) vista normal, c) utilizando acercamiento.

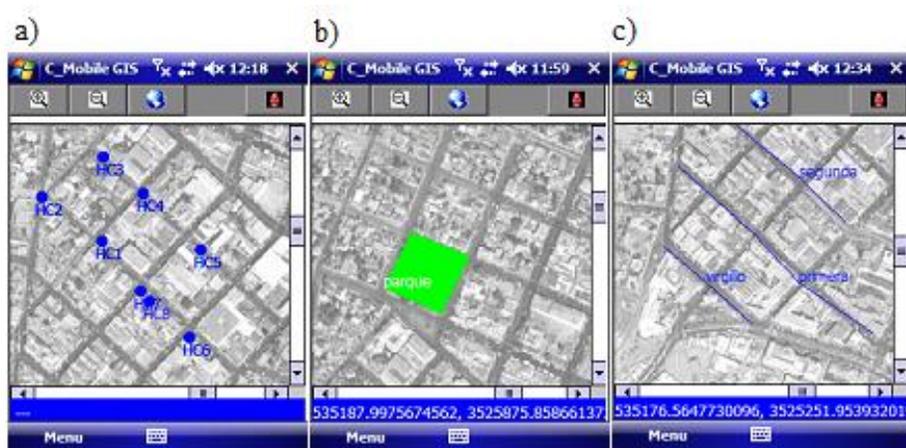


Figura 25. Visualización de datos vectoriales en diferentes formas. a) visualizando puntos, b) visualizando polígonos, c) visualizando líneas.

V.2.1.2 Componente lector de GPS

La capacidad para obtener e interpretar datos mediante un receptor GPS representa una parte fundamental en el desarrollo de C_MobileGIS. Esta funcionalidad es la que permite la

navegación en campo y la captura y colecta de datos geoespaciales durante las actividades de trabajo de campo.

El acceso a los datos obtenidos por un GPS se hace posible mediante una conexión serie al puerto lógico en donde está escuchando el GPS. Se utilizó GPSylon⁸ para la interacción con el dispositivo GPS. GPSylon consiste en un API para el acceso a datos provenientes de GPS en equipos de escritorio o portátiles. Existen ciertas características de GPSylon no soportadas en dispositivos móviles, por lo que fue necesario depurar la librería para obtener compatibilidad con el dispositivo utilizado.

Otra de las capacidades de GPSylon es la de interpretar mensajes NMEA de diferentes tipos. Para fines de este trabajo se utilizaron mensajes NMEA de tipo: GSA y GSV. Una vez obtenidos los mensajes, se pueden extraer los datos de latitud, longitud y elevación mediante funciones básicas para el manejo de cadenas de caracteres. Una vez obtenidas las coordenadas, es posible su visualización sobre una imagen cargada en el sistema. A su vez, esto permite el objetivo principal del sistema: colecta de datos geoespaciales. Para esto, se selecciona la capa en la cual a la cual se desea agregar los datos capturados. Dependiendo del tipo de objeto, se van agregando al objeto tantos vértices como sea necesario. Finalmente se obtiene la forma para captura de datos correspondiente al objeto capturado y se agregan los metadatos asociados según sea necesario. Este procedimiento se muestra en el diagrama de secuencia de la Figura 26.

⁸ <http://www.tegmento.org/gpsylon/>

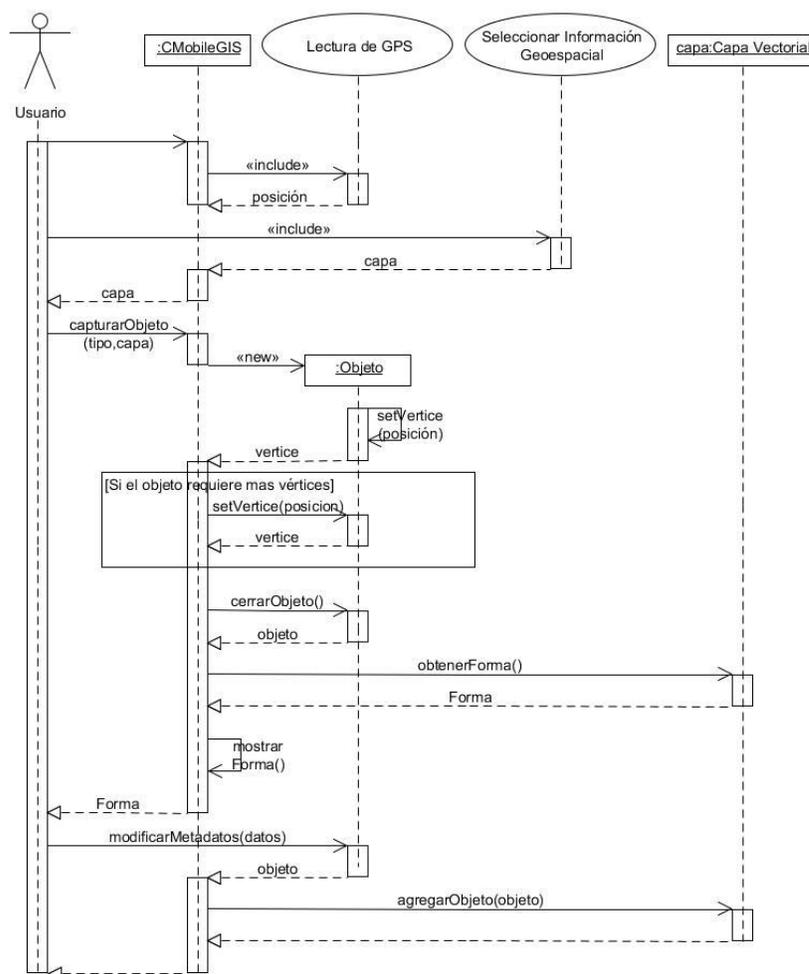


Figura 26. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Capturar Información Geoespacial.

Además, en la Figura 27 se muestran las imágenes correspondientes a la visualización y captura de datos mediante GPS.



Figura 27. Visualización y captura de datos vectoriales mediante coordenadas obtenidas del GPS.

Como se ha mencionado, las coordenadas obtenidas mediante el sistema GPS están dadas en coordenadas geodésicas y están definidas para el *datum* WGS84 por lo que puede resultar necesario hacer conversiones entre sistemas de coordenadas y/o *datums* según las otras fuentes de información con las que se esté trabajando.

V.2.1.3 Componente administrador de capas

Un SIG de cualquier tipo administra los datos con los que se está trabajando mediante el uso de capas temáticas. Una capa típica puede contener objetos de tipo Punto, Línea o Polígono, pero cada capa solo almacena objetos de un tipo particular. A su vez, una capa contiene objetos que comparten las mismas características, de esta manera se tiene un mejor control sobre los datos

Por otra parte, es posible la especificación de ciertas características de una capa, como lo es su nombre, visibilidad, *datum* geodésico entre otras. Cuando se están capturando datos geoespaciales en distintas capas, es necesario definir que capa estará en modo editable en un momento dado, esto con el fin de mantener la homogeneidad de los datos en cada capa. Es posible tener como editables más de una capa simultanea, siempre y cuando éstas sean de distinto tipo, es decir, punto, línea o polígono (ver Figura 28). El

manejo de capas se realiza mediante el uso de vectores y punteros, esto para mantener un control sobre cual capa y/u objeto geoespacial está editable en cualquier momento.

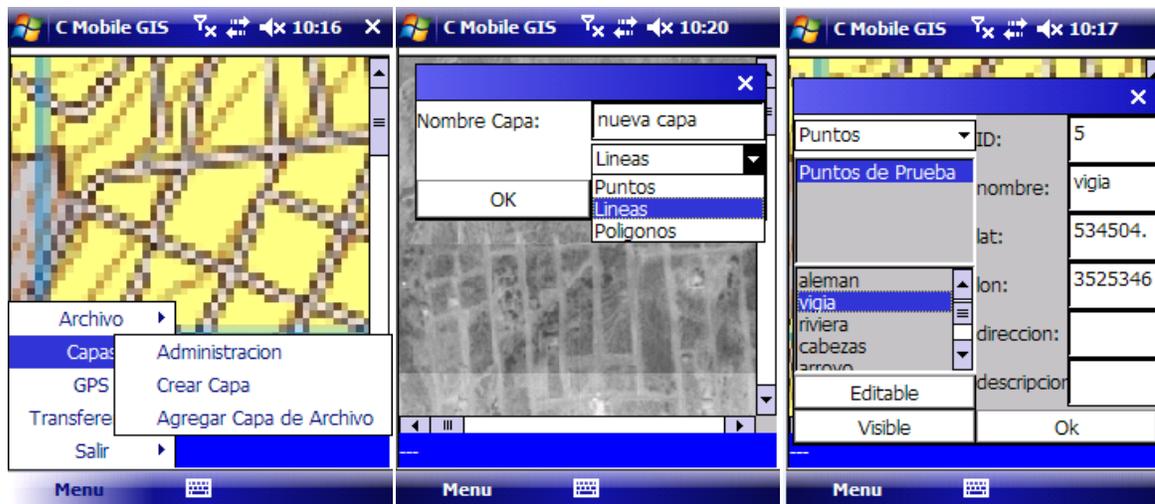


Figura 28. Manejo y administración de datos por medio de capas temáticas.

V.2.1.4 Componente administrador de archivos

Para la creación y manipulación de archivos se utilizan funciones básicas que permiten la creación y edición de archivos de texto plano. Para el almacenamiento de datos en un archivo, primero es necesario seleccionar la capa que se desea almacenar. Si la capa ya tiene un archivo asignado, se utiliza este para actualizar la información, caso contrario, se crea un nuevo archivo de acuerdo a la capa seleccionada. Después, se obtiene la referencia a cada uno de los objetos contenidos dentro de la capa, de este manera, se extraen los metadatos asignados a cada objeto para ir actualizando el archivo de datos. En la Figura 29 se presenta el diagrama de secuencia que muestra este procedimiento.

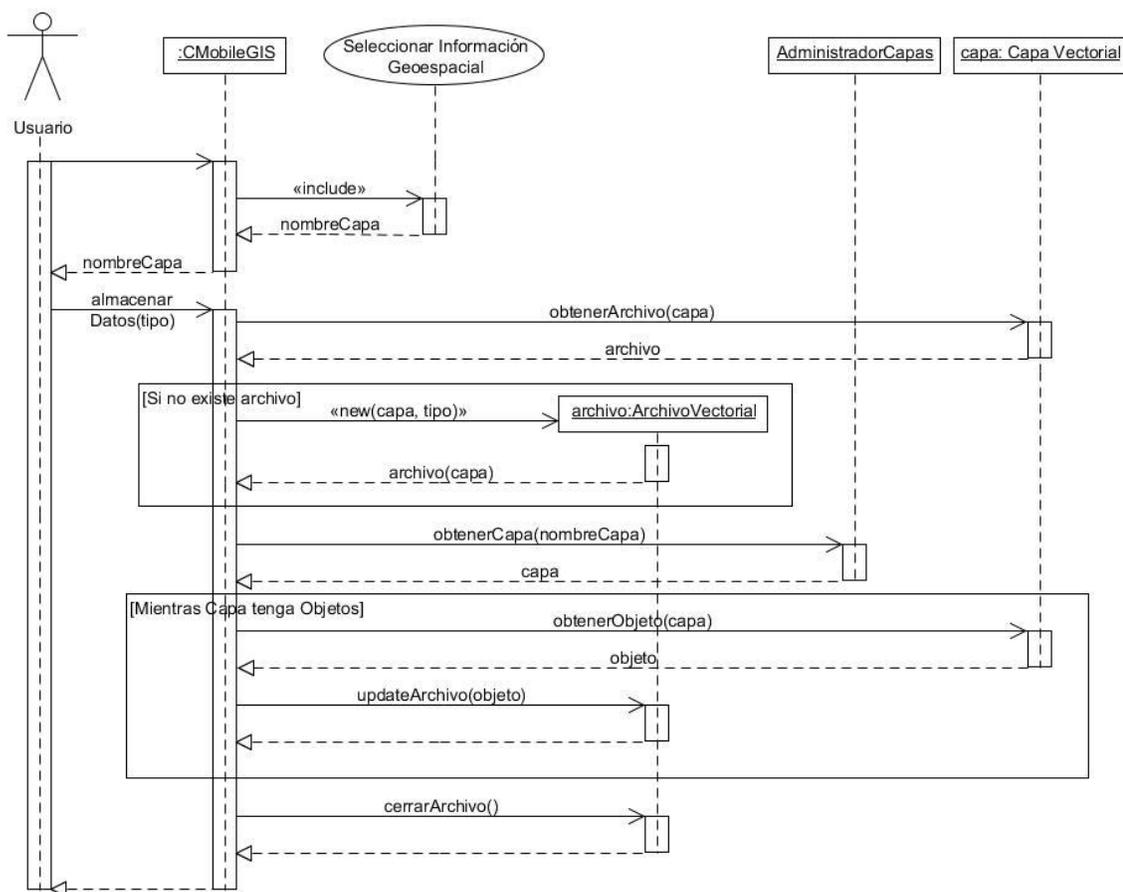


Figura 29. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Almacenar Información Geoespacial.

Para fines de este sistema se ha creado una estructura para el almacenamiento de datos vectoriales. Este formato lleva como extensión: `.cmg` (ver Figura 30).

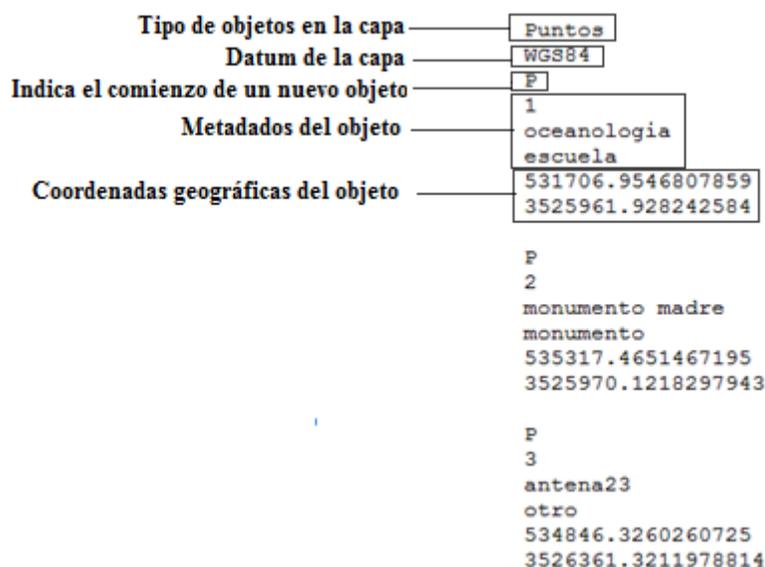


Figura 30. Estructura de archivo cmg con objetos vectoriales de tipo Punto con coordenadas definidas para el datum WGS84.

V.2.1.4 Componente administrador de transferencias

De acuerdo a los casos de uso establecidos en el *Capítulo V, sección V.2.2.1. Casos de Uso de C_MobileGIS*, la comunicación con el servidor Geoweb para la transferencia de datos es posible mediante diferentes tipos de enlace.

Para el caso ideal, en el que el dispositivo cuenta con conexión a Internet por algún tipo de red disponible, se hace posible la comunicación con el servidor mediante una conexión HTTP. La plataforma utilizada cuenta con los métodos necesarios para establecer una conexión del tipo:

```
connection = (HttpConnection) Connector.open("URL");
```

donde URL corresponde a la dirección web del servlet encargado de obtener los datos, además que se desempeña como intermediario entre el móvil y la base de datos, con la cual establece la conexión necesaria para el almacenamiento de los mismos. Este enlace permite el envío de datos en forma rápida, permitiendo además la transferencia de capas completas

de datos. Este procedimiento se ilustra de mejor manera en el diagrama de secuencia de la Figura 31.

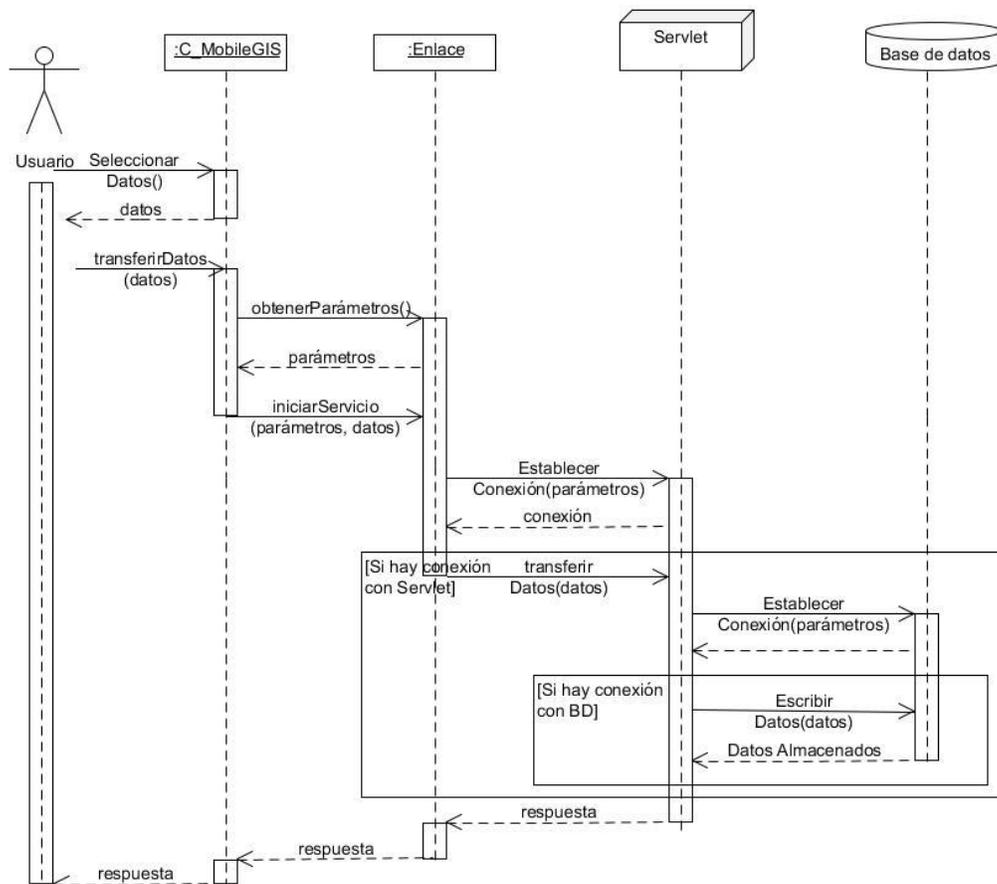


Figura 31. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Transferir Información Geoespacial: Internet.

En la Figura 32 se muestran algunas de las interfaces gráficas que permiten la selección de capas y datos que se desean transferir.

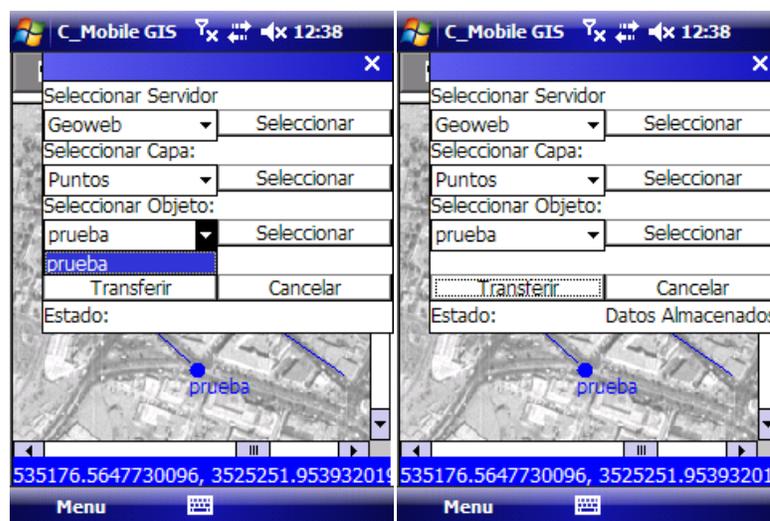


Figura 32. Transferencia de datos mediante un enlace directo a Internet.

Para efectuar un enlace mediante el uso de otro dispositivo, la conexión entre los dispositivos se lleva a cabo mediante bluetooth. La plataforma utilizada no implementa las librerías para el manejo de bluetooth en dispositivos móviles. Se utilizó bluecove⁹ para la manipulación de la conectividad con bluetooth en ambos dispositivos. Bluecove es una librería que provee una interface de conexión con bluetooth según la especificación JSR-82¹⁰ para el lenguaje Java. Esta librería es compatible con las pilas WIDCOMM y Microsoft Bluetooth Stack en el SO Windows Mobile. Para llevar a cabo la transferencia entre los dispositivos es necesario iniciar el servicio de transferencia, para que el dispositivo de enlace pueda acceder a este y solicitar los datos. Una vez recibidos los datos, este dispositivo se encarga de enviarlos al dispositivo receptor, el cual establece la conexión con el servlet mediante el mismo proceso que en el enlace con conexión directa a Internet.. Se presenta el diagrama de secuencia que ilustra este procedimiento (ver Figura 33).

⁹ <http://bluecove.org/>

¹⁰ <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=82>

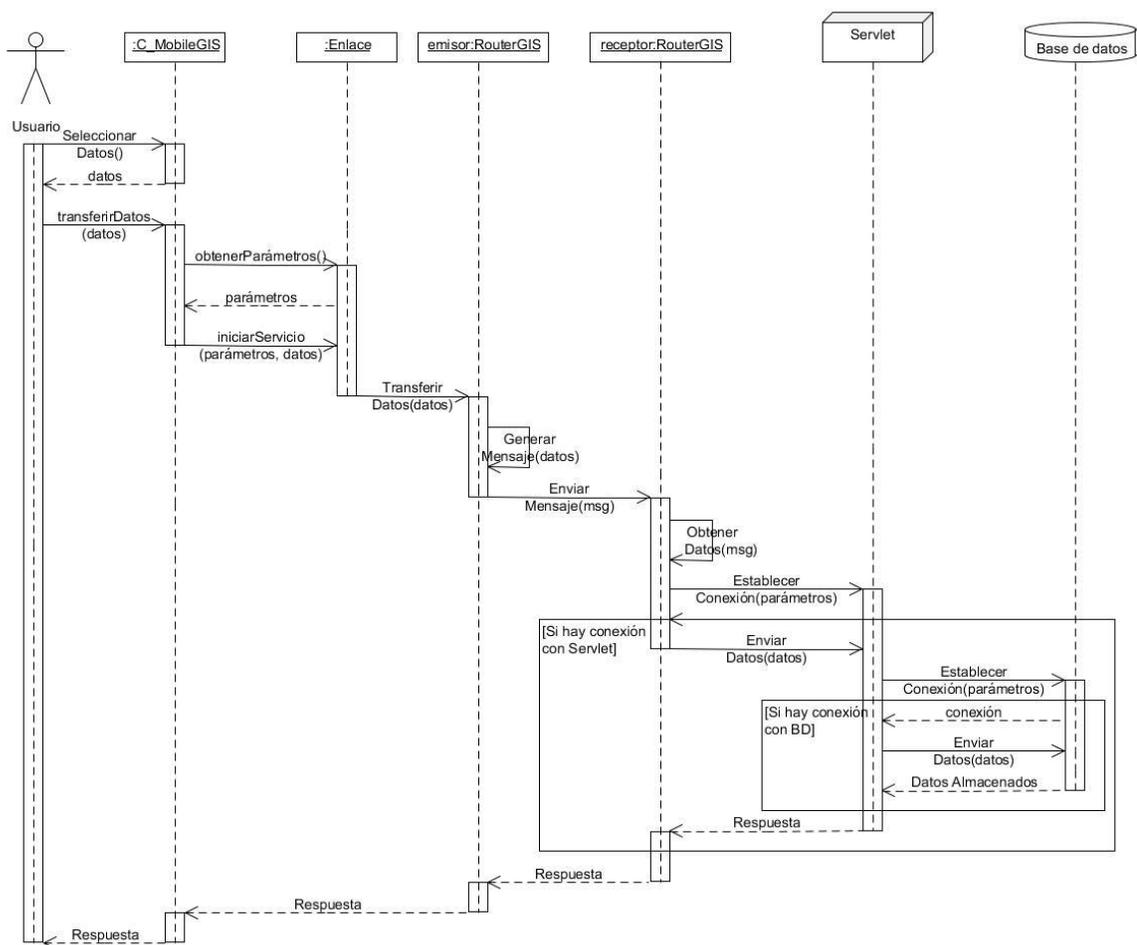


Figura 33. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Transferir Información Geoespacial: bluetooth/SMS.

De esta manera se finaliza con la descripción de la implementación de los componentes principales del sistema C_MobileGIS.

V.2.2 Implementación del Visualizador Web

La herramienta de Visualización en Ambientes Web se presenta como un sistema de apoyo a la colecta de datos mediante C_MobileGIS, presentando los datos en una plataforma más accesible y con mejores prestaciones.

La herramienta de visualización se desarrolló utilizando la tecnología de applets de Java, por lo tanto, es necesaria la generación de un documento HTML que albergue el applet para su ejecución. Este documento forma parte del sitio web del servidor Geoweb.

El sitio web del servidor Geoweb fue concebido para poder ser accedido desde cualquier ubicación a través de Internet mediante un navegador Web que tenga soporte para ejecutar applets mediante un ambiente de ejecución de Java convencional.

El servidor Geoweb cuenta con un servidor Apache instalado, el cual es el encargado de manejar las peticiones HTTP generadas para acceder al sitio Web que contiene el applet del Visualizador Web.

A continuación se categorizan las principales características que el Visualizador Web debe presentar de la siguiente manera:

- Seguridad del Sistema.
- Visualización de Información Geoespacial.
- Selección de Imágenes.
- Consultas de Información.

V.2.2.1 Seguridad del sistema

Una de las características que debe ser tomada en la implementación de cualquier sistema, máxime si se trata de un sistema que estará disponible en la red es la seguridad.

Dada la arquitectura cliente/servidor bajo la cual trabaja el sistema, existen ciertas áreas potenciales de riesgo en este tipo de sistemas. Algunos de estos riesgos son: descarga innecesaria de software, acceso no autorizado al sistema, exposición de información privada, entre otros.

Tomando en cuenta los diferentes riesgos existentes en este tipo de sistemas, se establecieron algunas medidas de seguridad básicas para resguardar la integridad de los datos y equipos, tanto del cliente como del servidor. Dado que la red de trabajo utilizada es una red compartida, existe un mayor grado de dificultad para establecer medidas de seguridad. Las medidas de seguridad implementadas son las siguientes:

- Autenticación de los usuarios para el acceso y la visualización de datos del servidor.
- Publicación selectiva de información geoespacial y utilización de una interfaz gráfica para la selección de información.
- Certificación del applet.

Cuando el usuario desea ingresar al sistema se le muestra un cuadro de diálogo donde se le solicita al usuario un nombre y contraseña válidos. Si los datos ingresados resultan inválidos, se niega el acceso a la herramienta.

Un applet de Java es concebido como una aplicación de tamaño reducido que tiene como objetivo añadir interactividad a un documento HTML. Lo applets de Java son ejecutados mediante el uso de una máquina virtual de Java en el equipo de cómputo que solicite el documento HTML que contiene al applet.

El origen de un applet no siempre es conocido por el usuario, por lo que su contenido puede no ser confiable. Un applet puede utilizar métodos que pongan en riesgo el equipo del usuario al tratar de acceder a ciertos recursos en éste. Para reducir este riesgo y garantizar la autenticidad del applet que contiene al Visualizador Web, se utilizó un proceso de certificación del applet, tal como se muestra en la Figura 34.

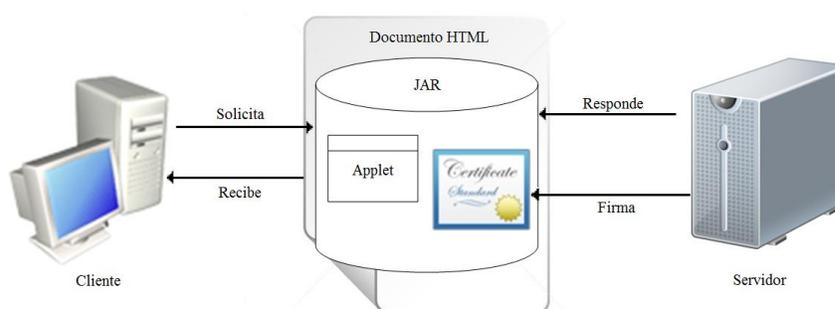


Figura 34. Proceso de solicitud y entrega de un applet certificado digitalmente.

El certificado de un applet puede ser expedido por el autor del applet o por una institución reconocida, independiente del autor del applet. En el caso del applet para el

módulo Visualizador Web, éste fue certificado por el Laboratorio de Geomática. Cuando un usuario solicita el documento HTML que contiene al applet del Visualizador, se despliega al usuario un cuadro de diálogo con los datos de certificación. El usuario elige si desea o no ejecutar el applet (ver Figura 35).

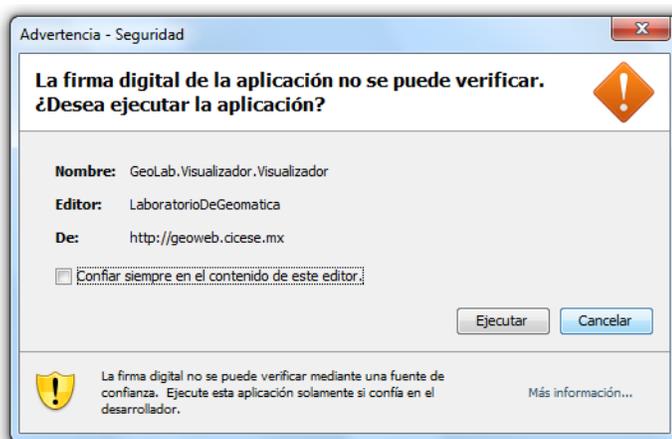


Figura 35. Cuadro de dialogo para verificar el autor y ejecución del applet.

El sistema de visualización Web cuenta con dos componentes principales para llevar a cabo las funciones de visualización de información geoespacial y la solicitud de este tipo de datos al servidor y la base de datos:

- Componente de visualización
- Componente de base de datos.

V.2.2.2 Componente de visualización

El Visualizador Web es capaz de desplegar distintas formas de información geográfica. Para el caso de información raster como lo son las imágenes satelitales y cartografía digital, es posible desplegar imágenes en los formatos definidos en el *Capítulo IV, sección IV.1.2. Información Raster*.

La plataforma de desarrollo seleccionada provee los métodos necesarios para el

procesado básico y graficado de imágenes en los formatos establecidos. Una vez seleccionada la imagen que se desea visualizar es necesario cargar y almacenar en memoria los parámetros de georreferenciación. En base a estos parámetros se proyecta la imagen en la ventana de visualización (ver Figura 36).

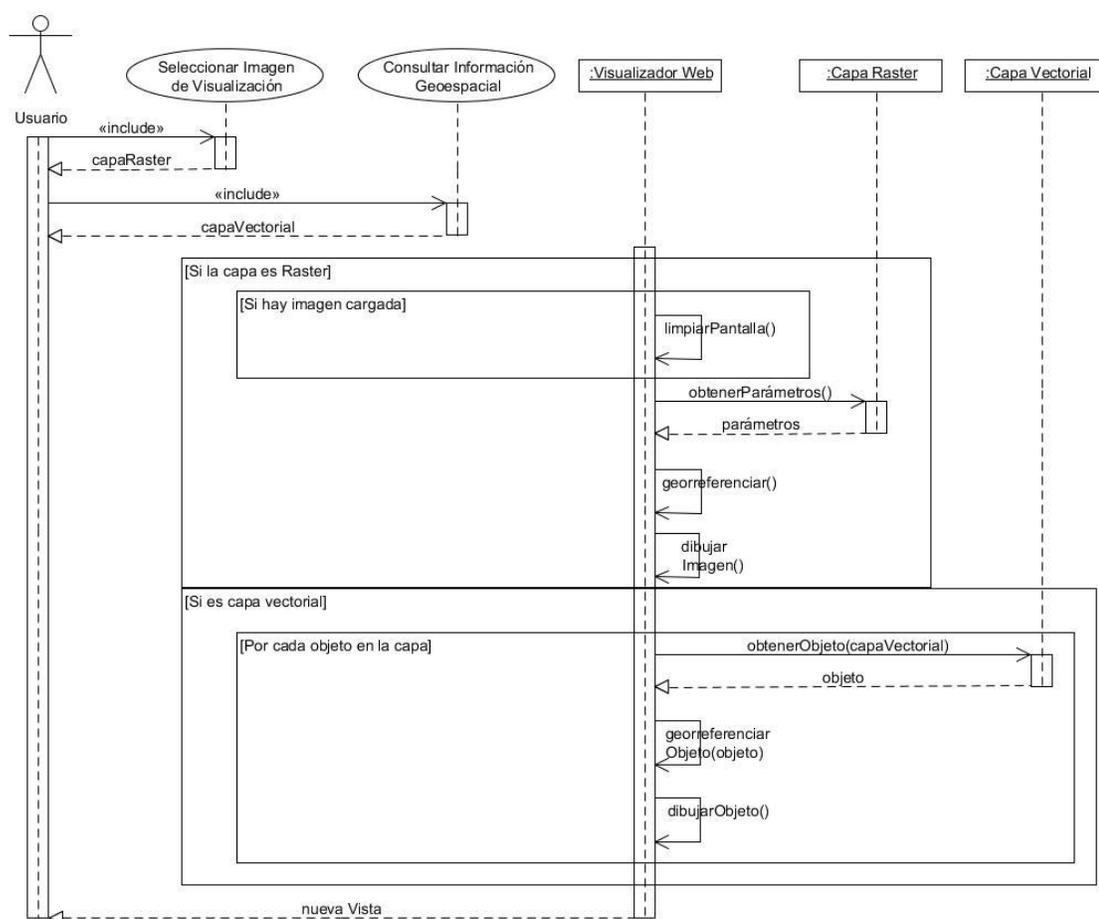


Figura 36. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Visualizar Información Geoespacial.

Al tratarse de una aplicación hospedada en un servidor, lo ideal es que las fuentes de información se encuentren dentro del mismo. Por medio de una interfaz gráfica sencilla, el usuario puede seleccionar la imagen o mapa con que desea trabajar de acuerdo a sus necesidades o a su zona de interés.

Las imágenes disponibles se encuentran dentro de una carpeta específica dentro del directorio del sitio web que contiene al applet. Las imágenes utilizadas fueron seleccionadas de acuerdo con el escenario de evaluación expuesto en el *Capítulo V sección V.4. Escenario de Uso*. El diagrama de secuencia para selección de imagen se muestra en la Figura 37.

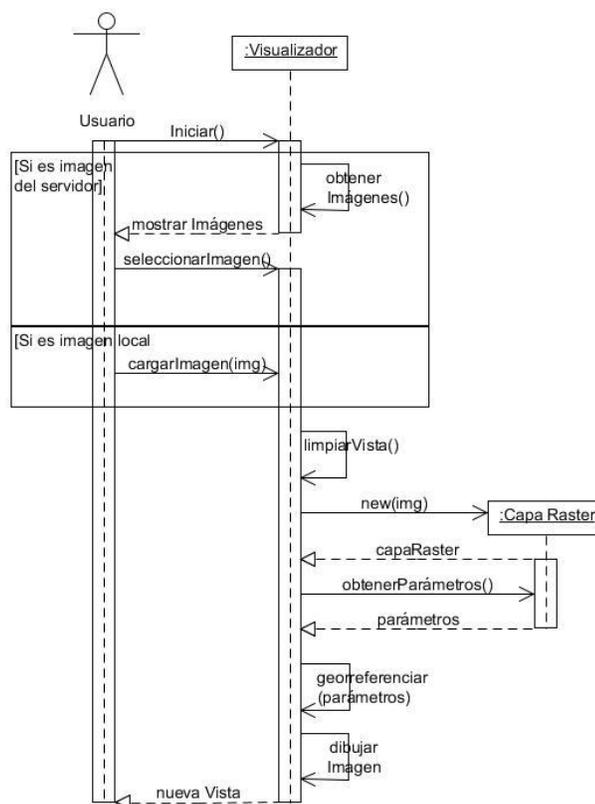


Figura 37. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Seleccionar Imagen de Visualización

Para el caso de información vectorial, las capacidades del Visualizador son más limitadas. Estas capacidades fueron adaptadas de acuerdo al escenario de uso seleccionado para llevar a cabo la evaluación del sistema propuesto según se expone en *Capítulo VI sección VI.3. Planteamiento del Escenario de Uso*. El Visualizador es capaz de presentar los datos de interés para ese grupo de usuarios mediante el uso de iconos representativos para cada tipo de dato como se muestra en la Figura 36. Los tipos de datos que es posible

visualizar son:

- Hidrantes
- Negocios
- Señales
- Educación
- Baldíos
- Recreación
- Salud
- Monumentos

En las Figuras 38 y 39 se observan los resultados obtenidos al cargar una capa de información que contiene una imagen raster y una capa con información vectorial.



Figura 38. Visualizador Web desplegando una imagen raster.

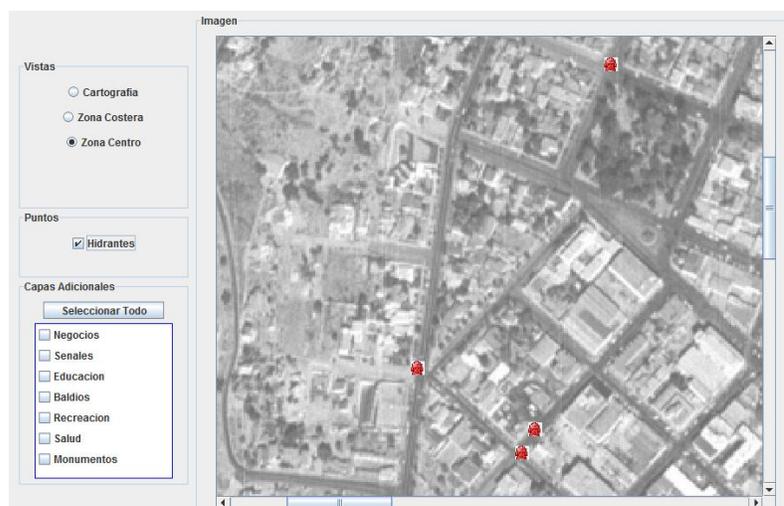


Figura 39. Visualizador Web desplegando iconos representativos para la capa de hidrantes de acuerdo al caso de uso seleccionado.

V.2.2.4 Componente de base de datos

La agregación de información geográfica vectorial para su visualización, se hace mediante el uso de una base de datos espacial. Se utilizó MySQL¹¹ como el manejador de base de datos, así como las librerías y conectores que el lenguaje Java necesita para tener acceso a este tipo de base de datos. Estos datos están almacenados en tablas dedicadas para cada tipo de dato que sea de interés para el usuario. La base de datos es alimentada mediante datos capturados en campo con C_MobileGIS. Una vez seleccionada la capa que se desea visualizar, se establece la conexión correspondiente con la base de datos para extraer los datos asociados a esa capa. Si el procedimiento resulta exitoso se grafican los datos en la ventana de visualización. El diagrama de secuencia de la Figura 40 ilustra este procedimiento:

¹¹ <http://dev.mysql.com/usingmysql/java/>

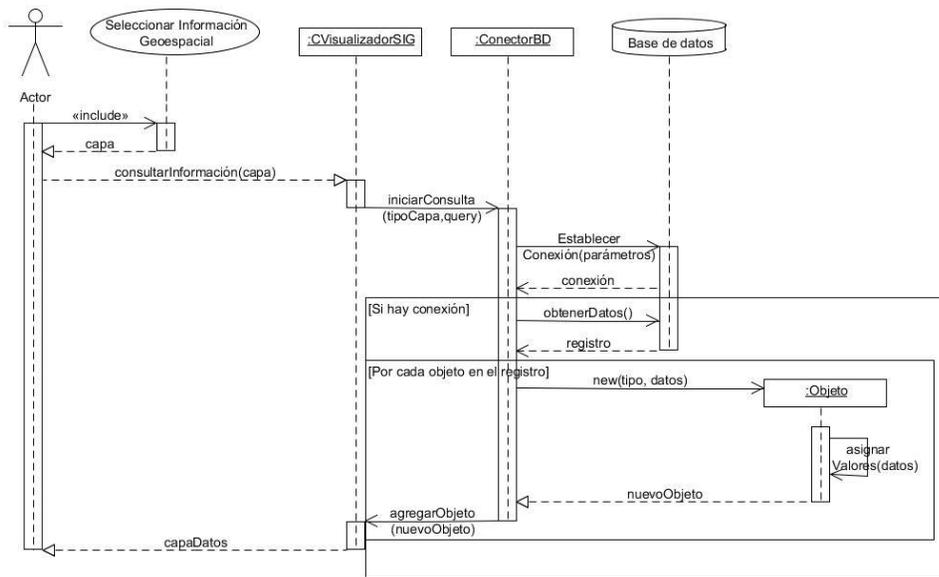


Figura 40. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Consultar Información Geoespacial.

En la Figura 41 se muestra la interfaz gráfica que permite seleccionar la capa de información que se desea consultar y visualizar.

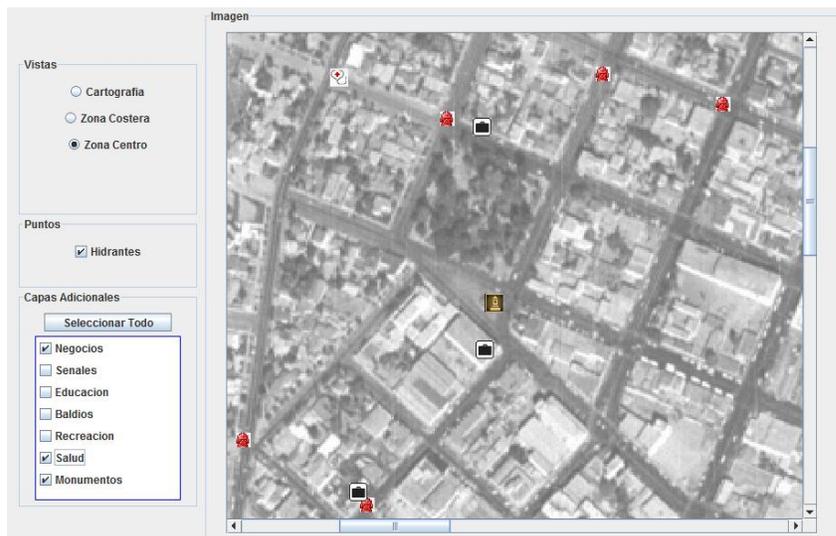


Figura 41. Visualizador Web desplegando las capas de Hidrantes, Negocios, Salud y Monumentos.

De esta manera se concluye con la implementación de los componentes más importantes del Visualizador Web.

V.2.2 Implementación de C_RouterGIS

Para realizar transferencias de datos mediante el uso de un dispositivo móvil de enlace se implementó el modulo C_RouterGIS para manejar las interacciones necesarias. C_RouterGIS está diseñado para ejecutarse en dispositivos móviles de capacidad limitada, como puede ser un teléfono celular convencional. Las capacidades mínimas requeridas son: la ejecución de MIDlets¹², conectividad bluetooth y capacidad de envío/recepción de SMS's. Un MIDlet es una aplicación de Java que se ejecuta sobre dispositivos móviles limitados.

C_RouterGIS se desarrolló bajo J2ME. Para su implementación se utilizó la *Connected Limited Device Configuration* (CLDC¹³, por sus siglas en inglés). CLDC consiste en un marco de desarrollo que implementa un conjunto de librerías básico y una máquina virtual de Java para la creación/ejecución de aplicaciones en dispositivos móviles limitados.

C_RouterGIS tiene dos modos de funcionamiento: enrutador y receptor. En el modo enrutador funciona como enlace con el dispositivo móvil donde se ejecuta C_MobileGIS para enviar los datos hacia el servidor. Para establecer el enlace con el dispositivo en el que se ejecuta C_MobileGIS se utilizan los métodos para conectividad bluetooth de acuerdo a la especificación JSR82. Los procesos de generación y envío de mensajes SMS se hacen posibles mediante los métodos del Wireless Messaging API¹⁴ (WMA) disponible en la mayoría de plataformas J2ME.

En el modo receptor, la aplicación C_RouterGIS se ejecuta sobre un dispositivo con capacidad de modem celular para recibir los mensajes SMS, procesarlos y establecer la transferencia. Esta transferencia se hace por medio de una petición HTTP Post con el

¹² <http://java.sun.com/javame/reference/apis/jsr118/javax/microedition/midlet/MIDlet.html>

¹³ <http://java.sun.com/products/cldc/>

¹⁴ <http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=120>

Servlet ejecutándose en el servidor Geoweb. Se utilizó un teléfono móvil convencional con capacidad para establecer una red local con el Servidor Geoweb y simular la función de modem celular.

V.3 Servidor Geoweb

Otro de los puntos importantes en este trabajo es la implementación de un servidor Web para poder ofrecer parte de la funcionalidad propuesta en el sistema. Un servidor Web común maneja y administra peticiones HTTP¹⁵ para poder comunicarse y hacer intercambios de información con los usuarios. Por su parte, el usuario utiliza un navegador Web para hacer solicitudes al servidor y poder obtener la información requerida.

El establecimiento de un servidor Web se basa tanto en los componentes de hardware como de software para dar la funcionalidad que se requiere. En la parte de hardware, se cuenta con una computadora de escritorio común con procesador Intel Dual Core 2.0 GHz y 2GB de memoria RAM, bajo el Sistema Operativo Debian Linux 5.0. En cuanto a la parte del software, es necesario contar con una serie de componentes que den soporte a diferentes funciones. Esta funcionalidad está dada en términos del acceso y presentación de la aplicación de visualización en Internet, y el acceso a la base de datos tanto desde el Visualizador Web como desde C_MobileGIS. Como se ha mencionado, uno de los objetivos y requerimientos del sistema es la utilización de herramientas y componentes de software libre. En base a esto, los componentes considerados para el establecimiento del servidor son:

- Servidor Web Apache 2.2.6. Este es el servidor Web que se encarga de dar accesibilidad al Visualizador Web mediante un documento HTML accesible a través de Internet.
- Servidor MySQL 5.0: Servidor de base de datos para el almacenamiento, actualizaciones y solicitudes de información geoespacial cuando sea requerido.

¹⁵ El Protocolo de Transferencia de HiperTexto (HTTP, por sus siglas en inglés) es un Protocolo de Internet usado para la transferencia de datos y documentos en Internet.

- Servidor TomCat: Servidor que hospeda aplicaciones Servlet¹⁶ que puedan servir de intermediario entre C_MobileGIS y el servidor de base de datos.

V.4 Escenario de uso del sistema

El sistema C_MobileGIS proporciona la funcionalidad necesaria para la realización de colecta de datos geoespaciales en actividades de trabajo de campo. Como se menciona en el Capítulo III sección III.4. *Uso de SIGM en actividades de trabajo de campo*, el trabajo de campo es utilizado en muchas dependencias tanto gubernamentales como académicas y privadas. En base a este fundamento, se estableció contacto con diferentes instancias donde el trabajo de campo forma parte de sus actividades y se observa un gran potencial en la aplicación de este tipo de trabajo mediante C_MobileGIS.

Uno de estos contactos se dio con el Departamento de Bomberos, estación Obregón, en la ciudad de Ensenada B.C. En base a una serie de entrevistas con el Capitán Ramón Romero Quintero, quien se encuentra a cargo de esa estación, se obtuvo información de relevancia para identificar el escenario de uso.

La problemática identificada es que no existe un registro o información acerca de la red de hidrantes que da servicio a la zona de la ciudad bajo resguardo del departamento de bomberos. La información con respecto a los hidrantes y sus características reside en la memoria de los bomberos más experimentados.

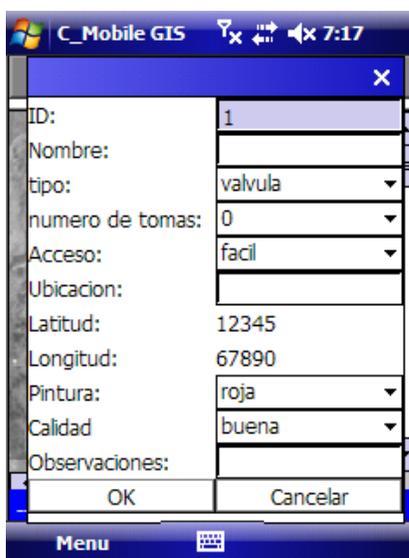
El tener un registro actualizado sobre la localización, las condiciones y el funcionamiento de cada uno de los hidrantes que se encuentran dentro de su zona de operación, sería de gran utilidad para el personal del departamento de bomberos. De esta manera, ellos pueden tener esta información disponible en cualquier momento para poder localizar un hidrante funcional rápidamente en caso de emergencia o en cualquier momento que sea necesario. Por ello, se ha adaptado la herramienta propuesta para que les permita realizar el trabajo de captura de la ubicación de estos hidrantes y sus propiedades de manera rápida y automatizada. Además de poder consultar esta información en una herramienta de visualización a través de la Web.

¹⁶ Un Servlet es un programa ejecutado en el servidor para la generación de contenido dinámico.

Con base en la información recabada, las características más importantes que se deben conocer acerca de los hidrantes son las siguientes:

- Localización geográfica
- Tipo de hidrante
- Facilidad de acceso
- Condiciones funcionales
- Puntos de referencia
- Abastecimiento

De acuerdo a esta información se diseñó la forma de captura de datos para C_MobileGIS presentada en la Figura 42.



The image shows a screenshot of a mobile application window titled "C_Mobile GIS". The window contains a data entry form with the following fields and values:

ID:	1
Nombre:	
tipo:	valvula
numero de tomas:	0
Acceso:	facil
Ubicacion:	
Latitud:	12345
Longitud:	67890
Pintura:	roja
Calidad:	buena
Observaciones:	

At the bottom of the form are two buttons: "OK" and "Cancelar". Below the form is a "Menu" button. The status bar at the top of the device shows the time as 7:17.

Figura 42. Forma de captura diseñada para la colecta de hidrantes y sus características.

De manera similar, algunas funciones del Visualizador Web fueron adaptadas para dar funcionalidad a este escenario de uso y la realización del experimento de evaluación.

El escenario de uso consta de dos etapas: colecta de datos y consulta de datos. A continuación se describe el procedimiento a seguir en este escenario de uso:

Un nuevo integrante se une al cuerpo de bomberos. Dada sus condiciones de inexperiencia, este nuevo integrante no posee conocimientos sobre la localización de los hidrantes que se encuentran dentro de su zona de acción. En la primera etapa, se le asigna una labor de campo en alguna zona en particular, con el fin de localizar los hidrantes en esa misma. El nuevo bombero utiliza una PDA ejecutando el sistema C_MobileGIS para realizar la labor. El bombero selecciona una imagen o mapa que resulte adecuado para navegar en la zona y utiliza las funciones de captura para coleccionar los hidrantes encontrados y sus características. Además, puede capturar cualquier otro objeto o infraestructura urbana que le ayude a localizar más fácilmente a los hidrantes (1). Al finalizar la sesión, el bombero actualiza la base de datos enviando los datos coleccionados, mediante la utilización de alguna de las formas de transferencia con las que cuenta el sistema (2). Este procedimiento se observa en la Figura 43.

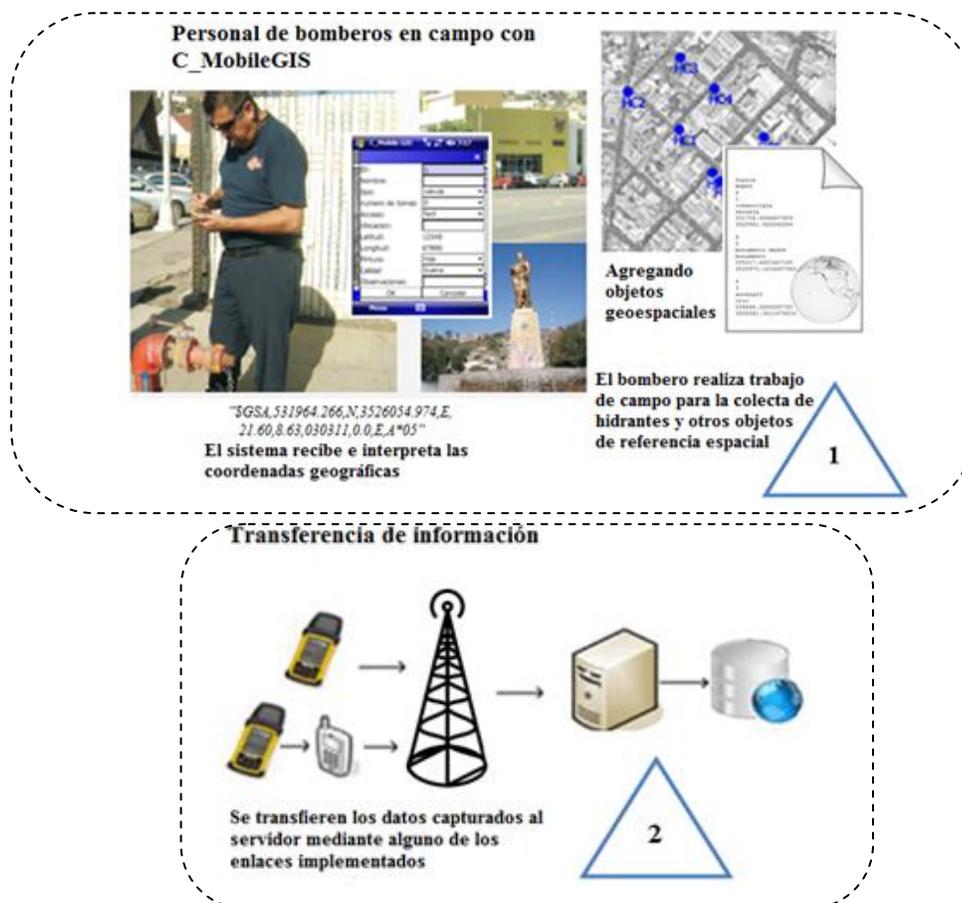


Figura 43. Etapa de colecta de datos mediante el uso de C_MobileGIS.

En la segunda etapa, el nuevo bombero se encuentra en servicio dentro de la estación de bomberos. En algún momento surge una emergencia en la que se requiere entrar en acción rápidamente (3). Mediante el uso del Visualizador Web, el bombero puede acceder rápidamente a la zona de emergencia y, mediante una consulta en dicho sistema, el bombero identifica el hidrante que resulte más adecuado para atacar el incendio (4). Este procedimiento se ilustra en la Figura 44.



Figura 44. Etapa de consulta de información mediante el Visualizador Web.

V.5. Resumen

En este capítulo se presentaron los aspectos técnicos más importantes en la implementación de los componentes del sistema tanto en la parte móvil como en el servidor. Se describen los componentes importantes que fueron implementados y su funcionamiento mediante el apoyo de los diagramas de secuencia más representativos. Se presenta también el escenario de uso utilizado para las pruebas del sistema y la evaluación del mismo. En el capítulo siguiente se describe el proceso de evaluación del sistema.

Capítulo VI

Evaluación del sistema

En este capítulo se describen los aspectos relacionados a la evaluación del sistema dentro del escenario de uso seleccionado y especificado en el capítulo anterior. Esta evaluación se hizo con el fin de conocer aspectos referentes a la utilidad y facilidad de uso del sistema propuesto.

Para la evaluación se utilizaron principalmente técnicas cualitativas para recopilar y analizar información tales como entrevistas y teoría fundamentada. Se utilizaron también técnicas cuantitativas como apoyo a la teoría obtenida tales como el modelo TAM.

VI.1 Metodología de evaluación

El experimento de evaluación se desarrolló en cinco etapas, mostradas en la Figura 45, seguida de una descripción de las mismas:

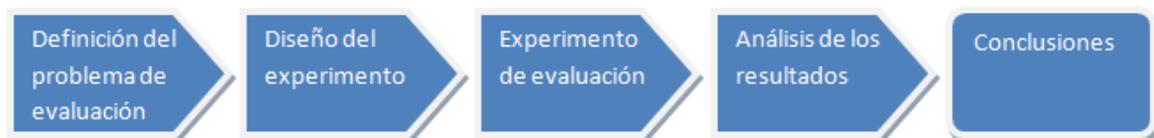


Figura 45. Pasos a seguir en la metodología de evaluación

- *Definición del problema de evaluación:* Se definió y acotó el problema a evaluar con este experimento.

- *Diseño del experimento*: Se formularon las preguntas de investigación, el tipo de experimento, los factores a evaluar, las características y tamaño de la muestra, los escenarios de aplicación, las tareas para recopilar información, entre otros.
- *Experimento de evaluación*: Se asignaron y llevaron a cabo las tareas por parte de los usuarios de acuerdo al diseño del experimento. Se obtuvo la información, que posteriormente sería analizada.
- *Análisis de resultados*: Se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados utilizando las técnicas de teoría fundamentada y el modelo TAM.
- *Conclusiones*: En base a la interpretación de los resultados se respondieron las preguntas de evaluación.

Una vez definida la metodología se describe más a detalle cada una de las etapas definidas.

VI.2 Definición del problema de evaluación

En el capítulo anterior se identificó un escenario de uso en el que existe la necesidad de dar apoyo al departamento de bomberos de la ciudad de Ensenada, BC. Este departamento no cuenta con información explícita sobre la red de hidrantes bajo su zona de resguardo, sino que toda esta información reside en la memoria y experiencias del personal trabajando en este departamento lo que representa una limitante cuando se desea conocer la localización de un hidrante y sus alrededores en situaciones de emergencia.

El sistema propuesto en esta tesis cuenta con funciones esenciales para el desarrollo de actividades de trabajo de campo. Mediante sesiones de colecta de datos, el departamento de bomberos puede obtener información que les sea de utilidad acerca de los hidrantes. Además, ellos pueden tener esta información disponible en un entorno Web que les permita consultar esta información de más rápida y eficiente.

Los problemas planteados para este experimento son: evaluar la percepción de utilidad y facilidad de uso del sistema propuesto.

Una vez definido el problema se presenta el diseño del experimento.

VI.3 Diseño del experimento

En esta sección se describen las características y la secuencia de actividades que se llevaron a cabo durante el experimento de evaluación.

VI.3.1 Preguntas de investigación

Se plantearon las siguientes preguntas de investigación con la finalidad de ser contestadas mediante la evaluación:

¿Qué utilidad y beneficios daría el uso del sistema al cuerpo de bomberos?

¿Qué tan fácil les será a los bomberos el uso del sistema desarrollado?

VI.3.2 Factores a evaluar

Los factores a evaluar considerados, son los siguientes:

- *Utilidad percibida* del Sistema C_MobileGIS por parte del personal del cuerpo de bomberos.
- *Facilidad de uso percibida* del Sistema C_MobileGIS por parte del personal del cuerpo de bomberos.

De acuerdo con Davis (1989), estos factores se pueden definir de la siguiente manera:

Utilidad Percibida: El grado con el que un individuo piensa que el uso de una tecnología particular incrementaría su desempeño en el trabajo.

Facilidad de Uso Percibida: El grado con el que un individuo piensa que el uso de una tecnología particular estará libre de esfuerzo físico y/o mental.

VI.3.3 Descripción de los participantes

Para conocer la percepción de utilidad del sistema propuesto en la captura de hidrantes se contempla contar con el apoyo de los bomberos. Esto debido a que son ellos los que necesitan conocer la localización y el estado óptimo de los hidrantes para su uso en caso de emergencias u otras situaciones donde sea requerido. En la Tabla VII se muestran las características más relevantes de los participantes en el experimento.

Tabla VII. Características de los participantes según la encuesta aplicada.

No. de Bombero	Edad	Experiencia de Bombero	Experiencia en uso de Computadoras	Experiencia en uso de dispositivos móviles
Bombero 1	50	32	Poca	No
Bombero 2	33	15	Si	Poca
Bombero 3	31	9	Si	Si
Bombero 4	39	20	Poca	No
Bombero 5	28	3	Si	Si

VI.3.4 Características del escenario

Las áreas donde se llevará a cabo la evaluación del sistema son: el cuartel del cuerpo de bomberos y las calles de la zona centro de la ciudad, que es el campo donde se desempeñan los bomberos.

Los instrumentos utilizados para la evaluación serán una PDA donde se ejecuta la herramienta para colecta de datos y capacidad de conexión a Internet, además de una computadora personal con acceso a Internet para la ejecución del sistema de visualización.

VI.3.5 Actividades del experimento

Las actividades que se llevaron a cabo durante el experimento de evaluación se dividen en tres secciones: introducción, actividades y recolección de datos. Estas se explican brevemente a continuación:

- *Introducción:* Se le presentó al usuarios una descripción de las características del experimento, el funcionamiento básico del sistema y de las actividades que llevarían a cabo, tanto con el sistema como de recolección de datos. Se aplicó una encuesta de entrada para obtener información sobre la muestra.

- *Actividades:* Se asignó una serie de tareas que debían llevar a cabo mediante la utilización de los sistemas presentados. Las tareas que ejecutó cada uno de los participantes fueron:
 - Activar funcionalidad del GPS.
 - Configurar las funciones básicas del GPS.
 - Cargar una capa de hidrantes.
 - Cargar una capa de puntos adicionales.
 - Capturar un hidrante y sus características.
 - Enviar el hidrante capturado al servidor.
 - Capturar otros puntos de referencia que sirvan para localizar más fácilmente al hidrante y enviarlos al servidor.
 - Localizar algún hidrante cercano y verificar que sus datos sean correctos ó hacer las actualizaciones necesarias.
 - Actualizar los datos del hidrante enviándolo al servidor.
 - Ingresar a la página Web del Sistema.
 - Consultar los hidrantes que se tienen capturados.
 - Consultar capas adicionales que se consideren necesarias para ubicar a los hidrantes capturados en campo.

- *Recolección de datos:* Se aplicaron dos cuestionarios a los participantes. Uno sobre facilidad de uso y otro sobre utilidad percibida. Se realizó también una entrevista a los participantes para obtener la información que sería analizada.

VI.4. Análisis de resultados

Para el análisis de los datos obtenidos durante el experimento de evaluación, se utilizaron técnicas de las dos metodologías de investigación principales: métodos cuantitativos y métodos cualitativos (Cohen y Manion, 1994):

- Métodos Cuantitativos: El proceso general en la investigación cuantitativa consiste en la aprobación de una teoría. Esto se hace estableciendo una relación entre un conjunto de variables independientes con otro de variables dependientes en un ambiente controlado. Generalmente, esto se lleva a cabo mediante la realización de encuestas y experimentos.
- Métodos Cualitativos: La investigación cualitativa se enfoca en la exploración, descubrimiento, entendimiento y descripción de fenómenos que ya han sido identificados pero que aun no han sido bien entendidos. Las herramientas más utilizadas en este tipo de investigación son observaciones y entrevistas, y la interpretación de estas.

Se utilizó una metodología cualitativa como medio principal para el análisis de los datos. Esto debido principalmente al tamaño de la muestra, el cual resulta ser muy pequeño para obtener datos estadísticos significativos. Sin embargo, se utilizó también una técnica cuantitativa basada en el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM, por sus siglas en inglés) para la obtención de datos que apoyen los resultados obtenidos. Entonces, los métodos seleccionados para el análisis de los datos de evaluación son:

- Teoría Fundamentada (Cualitativo).
- Modelo de Aceptación de la Tecnología (Cuantitativo).

VI.4.1 Análisis mediante teoría fundamentada

La teoría fundamentada fue propuesta por Glaser y Strauss (1967), quienes describen un método de investigación cualitativa que busca desarrollar teoría a partir de datos sistemáticamente obtenidos y analizados. La teoría fundamentada es un método de

investigación que difiere fundamentalmente de los métodos tradicionales. En los métodos tradicionales se establece una o más hipótesis, y se realizan experimentos para obtener datos que comprueben las hipótesis. En contraste, la teoría fundamentada empieza con un conjunto de observaciones empíricas o datos obtenidos por medio de diferentes métodos y se busca generar teoría a partir de estos datos (ver Figura 46).



Figura 46. Teoría fundamentada comparada con la investigación experimental (Glasser y Struass, 1967).

La teoría fundamentada trabaja fundamentalmente sobre datos textuales y puede ser aplicada en distintas técnicas de investigación conocidas. Para fines de la evaluación de este sistema se utilizó teoría fundamentada mediante codificación abierta sobre los datos recopilados en las entrevistas aplicadas. Se realizó una transcripción de las entrevistas para la obtención de los datos textuales necesarios. La codificación abierta es el proceso analítico a través del cual se identifican los conceptos, se descubren propiedades y dimensiones de la información (Strauss y Corbin, 2008). La realización de la codificación se lleva a cabo mediante el siguiente procedimiento:

- Primeramente se analizan los datos textuales y se identifica cualquier fenómeno que proporcione información interesante. A cada uno de estos fenómenos se le otorga un nombre o código distintivo. Después, se forman conjuntos de códigos que describen

contenido o fenómenos similares y se forman conceptos de más alto nivel que engloben a estos códigos (ver Tabla VIII).

Tabla VIII. Desarrollo de conceptos a partir de la codificación de una de las preguntas aplicadas a los participantes.

1. <i>¿Considera necesario el contar con información actualizada sobre la localización y características de los hidrantes en su zona de trabajo?</i>	
Respuesta	Conceptos
Si es necesario, es necesario contar con ese tipo de información [información de hidrantes]. Por el tipo de trabajo que desempeñamos nosotros, para nosotros es importante tenerlos ubicados [ubicación de hidrantes] a la brevedad, para poder llegar a este, pues en este caso, el abastecimiento de agua es primordial [información de funcionamiento].	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de información sobre los hidrantes. • Necesidad de Ubicación de los hidrantes

- A medida que se van identificando los conceptos, estos se van agregando a una lista, para finalmente hacer una depuración dejando solo aquellos conceptos fuertemente relacionados al estudio. En la Tabla IX se muestran algunos de los conceptos identificados y como se va formando la lista final.

Tabla IX. Filtrado de la lista inicial de conceptos para la obtención de la lista final.

Lista inicial de conceptos	Filtrado	Lista final de conceptos
<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de información • Necesidad de localización • Mapeo de infraestructura • Necesidad de información • Rápido acceso a la información 	X	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de información • Necesidad de localización • Mapeo de infraestructura • Rápido acceso a la información

- Posteriormente, los conceptos son agrupados en base a características o tipos similares, obteniendo como resultado una serie de conceptos abstractos que

representan algún componente especial del fenómeno estudiado. Una vez obtenido este primer grupo de conceptos, se pasa a una segunda etapa llamada codificación axial, en la que empiezan a emerger propiedades y dimensiones para cada uno de los conceptos encontrados. La *codificación axial* consiste en explorar la relación existente entre las categorías (Strauss y Corbin, 2008). Las propiedades se definen como las características de una categoría o su significado. Las dimensiones se definen como el rango en el que una propiedad de una categoría puede variar, resultando una especificación de dicha categoría (Strauss y Corbin, 1998). En la Tabla X se muestra un ejemplo de esto.

Tabla X. Identificación de categorías, propiedades y dimensiones.

Conceptos	Categoría	Propiedad	Dimensión
<ul style="list-style-type: none"> • Ayuda en ubicación de hidrantes • Ubicación de sitios de referencia 	De soporte a bomberos	Desempeño de bomberos	Agilizar desempeño de los bomberos

- De esta manera se obtiene una tabla final de categorías, propiedades y dimensiones que nos ayudaron a hacer un análisis de las percepciones relacionadas con los factores a evaluar en el experimento (ver Tabla XI).

Tabla XI. Formulación de teoría mediante las afirmaciones predictivas.

Categoría	Propiedades	Dimensiones
De soporte a bomberos	Mejora en desempeño de bomberos	Información sobre los hidrantes permitirá conocer mejor su estado y funcionalidad.
		Agilizar el desempeño de los bomberos en casos de emergencia.
		Conocimiento de sitios de referencia en localización de hidrantes.
	Base de datos actualizada	Información de los hidrantes en constante actualización.
		Enriquecimiento de las base de datos con información de referencia.
De soporte general	Obtención de datos	Obtención de datos geográficos de acuerdo a la aplicación.
		Acceso a información geoespacial en el campo de acción.
		Información obtenida con buen nivel de precisión.
Percepción del sistema	Facilidad de uso	Acceso a información de forma rápida.
		Captura de información automatizada.
		El uso completo de la herramienta requiere cierto grado de experiencia.
	Utilidad	Útil para la colección de datos en campo.
		Presentación de información de acuerdo a las necesidades del usuario.
		El sistema es escalable a medida que surgen diferentes necesidades en la aplicación.

En la tabla final se muestran las categorías que surgieron al realizar la codificación de la información, las cuales son: *De soporte a bomberos*, *De soporte general* y *Percepción del sistema*. Los participantes encontraron utilidad principalmente porque el sistema les provee información sobre los hidrantes (*De soporte a bomberos*), lo que les permite agilizar y planear de mejor manera sus actividades de acción. A su vez, reconocen la importancia de este tipo de tecnologías tanto en su trabajo como en otros departamentos que requieren el uso de información geoespacial (*De soporte general*). Por otro lado, encuentran que el sistema es útil para la colecta de datos geográficos de cualquier tipo de manera rápida y

según las necesidades del usuario (*De percepción del sistema*). Aunque consideran que es relativamente fácil el uso del sistema, también opinan que el uso completo de todas las funciones requeriría de experiencia.

A continuación se presentan algunos de los comentarios proporcionados por los participantes de la evaluación:

"..es necesario contar con ese tipo de información. por el tipo de trabajo que desempeñamos nosotros, para nosotros es importante tenerlos ubicados a la brevedad, para poder llegar este lo más rápido posible... pues en este caso, el abastecimiento de agua es primordial.." Bombero 1.

"..sinceramente se me hace un proyecto muy bueno, tan bueno que daría mucha utilidad a mucha gente hablando del sistema de emergencias, tanto como por ejemplo meter por en esta caso, empresas que contengan materiales peligrosos, que tipo de materiales peligrosos, como lo podríamos combatir, si tiene un riesgo para nosotros como bomberos o como personal de emergencia.." Bombero 2.

"..es muy práctico, por ejemplo que hay veces que vamos a como a las colonias, el Sauzal que es muy grande eh... y pues, no podemos dejarlo todo a la memoria ¿no?, entonces podemos traer el equipo en la unidad y si vemos que mira! hay un hidrante, pues lo podemos capturar.." Bombero 4.

"..pues me agradó porque es una herramienta pequeña, como si fuera un celular y eso, es manejable pues, no es de peso, no es de mucho volumen como para que no pudiéramos manejarlo fácilmente en nuestro trabajo sin mucho estorbo.." Bombero 5.

VI.4.2 Análisis mediante el modelo TAM

El modelo de aceptación de la tecnología fue propuesto por Davis(1989). Este modelo se deriva de una teoría que discute las cuestiones en cuanto a cómo los usuarios se deciden por el uso de tecnología. El modelo sugiere que cuando se le presenta a un usuario una nueva tecnología (un nuevo sistema de software, por ejemplo) existen ciertas variables que tienen influencia en su decisión de usar o no esta tecnología. Existen dos variables específicas fundamentales que son determinantes en la aceptación del usuario: utilidad percibida y facilidad de uso percibida. Estas dos variables son directamente determinantes en la predisposición hacia el uso de la tecnología, lo que a su vez determina el uso actual de la tecnología (ver Figura 47).

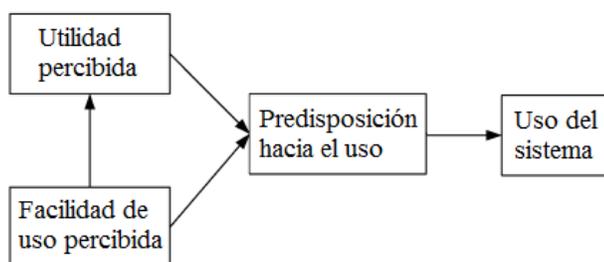


Figura 47. El modelo de aceptación de la tecnología (Davis, 1989).

Para la obtención de los datos que apoyen el modelo TAM se utilizó la información recabada mediante los cuestionarios sobre la utilidad y facilidad de uso percibidas por los participantes.

Se asignó una escala de Likert de 5 puntos a los cuestionarios aplicados. La escala de Likert (Likert, 1932) es una manera eficiente para la obtención de datos en pruebas de usabilidad. Cada punto de la escala de Likert corresponde a una posible valoración de acuerdo a las percepciones del usuario:

1. Completamente en desacuerdo
2. En desacuerdo

3. Ni en acuerdo ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Completamente de acuerdo

Una vez obtenidas las valoraciones de cada uno de los participantes, se obtiene el promedio individual para cada una de las preguntas. De acuerdo a las valoraciones otorgadas por los participantes, en las Tablas XII y XIII se muestran los promedios obtenidos.

Tabla XII. Resultados obtenidos del cuestionario para medir Utilidad del sistema.

Pregunta	Promedio
1. Considero que es de utilidad el tener un registro del Sistema de Hidrantes de la zona centro.	4.8
2. Considero que la herramienta C_MobileGIS puede ser aplicada en mi área de trabajo.	5.0
3. Considero que la herramienta de visualización me puede ayudar a localizar más fácilmente los hidrantes.	4.8
4. Considero de utilidad el tener acceso a la información sobre los hidrantes mediante una computadora.	4.4
5. Haría uso de la herramienta en mi trabajo si la tuviera a disposición.	5.0
6. Considero que la herramienta C_MobileGIS no sería de utilidad en mi área de trabajo.	1.2
7. Considero que la herramienta de visualización no proporciona la información que me sería de utilidad.	1.4

Tabla XIII. Resultados obtenidos del cuestionario para medir Facilidad de uso del sistema.

Pregunta	Promedio
1. Considero que es fácil la captura de los hidrantes y sus características por medio del sistema C_MobileGIS.	4.6
2. Considero que es fácil actualizar la información capturada.	4.6
3. Considero que es fácil apoyarme en el uso de capas con información geográfica adicional para la ubicación de hidrantes.	3.8
4. Considero que es fácil el uso de la herramienta de visualización en la Web.	4.6
5. Considero que es difícil actualizar la captura y actualización de datos en el sistema C_MobileGIS.	1.4
6. Considero que es confuso el manejo de información en el sistema C_MobileGIS.	1.8

Un promedio mayor al 4.0 para una escala de Likert de 5 niveles es considerado un valor suficiente para la aceptación del modelo TAM. Se puede observar que este valor promedio se cumple en prácticamente todas las preguntas efectuadas a los participantes, por lo que podemos decir que existe una tendencia positiva en la predisposición hacia el uso del sistema por parte de los participantes involucrados.

Observando los resultados obtenidos en ambos métodos de análisis de datos, se tiene que la herramienta ha sido evaluada exitosamente en un escenario de uso real. Se observa también que los participantes en el experimento han obtenido una idea del potencial que puede tener una herramienta de este tipo, no solo en su ambiente de trabajo, sino en muchos otros más.

Se encuentra también que el uso de este tipo de tecnologías no es trivial. Generalmente se requiere de entrenamiento a los usuarios en aspectos tanto prácticos como teóricos, máxime si se trata de personal que tiene poca o nula experiencia en el uso de dispositivos móviles.

VI.4 Resumen

Se presentó la metodología que fue utilizada para la evaluación del sistema desarrollado en base al escenario de uso seleccionado. En base a las percepciones y opiniones del cuerpo de bomberos fue posible obtener la información buscada. Se utilizaron principalmente métodos cualitativos para el análisis de los resultados con respecto a la utilidad y facilidad de uso del sistema. Finalmente, se puede concluir que la herramienta puede resultar de gran utilidad tanto en este escenario como en muchos otros mas, aunque existen una serie de aspectos a considerar para aumentar esta utilidad y enriquecer aun más este sistema.

Capítulo VII

Conclusiones

VII.1 Conclusiones

En la actualidad los sistemas SIG, tanto de escritorio como en la Web o Móviles, son utilizados como herramientas para captura, análisis, procesado y modelado de información geoespacial por investigadores, estudiantes y profesionales de diferentes disciplinas. Estos sistemas se utilizan en la realización de proyectos que van desde planeación urbana hasta estudios de cambio climático. El sistema C_MobileGIS fue conceptualizado como una herramienta de propósito múltiple que permita a los usuarios llevar a cabo procedimientos para la colecta de datos durante la realización de trabajo de campo, de acuerdo a sus necesidades y tipo de estudio o trabajo. Por consiguiente, la implementación del sistema C_MobileGIS promueve la generación de nuevas aplicaciones enfocadas a respaldar la toma de decisiones, tanto en el ámbito científico como tecnológico.

Así mismo, con el aprovechamiento de este tipo de tecnologías se promueve la automatización en los procesos que involucren la digitalización de datos geográficos obtenidos mediante métodos analógicos. De esta manera se agilizan las actividades de colecta de datos y su posterior análisis y/o procesamiento en la oficina o laboratorio, minimizando así la brecha tecnológica existente entre ambos procedimientos.

Actualmente existe una tendencia que enfatiza la Interacción Humano-Computadora como un factor determinante en el desarrollo de tecnologías de la información. Los procesos de conceptualización y desarrollo de este sistema se llevaron a cabo tomando en consideración la interacción del usuario con el sistema. De tal forma que uno de los objetivos de este trabajo fue el de llevar a cabo un proceso de evaluación en un escenario que involucra una problemática real, para lo cual se obtuvieron resultados exitosos. Estos

resultados muestran que de acuerdo a las percepciones de un grupo determinado de usuarios, el potencial del sistema implementado es de utilidad tanto en su área de trabajo como en otro tipo de escenarios en los que es determinante la colecta y la utilización de información geoespacial.

Las herramientas computacionales para dispositivos móviles son cada vez más completas y permiten al usuario llevar a cabo procesos más complejos con diferentes tipos de información y mediante el uso de diferentes tecnologías. En ese sentido, con el desarrollo del sistema C_MobileGIS se busca el aprovechamiento de diferentes tipos de tecnologías presentes en estos dispositivos, de manera que permitan implementar la funcionalidad que esta herramienta provee.

Actualmente el uso de Sistemas de Información Geográfica como herramienta de trabajo se lleva a cabo en plataformas de diferentes tipos. En este sentido, el uso de formatos que sean compatibles con estas diferentes plataformas es una prioridad en el desarrollo de este tipo de tecnologías. Actualmente el sistema C_MobileGIS puede manipular y generar archivos en formato SHP, el cuál es un formato estándar muy utilizado en el ámbito geoespacial. En versiones futuras de esta herramienta, será necesario agregar compatibilidad con otros formatos y así poder ofrecer servicios a un mayor número de usuarios.

Por otra parte, el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles se visualiza como un campo con amplio margen de crecimiento, debido al tamaño del mercado y las necesidades de los usuarios. Una de las principales limitantes encontradas en este rubro es en aspectos de compatibilidad. La utilización de muchas de las tecnologías presentes en los dispositivos móviles se ha convertido en una cuestión dispositivo-dependiente. En este sentido, el Laboratorio de Geomática no garantiza la completa funcionalidad de todas las capacidades de la herramienta C_MobileGIS en cualquier tipo de dispositivo, aunque éste cuente con una versión idéntica a la plataforma utilizada. Lo anterior implica un reto desde el punto de vista de integración de sistemas, para lo cual es necesaria la formación de

recursos humanos con una visión interdisciplinaria en temas de computación, comunicaciones y geomática.

A futuro se contempla la implementación de visualización 3D en este tipo de herramientas. Si bien la capacidad de generar este tipo de gráficos ya está presente en dispositivos móviles de nuevas generaciones, la mayoría de los desarrollos se hacen en aplicaciones de tipo recreativo, como por ejemplo juegos. Las nuevas tendencias en el campo de las geotecnologías apuntan hacia el procesado local de los datos geoespaciales y la navegación en 3D. Debido a ello es que en el Laboratorio de Geomática se considera a esta línea de trabajo como una de las actividades fundamentales en el desarrollo de tecnologías de información geoespacial.

VII.2 Aportaciones

Las contribuciones principales de este trabajo de presentan a continuación:

- Se diseñó y desarrolló un SIGM autónomo que permite la captura y visualización de información geoespacial en diferentes formatos, algunos de los cuales son considerados estándar.
- El sistema desarrollado es independiente del Sistema Operativo bajo el que trabaje el dispositivo móvil, siempre y cuando este cuente con la plataforma de ejecución adecuada.
- Se aprovechan las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica disponibles actualmente para dispositivos móviles, como alternativa a una conexión directa a Internet, la cual puede ser más costosa. Estas tecnologías alternas mostraron buenos resultados en su uso.

VII.3 Limitaciones

- El desarrollo del sistema se realizó de acuerdo a las limitantes tecnologías del equipo disponible en el Laboratorio de Geomática.

- Debido a las limitaciones de la plataforma de desarrollo, solo se permite cargar imágenes digitales con resolución máxima de 2500x2500 pí.
- El sistema es capaz de georreferenciar fuentes de información geográfica definidos solo para los *datums* WGS84, NAD27 e ITRF92 dado que para estos se encuentran definidas nuestras fuentes de información.
- El desarrollo de la herramienta de visualización en Web se realizó con el objeto específico de darle funcionalidad al escenario de uso de hidrantes.
- Por cuestiones de tiempo y disponibilidad de usuarios, el proceso de evaluación del sistema se realizó con una muestra pequeña, por lo que se recurrió a técnicas cualitativas, de tal manera que sería conveniente realizar una evaluación cuantitativa para establecer un análisis que nos aporte una mayor confiabilidad en los resultados aquí mostrados.

VII.4 Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se proponen los siguientes aspectos:

- Aumentar el número de formatos estándar de información geográfica que puedan ser manipulados mediante el sistema aquí propuesto.
- Integrar funcionalidad que permita la utilización de modelos de elevación digital del terreno con la finalidad de poder realizar mapeo y navegación en 3D.
- Aprovechar otros tipos de información que proveen los dispositivos GPS con el objeto de poder ofrecer otros servicios al usuario.

Referencias

Anand, S., Ware, J.M., y Taylor, G.E., 2004, *Map generalization for OSMasterMap data in location based services y mobile GIS applications*. Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics, Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic, University of Gävle, Sweden, 7-9 June 2004 54-60.

Anderson, P. y Blackwood, A., 2004, *Mobile and PDA technologies and their future use in education*. JISC Technology and Standards Watch: Vol. 04-03.

Aronoff, S., 1989, *Geographic information systems : a management perspective*. WDL Publications, 294p.

Autodesk, 2009, *Autodesk Onsite Viewer 2 User's Guide*. San Rafael, California: Autodesk.

Bennet, S., Skelton, J., Lunn K., 2001, *Schaum's outline of UML*. McGraw Hill. Primera edición, 360p.

Cohen, L., Manion, L., 1994, *Research Methods in Education*, Routledge, London. Quinta edición, 391p.

Cowen D.J., 1988, *GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?* Photogrammetric Engineering y Remote Sensing, 54: 1551-4.

Crisp N., 2002, *Introduction to IntelliWhere Location Server*. White Paper, Milton Brisbane, Australia: IntelliWhere. 56p.

Davis, F., 1989, *Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology*. MIS Quarterly, 13(3): 319-40.

Düpmeier, C., y Ruchter, M., 2004, *Mobile guide interface design for exploring the wild*. Proceedings of 3rd workshop HCI in mobile guides at mobile HCI 04, Glasgow, UK, Septiembre 13-16, 2004.

ESRI (2010). *ArcPad™: Mobile Mapping and GIS, WhitePaper*, September, 2009. Redland, California: ESRI. 14p.

Fangxiong W., Zhiyong J., 2004, *Research on a Distributed Architecture of Mobile GIS Based on WAP*. ISPRS, Commission VI, Vol. XXXV, part B6.

Glasser, B.G., Strauss, A.L., 1967, *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for qualitative research*. Chicago: Aldine. 265p.

Google (2010). Google Maps Site. <http://maps.google.com/>. Consultado en Junio de 2010.

Hamilton (2010). Sitio web de iMapper. <http://map.hamilton.ca/maphamilton/Interactive/iMapper.aspx>. Consultado en Junio de 2010

Heidmann, F., Hermann, F. y Peissner, M., 2003, *Interactive maps on Mobile, Location-Based Systems: design solutions and usability testing*. Mobile Cartography Proceedings of the 21st International Cartographic Conference, Durban, Sudáfrica, 10-16 Agosto 2003, 1299-1306.

Li, B., Dempster, A., Barnes, J., Rizos, C., Li, D., 2005, *Probabilistic Algorithm to Support the Fingerprinting Method for CDMA Location*. International Symposium on GPS/GNSS, Hong Kong, 8-10 Diciembre, 2005, 9C-05.

Livingston, A., 2004, *Smarthphones and other mobile devices: the Swiss army knives of the 21st century*. Educause Quarterly, Vol. 2, 48-52.

Lopez, X. R., 2004, *Location-Based Services*. Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services, 6:172-188.

Likert, R., 1932, *A Technique for the Measurement of Attitudes*. Archives of Psychology 140: 1-5.

Luimula M. and Kuutti K., 2008, *Locawe: a novel platform for location-aware multimedia services*. Mobile and Ubiquitous Multimedia.

MapInfo (2010). *MapInfo MapXtend User's Guide*. Troy, New York: MapInfo. 116p.

MapTools (2010). Chameleon Software. <http://chameleon.maptools.org/>. Consultado en Junio de 2010.

Markoulidakis. J., Lyberopoulos, G.L., Tsirkas, D.F., y Sykas, E.D., 2004, *Mobility Modeling in Third-Generation Mobile Telecommunications Systems*. IEEE Personal Communications. 4(4): 41-56.

Niu, X., Ma, R., Ali, T., Srivastava, A., y Li, R., 2004, *On-Site Coastal Decision Making With Wireless Mobile GIS*. Working Groups of ISPRS Commission II, .

Nykänen V., 2002, *Capturing digital data in the field – digital field data capture at the Geological Survey of Finland*. DFDC Workshop, Abril 25-26, Nottingham, UK.

Plewe B., 1997, *GIS Online: Information Retrieval, Mapping and the Internet*. Santa Fe, OnWorld Press, New Mexico, primera edición, 301 pp.

Quinn, L., Metha, P., y Sicher, A., 2005, *Wireless communications technology landscape*. Technical Report. 5 pp. Dell, Round Rock, Texas, USA, Febrero 2005.

Rajinder, S.N., 2004, *Cartographic visualization for mobile application*. Tesis de Maestría, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, Países bajos, Diciembre, 2004, 66p.

Ramm, K., Czommer, R., y Schwieger, V., 2006, *Map-Based Positioning using Mobile Phones*. Proceedings of the XXIII FIG Congress, Munich, Alemania, Octubre 8-13, 2006.

Reichenbacher, T., 2001, *Adaptive Concepts for a Mobile Cartography*. Supplement Journal of Geographic Sciences, 11:43-53.

Schmuller, J., 2001. *Aprendiendo UML en 24 horas*. Prentice Hall, Boston MA, USA, primera edición. ISBN 968444463X. 448 p.

Strauss, A., Corbin, J., 2008, *Basics of Qualitative Research: Grounded theory procedures and techniques*. Newbury Park, CA: Sage Publications, tercera edición, 379 pp.

Tang K. X., Waters N.W., 2005, *The Internet, GIS and public participation in transportation planning*. Progress in Planning., 64: 7-62.

Trimble (2010). TerraSync software. <http://www.trimble.com/terrasync.shtml>. Consultado en Abril del 2010.

Valencia, A., 2008, *Análisis y Visualización de Información Geoespacial en Ambientes Distribuidos*. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, México, Noviembre 2008, 248 pp.

Vckovski, A., 1999, *Interoperability and spatial information theory*. Interoperating Geographic Operation Systems.

Wagtendonk A. J., De Reus N., 2004, *Development and Use of Digital Fieldwork Tools for Academia Purposes*.

Wagtendonk A. J., 2007, *Sensible Field Computing: Evaluating the Use of Mobile GIS Methods in Scientific Fieldwork*. Photogrammetric Engineering y Remote Sensing., 73(6): 651-662.

Apéndice A

Casos de Uso

Un diagrama de casos de uso muestra a los actores y a los casos de uso, así como las asociaciones entre ellos de manera gráfica. Un caso de uso representa una secuencia de acciones llevadas a cabo por el sistema, mientras que los actores representan al usuario y/u otros sistemas que interactúan con el sistema modelado.

Existen dos relaciones básicas entre los casos de uso en la notación de UML, *include* y *extend*. Una relación *include* indica que un caso de uso incluye a otro caso de uso para lograr su cometido. Mientras tanto, una relación *extend* indica que un caso de uso extiende el funcionamiento de otro caso de uso. Un caso de uso puede tener diferentes escenarios de ejecución, aunque siempre existe una ruta principal. Una práctica recomendable al realizar un diagrama de casos de uso es redactar la descripción y características de cada uno de los casos de uso involucrados.

A.1. Casos de Uso para C_MobileGIS

A continuación se presenta la descripción de los casos de uso restantes definidos para la herramienta C_MobileGIS:

Caso de Uso: Editar Información Geoespacial *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Modificar las propiedades de algún objeto geoespacial. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea modificar alguna propiedad de un objeto espacial colectado. Para ello, el usuario debe seleccionar el objeto que desea editar, para esto se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial. Una vez seleccionado, el sistema le presentará la forma de captura para que el usuario haga las modificaciones necesarias. Finalmente el objeto es agregado de nuevo a la capa.

Caso de Uso: Agregar Información Geoespacial *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Agregar objetos geoespaciales a una capa particular. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea agregar un objeto a una capa de forma manual. Para ello, debe haber una capa con información raster para obtener información de posición, por lo que se incluye el caso de uso Visualizar Información Geoespacial. El usuario selecciona una posición dentro de la imagen donde quiere agregar el objeto, el sistema le mostrará la forma de captura correspondiente a la capa que esté editable en ese momento. Finalmente, el usuario ingresa los datos del objeto y se agrega éste a la capa.

Caso de Uso: Eliminar Información Geoespacial *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Eliminar un objeto geoespacial de una capa. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea eliminar un objeto contenido dentro de una capa en particular. Para ello el usuario selecciona el objeto que desea, por lo que se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial. Una vez seleccionado el usuario elige la opción eliminar y el sistema removerá dicho objeto de la capa en la que se encuentra. Si es necesario se reordenan los demás objetos contenidos en la capa.

Caso de Uso: Configurar GPS *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Definir parámetros de configuración del dispositivo GPS. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea configurar los parámetros de lectura de datos del GPS. Para ello, el usuario selecciona la opción correspondiente y el sistema le muestra una pantalla con los parámetros que puede ajustar. El usuario realiza los cambios que desee, los cuales quedan almacenados para la siguiente ocasión en que inicie la conexión con el dispositivo GPS.

Caso de Uso: Configurar Enlace de Transmisión *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Definir parámetros de transferencia de datos. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario activa la funcionalidad de transferencia de datos a un servidor. Para ello, el usuario puede seleccionar el tipo de enlace que será utilizado para la transferencia y el tipo de datos que puede transferir.

A.2. Casos de Uso para el Visualizador Web

A continuación se muestra la descripción de los casos de de uso restantes definidos para el Visualizador Web:

Caso de Uso: Seleccionar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Seleccionar un objeto geoespacial para realizar algún tipo de procesado. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario requiere hacer alguna operación sobre algún objeto geoespacial presente en la sesión de trabajo. Para ello el usuario debe cargar alguna de las capas disponibles con información geoespacial, por lo que se incluye el caso de uso Consultar Información Geoespacial. Una vez cargada una capa se selecciona el objeto de interés y se presentan las opciones para operar sobre ese objeto.

Caso de Uso: Aplicar Zoom. *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Utilizar herramientas de zoom para obtener una mejor visualización de los datos geoespaciales. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario selecciona algún tipo de zoom, ya sea para acercar o alejar la vista con respecto a la imagen con la que se está trabajando, por lo tanto, se extiende el caso de uso Visualizar Información Geoespacial. El usuario puede también seleccionar ajustar la vista a su nivel original. Para poder utilizar las opciones de zoom es necesario que se esté visualizando algún tipo de imagen en la ventana de visualización.

Caso de Uso: Editar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Modificar las propiedades de algún objeto geoespacial de la base de datos. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea modificar alguna propiedad de un objeto espacial en la base de datos. Para ello el usuario debe seleccionar el objeto que desea editar, para esto se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial. Una vez seleccionado, el sistema le presentará la forma de captura para que el usuario haga las modificaciones necesarias. Finalmente, se hace la conexión con la base de datos y se modifican los datos necesarios.

Caso de Uso: Eliminar Información Geoespacial. *Actores:* Usuario. *Objetivo:* Eliminar un objeto geoespacial de la base de datos. *Descripción:* El caso de uso inicia cuando el usuario desea eliminar un objeto contenido en la base de datos. Para ello el usuario selecciona el

objeto que desea, por lo que se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial. Una vez seleccionado el usuario elige la opción eliminar. El sistema realiza la conexión con la base de datos y elimina el registro correspondiente.

Apéndice B

Diagramas de Secuencia

En los sistemas orientados a objetos, las tareas son llevadas a cabo mediante el uso de objetos que interactúan entre sí por medio de el uso de mensajes. El diagrama de secuencia UML agrega la dimensión del tiempo a las interacciones de los objetos. En el diagrama, los objetos se colocan en la parte superior y el tiempo avanza de arriba hacia abajo. La línea de vida de un objeto desciende de cada uno de ellos. Un pequeño rectángulo de la línea de vida de un objeto representa una activación (la ejecución de una de las operaciones del objeto). Los mensajes (simples, síncronos, y asíncronos) son echas que conectan a una línea de vida con otra. La ubicación del mensaje en la dimensión vertical representará el momento en que sucede dentro de la secuencia. Los mensajes que ocurren primero están más cerca de la parte superior del diagrama, y los que ocurren después cerca de la parte inferior. Un diagrama de secuencias puede mostrar ya sea una instancia (un escenario) de un caso de uso, o puede ser genérico e incorporar todos los escenarios de un caso de uso.

En este apéndice se muestran los diagramas de secuencia restantes correspondientes a los casos de uso.

B.1. Diagramas de Secuencia para C_MobileGIS

A continuación se muestran los Diagramas de Secuencia restantes correspondientes a los casos de uso de C_MobileGIS especificados en las Tablas XX.

De acuerdo a la Figura 48, por cada capa de información que se desee agregar a la sesión de trabajo es necesario realizar una acción, dependiendo del tipo de capa. Si se trata de una capa raster es necesario obtener sus parámetros de georreferenciación. Si se trata de una capa vectorial es necesario obtener los objetos geoespaciales contenidos en esa capa.

Una vez que se ha cargado la capa deseada, esta se agrega a la sesión de trabajo para su manipulación por medio de las funciones de la herramienta C_MobileGIS. Esta secuencia se repite tantas veces como capas se desee agregar a la sesión.

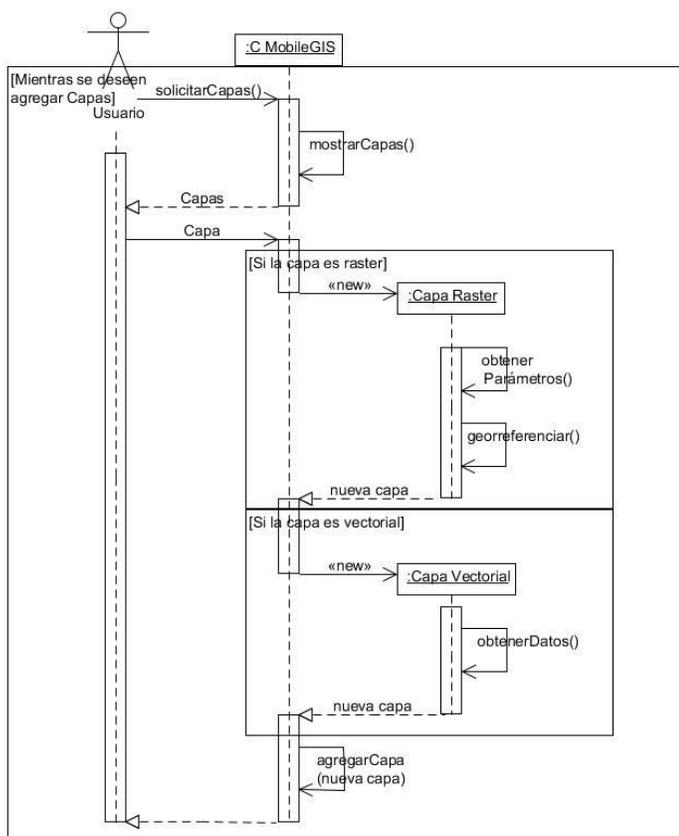


Figura 48. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Agregar Capa de Información

Existen tres opciones básicas para la aplicación de zoom a la vista de trabajo (ver Figura 49). El usuario puede hacer "acercar" o "alejar" la vista mediante las opciones de *zoom in* y *zoom out*. Cualquiera que sea el caso es necesario ajustar el nuevo valor. Si se selecciona la opción de *WordExtent* se aplica el zoom neutro es decir, se dibuja la imagen en sus dimensiones originales. Finalmente, es necesario refrescar para obtener la nueva vista.

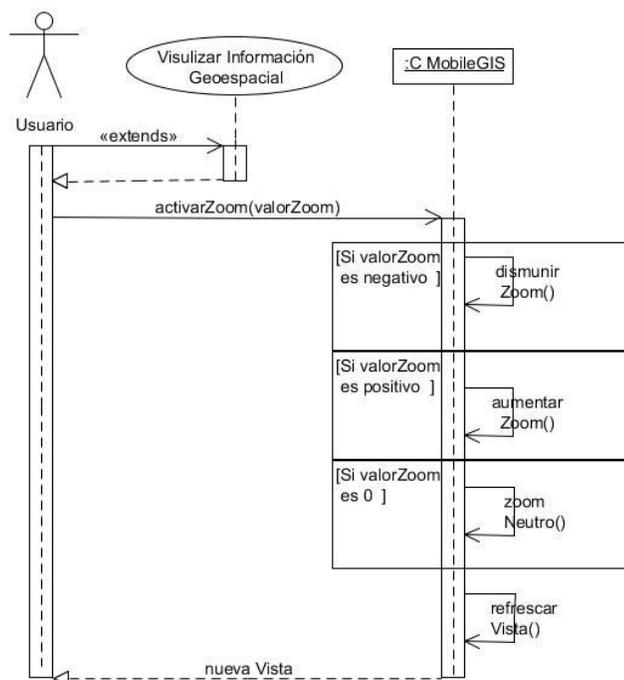


Figura 49. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Aplicar Zoom.

Para la lectura de datos provenientes de GPS, primeramente es necesario establecer una conexión con el receptor GPS mandando los parámetros necesarios (ver Figura 50). Si la conexión es exitosa, se procede a recibir los mensajes NMEA necesarios para extraer la información requerida. Después, se realizan las conversiones tanto de formatos como de tipo de coordenadas y *datums* que sean necesarias para obtener los datos de posición y mostrárselos al usuario. Este procedimiento es cíclico y se lleva a cabo mientras exista conexión con el receptor GPS. Una vez obtenidas las coordenadas, se muestran al usuario y se posiciona el icono de posición si existe una imagen o mapa en la vista de visualización.

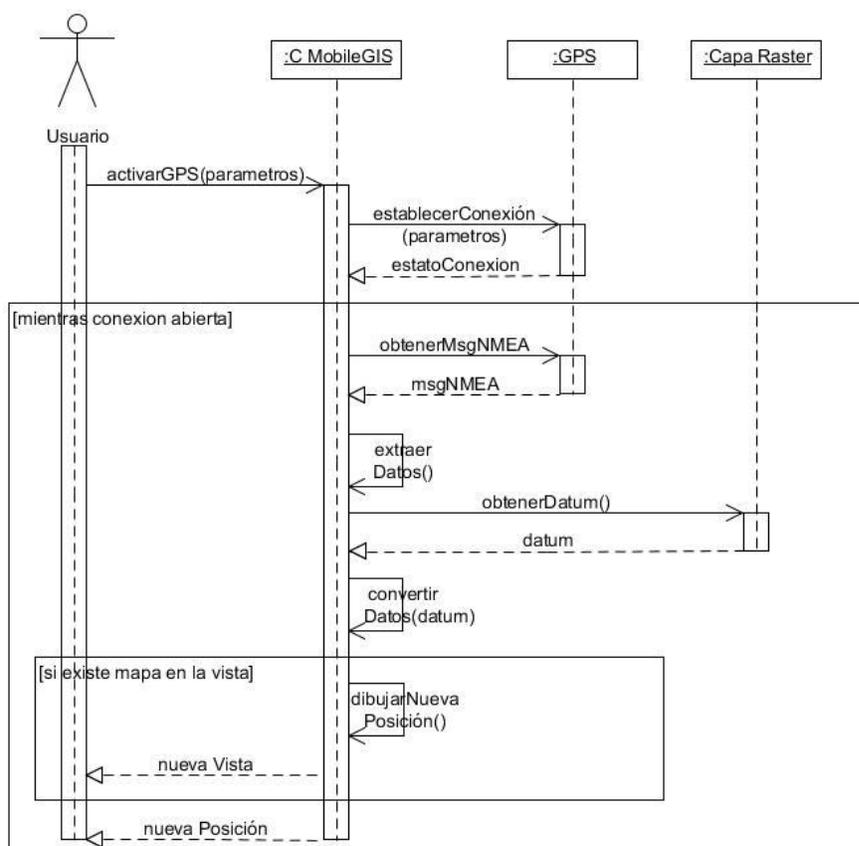


Figura 50. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Lectura de GPS.

De esta manera quedan especificados los diagramas de secuencia correspondientes a los casos de uso más importantes de C_MobileGIS. El resto de diagramas de secuencia para C_MobileGIS se encuentran en el Apéndice B.

Para realizar alguna modificación sobre un objeto geoespacial, es necesario seleccionar el objeto de interés (ver Figura 51). Se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial para obtener la referencia del objeto seleccionado por el usuario. Una vez seleccionado, se consulta la capa correspondiente para obtener los campos de la forma de captura de un objeto de ese tipo y presentarla al usuario. Después, el usuario

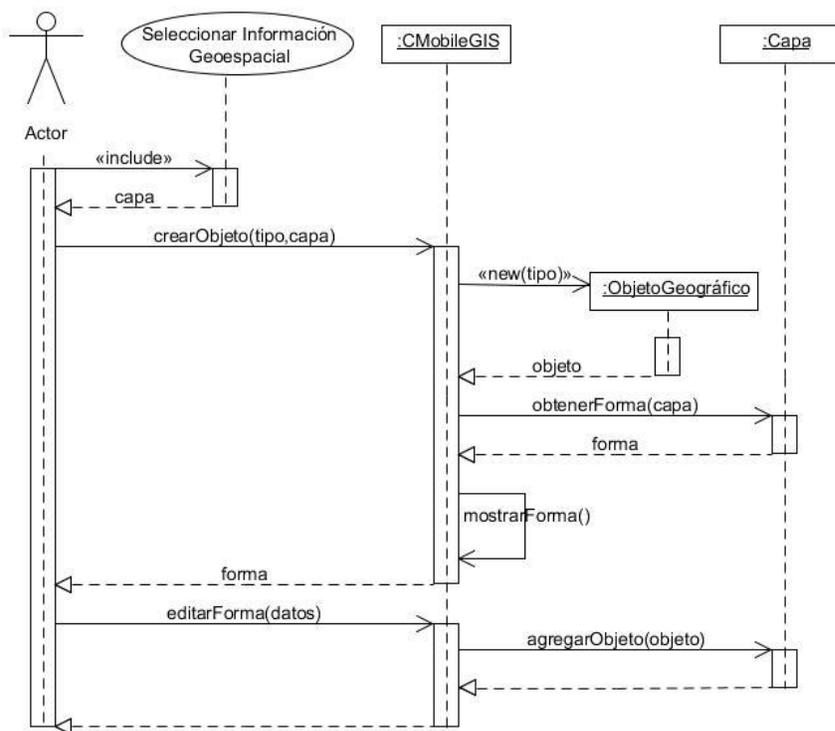


Figura 52. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Agregar Información Geoespacial.

Para eliminar algún objeto geoespacial, primero es necesario seleccionar tal objeto, por lo que se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial (ver Figura 53). Una vez que se tiene referencia al objeto se selecciona la opción Eliminar y se remueve el objeto de la capa a la que pertenece. Finalmente, puede ser necesario reordenar los otros objetos contenidos dentro de esa capa.

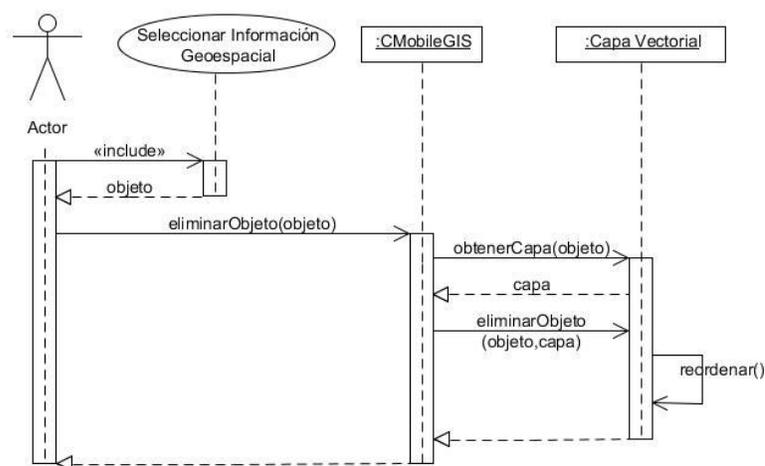


Figura 53. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Eliminar Información Geoespacial.

El usuario puede configurar ciertos parámetros en el dispositivo GPS según la Figura 54. Para ello, es necesario obtener los parámetros actuales. Una vez obtenidos, se genera la forma de presentación de estos parámetros al usuario. Una vez mostrados, el usuario puede modificar los que considere necesarios. Finalmente se aplican los nuevos parámetros al objeto GPS.

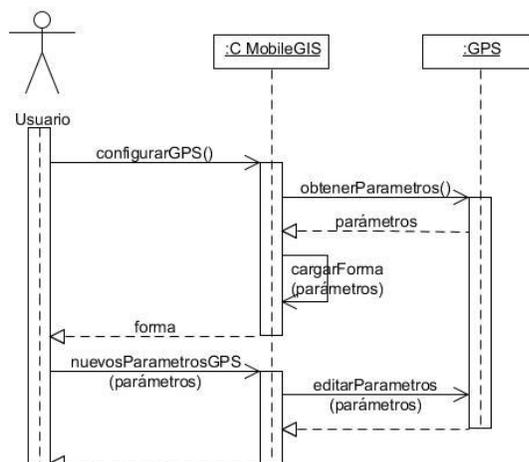


Figura 54. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Configurar GPS.

El usuario puede configurar ciertos parámetros del enlace de transmisión según la Figura 55. Para ello, es necesario obtener los parámetros actuales. Una vez obtenidos, se genera la forma de presentación de estos parámetros para mostrarla al usuario. Una vez mostrados, el usuario puede modificar los que considere necesario. Finalmente se aplican los nuevos parámetros al objeto Enlace.

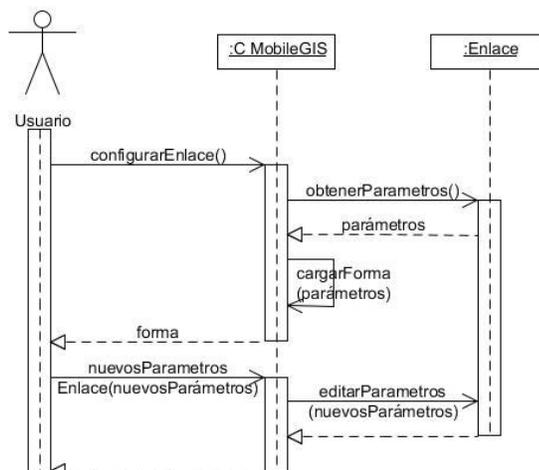


Figura 55. Diagrama de Secuencia de C_MobileGIS correspondiente al caso de uso: Configurar Enlace de Transmisión.

B.2. Diagramas de Secuencia para el Visualizador Web

En las Figuras 56 a 61 se muestran los Diagramas de Secuencia restantes correspondientes a los casos de uso del Visualizador Web.

A continuación se presentan los diagramas de secuencia más importantes correspondientes al Visualizador Web, de acuerdo a la tabla descriptiva de los casos de uso (Tabla XIV).

Esta herramienta también permite la visualización de información geoespacial en formato raster y vectorial (Figura 56). Para la visualización de información se incluyen los casos de uso de Seleccionar Imagen de Visualización, para lo cual se debe limpiar la pantalla en caso de que ya esté cargada una imagen y posteriormente georreferenciar y

dibujar la imagen. Para el caso de datos vectoriales se incluye el caso de uso Consultar Información Geoespacial para la obtención de los datos almacenados en la base de datos, posteriormente se obtienen uno a uno los objetos contenidos en la capa, se obtienen sus coordenadas y se dibuja el objeto sobre la imagen con que se está trabajando.

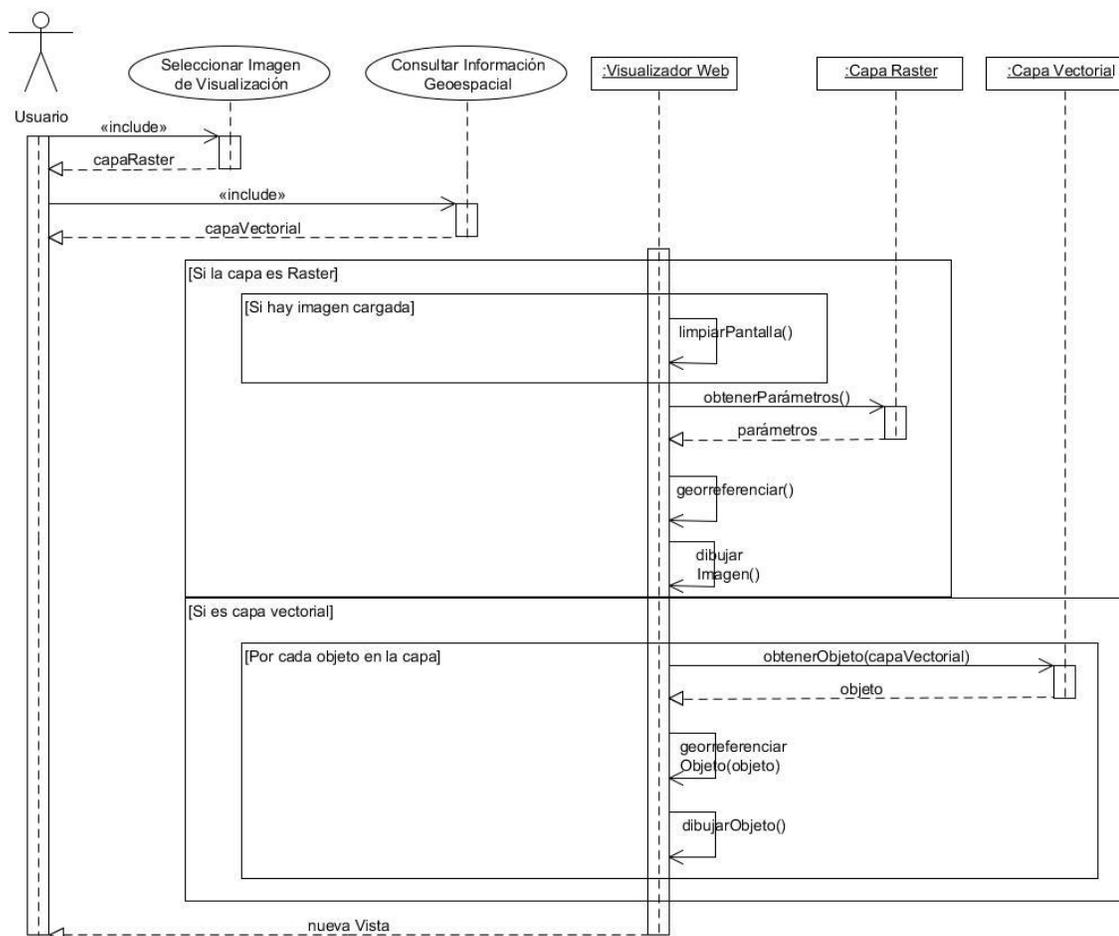


Figura 56. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Visualizar Información Geoespacial.

Para la agregación de datos vectoriales a la capa de visualización se hace una consulta a la base de datos (ver Figura 57). Se selecciona la capa con el tipo de datos que se desea visualizar y en base a esto se hace la consulta. Una vez obtenidos los resultados, se

crea un Objeto espacial por cada registro contenido en la tabla correspondiente y se asignan sus valores. Para la representación del objeto se obtiene su posición de acuerdo a sus coordenadas geográficas y se agrega el objeto a la ventana de visualización.

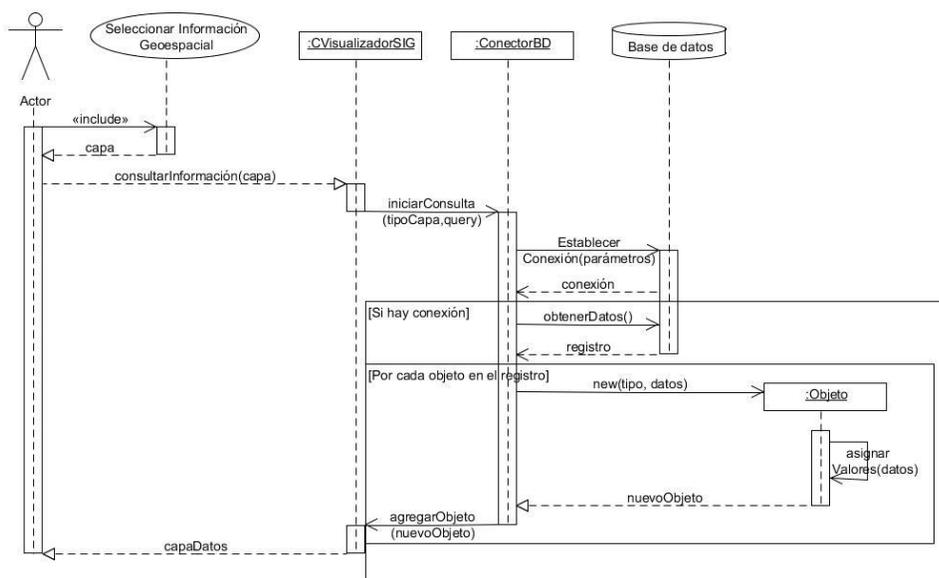


Figura 57. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Consultar Información Geoespacial.

Para la utilización de la herramienta de visualización, el usuario debe ingresar un nombre de usuario y contraseña válidos. Si los datos ingresados son válidos, se inicia el sistema, se crea la interfaz gráfica y esta se presenta al usuario. Si los datos son inválidos se le niega el acceso (ver Figura 58).

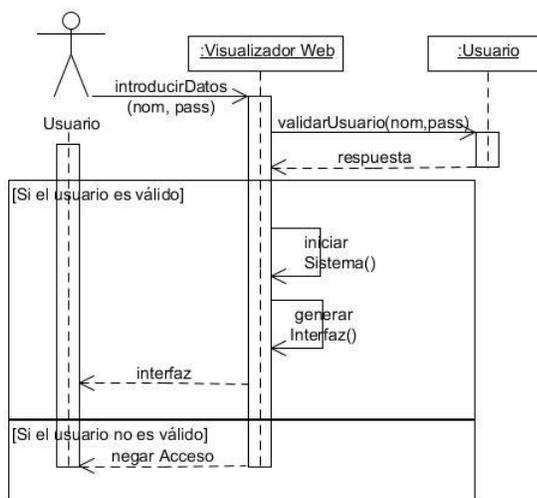


Figura 58. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Iniciar Sesión.

Para realizar algunas operaciones sobre objetos espaciales es necesario seleccionar el objeto deseado (ver Figura 59). Para esto es necesario realizar una consulta de información por lo que se usa el caso de uso Consultar Información Geoespacial. Una vez consultada, se selecciona el objeto deseado para obtener su referencia.

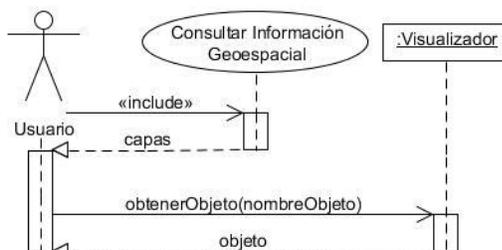


Figura 59. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Seleccionar Información Geoespacial.

Existen tres opciones básicas para la aplicación de zoom a la vista de trabajo (ver Figura 60). El usuario puede hacer "acercar" o "alejar" la vista mediante las opciones de *zoom in* y *zoom out*. Cualquiera que sea el caso es necesario ajustar el nuevo valor. Si se

selecciona la opción de *WorldExtent* se aplica el zoom neutro es decir, se dibuja la imagen en sus dimensiones originales. Finalmente, es necesario refrescar para obtener la nueva vista.

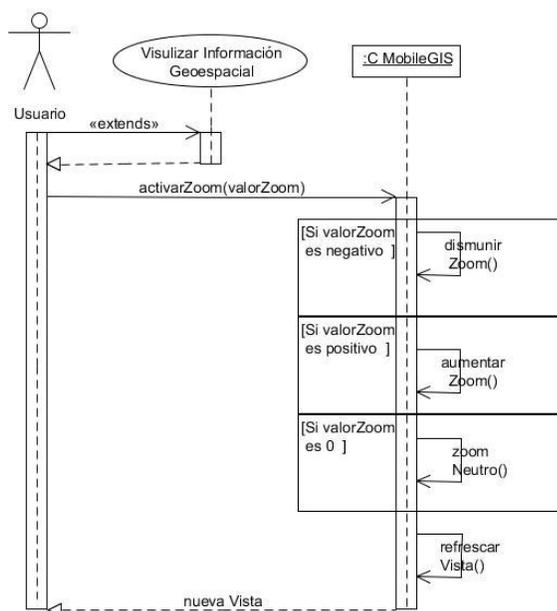


Figura 60. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Aplicar Zoom.

Para realizar alguna modificación sobre un objeto geoespacial, es necesario seleccionar el objeto de interés como se muestra en la Figura 61. Se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial para obtener la referencia del objeto seleccionado por el usuario. Una vez seleccionado, se genera la forma de captura para el objeto y presentarla al usuario. El usuario ingresa o modifica los campos necesarios y finalmente se actualiza la base de datos.

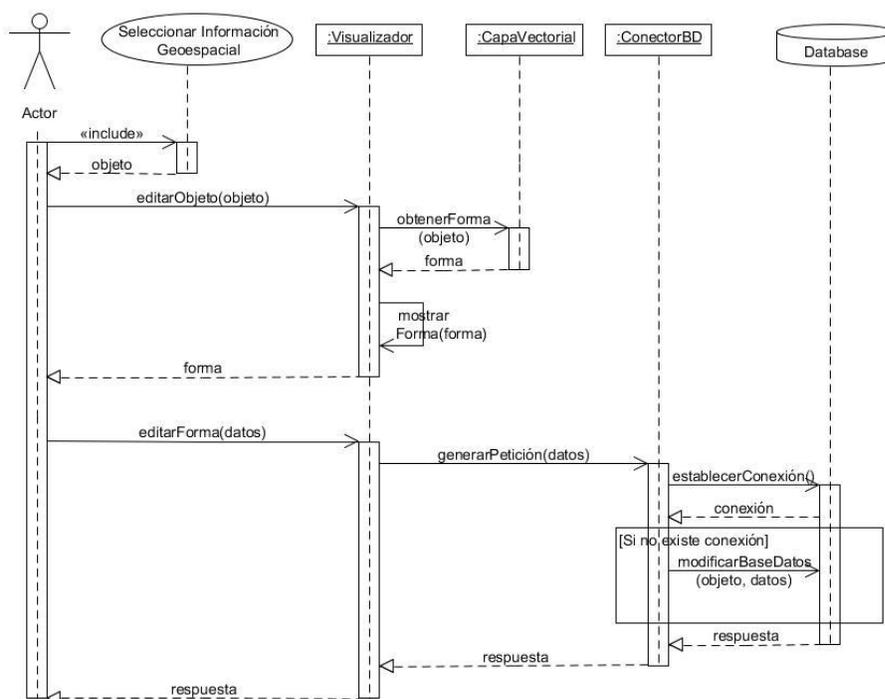


Figura 61. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Editar Información Geoespacial.

Para eliminar algún objeto geoespacial, primero es necesario seleccionar tal objeto por lo que se incluye el caso de uso Seleccionar Información Geoespacial según la Figura 62). Una vez que se tiene referencia al objeto se selecciona la opción Eliminar y se remueve el objeto estableciendo la conexión con la base de datos.

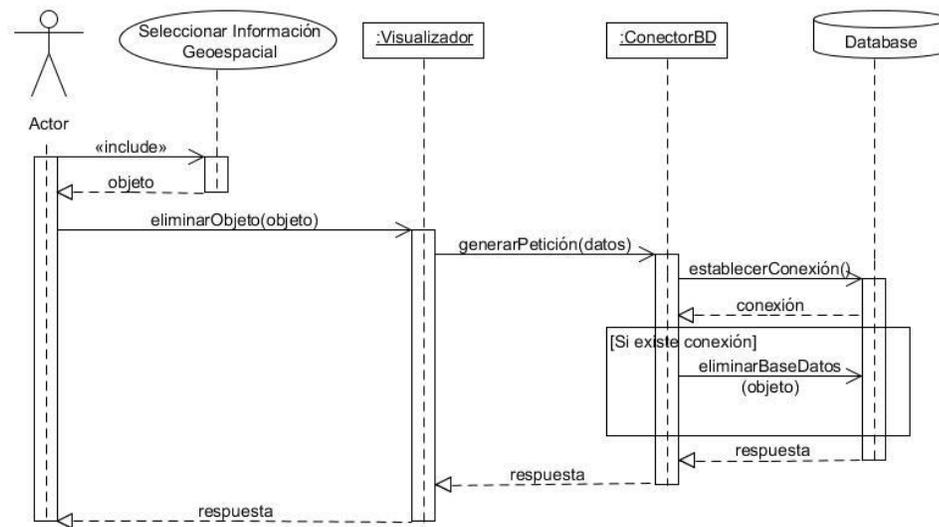


Figura 62. Diagrama de Secuencia del Visualizador Web correspondiente al caso de uso: Eliminar Información Geoespacial.

Apéndice C

Instrumentos de Captura

En esta sección se muestran los formatos de las Encuestas, Entrevistas y Cuestionarios que fueron aplicados a los participantes en el ejercicio de evaluación para la obtención de información necesaria.

C.1. Encuesta de Entrada

Nombre: _____ Fecha: _____

Ocupación: _____ Edad: _____

Años de experiencia como bombero: _____

1. ¿En qué estación se desempeña?

2. ¿Tiene conocimiento sobre todos los hidrantes de su zona?
En caso de si, ¿Como lo ha obtenido?
En caso de no ¿Por qué?

3. ¿Cómo localizaría un hidrante adecuado en caso de emergencia?
¿Este hidrante siempre resulta funcional?
¿Por qué?

4. . ¿Tiene experiencia en el uso de computadoras?

5. . ¿Tiene experiencia en el uso de dispositivos móviles?

C.2. Entrevista de Salida

2. ¿Considera necesario el contar con información actualizada sobre la localización y características de los hidrantes en su zona de trabajo?
 - 2.1. En caso de si, ¿Que beneficios encuentra?
 - 2.2. En caso de no ¿Por qué no?

3. ¿Considera que el sistema propuesto es adecuado para realizar la labor de captura de hidrantes?
 - 3.1. ¿Por qué?

4. ¿Cómo considera que es el uso de la herramienta?
 - 4.1. ¿Por qué?

5. ¿Qué le agrado de la herramienta de captura?

6. ¿Que no le agrado de la herramienta de captura?

7. ¿Cuál fue su percepción acerca del uso de la herramienta de visualización?
 - 7.1. ¿Por qué?

8. ¿Cuál es su opinión acerca de las consultas de información en la herramienta de Visualización?
¿Por qué?

9. ¿Considera que hay elementos o funciones que se le podrían agregar al sistema?
 - 9.1. En caso de si, ¿Cuáles?
 - 9.2. En caso de no ¿Por qué?

C.3. Cuestionario sobre Utilidad

1. Considero que es de utilidad el tener un registro del Sistema de Hidrantes de la zona centro

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

2. Considero que la herramienta C_MobileGIS puede ser aplicada en mi área de trabajo.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

3. Considero que la herramienta de visualización me puede ayudar a localizar más fácilmente los hidrantes.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

4. Considero de utilidad el tener acceso a la información sobre los hidrantes mediante una computadora.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

5. Haría uso de la herramienta en mi trabajo si la tuviera a disposición.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

6. Considero que la herramienta C_MobileGIS no sería de utilidad en mi área de trabajo.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

7. Considero que la herramienta de visualización no proporciona la información que me sería de utilidad.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

C.4. Cuestionario sobre facilidad de Uso

1. Considero que es fácil la captura de los hidrantes y sus características por medio del sistema C_MobileGIS.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

2. Considero que es fácil actualizar la información capturada.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

3. Considero que es fácil apoyarme en el uso de capas con información geográfica adicional para la ubicación de hidrantes.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

4. Considero que es fácil el uso de la herramienta de visualización en la Web.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

5. Considero que es difícil actualizar la captura y actualización de datos en el sistema C_MobileGIS.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo

6. Considero que es confuso el manejo de información en el sistema C_MobileGIS.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo