



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**“MEJORANDO LA PERTINENCIA Y LA DISPONIBILIDAD DE LA  
INFORMACIÓN DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES DE  
BOMBEROS EN EMERGENCIAS MEDIANAS”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS  
MENCIÓN COMPUTACIÓN**

**DAVID RONALD SUÁREZ URRESTI**

2012



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**“MEJORANDO LA PERTINENCIA Y LA DISPONIBILIDAD DE LA  
INFORMACIÓN DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES DE  
BOMBEROS EN EMERGENCIAS MEDIANAS”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS  
MENCIÓN COMPUTACIÓN**

**DAVID RONALD SUÁREZ URRESTI**

PROFESORES GUÍAS:  
SERGIO OCHOA DE LORENZI  
JOSÉ A. PINO URTUBIA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
NELSON BALOIAN TATARYAN  
JAIME SÁNCHEZ ILABACA  
XAVIER BONNAIRE FAVRE

SANTIAGO DE CHILE  
JUNIO 2012

## Resumen

En el mundo en que vivimos es imposible pensar que no van a ocurrir emergencias, ya sean éstas producidas por las personas o por eventos naturales. Cuando hay personas afectadas en estos eventos, el impacto percibido de dichas emergencias es mucho mayor.

Los centros urbanos son áreas particularmente vulnerables a estos eventos. Año tras año estos centros aumentan su densidad, tanto de población e infraestructura civil, como de redes de servicios a la comunidad (por ej. energía eléctrica, gas, telefonía, etc.). Esto hace que el número y el impacto de las emergencias también aumenten en estos centros urbanos. En ese escenario se vuelve cada vez más necesario contar con una respuesta rápida y efectiva por parte de bomberos, que es la organización encargada de combatir la mayoría de estos siniestros. Es por esto que un número importante de investigadores del área de administración de emergencias ha identificado la necesidad de mejorar el proceso de toma de decisiones durante estos eventos, como una forma de mejorar la velocidad y efectividad de la toma de control de una emergencia y de esa manera, reducir su impacto sobre las personas y sus bienes. Las principales limitaciones que afectan al actual proceso de toma de decisiones son las siguientes: (1) la falta de información de apoyo (sobre el siniestro y su entorno) a la hora de tomar las decisiones y (2) el reducido número de canales de radio con que se cuenta para poder llevar a cabo y poner en práctica las decisiones.

Este trabajo de tesis busca mejorar la toma de decisiones durante una emergencia mediana, a través de la entrega de información adecuada al Comandante de Incidente que está a cargo del proceso de respuesta. Para ello se desarrolló un sistema colaborativo móvil, que entrega información de apoyo e incorpora además recomendaciones para el Comandante de Incidente. Esta solución corre sobre laptops y tablet PCs y utiliza mapas digitales para la presentación de la información relacionada con el contexto de una emergencia. Además, el sistema utiliza como entrada la información presentada en los mapas digitales, para luego, en base a reglas particulares definidas en los procedimientos de los bomberos, entregarle información que probablemente es útil para el Comandante de Incidente.

El sistema desarrollado fue evaluado utilizando un análisis de las emergencias pasadas, a cargo del Cuerpo de Bomberos de Ñuñoa, y también a través de un focus groups realizado con comandantes del Cuerpo de Bomberos de Ñuñoa y de Santiago. Aunque los datos obtenidos no son suficientes para sacar conclusiones definitivas, toda la evidencia indica que la solución propuesta debiera ayudar a mejorar la velocidad y efectividad del proceso de toma de decisiones. Es importante aclarar que el foco de este trabajo son las emergencias urbanas de tamaño mediano. A futuro se analizarán posibles extensiones a otros tipos de emergencias.

## **Agradecimientos**

A Dios, por guiar mis pasos en el transcurso de mi vida.

A mis padres y mi hermana, por su apoyo incondicional en todos mis emprendimientos, por su amor y comprensión en todo momento.

A mi hija Lucianita, que con su nacimiento se convirtió en mi inspiración para todos mis emprendimientos.

A mis profesores guías, Sergio F. Ochoa y José A. Pino, por su ayuda, apoyo, confianza y amistad brindada, así como su constante interés para llevar a cabo el presente trabajo.

A mis amigos de la pecera, por brindarme ese apoyo y amistad incondicional que fueron un gran pilar en mi estadía en Chile.

Este trabajo de tesis ha sido parcialmente apoyado por el Proyecto Fondecyt N° 1120207.

## Índice

Resumen .....	i
Agradecimientos .....	ii
1. Introducción .....	1
1.1. Proceso de respuesta a una emergencia.....	2
1.2. Problemática a abordar.....	3
1.3. Justificación del trabajo.....	4
1.4. Solución propuesta .....	6
1.5. Hipótesis de trabajo .....	6
1.6. Objetivos de trabajo.....	7
2. Trabajos relacionados.....	8
2.1. Administración de emergencias .....	8
2.2. El proceso de toma de decisiones.....	9
2.3. Sistemas recomendadores .....	12
3. Requisitos de la solución.....	14
3.1. La toma de decisiones en emergencias urbanas .....	14
3.2. Macro-requisitos de la solución.....	14
3.3. Casos de uso del sistema.....	16
4. Diseño del sistema.....	18
4.1. Diseño arquitectónico .....	18
4.2. Diseño detallado .....	19
4.2.1. Diseño de módulos.....	19
4.2.2. El proceso de recomendación.....	23
5. Implementación del sistema .....	27
5.1. Interfaces de usuario.....	27
5.1.1. Interfaz de usuario: FormPrincipal.....	27

5.1.2.	Interfaz de usuario: ConfGen .....	29
5.1.3.	Interfaz de usuario: ConfGPS .....	30
5.1.4.	Interfaz de usuario: formNuevoEdificio .....	30
5.1.5.	Interfaz de usuario: formInfoEmergencia .....	31
5.1.6.	Interfaz de usuario: formPreferenciasMCDS .....	32
5.2.	Procesamiento de tiles .....	33
5.3.	Tecnología utilizada .....	35
5.4.	Proceso de recomendación .....	35
5.5.	Toma de decisiones en una situación hipotética de emergencia .....	36
6.	Resultados obtenidos .....	42
6.1.	Análisis de grabaciones de emergencias .....	42
6.2.	Focus group con comandantes de bomberos .....	43
7.	Conclusiones y trabajo a futuro.....	46
8.	Referencias.....	48
	ANEXOS.....	51
	ANEXO A: Requisitos del sistema .....	52
a)	Requisitos de usuario.....	52
b)	Requisitos de software .....	56
c)	Matriz de trazado: Requisitos de usuario vs. requisitos de software.....	62
	ANEXO B: Emergencias medianas .....	64

## 1. Introducción

Desde que se tiene memoria la sociedad se ha visto envuelta en situaciones de emergencia, las cuales pueden ser tanto de carácter accidental o intencional. Estas emergencias ponen a prueba la capacidad de reacción del hombre y también su capacidad de mitigarlas en el menor tiempo posible. En un mundo cada vez más poblado, la respuesta rápida y efectiva ante estas situaciones se vuelve un desafío cada vez más importante. Hoy en día existen organismos como los bomberos, el ejército, la cruz roja y la policía, quienes permiten enfrentar las emergencias de mejor manera, pero definitivamente no es un tema resuelto.

En Chile la respuesta ante emergencias es por lo general asumida por los Bomberos. El primer Cuerpo de Bomberos en Chile fue formado en la ciudad de Valparaíso el día 30 de Junio de 1851. Desde ese día y hasta hoy, este organismo ha conservado el carácter voluntario y de servicio a la comunidad.

Inicialmente Bomberos asistía sólo a incendios, y su trabajo se enfocaba en dos áreas: (1) apagar incendios y (2) salvaguardar bienes y propiedades. Luego, con la llegada de los vehículos y los accidentes que se producían debido a ellos, los Bomberos comenzaron a asistir a los lugares de los accidentes de tránsito como una forma de prevenir algún incendio en los vehículos, o bien para rescatar personas que pudieran estar atrapadas. Hoy en día, los Bomberos son (en la mayoría de los casos) los primeros en llegar a una emergencia, y por ello debieron capacitarse no sólo en controlar una larga lista de tipos de emergencias, sino también en atender a los accidentados. Controlar una emergencia en forma rápida, continúa siendo el mayor desafío, y a su vez la mejor arma para reducir el impacto que un siniestro tiene sobre las personas y la propiedad pública y privada.

Por otra parte, el desarrollo de la sociedad ha traído consigo nuevos productos, que significan una nueva veta en el combate del fuego. Estos son los llamados “materiales peligrosos”, dentro de éstos tenemos: gases inflamables, líquidos inflamables y líquidos corrosivos. Este tipo de materiales usualmente aumenta el área de influencia, y el potencial número de afectados por una emergencia. Es por ello que desde comienzos de los '90 Bomberos también se ha capacitado para enfrentar nuevos tipos de siniestros producidos por estos materiales.

En situaciones de emergencias urbanas de tamaño mediano (por ej. inundaciones, derrumbes, grandes incendios, derrames químicos, o escapes de gas), es también Bomberos la organización que usualmente se hace cargo de la respuesta a la emergencia. Las emergencias de tamaño mediano se caracterizan por tener una duración igual o mayor a 6 horas, y/o involucran entre 6 y 10 carros de bomberos. En ese escenario, el Comandante de Incidente (CI) de Bomberos es la persona que está a cargo de tomar todas las decisiones en terreno, y hacer ejecutar las acciones conducentes a enfrentar debidamente el siniestro. El CI usualmente cuenta con un puesto de comando, donde lleva a cabo la planificación de las operaciones y la toma de decisiones para combatir la emergencia.

## 1.1. Proceso de respuesta a una emergencia

El proceso de respuesta a una emergencia empieza con el arribo de una notificación de emergencia a la central de alarmas (Figura 1). Las operadoras de la central de alarmas son las encargadas de recibir y verificar la veracidad de las notificaciones de emergencias. Esta verificación se realiza utilizando diversos métodos según la situación. Por ejemplo, se puede verificar la veracidad de un evento a través del arribo de más notificaciones a la central, reportando el mismo evento; o bien a través del diálogo que la operadora mantiene con la persona que notifica, observando el nivel de estrés y la forma de hablar de la persona que reporta la emergencia. En otras palabras, las operadoras hacen uso de su experiencia y buen sentido para detectar la veracidad de una notificación. Una vez verificada la existencia de una emergencia, la operadora procede a despachar los carros de bomberos y recursos pertinentes al lugar del evento.

Una vez que llega el primer carro de bomberos al sitio del suceso, empieza el proceso de respuesta a la emergencia. A partir de ese instante la Central de Alarmas es relevada del mando y pasa a ser un elemento más de apoyo al proceso de respuesta. En ese instante asume el control el Comandante de Incidente (CI), rol que ejerce el primer bombero con rango de oficial que arriba al lugar del evento.

En la etapa de respuesta a la emergencia el CI toma decisiones en base a la información que tiene disponible, las cuales se traducen en órdenes que serán ejecutadas por los bomberos en terreno. Periódicamente el CI evalúa sus decisiones a fin de ajustar el rumbo del proceso de respuesta, en caso de que sea necesario. Este ciclo se repite hasta que el CI logra contralar la emergencia. En esta etapa, la experiencia del CI, los recursos asignados y la información que se tenga del entorno juegan un rol muy importante para la toma de decisiones

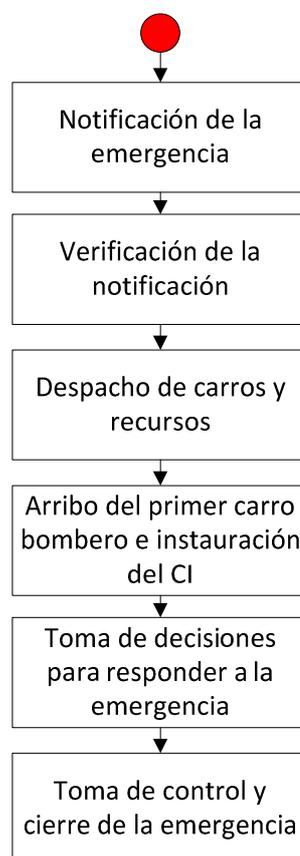


Figura 1: Proceso de respuesta a una emergencia

Una vez controlada la emergencia, se mantiene el proceso de respuesta hasta que se logra mitigar el evento. A partir de allí se procede al cierre de dicho proceso, el cual involucra el repliegue ordenado de los recursos (personal, equipamiento, vehículos, etc.) a sus respectivos cuarteles. De esta manera, se da por terminado el proceso de respuesta a una emergencia. Como se mencionó anteriormente, en el

caso de emergencias medianas este proceso involucra varias horas. Si bien las decisiones que debe tomar el CI en estos eventos son usualmente más complejas que en eventos pequeños, existe también un mayor espacio de tiempo para analizar la información de apoyo para tomar decisiones.

## **1.2. Problemática a abordar**

A partir de varios focus groups realizados en la Segunda Compañía de Bomberos de Ñuñoa, se determinó que las herramientas con que cuenta el CI a la hora de tomar decisiones, se reducen a la radio, su propia experiencia, algún mapa a mano alzada que él o sus colaboradores puedan hacer respecto al escenario de la emergencia, y en algunos casos, información básica que pudiera proveer la Central de Alarmas que recibió la notificación de la emergencia.

El principal problema que se suscita en este escenario radica en que la información gráfica que podría apoyar la toma de decisiones (por ejemplo, planos, mapas, vías de evacuación, localización de grifos, etc.), no es factible de transmitir a través del sistema de radio que utilizan los bomberos [8, 23]; y desafortunadamente la mayoría de la información requerida por el CI es de carácter espacial. Por lo tanto, aunque la central de alarmas cuente con información gráfica importante sobre la emergencia o el área afectada, ésta tiene que ser comunicada verbalmente por una operadora a través de la radio. Esto vuelve a la comunicación lenta e imprecisa.

En muchos casos transmitir esta información puede requerir un tiempo importante, puesto que usualmente hay sólo dos o tres canales de radio disponibles para apoyar una emergencia, y por lo general éstos se mantienen colapsados [22]. Esta limitante producida por el sistema de comunicaciones utilizado (es decir, el sistema de radio VHF), ha sido ampliamente discutida por la comunidad científica del área [6, 16, 18, 25]. Aunque han surgido varias alternativas de solución a este problema, las propuestas involucran un elevado costo de implantación y/o uso de las mismas, lo cual las hace poco aplicables a escenarios como el chileno, donde los bomberos son voluntarios y tienen un presupuesto muy escaso.

La falta de este tipo de información limita la capacidad de los bomberos para tomar decisiones en forma rápida y efectiva, a fin de superar la emergencia minimizando su impacto. Esta falta de información también provoca improvisación en las acciones que llevan a cabo los bomberos en terreno, lo que muchas veces origina errores u omisiones críticas.

Otra limitante que se da en la toma de decisiones en este escenario tiene que ver con la falta de capacidad para interrelacionar o procesar rápida y adecuadamente la información de soporte con la que se cuenta; considerando que muchas veces no se tiene un conocimiento cabal de lo que pasa en la emergencia. Frecuentemente se deben tomar decisiones estratégicas en tiempos mínimos, lo cual genera una presión extrema sobre las personas y afecta la toma de decisiones. Según Klein [14], la toma de decisiones en la mayoría de los casos, se hace en base a emergencias “tipo”, que cada individuo crea a partir sus experiencias previas. Por lo tanto, cuando los eventos de una emergencia disparan la necesidad de tomar decisiones, cada individuo tiene un conocimiento surgido a partir de sus

emergencias “tipo”, y decide según su criterio y el estado de las variables de entorno que puede observar. Por ello, es necesario e importante que el CI pueda disponer de herramientas idóneas que le permitan contar con información visual rápida y confiable (que va más allá de su propia experiencia) para tomar decisiones acertadas en menos tiempo.

### 1.3. Justificación del trabajo

En el mundo en que vivimos es imposible pensar que no van a ocurrir emergencias, ya sean éstas producidas por las personas o por eventos naturales. Cuando hay personas afectadas, el impacto de las emergencias es mucho mayor. Es por esto, que en las emergencias urbanas se debe dar mucho énfasis a la administración de las mismas. Más aún considerando que cada año se incrementa la densidad poblacional en los centros urbanos, y por lo tanto aumenta el impacto y el número de emergencias.

En el caso de Santiago de Chile, especialmente en las comunas de Ñuñoa, Macul, La Reina, La Florida y Peñalolén, que son las comunas de estudio, la densidad poblacional ha aumentado en algunas de las comunas y en otras ha disminuido pero muy lentamente (ver Figura 2). Sin embargo, lo que ha crecido en forma considerable es la cantidad de infraestructura física que es difícil de abordar en caso de siniestros, como por ejemplo los edificios, áreas comerciales o colegios que reúnen a una gran cantidad de personas. Además, se ha incrementado la interrelación entre los distintos sistemas que dan soporte a un área urbana; por ejemplo las redes viales, telefónicas, eléctricas, de agua, etc. Esto hace que cuando un siniestro afecta una infraestructura física particular (por ejemplo un incendio en un edificio), toda el área se vea directamente afectada. Es por ello que cuanto más demore la mitigación del siniestro, mayor será el impacto del evento sobre dicha área.

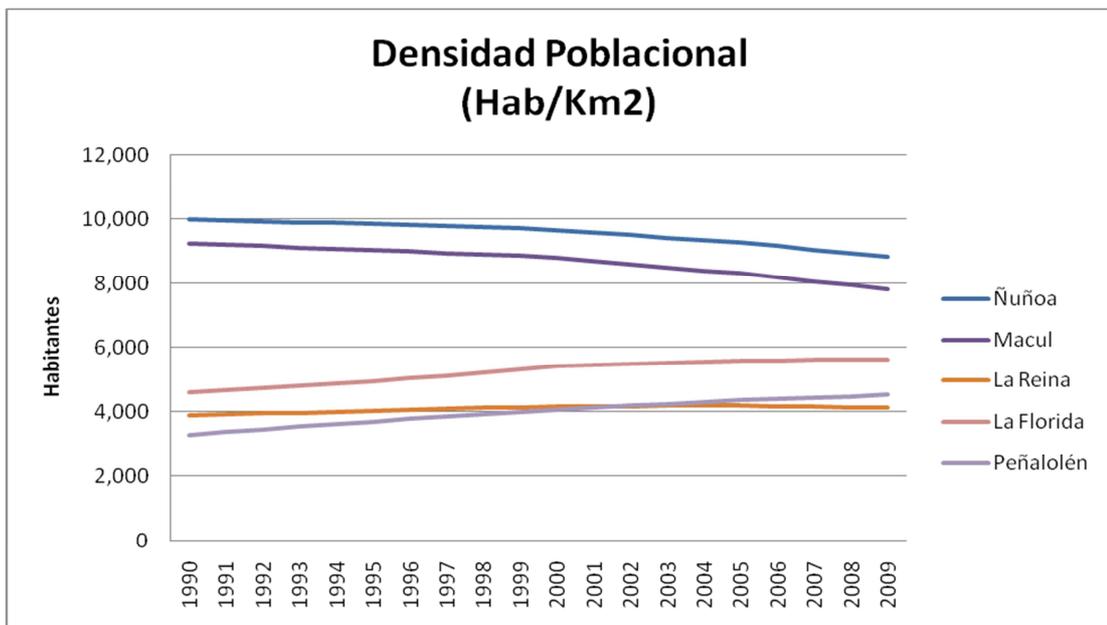


Figura 2: Densidad poblacional desde 1990-2009 (Fuente: Proyecciones INE Chile)

Por otro lado, de acuerdo a datos de la central de alarmas del Cuerpo de Bomberos de Ñuñoa (que atiende a estas cinco comunas), las emergencias medianas por año han ido aumentando desde el 2005 a la fecha. En el año 2005 se atendieron 32 emergencias medianas, siendo 6 en Ñuñoa, 12 en Peñalolén, 4 en Macul, 3 en La Reina y 7 en La Florida. Ya en el año 2009 se atendieron un total de 53 emergencias medianas, siendo 10 en Ñuñoa, 16 en Peñalolén, 4 en Macul, 5 en La Reina, 16 en La Florida y 2 fuera de límite de influencia de este Cuerpo. En estos dos últimos casos los recursos del Cuerpo de Bomberos de Ñuñoa (CBN) asistieron como apoyo a otras compañías. Estos números indican que en el 2009 el CBN atendió un promedio de 4 emergencias medianas mensuales, lo cual es un número elevado. La Figura 3 presenta un gráfico con la evolución de las emergencias medianas por año durante el periodo 2005-2009.

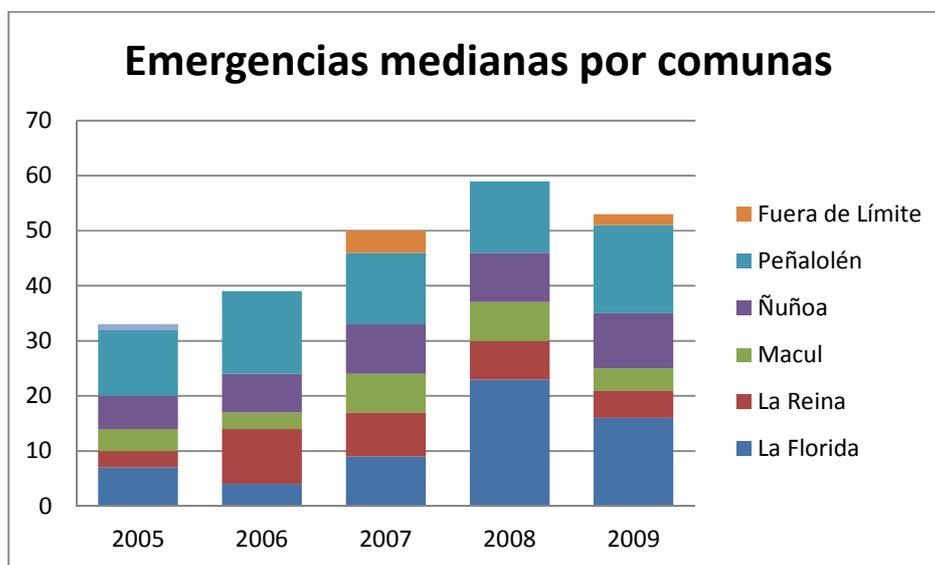


Figura 3: Emergencias anuales atendidas por el CBN  
(Fuente: Central de Alarmas de Ñuñoa)

En la medida que crece el tamaño de las emergencias, éstas se vuelven más complejas y difíciles de mitigar, pues requieren decisiones que involucran a diversas organizaciones, como por ejemplo policía, bomberos, SAMU, defensa civil, etc. Si las actividades y las decisiones que toman estas instituciones no están coordinadas, el esfuerzo de mitigación del siniestro podría tener bajo o ningún impacto. En consecuencia, la emergencia afectará a una mayor cantidad de personas y bienes materiales.

Debido a la complejidad de las decisiones que hay que tomar y a la rapidez con la cual éstas deben ser tomadas, sería recomendable contar con un sistema de apoyo a la toma de decisiones que le facilite parte de la tarea al CI. Este sistema debe además entregar información útil, que sea fácil de comprender y validar por parte del CI.

La solución debe ser colaborativa y móvil, de manera que permita al CI desplazarse por el área afectada llevando consigo dicho sistema. Éste debe permitir compartir información por demanda e interactuar con otros miembros del equipo de respuesta. Estas características convierten al sistema de apoyo a la toma de decisiones en una pieza clave, la cual no es trivial de diseñar y construir.

## **1.4. Solución propuesta**

Desde la década del '90 se ha visto el potencial que el uso de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) podría tener en el área de asistencia a emergencias. Por lo tanto un importante esfuerzo de investigación se ha hecho en este ámbito, fomentado especialmente por organismos como la Agencia Federal de Administración de Emergencias de Estados Unidos (FEMA, por sus siglas en inglés) y las Naciones Unidas (a través de su iniciativa: "Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales" o IDNDR por sus siglas en inglés). El uso de tecnología en este ámbito ha despertado gran interés entre los investigadores, ya que muchos problemas del área aún no están resueltos. En la sección 2.1 (trabajos relacionados) se discute este tema con más profundidad.

En este escenario, se ha visto la necesidad de realizar una buena administración de los esfuerzos de respuesta a una emergencia, debido a que día a día se incrementa la magnitud y la complejidad de las mismas. La identificación de cuál es la información pertinente para el Comandante de Incidente según el tipo de emergencia, ayudaría a saber qué es lo que se le debe proveer a esta persona para facilitar su proceso de toma de decisiones. El uso de soluciones computacionales móviles debería ayudar a aumentar la disponibilidad de la información relevante cuando el CI está en terreno. Estos dos elementos antes mencionados podrían integrarse a través de un sistema de apoyo a la toma de decisiones, que brinde al CI información relevante en terreno. La herramienta debería permitir la movilidad del CI y no debería interferir con los protocolos de respuesta y toma de decisiones utilizados hoy día por los bomberos.

Debido a que los Sistemas de Información Geográficos (SIG) han demostrado ser un buen apoyo para la toma de decisiones en emergencias [3, 8, 23, 24, 26], se pretende que el sistema que se le ofrezca al CI utilice un SIG para desplegar gran parte de la información y las recomendaciones. El sistema además utilizará como entrada la información almacenada en el SIG, para luego, en base a reglas particulares definidas en los procedimientos de los bomberos, recomendar información que probablemente es útil para la toma de decisiones. Por ejemplo, al momento de ingresar al sistema la información de ubicación y tipo de emergencia, éste podría verificar si es necesario desalojar algún establecimiento cercano (por ejemplo, un jardín infantil o un hogar de ancianos), e informarle inmediatamente al CI para que éste minimice el impacto del evento sobre las personas. De esa manera se identifican los puntos críticos y se actúa a tiempo. La forma de mostrar estas recomendaciones deberá permitirle al CI hacer una lectura rápida y evaluar si las recomendaciones son o no apropiadas para cada caso.

## **1.5. Hipótesis de trabajo**

Las hipótesis planteadas para el desarrollo de este trabajo de investigación son las siguientes:

1. A partir del análisis de emergencias pasadas, es posible predeterminar cuál es la información relevante con la que se deberá contar para apoyar la toma de decisiones a futuro.

2. El uso de tecnología computacional móvil ayudará a aumentar la disponibilidad de la información de apoyo a la toma de decisiones en una emergencia.
3. La velocidad de toma de decisión y calidad de las decisiones deberían mejorar si el Comandante de Incidente contara con una herramienta de apoyo que sea visual, sensible al contexto y que entregue sugerencias apropiadas.

## **1.6. Objetivos de trabajo**

El objetivo general de esta propuesta de tesis es *mejorar la toma de decisiones en emergencias urbanas de mediana envergadura, a través del uso de una herramienta de software que, en base a información visual, entregue información de apoyo al CI para que éste pueda tomar decisiones más efectivas y rápidas*. En el caso de las sugerencias que entregue el sistema, éstas seguirán una serie de reglas asociadas a los procedimientos definidos para el accionar de bomberos, y considerarán información del contexto asociada a las emergencias. Los objetivos específicos que se derivan del objetivo general son los siguientes:

- Recolectar información respecto a la forma actual de toma de decisiones del CI durante emergencias urbanas de tamaño medio, y también a las necesidades concretas que el CI pudiera tener para realizar dicha actividad.
- Recolectar la información de las emergencias en lo posible desde el año 2000 hasta el año 2009, para su clasificación y análisis. Este análisis permitirá saber qué información es la que requieren los CI en cada uno de los tipos de emergencias urbanas.
- Definir las reglas o acciones a seguir para la generación de las sugerencias al CI, según tipo de emergencia que se pretenda tratar.
- Diseñar, implementar y validar el sistema de apoyo a la toma de decisiones, que ayude al CI a realizar esta actividad en forma más efectiva y expedita.

## 2. Trabajos relacionados

Este capítulo trata los trabajos relacionados en tres áreas: la administración de emergencias, el proceso de toma de decisiones en dicho escenario, y los sistemas de recomendación. Sin embargo, es necesario aclarar que en el caso de la administración de la emergencia, los trabajos relacionados se han enfocado esencialmente a las emergencias grandes, tales como tsunamis, terremotos, huracanes, etc. El proceso de toma de decisiones y la administración de emergencias pequeñas y medianas está poco reportado en la literatura.

### 2.1. Administración de emergencias

La administración de emergencia involucra un ciclo que tiene cuatro fases [23, 24, 30]: (1) la fase de preparación, (2) respuesta, (3) recuperación y (4) mitigación y aprendizaje (ver Figura 4). La fase de *preparación* tiene que ver con el entrenamiento de los diferentes organismos de emergencias, la adquisición de equipamiento y la definición de planes de repuesta a diversos tipos de contingencias. La fase de *respuesta* a una emergencia involucra la puesta en práctica de los planes y el entrenamiento recibido por los encargados de realizar dicha actividad. La fase de *recuperación* considera la restauración del área afectada, para que ésta vuelva a un estado operativo razonable. Por ejemplo esto podría involucrar la reconstrucción de las estructuras, edificios, casas, etc. En la fase de *mitigación* es donde se realizan políticas de prevención y se educa a la comunidad con la finalidad de evitar o aminorar el riesgo o impacto de una emergencia futura.



Figura 4: Ciclo de la administración de una emergencia

Este trabajo de tesis se enfoca en la fase de respuesta, la cual tiene gran importancia pues las acciones realizadas y/o las decisiones tomadas durante esa etapa, influyen directamente en el impacto que una emergencia tendrá sobre las personas.

En el área de administración de emergencias existen muchos trabajos en los cuales la ayuda para la toma de decisiones se enfoca principalmente en la recolección de datos desde el lugar de los hechos. Por ejemplo, Meissner y otros proponen la colaboración entre los sistemas de los equipos de rescates en terreno y el puesto de mando (o command post) donde se encuentra el comandante de incidente [20]. Estos investigadores también proponen la integración del sistema MIKoBOS, con una mesa electrónica para la visualización de la información [20, 21]. De esa manera se debería poder mejorar la toma de decisiones durante emergencias. Sin embargo dicha propuesta requiere enlaces satelitales para poder comunicar a los dispositivos de los bomberos, el comandante de incidente y la central de alarma, siendo inviable el uso de esta tecnología por parte de los bomberos de Chile. Baber y otros proponen un sistema por el cual se podría transmitir información visual desde el sitio de la emergencia, a través de imágenes y metadatos asociados a ésta [5]. De esa manera se podría apoyar la toma de decisiones en terreno. Sin embargo la propuesta sólo muestra datos parciales de la información que se genera en una emergencia, no tomando así en cuenta la ubicación de grifos, ubicación de los carros bomberos, centros asistenciales, etc.

Existen también trabajos relacionados con simulaciones sobre Sistemas de Información Geográficos (SIG), que proporcionan información para la toma de decisión. Por ejemplo, el trabajo de Castillo y otros reporta el desarrollo de un sistema de información geográfico para la protección de bosques contra los incendios forestales [7]. El trabajo de Estrada y otros va en la misma línea, abocándose a los desastres naturales que sufre Guatemala [11]. Sin embargo, estos trabajos usan como software base SIG ArcMap de ESRI, que es un software comercial que ocupa una licencia pagada, que dificulta un poco la adquisición de este tipo de soluciones por parte de los bomberos de Chile.

Hay también trabajos que reportan sistemas que administran la información de la emergencia, con el fin de luego ser visualizada para la toma de decisiones. Un ejemplo de esto es el sistema SAHANA que fue desarrollado el año 2004, en base a las lecciones aprendidas en el terremoto de Sumatra-Andaman [9]. Este trabajo se enfoca más a la administración de los damnificados y a la ayuda comunitaria en emergencias grandes.

Los trabajos antes mencionados se enfocan en emergencias grandes, por lo que involucran desafíos diferentes a las emergencias medianas que se pretenden abordar en esta tesis. Además estos sistemas sólo se preocupan de la recolección, visualización, simulación o administración de la información de la emergencia. Dejando así, toda la información necesaria para que el CI realice la toma de decisión según sus conocimientos y experiencia.

## **2.2. El proceso de toma de decisiones**

Según Azuma et al. [4], una manera general de definir el proceso de toma de decisión, es definiéndolo como un proceso por el cual se selecciona una o más alternativas a seguir para abordar una determinada situación. Existen diferentes modelos que tratan de explicar el proceso cognitivo de cómo

las personas realizan la toma de decisión, pero todos ellos concuerdan en que éste es un proceso serial y con algunas etapas comunes, como se muestra en la figura 5.

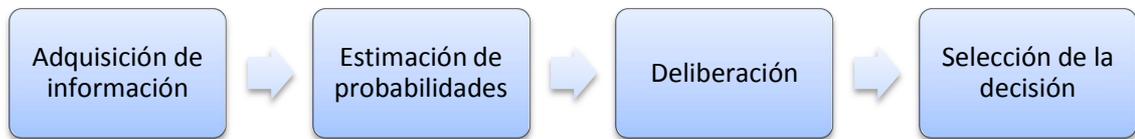


Figura 5: Etapas generales del proceso de decisión

En relación al concepto de urgencia en el proceso de toma de decisiones, existen dos tipos de situaciones que caracterizan este proceso: (1) las situaciones donde no existe una restricción de tiempo para la toma de decisión, donde se puede considerar y analizar la situación antes de tomar una decisión (esta decisión está regida típicamente por modelos analíticos), y (2) las situaciones donde el tiempo es el factor crítico, y el proceso de toma de decisión debe ser ejecutado con información parcial y haciendo uso del background y el criterio de quienes están involucrados en dicho proceso [4].

Dentro de lo que son las situaciones críticamente limitadas por el tiempo, existen muchos modelos adoptados del proceso de toma de decisiones. Uno de ellos es el Modelo de Toma de Decisión Naturalista o NDMM (por sus siglas en inglés) [15], donde las personas toman decisiones en un ambiente del mundo real. Según este modelo, las personas no generan y comparan un conjunto de posibles alternativas para tomar una decisión. En realidad lo que hacen es, en base a su experiencia, categorizar rápidamente la situación y luego toman acción usando la primera opción posible para abordar dicha situación. En la figura 6 se muestra cómo sería el flujo dentro de este modelo.

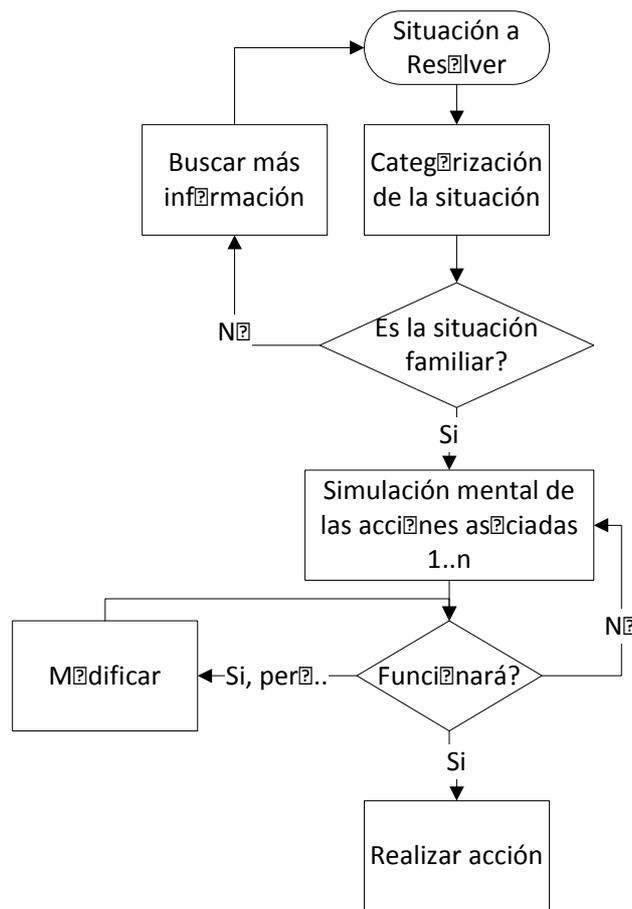


Figura 6: Flujo del modelo naturalista (tomado de [15])

Por otra parte, Barbosa et al. [10], proponen un modelo específico de toma de decisiones en emergencias, donde se considera la experiencia previa de las personas y se introduce los términos de *conocimiento formal previo* y *conocimiento actual del contexto*.

En la figura 7 se muestra un mapa conceptual del proceso donde el *conocimiento personal* sería la experiencia de la persona, el *conocimiento formal previo* representaría los procedimientos y/o prácticas (que es el conocimiento que no cambia), y el *conocimiento actual del contexto* sería la información generada acerca de la emergencia.

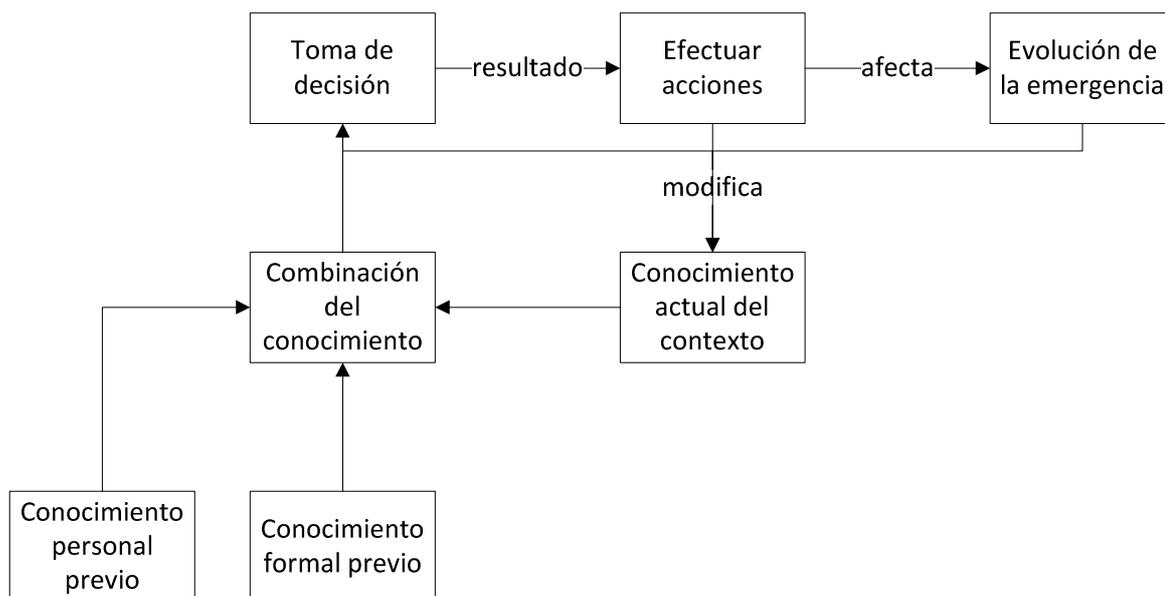


Figura 7: Modelo de conocimiento de apoyo a la toma de decisiones en emergencias (tomado de [10]).

Este modelo muestra que para la toma de decisiones se tiene en cuenta tres tipos de conocimientos: la experiencia personal, el conocimiento formal previo y el conocimiento del contexto. Estos tres tipos de conocimiento se combinan para apoyar de mejor manera a quien toma las decisiones (por ej., el CI). Como resultado del proceso de toma de decisiones, se tienen una serie de acciones que se realizan y que afectan la evolución de la emergencia, y por supuesto también el contexto de la misma. Este conocimiento nuevo del contexto modificado retroalimenta el proceso de toma de decisiones, representando así la evolución natural de una emergencia. Este modelo toma en cuenta las decisiones, acciones y la evolución de la emergencia, hasta el punto de cierre de la misma.

### 2.3. Sistemas recomendadores

Un sistema recomendador (o de recomendación) es una herramienta que produce como salida una recomendación, o bien guía al usuario hacia ítemes interesantes o útiles dentro de un gran espacio de posibles alternativas a seguir [19]. El trabajo de investigación en sistemas recomendadores se hizo popular a finales de los '80, cuando T. Malone introdujo el término de filtro y publicó su trabajo sobre sistemas inteligentes para compartir información [17]. En dicho trabajo se propusieron dos categorías de filtros para realizar las recomendaciones: los filtros cognitivos y los filtros sociales. Los filtros cognitivos vinculan el contenido de la fuente de información (o ítem) y las potenciales necesidades de información de los usuarios, para entregar una recomendación adecuada. Por su parte los filtros sociales toman como base las relaciones personales y organizacionales del usuario (como miembro de una comunidad), vinculando así los ítemes con las necesidades colectivas de las relaciones del usuario [19]. Estos filtros funcionan en base a palabras claves y lo único que en realidad hace el sistema es filtrar el contenido o ítemes en base a estas palabras claves.

Por otra parte los sistemas recomendadores guían al usuario no sólo tomando en cuenta las palabras claves, sino que también sus preferencias. En la literatura del área, los sistemas de recomendación son usualmente clasificados en dos tipos, dependiendo en la manera en que se hace la recomendación. Esta clasificación distingue a (1) los sistemas recomendadores que basan sus recomendaciones en el contenido, y (2) los sistemas recomendadores que basan sus recomendaciones en el resultado de la colaboración entre usuarios [1, 19]. A menudo también aparece la categoría de los sistemas recomendadores híbridos que proponen mezclas de los dos anteriores. En el caso de situaciones de emergencias, la toma de decisiones tiende a considerar un escenario híbrido.

Algunos de los usos más conocidos de los sistemas recomendadores apuntan a recomendar viajes [27], compras electrónicas [13], películas y libros [12], y a entregar sugerencias a inversionistas [29]. Escenarios donde claramente el tiempo no es un factor crítico a considerar para generar una recomendación.

Hay sistemas recomendadores que junto con sistemas GPS recomiendan rutas óptimas para vehículos, o bien opciones de paseos. Existen también trabajos que proponen algoritmos, frameworks o sistemas para realizar Multi-criteria Decision Making (MCDM), y así generar recomendaciones en forma rápida y fácil [1, 2, 28]. Los trabajos más relevantes en el ámbito de emergencias tienen que ver con los sistemas de MCDM, ya que éstos se enfocan en realizar las recomendaciones basándose en varios criterios, que es exactamente el escenario que se da en situaciones de emergencias urbanas.

Todos estos trabajos previos aportan soluciones parciales al problema propuesto, puesto que no han sido diseñados para abordar específicamente el escenario de toma de decisión aquí descrito. De todas maneras, estos trabajos previos han sido considerados en la formulación de la solución propuesta.

### 3. Requisitos de la solución

Desde mediados de 2009 se han venido realizando focus groups con comandantes del Cuerpo de Bomberos de Ñuñoa principalmente. El objetivo de estas actividades ha sido el de comprender mejor el proceso de toma de decisiones y la necesidad de información de los comandantes de incidente durante una emergencia. En esta sección se describe brevemente este proceso de toma de decisiones que realiza Bomberos en Chile, cuando las emergencias afectan a zonas urbanas. Esta sección presenta además los principales requisitos y casos de uso de la solución a desarrollar para apoyar al CI.

#### 3.1. La toma de decisiones en emergencias urbanas

Como se explicó en la sección 1.1., el proceso de emergencia involucra las fases de: (1) notificación de la emergencia, (2) verificación de la emergencia, (3) despacho de carros y recursos, (4) arribo del primer carro de bomberos e instauración del CI, (5) toma de decisiones y acciones para mitigar la emergencia, y (6) toma de control y cierre de la emergencia. La solución desarrollada en esta tesis apoya las seis actividades enunciadas, siendo la fase 5 aquella en que la solución propuesta reviste mayor protagonismo, y las dos primeras en las reviste menor importancia.

La toma de decisiones en una emergencia es una actividad que se realiza en paralelo y a todos los niveles; o sea, afecta al CI, a las operadoras, y a los bomberos en terreno. Si bien el sistema debe apoyar las tareas de todos estos usuarios, su diseño está centrado en los requerimientos del CI que es el rol más crítico en el proceso de respuesta.

En las etapas 1 a 3 del proceso de respuesta, el sistema debe apoyar sólo las actividades de las operadoras. En las etapas 4 a 6 el sistema apoyará principalmente la toma de decisiones del CI, y en forma secundaria apoya a los bomberos en terreno y a las operadoras. Estos dos tipos de usuarios secundarios utilizan el sistema para inspeccionar el área de la emergencia o consultar información acerca de la misma. De esta manera, se puede liberar un poco más el canal de radio, ya que por ejemplo, no sería necesario que la operadora pida información por radio acerca de la ubicación de un carro, pues dicha información es verificable a través del sistema.

#### 3.2. Macro-requisitos de la solución

Tomando en cuenta la información de los focus groups y las características del entorno computacional donde debe correr el sistema, se ha definido un conjunto de requisitos críticos de usuario, los cuales guiarán la solución a desarrollar. Estos requisitos de usuario mandatorios son los siguientes:

- **Solución móvil:** El sistema debe ser capaz de correr en un tablet PC o en un notebook, para poder ser usado por el comandante de incidente o un asistente de éste en terreno; por ejemplo, por el conductor de un carro de bomberos.

- **Alta usabilidad:** Se requiere que el sistema sea lo más intuitivo posible, de tal forma que el usuario pueda utilizarlo después de una breve sesión de entrenamiento. Cabe mencionar que los cuerpos de bomberos tienen una amplia variedad de potenciales usuarios, con diferentes capacidades para el uso de tecnología.
- **Capacidad de comunicación:** El sistema debe poder comunicarse con la central de alarmas para consumir los Web services que ésta provee. Esto se daría en caso de tener acceso a alguna red de datos que permita el ingreso a Internet. En este caso la central de alarmas actúa como un repositorio de información compartida, la cual puede ser utilizada para apoyar la toma de decisiones de los comandantes de incidente.
- **Sistema standalone:** El sistema debe poder seguir funcionando, aunque con funcionalidades limitadas, en caso de que se pierda la comunicación entre el dispositivo móvil y la central de alarmas. Por lo tanto, la solución debe mantener en forma local, tanta información de una emergencia y de su entorno como sea posible.
- **Interfaz espacial:** La interfaz principal del sistema debe ser un mapa del área de la emergencia, puesto que esa es la interfaz natural para el trabajo de los comandantes de incidente hasta hoy en día. A diferencia de la interfaz en papel que se usa actualmente, la solución propuesta presentará un mapa digital con diversas capacidades de navegación y de manejo de zoom.
- **Visualización de recursos móviles:** El sistema debe desplegar en el mapa la posición de los recursos móviles asignados a la emergencia. El comandante debe poder consultar en cualquier momento la ubicación o el estado de estos recursos (principalmente carros de bomberos y ambulancias). Esta información también apoyará la toma de decisiones del Comandante de Incidente.
- **Entrega de recomendaciones:** En base al tipo de emergencia, a los procedimientos de los bomberos y a la información disponible, el sistema debe poder realizar recomendaciones al Comandante de Incidente.
- **Visualización de información relevante:** El sistema debe ser capaz de visualizar sobre el mapa sólo información relevante acerca de ubicación y características de diversos puntos de interés (es decir recursos estacionarios). Esto ayuda al CI a tener una mejor perspectiva de la emergencia y de las alternativas a seguir en cada instante. Estos puntos de interés pueden ser colegios, hogares de ancianos, cuarteles de carabineros, grifos, etc.

Los requisitos de usuario y de software asociados a la solución se encuentran detallados en el ANEXO A del documento. En la próxima sección se presentan los principales casos de uso del sistema.

### 3.3. Casos de uso del sistema

El principal usuario del sistema es el *Comandante de Incidente*. Como ya se ha dicho anteriormente, ésta es la persona encargada de tomar las decisiones en una situación de emergencia y es quién necesita tener una perspectiva, lo más completa posible, de la situación a enfrentar. La *Operadora* también es un usuario que puede hacer uso del sistema para ayudar al CI o para consultar información del entorno de la emergencia, sin tener que acudir al uso de la radio para hacer esta tarea. A continuación se presenta un diagrama de casos de uso donde se muestra la funcionalidad que debe estar disponible para el Comandante de Incidente y la Operadora.

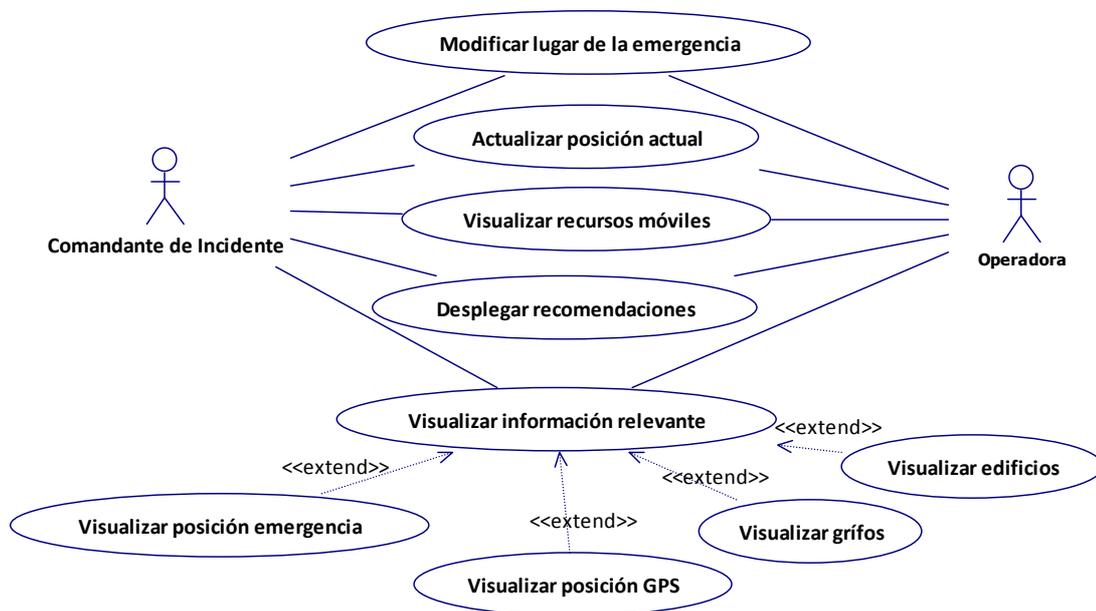


Figura 7: Casos de uso del CI y la Operadora

De igual forma, el sistema debe poder ser utilizado por un *bombero* en terreno (que no sea Comandante de Incidente); sin embargo esta funcionalidad no es mandatoria. El bombero debe poder visualizar información relevante de la emergencia, pero por ejemplo no puede ver las recomendaciones, ni puede subir información sobre la emergencia misma (ver Fig. 8). Este último punto se debe a una decisión temporal y de índole política establecida por Bomberos. Probablemente esto podría cambiar en el futuro, cuando se tenga un panorama claro acerca del impacto que tendría el hecho de permitirle a un bombero subir información al sistema. En todo caso, la decisión respecto a qué atribuciones darle a un usuario de tipo "bombero" debe ser tomada por la organización.

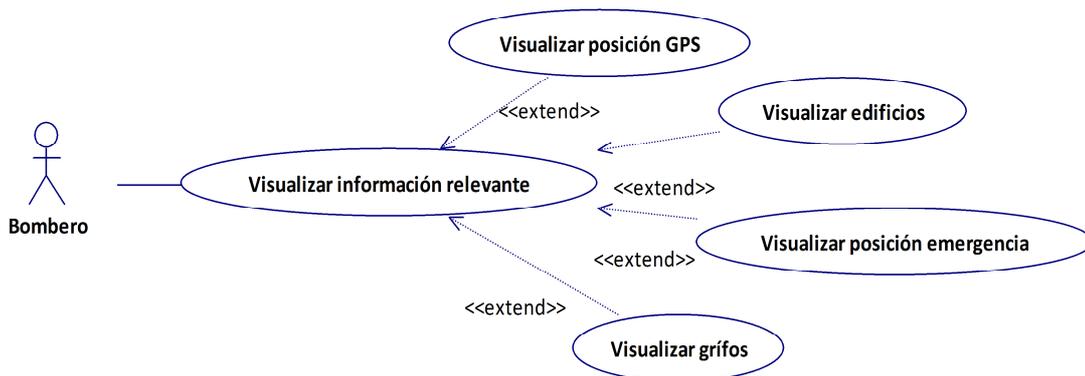


Figura 8: Casos de uso del Bombero

La figura 9 resume el escenario de interacción entre los participantes en una emergencia: el CI, las operadoras de la central de alarmas, y los bomberos (carros). Cabe aclarar que los carros de bomberos eventualmente cuentan con un computador que permite a los bomberos utilizar el sistema. Si además el computador contara con acceso a Internet, entonces éste puede bajar desde la central de alarmas, información actualizada respecto a la emergencia. El hecho de poder conocer la información de la emergencia y de su entorno a través del sistema, ayuda a los equipos de respuesta a dimensionar el evento (o tener una mejor idea del entorno de la emergencia) y eventualmente planificar algunas de sus actividades mientras viajan hacia el sitio del suceso. Por lo tanto, cuando ellos arriban a la emergencia ya están en condiciones de tomar acción. Esto representa una mejora importante al actual proceso de respuesta.

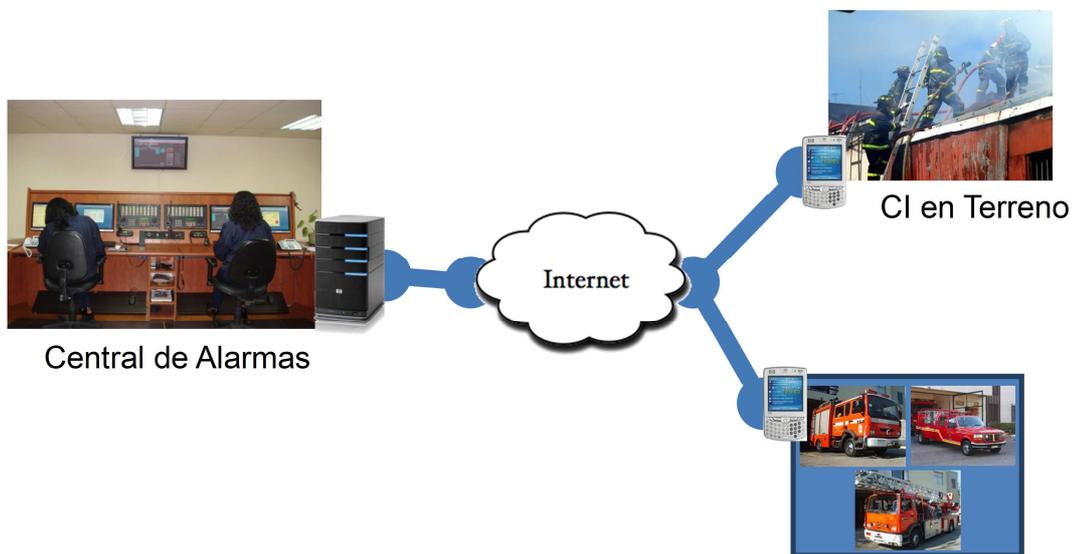


Figura 9. Escenario de interacción en una emergencia

## 4. Diseño del sistema

En esta sección de la tesis se presenta el diseño arquitectónico y el diseño detallado del sistema.

### 4.1. Diseño arquitectónico

Para el diseño de la arquitectura física se identificaron dos nodos, el *nodo cliente* y el *nodo servidor* que se encuentra en la central de alarmas. El nodo cliente es el que aloja la aplicación móvil (que puede correr tanto sobre una notebook o una tablet PC operado por el CI, la operadora o un bombero) y contiene las funcionalidades del sistema. El nodo servidor contiene los Web services de la central de alarmas, los cuales son accedidos por la aplicación para recuperar los datos sobre una emergencia (Figura 10).

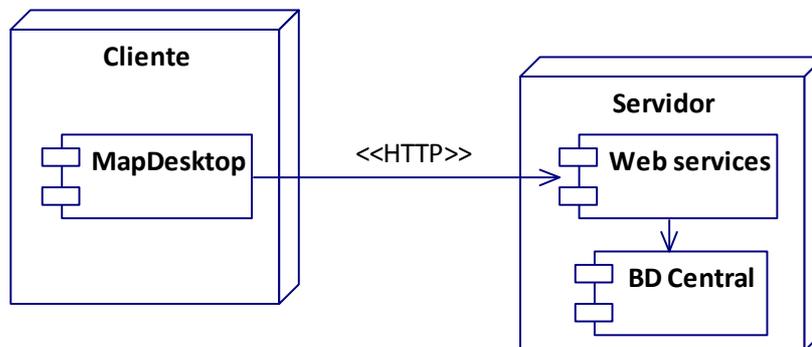


Figura 10: Modelo de despliegue del sistema

Para los fines de este trabajo, la arquitectura lógica puede también ser descrita a través de una estructura de tres capas, la cual involucra una capa de persistencia, una de negocio y una de presentación (Figura 11). La capa de persistencia provee el almacenamiento y es donde se encuentra la base de datos y los archivos XML que utiliza el sistema. La capa de negocio es donde se encuentra toda la lógica del sistema, incluyendo los procedimientos para realizar las recomendaciones. Finalmente, la capa de presentación contiene las interfaces gráficas de usuario, y es la capa encargada de la visualización de los datos.

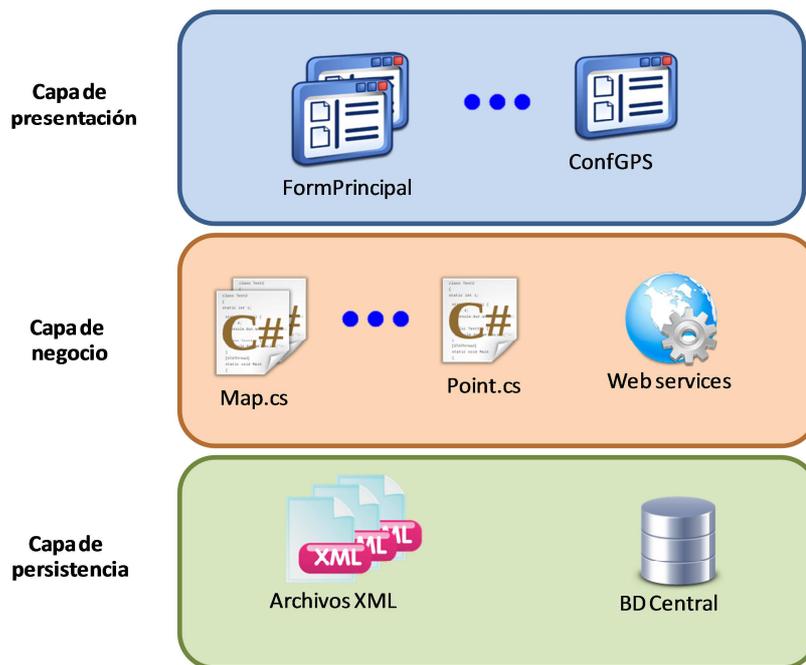


Figura 11: Arquitectura lógica por capas del sistema

Como flujo de la información, podemos decir que la capa de presentación accede a los datos que se encuentran en los archivos XML o en la base de datos de la central de alarmas, a través de las clases de la capa de negocio y de los servicios Web que expone la central de alarmas. Todo el procesamiento de los datos obtenidos es realizado por las clases de la capa de negocio, para luego desplegar los datos a las interfaces de usuario de la capa de presentación.

## 4.2. Diseño detallado

Dentro del diseño detallado del sistema veremos el diseño de los módulos, sus dependencias, clases y relaciones, y el diseño de las interfaces de usuario. A continuación se muestran cada uno de estos componentes.

### 4.2.1. Diseño de módulos

El sistema está diseñado de forma modular, tratando que sea lo más mantenible y extensible posible. De forma detallada se puede ver en la figura 12, donde se muestran las dependencias entre módulos.

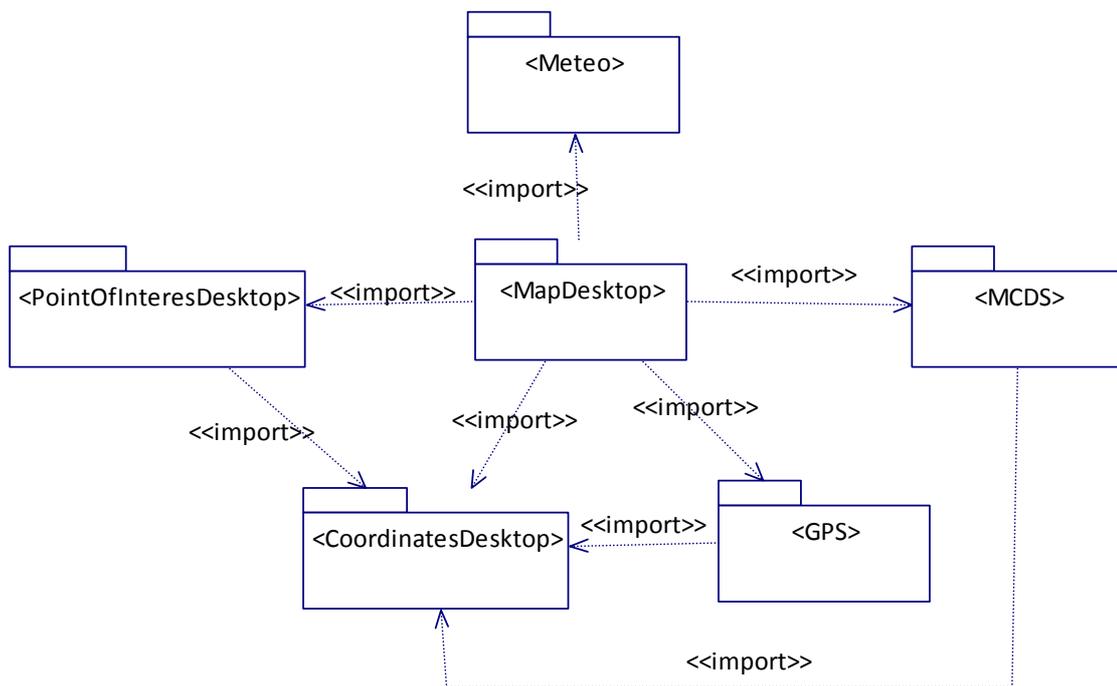


Figura 12: Dependencia entre módulos

El sistema consta de seis módulos, los cuales se describen a continuación:

- **MapDesktop:** Este es el módulo principal del sistema, donde se encuentran las interfaces de usuario y las funcionalidades principales del mapa digital que utilizan los usuarios. Este módulo importa a los módulos *GPS*, *Meteo*, *MCDS*, *PointOfInterestDesktop* y *CoordinatesDesktop*.
- **GPS:** Este módulo es el encargado de conectarse con el dispositivo GPS para obtener las coordenadas de la posición actual del usuario (es decir el usuario local). Este módulo es invocado desde *FormPrincipal* y corre en un thread separado para poder consultar cada cierto tiempo la posición actual del dispositivo. Este módulo importa al módulo *CoordinatesDesktop*.
- **Meteo:** Este es el módulo encargado de obtener la información meteorológica desde el Web service de google (<http://www.google.com/ig/api?weather=Santiago>). Al igual que el módulo *GPS*, éste es invocado desde *FormPrincipal* y corre en un thread separado para consultar la información meteorológica cada cierto tiempo.
- **CoordinatesDesktop:** Este módulo contiene una sola clase, *LatLon*, que se encarga de representar las coordenadas en latitud y longitud que se manejan en el sistema.
- **PointOfInterestDesktop:** Este módulo se encarga de la representación de las capas (clase *Group*), las cuales almacenan un conjunto de puntos de interés (clase *Point*) del sistema. Las capas de puntos de interés actualmente implementadas en el sistema son: la capa de los grifos,

las comisarías, los cuarteles de bomberos, los hospitales y el lugar de la emergencia. Estas capas se deberían habilitar y deshabilitar por demanda, según el usuario necesite o no ver dicha información sobre el mapa digital. El módulo *PointOfInterestDesktop* importa a *CoordinatesDesktop*.

- **MCDS:** MCDS por sus siglas en inglés de “Sistema Recomendador de Múltiples Criterios”, este módulo es el encargado de realizar recomendaciones en base a la información disponible de una emergencia. En este módulo se encuentra la lógica de las recomendaciones. Al igual que *Meteo* y *GPS*, éste es invocado por *FormPrincipal* y corre en un thread separado, para que cada cierto tiempo evalúe la información que se tiene de la emergencia y haga recomendaciones al usuario.

La figura 13 muestra el contenido de cada uno de los módulos antes mencionados, indicando los vínculos y las clases que conforman el sistema. Las clases y vínculos que están de color rojo, fueron modificados o desarrollados desde cero.



El módulo *MapDesktop* contiene todas las funcionalidades del mapa, el cual está compuesto por los “tiles” (porciones de mapa), el caché que usa la aplicación para mejorar el rendimiento de la interfaz gráfica, un grupo de puntos de interés (por ej. grifos, carros y emergencia) y un conjunto de información de edificios. Es importante contar con la información sobre estos últimos, ya que de afectarlos (directa o indirectamente) la emergencia, bomberos va a tener que tomar acción al respecto (por ejemplo, desalojando el edificio).

El módulo *MapDesktop* también contiene al *FormPrincipal* que está compuesto por el mapa digital y algunas herramientas básicas para la navegación del mismo (por ej. zoom in, zoom out, ir a la emergencia, ir a mi posición, medir distancia, dibujar un edificio y vincular una emergencia a un edificio). El *FormPrincipal* invoca a las demás interfaces de usuario: *formEmergencia*, *ConfGen*, *ConfGPS*, *formNuevoEdificio* y *formPreferenciasMCDS*. En *FormPrincipal* también se invocan los servicios de GPS y de meteorología

Por su parte, el módulo *GPS* contiene el servicio GPS (*GPSService*), el parser para NMEA (*NMEAParser*) y la clase *GPSDevice* que se comunica con el dispositivo GPS conectado al dispositivo computacional. El módulo *Meteo* contiene el servicio meteorológico (*MeteoService*) que es el que comunica constantemente la información obtenida por la clase *Meteo* que consume los datos del Web service. El módulo *MCDS* contiene el servicio recomendador (*MCDSService*) que se encarga de comunicar las recomendaciones de la clase *MCDS* a *FormPrincipal*. Las recomendaciones se las presenta como pequeñas interfaces de *ucMCDS*. Finalmente, *PointOfInteresDesktop* y *CoordinateDesktop* son dos módulos de utilitarios, los cuales contienen las clases de puntos y la clase que realiza la abstracción de las coordenadas del sistema.

#### **4.2.2. El proceso de recomendación**

Como se dijo anteriormente, el módulo *MCDS* es el módulo que se encarga de analizar y realizar las recomendaciones pertinentes dependiendo del entorno de la emergencia. Como se verá en la sección 5, el sistema emplea una matriz de decisión para abordar los problemas de múltiples criterios y analizar si las variables de las recomendaciones se encuentran presentes en el entorno. Para esquematizar un poco el proceso de las recomendaciones, a continuación se presenta el conjunto de pasos involucrados en el proceso de recomendación:

1. Cargar preferencias del usuario.
2. Crear matriz de decisión según las preferencias del usuario.
3. Verificar criterios según la temporalidad de las recomendaciones.
  - a. Verificar la existencia de aguas abiertas.
  - b. Verificar la existencia de edificios cercanos.

- c. Verificar la existencia de grifos cercanos.
  - d. Verificar la existencia de material mayor dentro de área de peligro.
  - e. Verificar dirección del viento.
4. Para cada criterio existente, multiplicar por 1 el valor de preferencia de la recomendación asociada.
  5. Realizar suma de las columnas de las recomendaciones.
  6. Ordenar las recomendaciones de mayor a menor (tomando en cuenta que la recomendación con mayor puntaje es la más pertinente).
  7. Crear las N primeras recomendaciones.
  8. Desplegar al usuario las N primeras recomendaciones.

Para ejemplificar el uso del proceso de recomendación, a continuación se introduce un escenario hipotético de toma de decisión. Supongamos que el Comandante de Incidente se encuentra en un 10-0 que sería un incendio estructural. Las recomendaciones que puede dar el sistema y la temporalidad para dar las recomendaciones son las siguientes:

Tabla 1: Recomendaciones del sistema y temporalidad

<b>Recomendaciones</b>	<b>Temporalidad</b>
<b>Existen grifos cercanos</b>	<b>Durante los primeros 15 min. de la emergencia</b>
<b>Existen aguas abiertas cercanas</b>	<b>Durante los primeros 15 min. de la emergencia</b>
<b>Material mayor en zona de peligro</b>	<b>Siempre</b>
<b>Escuela cercana</b>	<b>Después de pasado los primeros 15 min. de la emergencia</b>
<b>Casa adulto mayor cercana</b>	<b>Después de pasado los primeros 15 min. de la emergencia</b>
<b>Edificio cercano</b>	<b>Después de pasado los primeros 15 min. de la emergencia</b>

Los criterios que evalúa el sistema son los siguientes:

Tabla 2: Criterios de evaluación

<b>Criterios</b>
<b>Grifos cercanos</b>
<b>Aguas abiertas</b>
<b>Material mayor</b>
<b>Proximidad</b>
<b>Horario</b>

Y las preferencias son las siguientes:

Tabla 3: Preferencias del comandante de incidente

	<b>Existen grifos cercanos</b>	<b>Existen aguas abiertas cercanas</b>	<b>Material mayor en zona de peligro</b>	<b>Escuela cercana</b>	<b>Casa adulto mayor cercana</b>	<b>Edificio cercano</b>
<b>Grifos cercanos</b>	10	1	1	1	1	1
<b>Aguas abiertas</b>	1	10	1	1	1	1
<b>Material mayor</b>	1	1	8	1	1	1
<b>Proximidad</b>	10	9	8	10	10	10
<b>Horario</b>	1	1	1	10	10	1

El valor de las preferencias está en el rango 1 al 10, donde 1 es menos importante y 10 el más importante.

El sistema empieza cargando los datos de preferencias que se encuentran almacenados en los archivos "MCDS.xml" y "configMCDS.xml". El archivo "MCDS.xml" almacena los datos que aparecen en la tabla 3 y el archivo "configMCDS.xml" las configuraciones del sistema recomendador, como por ejemplo la distancia que se debe tomar del punto de emergencia a los grifos, cuántas recomendaciones se deben mostrar al usuario, etc.

Una vez cargada esta información en el sistema, se procede a crear la estructura de tabla en el sistema recomendador, que sería como se muestra gráficamente en la tabla 3. Posteriormente el sistema inicia a evaluar los criterios de las recomendaciones tomando la temporalidad de las recomendaciones. Como hora de inicio de la emergencia toma el registrado por la central de

alarma. Si la recomendación está dentro del rango de la temporalidad, entonces se prosigue a evaluar los criterios con la configuración del archivo “configMCDS.xml” y si el criterio existe se multiplica por 1 el valor de la preferencia de la recomendación y por 0 si no existe el criterio. Para este ejemplo tomaremos que el comandante de incidente está en el lugar de emergencia, se encuentra dentro de los 10 minutos iniciales desde que se registró la emergencia, los demás carros bombas están en camino y que en la zona de la emergencia no hay cerca casa de adulto mayo ni escuelas. Entonces, tenemos como resultado la siguiente tabla:

Tabla 4: Resultado de la evaluación de los criterios

	<b>Existen grifos cercanos</b>	<b>Existen aguas abiertas cercanas</b>	<b>Material mayor en zona de peligro</b>	<b>Escuela cercana</b>	<b>Casa adulto mayor cercana</b>	<b>Edificio cercano</b>
<b>Grifos cercanos</b>	10	0	0	0	0	0
<b>Aguas abiertas</b>	0	10	0	0	0	0
<b>Material mayor</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Proximidad</b>	10	9	0	0	0	0
<b>Horario</b>	0	0	0	0	0	0

Como estamos dentro de los primeros 5 minutos de la emergencia, no existe material mayor que esté dentro del área de peligro, ya que todos los carros están en viaje a la emergencia. De la misma forma pasa con “Escuela cercana”, “Casa adulto mayor cercana” y “Edificio cercano”. Estas recomendaciones recién se tienen en cuenta después de que transcurrieron 15 minutos desde el inicio de la emergencia. Posteriormente el sistema prosigue a sumar los valores de las recomendaciones y se ordena de mayor a menor según el valor total que se tenga en la sumatoria.

Tabla 5: Sumatoria y ordenación por prioridad de las recomendaciones

Recomendación	Sumatoria
Existen grifos cercanos	20
Existen aguas abiertas	19
Material mayor en zona de peligro	0
Escuela cercana	0
Casa de adulto mayor cercana	0
Edificio cercano	0

Con el resultado de la sumatoria y la ordenación por prioridad de las recomendaciones, el sistema prosigue a encontrar los elementos cercanos para generar los mensajes de recomendación que se desplegarán al usuario. Este proceso se realiza continuamente cada cierto tiempo, el cual fue especificado por el usuario en el sistema. Como ejemplo, sólo se muestra una iteración del proceso de recomendación, que en este caso viene a ser la etapa inicial de la emergencia donde importa saber donde están los grifos y las aguas abiertas para poder posicionar los carros bombas que están en camino.

## 5. Implementación del sistema

En este capítulo se presentan las principales interfaces de usuario implementadas en el sistema, la forma de procesamiento de los “tiles” (porciones de mapa), la tecnología usada y cómo se realiza el proceso de recomendación utilizando la aplicación.

### 5.1. Interfaces de usuario

A continuación se presentan las interfaces de usuario del sistema.

#### 5.1.1. Interfaz de usuario: FormPrincipal

FormPrincipal es la interfaz principal del sistema. En ella se encuentra el menú de trabajo y el acceso rápido a las principales funcionalidades del sistema. En la parte central se encuentra el mapa y algunas pestañas referentes a la emergencia (Figura 14), mientras que en la parte lateral izquierda (particularmente en el borde azul de la figura 14), se encuentra escondido un control que contiene algunas funcionalidades para el usuario (Figura 15).

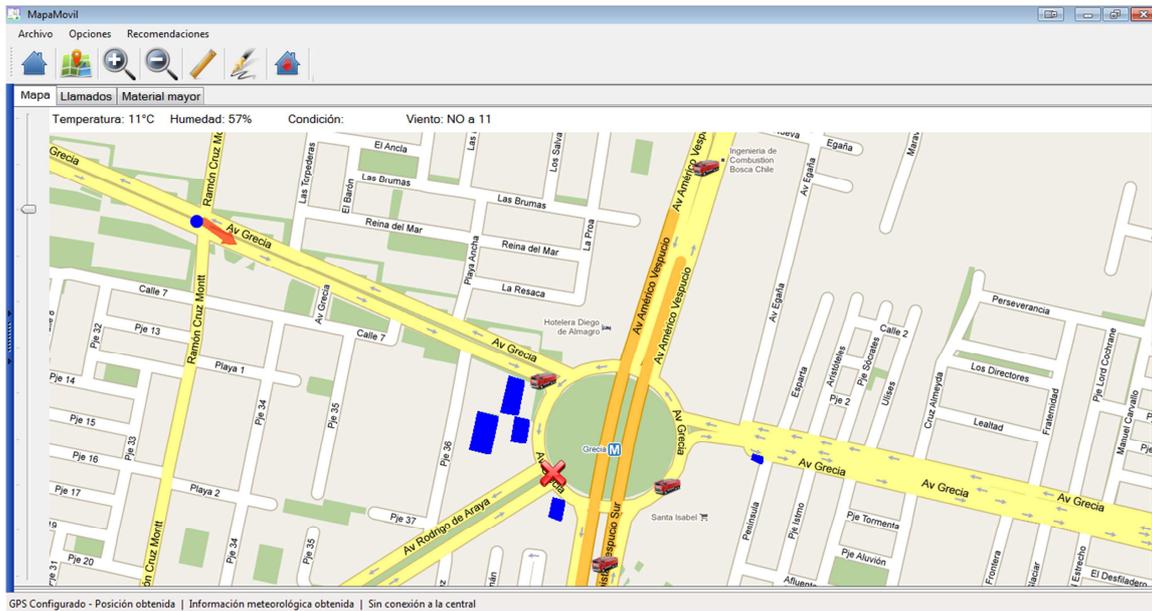


Figura 14: Interfaz de usuario FormPrincipal

En la figura 15 se presenta, en un control-tab, las funcionalidades de: (a) *vistas de mapa*, donde el usuario puede elegir las capas que desea ver sobre el mapa y poder ver la información que mejor le acomode a él dependiendo de sus necesidades del momento, (b) *ir a posición*, donde el usuario puede introducir la latitud y longitud donde quiere que el mapa se centre, para no tener que navegar manualmente hasta la ubicación que el usuario quiere ver, (c) *agregar punto de interés*, donde el usuario puede añadir algún punto de interés nuevo a la capa que seleccione, y (d) *recomendaciones*, donde se despliegan las recomendaciones que genera el sistema para el usuario. Esto último tiene como fin apoyar la toma de decisiones del comandante de incidente, a través de la entrega de información que (probablemente) no es visible a simple vista. De esa manera se espera ayudar a mejorar la percepción que esta persona tiene de la emergencia.

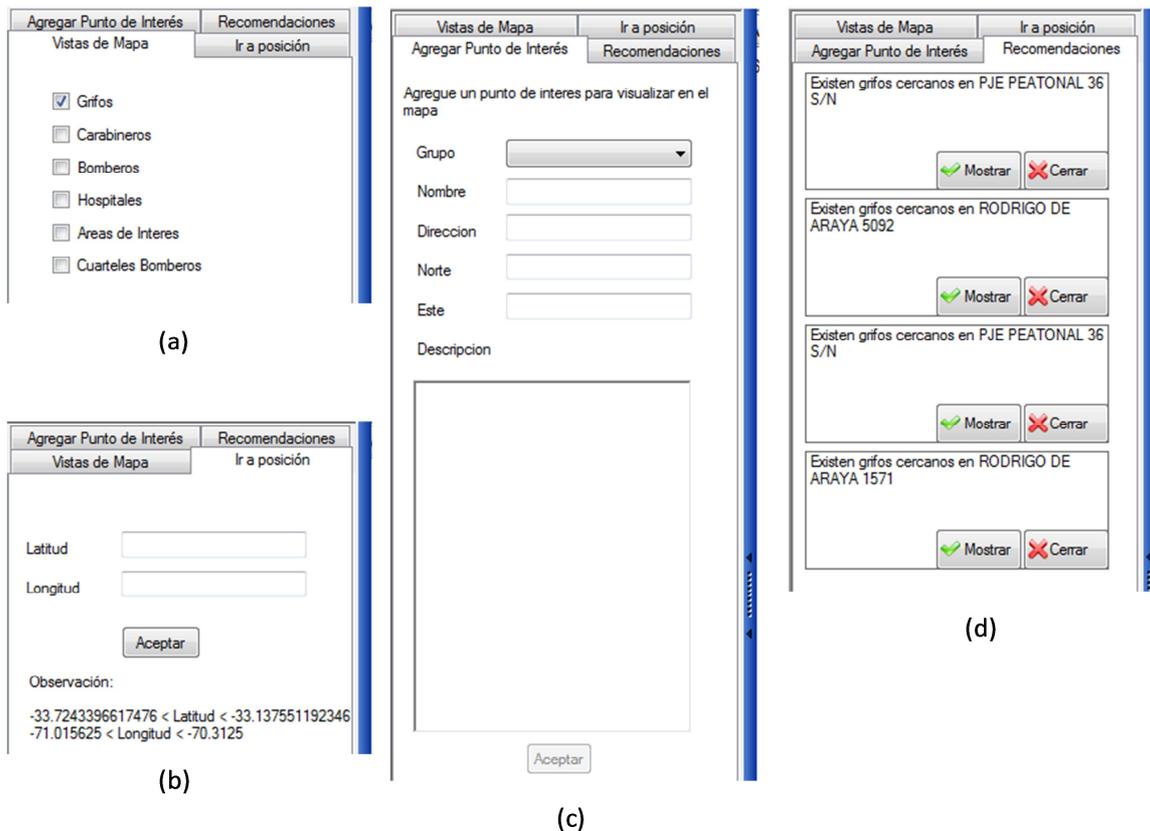


Figura 15: Funcionalidades del menú lateral izquierdo

### 5.1.2. Interfaz de usuario: ConfGen

La figura 16 muestra la interfaz que se le presenta al usuario para que éste configure los intervalos de actualización de los threads del GPS (en milisegundos) y de la información meteorológica (en minutos). Esto con la finalidad que el usuario pueda modificar, según sus necesidades, el tiempo de actualización de los threads de GPS y datos meteorológicos. A veces sucede que el usuario no necesita que la información meteorológica se actualice cada 1 minuto, sino prefiere una actualización (por ejemplo) cada 10 minutos porque quiere controlar el cambio de la dirección del viento en esa cantidad de tiempo. También se necesita (a veces) que el GPS se actualice más rápido de lo normal, porque el vehículo en el que un bombero que se dirige a la emergencia puede viajar más rápido de lo normal, y por lo tanto la actualización del GPS y la información presentada en pantalla es obsoleta; e inclusive tal vez inútil, dependiendo del nivel de desfase que ésta tenga. El servicio de configuración de la periodicidad de las actualizaciones permite corregir situaciones como las antes mencionadas.

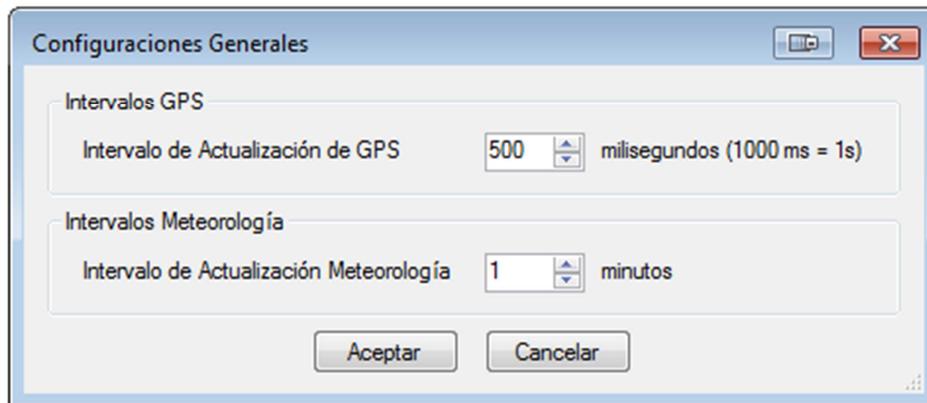


Figura 16: Interfaz de usuario ConfGen

### 5.1.3. Interfaz de usuario: ConfGPS

En esta interfaz de la Figura 17, el usuario configura el puerto donde está conectado el dispositivo GPS y la velocidad a la que éste trabaja.



Figura 17: Interfaz de usuario ConfGPS

### 5.1.4. Interfaz de usuario: formNuevoEdificio

Esta interfaz que se muestra en la Figura 18 aparece cuando el usuario termina de dibujar un nuevo edificio y el sistema requiere la información de las siguientes propiedades del mismo: nombre del edificio, dirección, comuna, altura, pisos, habitantes, red seca, red inerte y vía de evacuación. Esta funcionalidad sirve para relevamiento de datos de los edificios de las comunas, para no tener que hacerlo manualmente directamente en el archivo XML que les brinda la persistencia. Como se mencionó antes, esta información es de suma importancia para bomberos, pues los edificios son considerados infraestructuras críticas en casi cualquier emergencia.

The image shows a software window titled "Nuevo Edificio". It contains several input fields organized into four sections:

- Infomación:** Includes fields for "Nombre:", "Dirección:", "Comuna", "Altura (mts.):" (with a value of 0), "Pisos:" (with a value of 0), and "Habitantes:" (with a value of 0).
- Red Seca:** Includes "Latitud:" (with a value of 0) and "Longitud:" (with a value of 0).
- Red Inerte:** Includes "Latitud:" (with a value of 0) and "Longitud:" (with a value of 0).
- Via Evacuación:** Includes "Latitud:" (with a value of 0) and "Longitud:" (with a value of 0).

At the bottom of the window are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Figura 18: Interfaz de usuario formNuevoEdificio

### 5.1.5. Interfaz de usuario: formInfoEmergencia

Esta interfaz presentada en la Figura 19 se despliega cuando el usuario hace clic sobre el ícono de la emergencia que se muestra sobre el mapa. Esta interfaz despliega información sobre la emergencia misma y sobre la infraestructura afectada según los datos con los que se cuente acerca de la misma. Esta información no sólo retroalimenta al comandante de incidente, sino también al resto de los participantes. Tanto el CI como las operadoras de la central de alarmas pueden agregar información o corregir la ya existente.

Información de la Emergencia	
Nombre: Grecia Rotonda1	Sector: 114
Dirección: Av Grecia	Esquina: Grecia/Rotonda
Comuna: —	Comuna: Penalolen
Altura (mts.): 30	Fecha: 2011-07-13
Pisos: 2	Hora: 12:37:00
Habitantes: 10	Clave: 2046
	Acto: Incendio
	Observacion:
	TipoPeligro:
	Peligro:
	RiesgoAsociado:
	Ubicacion:
	Seguridad:

Figura 19: Interfaz de usuario formInfoEmergencia

### 5.1.6. Interfaz de usuario: formPreferenciasMCDS

Esta interfaz mostrada en la Figura 20 se encarga de desplegar las preferencias del usuario, las cuales son almacenadas en un archivo XML. En la primera tabla (Figura 21) de dicha figura se muestra la periodicidad y temporalidad de las recomendaciones en minutos. Es decir, se especifica durante cuánto tiempo una cierta recomendación debería ser pertinente para el usuario. Por ejemplo, en la figura 21 podemos ver que al usuario sólo le interesa saber cuáles son los grifos cercanos, durante los primeros 10 minutos de una emergencia 10-0. Pasado ese tiempo esta recomendación ya no es relevante, ya que la mayoría de los carros (si es que ya no son todos) han llegado a la emergencia y están usando los grifos cercanos a la emergencia.

Preferencias MCDS									
Clave: 10-0									
Recomendación	Periodicidad	Temporalidad	Variable	Existen grifos cercanos	Existen aguas abiertas cercanas	Material mayor en zona de peligro	Escuela cercana	Casa adulto mayor cercana	Edificio cercano
Existen grifos cerc...	Menor	10	Grifos cercanos	10					
Existen aguas abi...	Mayor	10	Aguas abiertas		10				
Material mayor en ...	Siempre		Material mayor			8			
Escuela cercana	Menor	60	Proximidad				10	9	8
Casa adulto mayor...	Siempre		Horario				10		
Edificio cercano	Siempre								

Figura 20: Interfaz de usuario formPreferenciasMCDS

En la segunda tabla (Figura 22) está la prioridad del usuario sobre cada recomendación. Estos datos de preferencias junto con los datos espaciales del mapa, son datos de entrada que el sistema recomendador toma en cuenta a la hora de crear la matriz de decisión y de dar las recomendaciones al comandante de incidente. Por ejemplo, en la figura 22 podemos ver que el conocer la proximidad de una escuela tiene mayor prioridad que saber que algún carro se encuentra dentro de la zona de peligro.

Recomendación	Periodicidad	Temporalidad
Existen grifos cerc...	Menor	10
Existen aguas abi...	Mayor	10
Material mayor en ...	Siempre	
Escuela cercana	Menor	60
Casa adulto mayor...	Siempre	
Edificio cercano	Siempre	

Figura 21: Temporalidad de las recomendaciones

Variable	Existen grifos cercanos	Existen aguas abiertas cercanas	Material mayor en zona de peligro	Escuela cercana	Casa adulto mayor cercana	Edificio cercano
Grifos cercanos	10					
Aguas abiertas		10				
Material mayor			8			
Proximidad				10	9	8
Horario				10		

Figura 22: Preferencias de las recomendaciones

## 5.2. Procesamiento de tiles

El sistema está concebido para trabajar en situaciones de emergencia, e inclusive sin acceso a ningún tipo de componente remoto, por lo que la información cartográfica está almacenada en el dispositivo en formato de "tiles" (o baldosas en español). Cada tile mide 256 x 256 pixeles. La generación de un mapa depende del nivel de zoom que se encuentre utilizando el usuario. En otras palabras, el sistema maneja los tiles dependiendo del nivel de zoom, y la fila y columna que corresponde mostrar (indexación XYZ). El uso de estos tiles permite mantener en memoria sólo las porciones de mapa que el usuario está utilizando, lo cual brinda a la aplicación dos ventajas

importantes: (1) buen rendimiento en la navegación, y (2) bajo consumo de recursos de hardware. Además, como una forma de mejorar el rendimiento de la aplicación, el sistema implementa un cache de los tiles basado en el principio que el usuario visualiza un área acotada (extend) del mapa. La política de recambio de tiles considera que el último tile utilizado es el que más frecuentemente se utilizará, por ello la ubica al final de la lista. Cuando el caché se completa, se eliminan los primeros tiles de la lista que son las que menos se han utilizado.

Para componer la imagen de un mapa se necesita una matriz de  $2^n \times 2^n$  tiles (donde "n" es el nivel de zoom); excepto en el nivel 0 de zoom donde se requiere sólo un tile para representar el mapa completo de la ciudad de Santiago. Vale aclarar que en el marco de esta tesis se tomó a la ciudad de Santiago como caso de estudio, sin embargo el sistema es capaz de manejar cualquier otra ciudad tan sólo cambiando la información utilizada como base; o sea, los mapas, puntos de interés, etc. A priori no existe limitación para el tamaño de mapa a manejar por el sistema, excepto aquel dado por la capacidad de almacenamiento del dispositivo que contenga el mapa. La figura 23 muestra los tiles correspondientes a los niveles de zoom 0 (1 tile) y 1 (4 tiles) para representar el mapa de Santiago.

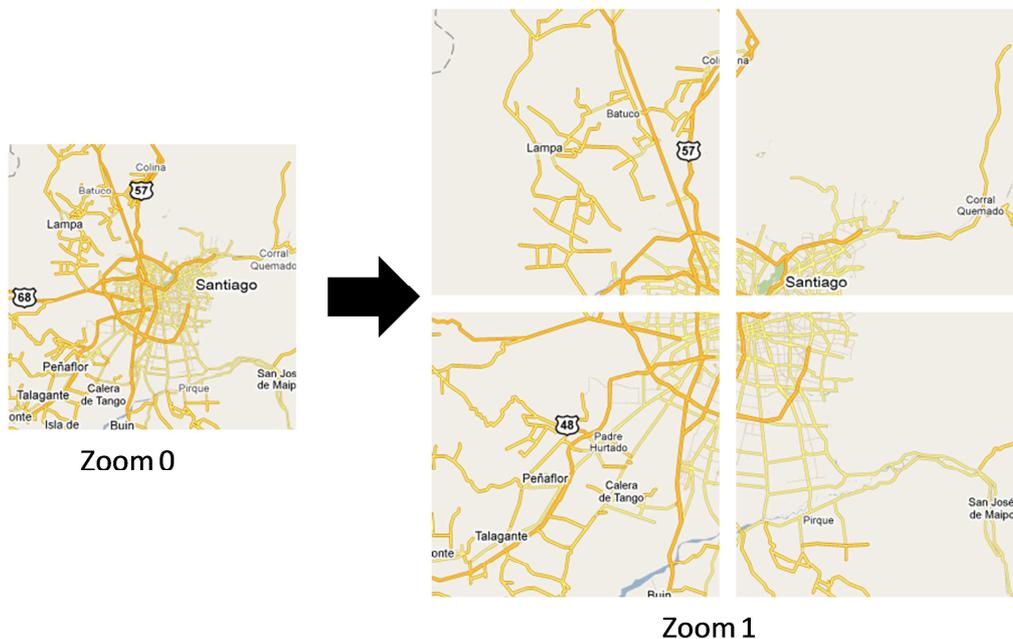


Figura 23: Representación por tiles

El uso de tiles también afecta la representación de toda la información que se maneja en los mapas del sistema. Por lo general, para representar una posición en la tierra se utilizan coordenadas geográficas (Latitud, Longitud) que se encuentran en WGS84 Datum (por su sigla en inglés que significa: Sistema Geodésico Mundial 1984), por lo tanto hay que transformar esta información a proyecciones de Mercator (sistema cartesiano (x,y) que es "un cilindro tangente al Ecuador") y luego transformarlas a coordenadas (x,y) en pixeles del formulario que contiene el

mapa. Sólo así cada coordenada geográfica (por ejemplo de un grifo o de un hospital) puede ser representado apropiadamente en el mapa del sistema.

Esto hace que el mapa resultante sea una composición de los tiles y de las capas de grifos, carabineros, edificios y hospitales. Donde primero es dibujada la capa de los tiles, luego la capa de los edificios (que es una capa de polígonos) y por último se dibujan los puntos de interés, o sea, los grifos, carabineros, hospitales, etc.

### 5.3. Tecnología utilizada

Para la implementación del sistema móvil se utilizó C# .Net de Microsoft Visual Studio 2008, con el .Net Framework 3.5. Uno de los motivos del uso de este lenguaje y del IDE Visual Studio 2008, es que ya existía un poco de código desarrollado del sistema (ver figura 13) y además el autor ya tenía experiencia trabajando en ese lenguaje y en ese IDE. Adicionalmente se hace uso de threads para paralelizar los procesos del GPS, el procesamiento de la información meteorológica y la generación de recomendaciones. Para controlar que no exista datarace, se hizo uso de locks en las secciones críticas, e invocación de métodos delegados entre threads. De esa manera se obtuvo una aplicación estable, con buen rendimiento, capaz de operar con o sin conexión a Internet.

### 5.4. Proceso de recomendación

Para el proceso de recomendación que realiza el sistema, se utilizó una matriz de decisión. La matriz de decisión es una técnica que permite evaluar la mejor alternativa dentro de problemas que presentan varias alternativas y factores de influencia. Lo que se hace es crear una matriz de MxN, poner las alternativas de recomendación en las columnas (R), los criterios en las filas (C) y en cada una de las celdas  $P_{ij}$  correspondientes, se colocan las preferencias que vinculan a los criterios con las recomendaciones respectivas (ver Figura 24).

	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	...	R <sub>n</sub>
C <sub>1</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>		⋮
C <sub>2</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>		⋮
C <sub>3</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>		⋮
⋮					⋮
C <sub>m</sub>	...	...	...	...	P <sub>mn</sub>

Figura 24: Matriz de recomendación

Posteriormente se verifica la existencia del criterio, si existe se multiplica por 1 los valores  $P_{ij}$ , si no existe se multiplican los valores de dicho criterio por 0. Luego se suman las columnas y se va recomendando  $R_j$  de mayor a menor. Además, se toma en cuenta la temporalidad de las recomendaciones pudiendo ser “Menor” (para antes de), “Mayor” (para después de) y “Siempre”. Por ejemplo, si se le asigna a  $R_1$  una temporalidad “Menor” a “20 min”, quiere decir que el sistema sólo recomendará  $R_1$  los primeros 20 minutos desde el comienzo de la emergencia. Si se asigna “Mayor” a “20 min”, quiere decir que el sistema sólo recomendará  $R_1$  después de los 20 min de iniciada la emergencia. Y si se asigna “Siempre”, quiere decir que siempre es posible recomendar  $R_1$ , tomando en cuenta la evolución de la emergencia y que en diferentes etapas hay recomendaciones que no son necesarias. En la sección 4.1.6 se explicó, con un ejemplo, la inclusión de la temporalidad de las recomendaciones.

## 5.5. Toma de decisiones en una situación hipotética de emergencia

En esta sección mostraremos cómo funciona el sistema en una situación hipotética de emergencia. La central de alarmas del Cuerpo de Bomberos de Ñuñoa recibe el aviso telefónico de un ciudadano indicando un incendio en un departamento monoblock en las inmediaciones de la estación de metro *Grecia*, en la comuna de Peñalolén. Luego de verificar la existencia del siniestro la operadora a cargo del evento crea la emergencia en el sistema, indicando al evento como un “10-0”, que en código de bomberos significa incendio estructural (ver Figura 25). Esta información es guardada en la base de datos de la central de alarmas. A partir de ese momento el sistema muestra el mapa con la ubicación de la emergencia, y la información que tiene el sistema respecto al edificio afectado (Figura 26).



The screenshot shows a software window titled 'MapaMovil' with a menu bar containing 'Archivo', 'Opciones', and 'Recomendaciones'. Below the menu is a toolbar with various icons. A tabbed interface is visible with 'Mapa', 'Llamados', and 'Material mayor'. The 'Llamados' tab is active, displaying a table with the following data:

Clave	Acto	Fecha	Dirección
10-0	Incendio	2011-09-07 20:00	Metro Grecia 421

At the bottom of the window, there is a status bar with the text: 'GPS no configurado | Información meteorológica obtenida | Sin conexión a la central'.

Figura 25: Llamados de emergencia

Una vez despachados los recursos (principalmente carros y personal), las tablet PCs instaladas en los carros de bomberos acceden a la información de la central de alarmas a través de la red de telefonía 3G, para recuperar los datos existentes sobre la emergencia. El oficial del primer carro de bomberos en arribar a la emergencia se transforma automáticamente en el CI. Eventualmente este rol puede traspasarse a otra persona durante la emergencia, en la medida que arriben oficiales más experimentados a la escena.

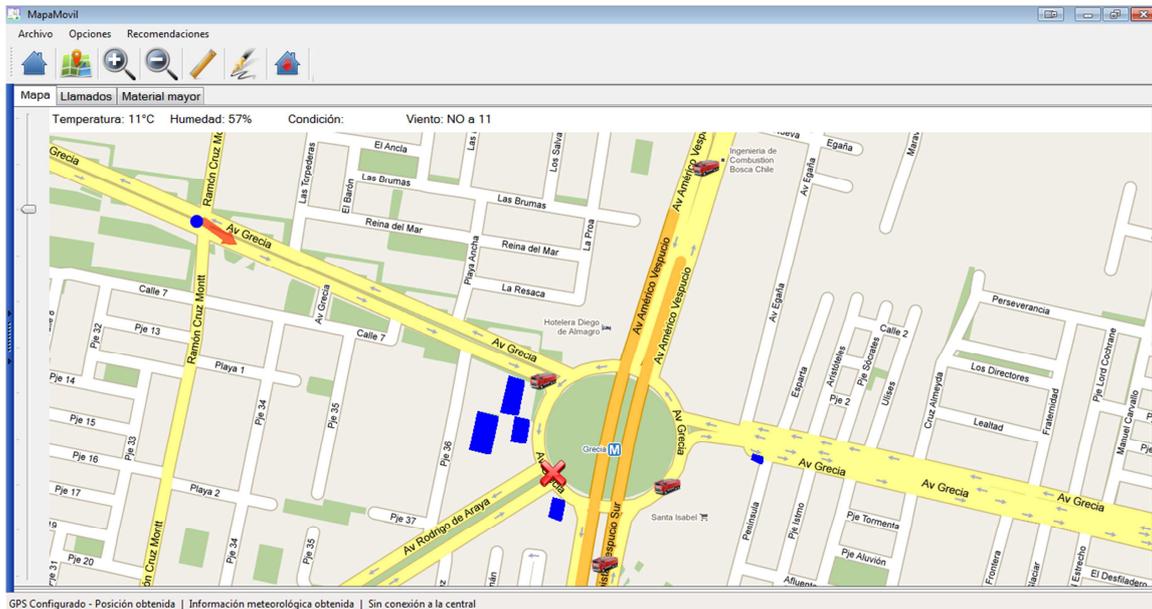


Figura 26: Escenario de la emergencia

Como podemos ver en la Figura 26, el sistema nos muestra con una “X” roja el lugar de la emergencia, con un punto azul el lugar donde se encuentra el bombero (quien está usando el sistema desde un carro bomba), con una flecha roja nos indica la dirección en la que se encuentra la emergencia. Si el bombero se estuviera moviendo, mostraría una flecha azul en la dirección del movimiento del carro.

Al llegar a la escena de la emergencia, el CI nota que la emergencia en realidad es el edificio en la parte superior de la “X”. Entonces el CI corrige el lugar y vincula al edificio con la emergencia (ver Figura 27).

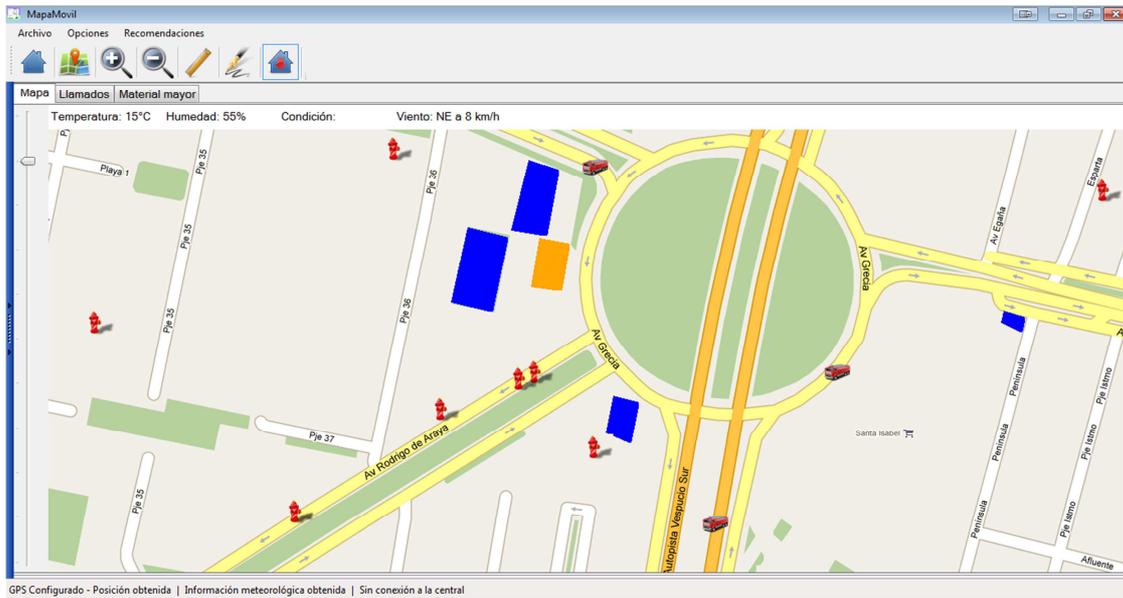


Figura 27: Edificio vinculado a la emergencia

Con esta vinculación del edificio, el CI y el resto de los involucrados pueden ver la información asociada al edificio y a la emergencia, que al ser seleccionado el edificio se lo resalta con un color verdoso (ver Figura 28). De la misma forma, se puede ver la información de los edificios contiguos a la emergencia que al ser seleccionado se los resalta con un color verdoso (ver figura 29), por ejemplo la altura del edificio, número de pisos y la cantidad de habitantes. Saber este tipo de información ayuda al CI tomar decisiones de evacuación de los edificios, o bien adoptar una postura defensiva u ofensiva a la hora de manejar la emergencia.

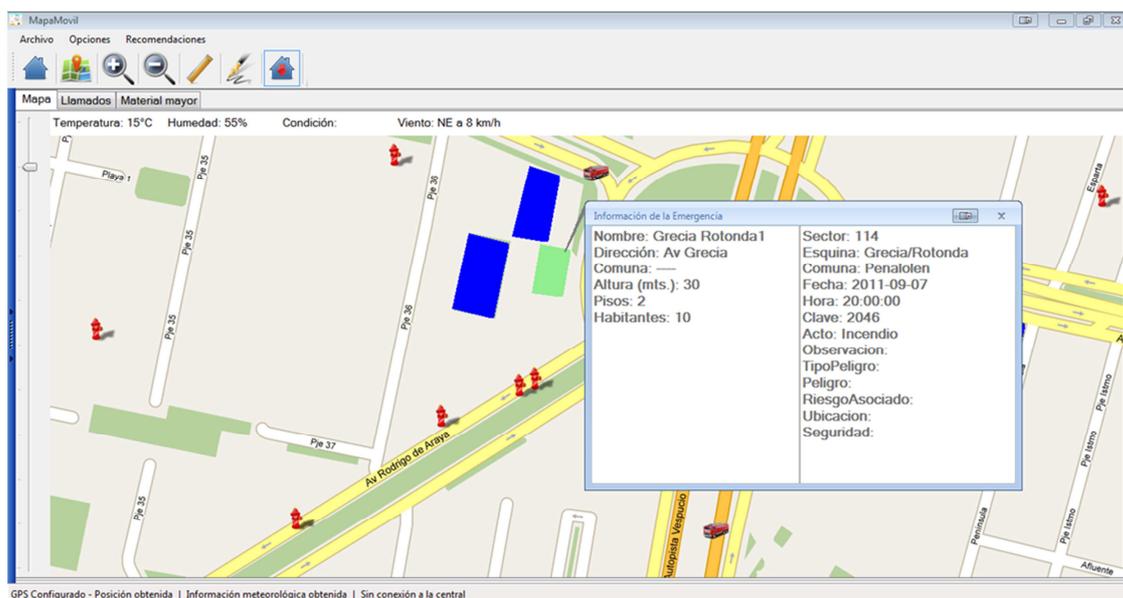


Figura 28: Información del edificio en emergencia

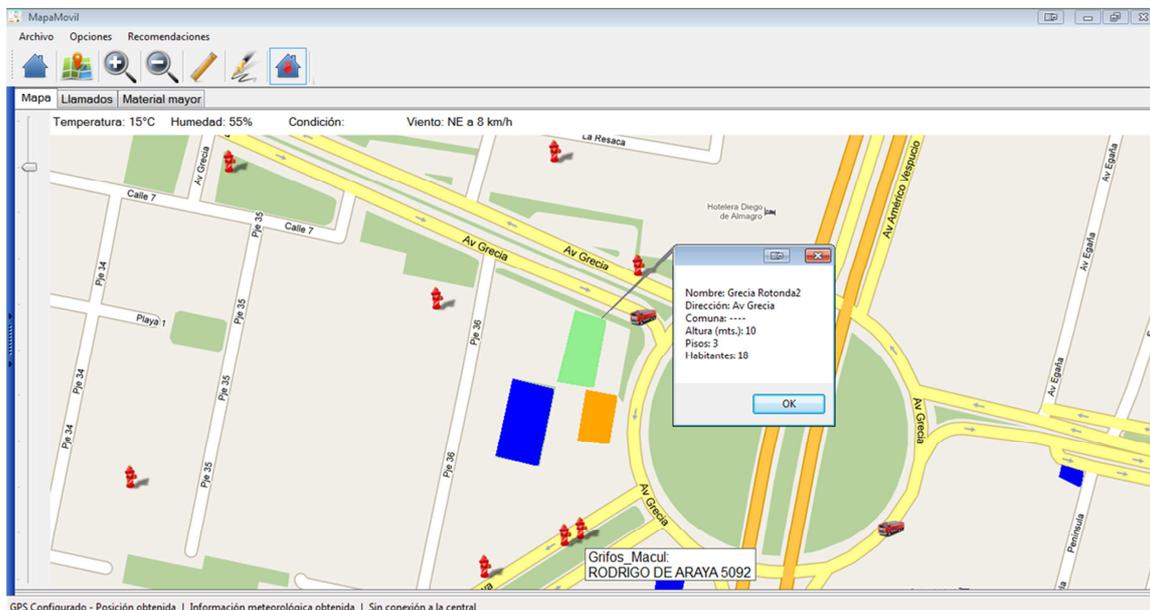


Figura 29: Información de edificios aledaños

El CI también puede ver el material mayor (principalmente carros de bomberos) que ha sido enviado a la emergencia y que aún falta que arribe (ver Figura 30). Este tipo de información le sirve al CI para saber cuál es el próximo carro en llegar e ir tomando decisiones de donde ir colocando los carros que están en camino.

MapaMovil

Archivo Opciones Recomendaciones

Mapa Llamados Material mayor

ID	Estado	Chofer	Hr. despacho	Observaciones	Distancia
Q-2	6-3	Chofer 12	23.53.51	Ninguna	134.82
B-6	transito	Chofer 5	23.54.01	Ninguna	764.49
B-11	transito	Chofer 10	23.54.11	Ninguna	1100.38
B-5	transito	Chofer 4	23.54.21	Ninguna	409.39
B-4	transito	Chofer 3	23.54.31	Ninguna	271.41
B-7	6-8		23.54.41		7594792.17
BX-4	6-3	Chofer 11	23.54.51	Ninguna	114.82
S-2	6-3	Chofer 27	23.55.01	Ninguna	120.76

GPS Configurado - Posición obtenida | Información meteorológica obtenida | Sin conexión a la central

Figura 30: Material mayor enviado a la emergencia.

De la misma forma, el sistema va evaluando la información del contexto y va realizando recomendaciones al CI de manera pasiva. Estas recomendaciones no son pasos a seguir, son simplemente un poco más de información que es difícil de notar y que probablemente se le hubiera pasado al CI a la hora de considerar su información relevante para tomar decisiones (ver Figura 31). Estas recomendaciones se realizan dependiendo de las preferencias y de la temporalidad que el usuario ha configurado en el sistema, en este caso, lo que haya configurado el CI (ver Figura 32).

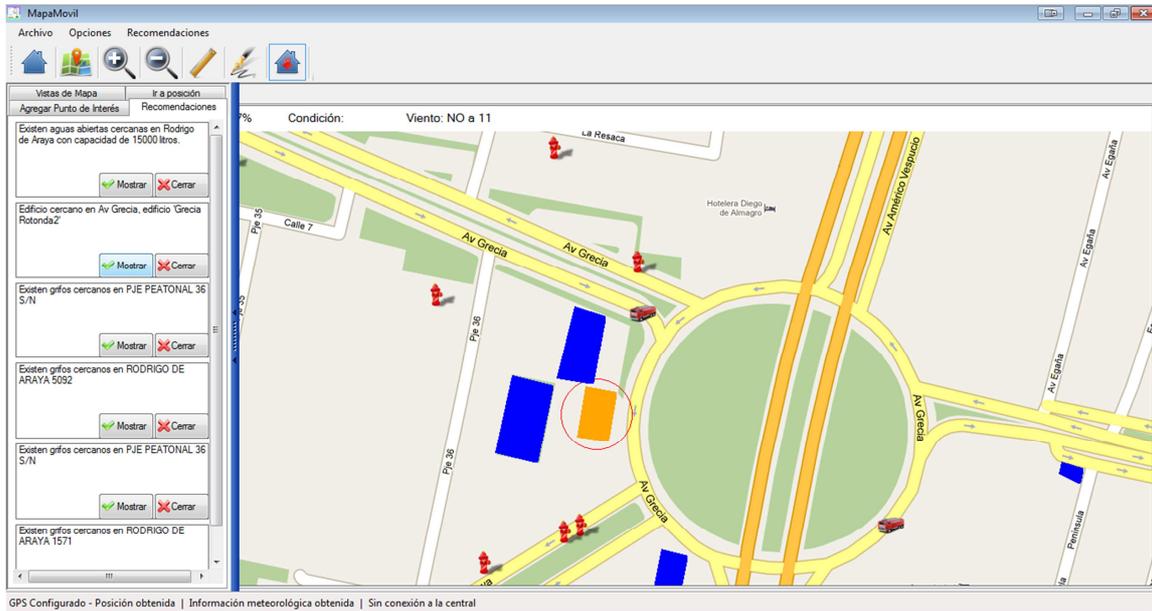


Figura 31: Recomendaciones del sistema.

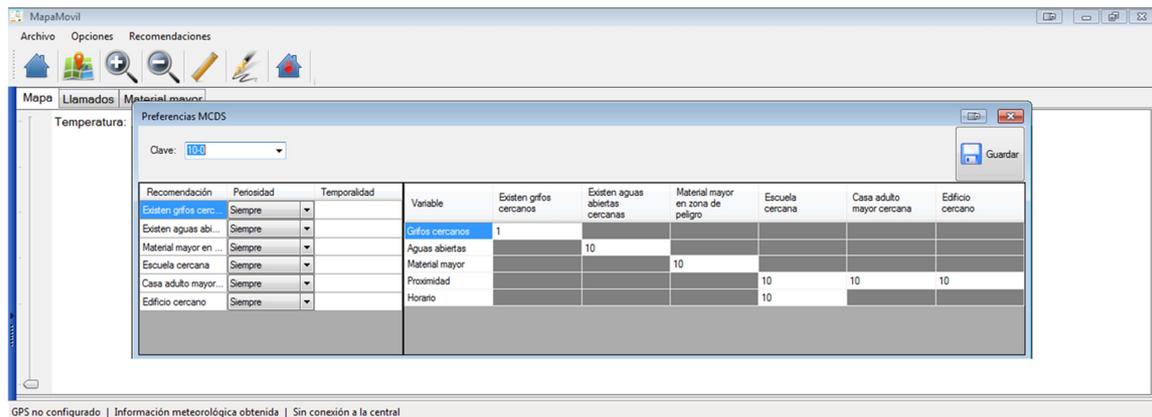


Figura 32: Preferencias del CI en el sistema recomendador

De igual forma, el sistema muestra información meteorológica en la parte superior del mapa (ver Figura 29). Esta información es muy importante, ya que saber la humedad relativa, la condición y la dirección y velocidad del viento, puede permitir al CI tomar mejores decisiones. De la misma manera, el sistema puede conectarse a la central de alarmas y ver los archivos adjuntos asociados a la emergencia. Éstos pueden ser planos (precargados) del edificio afectado y/o fotos del mismo (ver Figura 33).

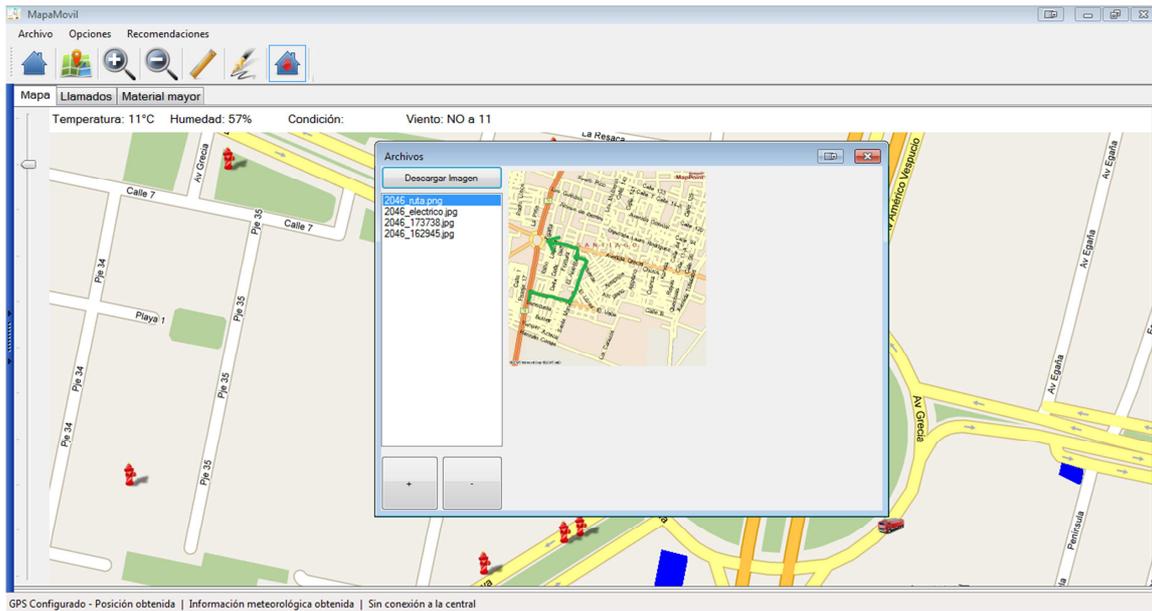


Figura 33: Archivos adjuntos a la emergencia

Como se puede ver, gran parte de la información identificada en el análisis de las emergencias pasadas, ha sido incorporada al sistema con la finalidad de mejorar la disponibilidad y accesibilidad a la misma. El sistema es igualmente beneficioso ya sea que lo esté operando el CI u otro involucrado a la emergencia, como por ejemplo un bombero o la operadora de la central de alarmas. En caso de que la operadora sea la que utilice el sistema, éste podría ayudar mucho a disminuir el tráfico radial que genera la emergencia. Por ejemplo el CI puede pedir por radio la ubicación de algún carro a la operadora, si es que de pronto se quedó sin conexión 3G. En ese caso la operadora no necesita utilizar la radio para pedir la información al carro sino que lo consultará directamente del sistema, dejando así el canal de radio disponible para otras labores. En este caso la operadora seguirá siendo el centro de obtención de la información, pero el canal de radio ya no se usaría tanto como se usa en la actualidad.

## 6. Resultados obtenidos

Como parte del proceso de validación de las hipótesis definidas se realizaron dos tipos de actividades. En primer lugar se analizaron grabaciones de emergencias medianas, atendidas por el Cuerpo de Bomberos de Ñuñoa, para identificar cuánta de la información solicitada por la radio podría ahora ser evitada, pues la misma está disponible a través del sistema desarrollado. Posteriormente se realizó un focus group para validar el sistema con comandantes de incidente de los Cuerpos de Bomberos de Ñuñoa y Santiago.

### 6.1. Análisis de grabaciones de emergencias

De acuerdo al análisis de las grabaciones de 34 emergencias medianas del año 2009, administradas por la central de alarmas de Ñuñoa, se obtuvo que en promedio la duración de estas emergencias fue de 02:29 horas. Con un promedio de tiempo requerido para la toma de control de la situación igual a 01:23 horas. Además, el análisis determinó que los mensajes más recurrentes en las emergencias son los mostrados en la tabla 6.

Tabla 6: Mensajes que frecuentemente se repiten en las emergencias

Código de mensaje	Significado del mensaje	Cantidad de emergencias	Nro. de mensajes	Porcentaje de emergencias
0-5	Ubicación de la emergencia	21	32	62%
0-5	Ubicación de carros	32	149	94%
---	¿Qué carros se dirigen a la emergencia?	11	25	32%
6-8	Carros disponibles	9	9	26%
6-5	Ubicación de los grifos próximos	22	53	65%
7-0	Se establece puesto de comando	22	29	65%
---	¿Qué carro falta en llegar?	4	13	12%
---	Información de tráfico	1	1	3%
7-1	Indique información de la emergencia	22	26	65%
---	Próximo carro de agua a llegar al lugar de la emergencia	4	4	12%
7-2	Indique información de los carros	6	17	18%
---	Tiempo ambulancia	3	4	9%
0-5	Piscina (aguas abiertas)	3	3	9%
---	¿Cuántos voluntarios hay?	3	3	9%

En la tercera columna de la tabla 6 se indica la cantidad de emergencias donde ese mensaje aparece y en la quinta columna el porcentaje de emergencia que corresponde. Por ejemplo, la “ubicación de la emergencia” es una información que es solicitada por radio en 21 de las 34

emergencias analizadas, equivaliendo al 62% de las emergencias. La cuarta columna indica la cantidad de veces (considerando esas 21 emergencias) en que dicha solicitud de información se repite. Por ejemplo, la solicitud de la “ubicación de la emergencia” fue realizada 32 veces en total.

Como podemos ver en la tabla 6, los mensajes que con mayor frecuencia se repiten en una emergencia tienen que ver con la ubicación de los carros (94% de las emergencias), de la emergencia (62% de las emergencias) y de los grifos de agua (65% de las emergencias). También se puede ver que en la mayoría de las emergencias medianas se arma un puesto de comando. Esto lo podemos ver a través de las 22 emergencias (65% de las emergencias) donde aparece el mensaje “7-0 puesto de comando”, que es el mensaje que se utiliza al poner en funcionamiento el puesto de comando. Una lista completa de las emergencias analizadas se puede encontrar en los anexos.

Este análisis de las emergencias ha permitido determinar la validez de la hipótesis 1: *“A partir del análisis de emergencias pasadas, es posible predeterminar cuál es la información relevante con la que se deberá contar para apoyar la toma de decisiones a futuro”*. Esto implica que cualquier aplicación de software que apoye la toma de decisiones del comandante de incidente debería contar con esta información. Si esta información está además precargada en el sistema, entonces la disponibilidad de la misma mejora considerablemente con respecto a si ésta debe ser accedida en forma remota. El hecho de poder contar con esta información disminuye el uso del siempre colapsado canal de radio, mejora el awareness de la emergencia y, probablemente se disminuye también el tiempo requerido para tomar el control de la misma. Claramente esto ayuda a establecer el nivel de validez de la hipótesis 2: *“El uso de tecnología computacional móvil ayudará a aumentar la disponibilidad de la información de apoyo a la mitigación de una emergencia”*.

La validación de estas hipótesis requiere la experimentación con el sistema en el escenario real, pero por el momento esa actividad es difícil de realizar por las implicancias que esto tiene en las vidas de las personas y en los bienes materiales. Sin embargo los resultados obtenidos están alineados con las hipótesis definidas. Se tiene planificado realizar, en el corto plazo, un simulacro de emergencia para analizar el uso del sistema en terreno.

## **6.2. Focus group con comandantes de bomberos**

La validación de la herramienta se realizó con los representantes de la Junta Nacional de Bomberos de Chile mediante un focus group, grabándose de forma digital el audio de dicho focus group. El evento se llevó a cabo el 08 de Septiembre del 2011, en la sala de reuniones del tercer piso del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Participaron 5 comandantes pertenecientes a los Cuerpos de Bomberos de Ñuñoa y Santiago. Todos los asistentes contaban con un importante número de años de experiencia en labores de rescate y gestión de emergencias urbanas de varios tamaños.

La figura 31 muestra el escenario de trabajo utilizado durante el focus group. Se utilizaron 2 computadores (utilizados por dos usuarios diferentes); uno de ellos representaba la operadora de la CA y el otro representaba al CI. El vínculo entre estos computadores era punto-a-punto (a través de una red MANET) utilizando WiFi. Las interfaces de ambos sistemas eran proyectadas sobre un telón, para que los comandantes vieran cómo interactuaban las aplicaciones en pos de apoyar al CI en la toma de decisiones.

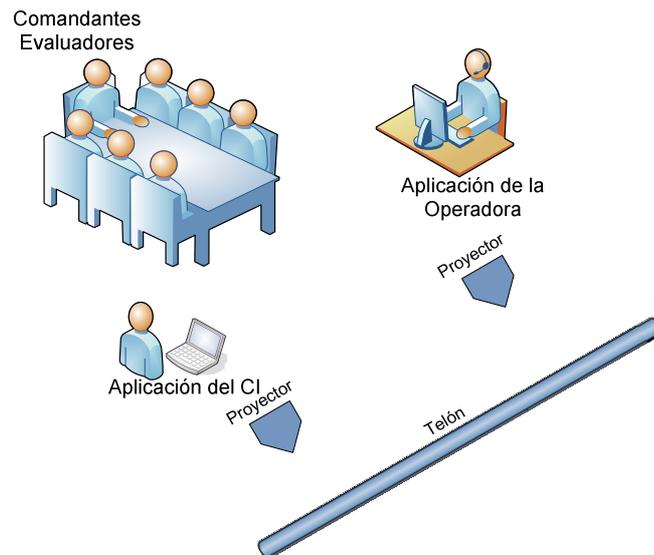


Figura 33: Escenario de trabajo en el focus group

Antes de comenzar la actividad se les mostró brevemente a los comandantes el sistema desarrollado. El proceso de simulación de la emergencia se inició cuando la operadora, utilizando el sistema de despacho, ingresó la emergencia en el sistema. Allí se indicó el lugar y el tipo de siniestro a tratar. La emergencia era un incendio en un cuarto piso de un edificio de 10 pisos. Luego la operadora despachó 8 carros de bomberos a dicha emergencia, con una diferencia de 20 segundos entre cada uno de ellos.

A seguir se mostró el mapa centrado en el lugar de la emergencia, el cual estaba simbolizado con una "X" roja. Automáticamente el sistema le mostró al CI todos los grifos cercanos a la emergencia, un edificio cerca a la emergencia, una Compañía de Bomberos y la información acerca del desplazamiento del material mayor, sobre el mapa. La información de desplazamiento de los vehículos fue simulada utilizando un módulo de software que le informaba periódicamente a la central de alarmas la ubicación actual de los carros. Luego la aplicación del CI consumía esta información a través de los servicios Web expuestos por la CA y le mostraba dicha información en pantalla al comandante de incidente. Se simuló el proceso de esa manera para mostrar el funcionamiento del proceso completo.

También se mostró el detalle de la emergencia, en la cual se indica las características de la misma y el detalle de cada uno de los carros de bomberos despachados, indicando su nombre identificador, su estado, el chofer, la hora de despacho, las observaciones y la distancia que le queda para llegar a la emergencia. Así mismo, se mostraron las funcionalidades de navegación del mapa (zoom in, zoom out, ir a la emergencia, ir a mi posición, etc.) y la funcionalidad de poder visualizar los archivos disponibles asociados a dicha emergencia. Estos últimos también fueron consumidos desde la central de alarmas.

Finalmente, se pudo obtener comentarios, sugerencias y opiniones compartidas por cada uno de los comandantes de incidente, los cuales concordaron que el sistema definitivamente puede ayudar a mejorar la toma de decisión y la percepción (awareness) de la situación en una emergencia. Cuando se les consultó por hipótesis 2: *“El uso de tecnología computacional móvil ayudará a aumentar la disponibilidad de la información de apoyo a la mitigación de una emergencia”*, todos respondieron que a juicio de ellos esa hipótesis era válida. Luego se les consultó por la hipótesis 3: *“La velocidad de toma de decisión y calidad de las decisiones deberían mejorar si el Comandante de Incidente contara con una herramienta de apoyo que sea visual, sensible al contexto y que entregue sugerencias apropiadas”*, a lo que todos respondieron que efectivamente sería válida. Los comandantes indicaron que, a juicio de ellos, tener la información disponible ayuda a tomar las decisiones de manera más rápida, y probablemente también ayuda a tomar mejores decisiones. Está claro que este focus group no es suficiente para validar esta hipótesis, pero al igual que en el caso de las hipótesis anteriores, es muy difícil validar esto en la práctica debido a las implicancias que tiene sobre la vida de la personas y de sus bienes.

## 7. Conclusiones y trabajo a futuro

A lo largo del desarrollo de este documento de tesis, hemos podido mostrar la importancia que tiene el hecho de poder apoyar la toma de decisiones del CI de los bomberos de Chile, ya que año a año los centros urbanos crecen en infraestructura civil (por ej. edificios) y en infraestructura de servicios (por ej. teléfono, gas, energía eléctrica, etc.). Esto hace que una misma emergencia aumente su impacto en el tiempo debido a este crecimiento de la infraestructura. Como hemos podido ver en la figura 2, también la densidad poblacional tiende a aumentar, por lo que el número de emergencias tiende igualmente a incrementarse (ver figura 3).

Por otra parte, la única herramienta con que cuenta actualmente el CI para apoyar su toma de decisión es la radio, la cual tiene una serie de limitaciones ampliamente reconocidas por los investigadores del área, y las que ya han sido mencionadas en este trabajo de tesis. Como una forma de apoyar al CI a sortear estas limitaciones, en el marco de esta tesis se desarrolló una herramienta de software que sea visual y sensible al contexto, capaz de ayudar al CI a mejorar su toma de decisión, y aminorar así el impacto de las emergencias urbanas. Dicha aplicación no reemplaza a la radio, sino que la complementa, permitiendo lidiar con gran parte de las limitaciones que tiene el sistema de comunicación actual.

Las hipótesis que guiaron este trabajo de tesis fueron las siguientes:

1. A partir del análisis de emergencias pasadas, es posible predeterminar cuál es la información relevante con la que se deberá contar para apoyar la toma de decisiones a futuro.
2. El uso de tecnología computacional móvil ayudará a aumentar la disponibilidad de la información de apoyo a la mitigación de una emergencia.
3. La velocidad de toma de decisión y calidad de las decisiones deberían mejorar si el Comandante de Incidente contara con una herramienta de apoyo que sea visual, sensible al contexto y que entregue sugerencias apropiadas.

Como se pudo constatar en la parte de resultados obtenidos (sección 5), a través del análisis de las emergencias pasadas, se pudo ver que efectivamente hay un conjunto de datos que se necesitan a la hora de apoyar la toma de decisiones del Comandante de Incidente (hipótesis 1). Por ejemplo, la ubicación de la emergencia, de los grifos y de los carros, es la información más recurrentemente solicitada en una situación de emergencia. La identificación de esta información sirvió para concebir el sistema de apoyo a la toma de decisiones, que posteriormente se desarrolló en esta tesis. Debido a que dicho sistema mantiene disponible gran parte de la información actualmente transmitida por radio, se prevé que la hipótesis 2 sería verdadera.

Por otra parte, el focus group reportado en la sección 5.2 ayudó a evaluar la validez de las hipótesis 2 y 3. A partir del sistema desarrollado, la hipótesis 2 pasó a ser intuitivamente verdadera; sin embargo era necesario que los expertos también dieran su opinión al respecto, con lo cual se confirmó el resultado anterior. Los comandantes de incidente concordaron que el tener este tipo de información en el sistema (de forma ya precargada), ayuda a ahorrar segundos en el inicio de una emergencia. Al final esto se traduce en minutos a la hora de tener controlada la situación. Esto quiere decir que se puede disminuir el tiempo requerido para controlar una emergencia, al tener disponible este tipo de información de apoyo. De la misma manera los comandantes participantes en el focus group concordaron en que, a priori, es esperable una mejora importante en el awareness de la situación y en la calidad de las decisiones, debido a que cuentan con información precisa a la hora de tomar decisiones.

A futuro se espera continuar con el proceso de experimentación, a través del uso de la herramienta en simulaciones con personal y equipamiento de bomberos. En este sentido ya se cuenta con el consentimiento de la Junta Nacional de Bomberos de Chile para realizar estas pruebas. En base a la retroalimentación obtenida se ajustará la solución en caso de ser necesario.

## 8. Referencias

- [1] G. Adomavicius, A. Tuzhilin. "Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions", IEEE transactions on knowledge and data engineering, vol. 17, 2005, pp. 734-749.
- [2] G. Adomavicius, R. Sankaranarayanan, S. Sen, A. Tuzhilin. "Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach". ACM Transactions on Information Systems, vol. 23, 2005, pp. 103-145.
- [3] P. Agrawal, I. Rauschert, K. Inochanon, L. Bolelli, S. Fuhrmann, I. Brewer, G. Cai, A. MacEachren, and R. Sharma, "Multimodal interface platform for geographical information systems (GeoMIP) in crisis management," Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces, 2004, pp. 339-340.
- [4] R. Azuma, M. Daily, and C. Furmanski, "A review of Time Critical Decision Making Models and Human Cognitive Processes," IEEE Aerospace Conference, 2006, pp. 1-9.
- [5] C. Baber, J. Cross, P. Smith, D. Robinson. "Supporting Implicit Coordination Between Distributed Teams in Disaster Management", Mobile Response, 2007, pp. 39-50.
- [6] D. Bradler, E. Aitenbichler, N. Liebau, and B. Schiller, "Towards a Distributed Crisis Response Communication System". Proceedings of ISCRAM, 2009.
- [7] M. Castillo S, G.J. A, P. Pedernera A. "Diseño e Implementación de Herramientas Computacionales para la Prevención y Combate de Incendios Forestales," Laboratorio de Incendios Forestales. Departamento de Manejo de Recursos Forestales, Universidad de Chile, vol. 41, 2004.
- [8] T.J. Cova, "GIS in emergency management," Geographical information systems, vol. 2, 1999, pp. 845 - 858.
- [9] P. Currion, C.D. Silva, B. Van De Walle. "Open source software for disaster management", Communications of the ACM, vol. 50, 2007, pp. 61-65.
- [10] V. Diniz, M. Borges, J. Gomes, and J. Canós, "Decision Making Support in Emergency Response," Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies, vol. I, 2008, p. 184--191.
- [11] A. Estrada García, E.F. Alvarado García, "Análisis de desastres naturales a través de sistemas de información geográfica", 1997, pp. 1-91.
- [12] S. Ghosh, M. Mundhe, K. Hernandez, S, "Voting for movies: the anatomy of a recommender system", Voting for movies: the anatomy of a recommender system, 1999, pp. 434-435.
- [13] Y. Kawai, J. Zhang, H. Kawasaki. "Tour recommendation system based on Web information and GIS", Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Multimedia and Expo, IEEE Press, 2009, pp. 990–993.

- [14] G.A. Klein, R. Calderwood, A. Clinton-Cirocco, "Rapid decision making on the fire ground". Technical report, Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 1988, pp. 1-32.
- [15] G. Klein, K. Associates, and D. Ara, "Naturalistic Decision Making," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 50, 2008, pp. 456-460.
- [16] J. Lachner, H. Hellwagner. "Information and Communication Systems for Mobile Emergency Response". *Information Systems and e-Business Technologies. Lecture Notes in Business Information Processing*, Vol. 5, Part 2, pp. 213-224, 2008.
- [17] T.W. Malone, K.R. Grant, K.Y. Lai, R. Rao, D.A. Rosenblitt. "The information lens: an intelligent system for information sharing and coordination". *Proceedings of the 1987 NYU Symposium on Technological Support for Work Group Collaboration*, New York, NY, May 21-22, 1987.
- [18] B.S. Manoj and A.H. Bake. "Communication Challenges in Emergency Response". *Communications of the ACM*, vol. 50, 2007.
- [19] N. Manouselis, C. Costopoulou. "Analysis and Classification of Multi-Criteria Recommender Systems", *World Wide Web Internet And Web Information Systems*, vol. 10, 2007, pp. 415-441.
- [20] A. Meissner, Z. Wang, W. Putz, J. Grimmer. "MIKoBOS - A Mobile Information and Communication System for Emergency Response", *Proc. ISCRAM*, vol. 14, 2006, pp. 92-101.
- [21] A. Meissner, R. Eck. "Extending the fire dispatch system into the mobile domain", *Mobile Response*, 2007, pp. 143–152.
- [22] A. Monares, S.F. Ochoa, J.A. Pino, V. Herskovic, A. Neyem, "Mobile Computing in Urban Emergency Situations: Improving the Support to Firefighters in the Field". *Expert Systems with Applications*, In press (to appear in 2011).
- [23] A. Montoya, "Geo-data acquisition through mobile GIS and digital video: an urban disaster management perspective", *Environmental Modelling & Software*, vol. 18, 2003, pp. 869-876.
- [24] A. Montoya. "Urban Disaster Management: a Case study of earthquake risk assessment in Cartago, Costa Rica", *Utrecht University and International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation-ITC, ITC Publication Series*, vol. 96, 2002.
- [25] S.F. Ochoa, A. Neyem, J.A. Pino, and M.R. Borges. "Supporting Group Decision Making and Coordination in Urban Disasters Relief Efforts". *Journal of Decision Systems*, vol. 16, 2007.
- [26] I. Rauschert, P. Agrawal, R. Sharma, S. Fuhrmann, I. Brewer, and A. MacEachren, "Designing a human-centered, multimodal GIS interface to support emergency management," *Proceedings of the tenth ACM international symposium on Advances in geographic information systems - GIS '02*, 2002, p. 119.
- [27] F. Ricci. "Travel recommender systems", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 17, 2002, pp. 55–57.
- [28] B. Sarwar, G. Karypis, J. Konstan, J. Riedl. "Application of dimensionality reduction in recommender system—a case study", *ACM WebKDD 2000 Web Mining for E-Commerce Workshop*, 2000.

- [29] J. Schafer, J. Konstan, J. Riedi. "Recommender systems in e-commerce". Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce, ACM, 1999, pp. 158–166.
- [30] C. Wattegama. "ICT for disaster management" United Nations Development Programme-Asia-Pacific Development Information Programme, 2007.

**ANEXOS**

## ANEXO A: Requisitos del sistema

A continuación se presentan los requisitos de usuario, de software y la matriz de trazado que establece la relación entre ellos.

### a) Requisitos de usuario

A continuación se presenta la lista de los principales requisitos de usuario considerados en el desarrollo de la aplicación.

RU0001 – Capacidad de comunicación	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe poder comunicarse con la central de alarmas para consumir información de sus Web services. Esto en caso de poder tener acceso a alguna red de datos con acceso a Internet.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Calidad
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RU0002 – Sistema standalone</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe poder seguir funcionando en caso de que se pierda la comunicación con la central de alarma, aunque con funcionalidades limitadas. Esto en caso de no poder tener acceso a alguna red de datos con acceso a Internet.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RU0003 – Solución móvil</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe ser capaz de correr en un Tablet PC o en un Notebook, para poder ser usado en situaciones de emergencia, tanto en el lugar del incidente o en el recorrido de los carros de bomberos.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Restricción
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RU0004 – Alta usabilidad</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe ser lo más intuitivo posible de tal forma que el Comandante de Incidente pueda operarlo después de haberle explicado las funcionalidades del sistema. Esto para garantizar la usabilidad del sistema.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Calidad
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RU0005 – Visualización de recursos móviles</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema deberá entregar la opción al usuario de visualizar los recursos móviles sobre los mapas desplegados, mediante la inclusión de puntos de interés sobre dichos mapas. Entiéndase por recurso móvil al material mayor asignado a la emergencia
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RU0006 – Desplegar recomendaciones</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe poder realizar recomendaciones en base a la información asociada a la emergencia y los procedimientos de bomberos
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente

<b>RU0007 – Visualizar información relevante</b>	
<b>Descripción:</b>	La herramienta debe ser capaz de visualizar la información relevante que ayude al Comandante de Incidente a tener una mejor perspectiva de la situación. En este caso la información relevante sería la ubicación de los edificios, grifos, el lugar de la emergencia y la posición actual del usuario que utiliza la herramienta.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RU0008 – Interfaz espacial</b>	
<b>Descripción:</b>	La interfaz principal del sistema debe ser un mapa del área de la emergencia, puesto que esa es la interfaz natural para el trabajo de los comandantes de incidente hasta hoy en día.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Restricción
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

## **b) Requisitos de software**

A continuación se presenta la lista de los principales requisitos de software considerados en el desarrollo de la aplicación.

<b>RS0001 – Referencia Web</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe incluir una referencia Web de tal forma que se pueda realizar una instancia de un proxy que se comunique con la central de alarmas para poder consumir los Web services que ofrece.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0002 – Sistema standalone</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe poder seguir funcionando en caso de que se pierda la comunicación con la central de alarmas o conexión a una red de datos, aunque con funcionalidades limitadas. Esto significaría no poder ver la información que brindan los Web services de la central de alarmas o no tener la información meteorológica.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Calidad
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0003 – Lenguaje de desarrollo</b>	
<b>Descripción:</b>	La herramienta debe ser desarrollada en el lenguaje C# de Visual Studio con .NET Framework 3.5, ya que este framework es soportado desde Windows XP.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Portabilidad
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0004 – Iconografía representativa</b>	
<b>Descripción:</b>	La iconografía utilizada en el sistema, debe ser representativa para el usuario. De tal forma que el sistema y sus funcionalidades sean intuitivas.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Deseable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Usabilidad
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0005 – Funcionalidades a la mano</b>	
<b>Descripción:</b>	Las funcionalidades de la herramienta no deben estar a más de dos clic. Debe ser de acceso rápido para el usuario, tomando en cuenta que es una aplicación para situaciones con acotación de tiempos críticos.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Deseable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Usabilidad
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0006 – Obtención de la información del material mayor</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema cada tres segundos debe consumir de la central de alarmas el Web service que entrega la información del material mayor asignado a la emergencia. Este Web service entrega un XML con los datos de: id, compañía, tipo de carro, estado, chofer, hora despacho, observaciones y las coordenadas.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora

<b>RS0007 – Visualizar en el mapa el material mayor</b>	
<b>Descripción:</b>	Se deben desplegar las coordenadas del material mayor sobre el mapa y deben ser representados los puntos como un carro de bomberos. Cada vez que se obtenga nueva información del material mayor se debe reflejar en el mapa.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora

<b>RS0008 – Desplegar recomendación</b>	
<b>Descripción:</b>	Periódicamente el sistema debe analizar la información de la emergencia: ubicación de material mayor, dirección del viento, velocidad del viento, cercanía de la emergencia con otras estructuras, para realizar recomendaciones de forma pasiva y no invasiva al usuario.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente

<b>RS0009 – Obtención de la información de la emergencia</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe consumir de la central de alarmas el Web service que entrega información sobre las emergencias activas en este momento. Este Web service entrega un XML con información de: correlative, fecha, hora, acto, clave, latitude, longitud, dirección y observaciones.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0010 – Visualización de edificios</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe buscar y cargar del directorio de entrada de los tiles, el archivo XML de los edificios y visualizarlos sobre el mapa como polígonos.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0011 – Visualización de los grifos</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe buscar y cargar del directorio de entrada de los tiles, el archivo XML de los grifos y visualizarlos sobre el mapa como un grifo.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

<b>RS0012 – Visualización de la posición del GPS</b>	
<b>Descripción:</b>	El sistema debe consultar cada 500 milisegundos la información de latitud y longitud del GPS para desplegarlo en el mapa como un punto e indicar la dirección de movimiento y de la emergencia desde la posición obtenida del GPS.
<b>Fuente:</b>	Análisis de los requisitos de usuario
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Funcional
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora

<b>RS0013 – Interfaz espacial</b>	
<b>Descripción:</b>	La interfaz principal del sistema debe ser un mapa del área de la emergencia, puesto que esa es la interfaz natural para el trabajo de los comandantes de incidente hasta hoy en día.
<b>Fuente:</b>	Focus group
<b>Prioridad:</b>	Crítica
<b>Estabilidad:</b>	Intransable
<b>Estado:</b>	Cumple
<b>Tipo:</b>	Restricción
<b>Usuario:</b>	Comandante de Incidente, operadora, bombero

### **c) Matriz de trazado: Requisitos de usuario vs. requisitos de software**

A continuación se presenta la matriz de trazado que muestra la relación entre los requisitos de usuario y de software definidos.

RU vs RS	RS0001	RS0002	RS0003	RS0004	RS0005	RS0006	RS0007	RS0008	RS0009	RS0010	RS0011	RS0012	RS0013
RU0001	X												
RU0002		X											
RU0003			X										
RU0004				X	X								
RU0005						X	X						
RU0006								X					
RU0007									X	X	X	X	
RU0008													X

## ANEXO B: Emergencias medianas

A continuación se listan las emergencias medianas escuchadas para el análisis de la información necesaria.

Tabla II.1: Emergencias según cantidad de carros involucrados

Nro	Correlativo	Clave	Fecha	Carros	Comuna
1	4	10-2	01/01/2009	7	La Florida
2	39	10-12	04/01/2009	6	Fuera de Límite
3	46	10-2	05/01/2009	8	Peñalolén
4	114	10-2	11/01/2009	9	Peñalolén
5	146	10-0	13/01/2009	6	Peñalolén
6	197	10-0	19/01/2009	9	Ñuñoa
7	442	10-0	12/02/2009	13	La Reina
8	475	10-2	17/02/2009	10	La Florida
9	497		21/02/2009	9	La Florida
10	548	10-0	02/03/2009	8	La Florida
11	557	10-0	03/03/2009	8	La Florida
12	790	10-0	03/04/2009	9	Ñuñoa
13	834	10-0	08/04/2009	6	La Florida
14	840	10-0	09/04/2009	7	La Reina
15	854	10-0	11/04/2009	9	La Florida
16	856	10-0	11/04/2009	9	Ñuñoa
17	1245	10-0	04/06/2009	10	Macul
18	1286	10-0	10/06/2009	6	Ñuñoa
19	1304	10-0	12/06/2009	11	Peñalolén
20	1356	10-0	18/06/2009	11	Peñalolén
21	1362	10-0	19/06/2009	8	Peñalolén
22	1369	10-0	20/06/2009	9	Macul
23	1371	10-0	20/06/2009	6	
24	1473	10-0	01/07/2009	7	Ñuñoa
25	1564	10-0	14/07/2009	6	Ñuñoa
26	1658	10-0	26/07/2009	6	Ñuñoa
27	1709	10-0	04/08/2009	9	La Florida
28	1729	10-0	07/08/2009	7	Peñalolén
29	1936	10-0	07/09/2009	7	Peñalolén
30	2063	10-0	20/09/2009	10	Peñalolén
31	2120	10-0	30/09/2009	8	Macul

32	2134	10-0	02/10/2009	8	Peñalolén
33	2240	10-0	16/10/2009	7	Peñalolén
34	2255	10-0	17/10/2009	10	Peñalolén
35	2534	10-0	23/11/2009	7	La Florida
36	2620	10-0	01/12/2009	9	Peñalolén
37	2645	10-2	03/12/2009	6	
38	2685	10-2	06/12/2009	9	La Florida
39	2805	10-2	15/12/2009	10	Peñalolén
40	2820	10-2	16/12/2009	16	La Florida
41	2878	10-2	20/12/2009	11	La Florida
42	2896	10-0	22/12/2009	8	La Florida
43	2905	10-0	23/12/2009	7	La Reina
44	2922	10-2	24/12/2009	10	La Florida
45	2951	10-0	26/12/2009	10	La Florida
46	2979	10-2	29/12/2009	7	Peñalolén

Tabla II.2: Emergencias según la duración de las mismas

Nro	Correlativo	Clave	Fecha	Tiempo	Comuna
1	549	10-0	02/03/2009	1169	Ñuñoa
2	781	10-9	01/04/2009	421	Ñuñoa
3	1290	10-9	10/06/2009	418	Ñuñoa
4	1792	10-9	16/08/2009	657	Fuera de Límite
5	2025	10-9	18/09/2009	564	La Reina
6	2041	10-9	19/09/2009	525	La Reina
7	2228	10-9	14/10/2009	397	Macul

Las emergencias medianas que se muestran sombreadas en las tablas anteriores de color , son las emergencias que no tienen archivos de audio (MP3). y que por lo tanto no se analizaron. Las emergencias con clave 10-9 tampoco fueron analizadas ya que son “Otro servicios” y no entran dentro de la investigación.