

**PI111-03**

**ESTRATEGIA ARQUITECTÓNICA DE INTERACCIÓN ENTRE SIMULADORES Y  
SIG PARA VISUALIZAR ZONAS VULNERABLES EN CRISIS**

**LUIS FELIPE WANUMEN SILVA**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN  
BOGOTÁ, D.C.  
2012**



PI111-03

ESTRATEGIA ARQUITECTÓNICA DE INTERACCIÓN ENTRE  
SIMULADORES Y SIG PARA VISUALIZAR ZONAS  
VULNERABLES EN CRISIS

**Autor:**

Luis Felipe Wanumen Silva

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO  
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

**Director**

Rafael Andrés González Rivera

**Comité de Evaluación del Trabajo de Grado**

<Nombres y Apellidos Completos del Jurado >

<Nombres y Apellidos Completos del Jurado >

**Página web del Trabajo de Grado**

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI111-03-EstraInteraSIG>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

MAESTRÍA EN INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

BOGOTÁ, D.C.

Junio, 2012

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS**

**Rector Magnífico**

Joaquín Emilio Sánchez García S.J.

**Decano Académico Facultad de Ingeniería**

Ingeniero Luis David Prieto Martínez

**Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería**

Padre Sergio Bernal Restrepo S.J.

**Director Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación**

Ingeniero Enrique González Guerrero

**Director Departamento de Ingeniería de Sistemas**

Ingeniero César Julio Bustacara Medina

**Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946**

*“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a DIOS TODOPODEROSO por permitirme culminar este trabajo de grado y por haberme dado la oportunidad de conocer personas tan valiosas en la Universidad Javeriana.

Agradecimientos a la Universidad Distrital por su apoyo, a Valeriy Gashevskiy (Q.E.P.D.), Juan Carlos Guevara y Gloria Andrea Cavanzo por sus buenas energías.

Agradecimiento al profesor PhD Rafael Andrés González Rivera por apoyarme enormemente en el desarrollo del presente proyecto, por su paciencia y por haberme orientado en los momentos en los que no veía la luz. Quedarán en mi memoria sus clases de introducción a la investigación y también las charlas de arquitectura y proceso en las que logré aterrizar conceptos.

De una manera también muy especial, agradecimientos a mis Padres Jorge Humberto Wanumen y Flor María Silva de Wanumen por sus buenos deseos durante el desarrollo del presente trabajo, a pesar de los innumerables problemas de salud de mi Madre, a mis hermanos Gloria y Enrique por su motivación, a mi esposa Ana Esmeralda por comprender que el tiempo invertido en la tesis era grande y a mi Hija María Isabel por darme alegría cada vez que llego a casa.

Agradecimientos a la profesora Alexandra Pomares Quimbaya por su valiosa asesoría en el proyecto, por sus interesantes clases y a mis compañeros de la Maestría, por sus consejos y su amistad.

Agradecimientos a los bomberos de Usme por creer y estar convencidos que este proyecto tiene mucho futuro, a Procálculo-Prosis por ayudarme en la parte del SIG y con la consecución de mapas, a mi estudiante Angélica Patricia Bocanegra por colaborar con problemas de instalación del ArcGIS y a todos los que me han enviado sus buenas energías incluyendo mi hermano Josecito que desde el cielo me da sus buenas energías.

Gracias a los profesores Enrique González, Leonardo Flórez, Alexandra Pomares, María Emilia Ramírez, Cesar Bustacara, Julio Flórez, Ángela Carrillo y en general a todos los profesores de la Maestría que con sus clases aportaron conocimientos para tener en cuenta en este trabajo.

Gracias a Carmen Alicia Martelo, Daniel Yesid Cáceres, al teniente Carlos Andrés García y a Vladimir García por su apoyo.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>I – PLANEACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>3</b>
1. OBJETIVOS .....	3
1.1 Objetivo general .....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	4
3. MÉTODO .....	5
<b>II – DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>8</b>
1. PROCESO DE DESARROLLO .....	8
1.1 Definición de requerimientos .....	9
1.2 Asignación de requisitos para cada iteración .....	11
1.3 Diseño de la arquitectura del sistema .....	16
1.4 Decisiones arquitectónicas para cada incremento del sistema .....	18
1.5 Verificación y validación de la arquitectura.....	21
<b>III – PROTOTIPO Y VALIDACIÓN .....</b>	<b>33</b>
1. PRESENTACIÓN DEL PROTOTIPO .....	33
2. RESULTADOS DE VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.....	35
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN.....	36
<b>IV – RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
<b>V – CONCLUSIONES, ACLARACIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>47</b>
1. CONCLUSIONES .....	47
2. ACLARACIONES.....	50
3. TRABAJO FUTURO.....	50
<b>V - BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>52</b>
<b>VI - ANEXOS .....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Relación entre la metodología de investigación y el proceso de desarrollo incremental usado .....	5
<b>Tabla 2.</b> Análisis de necesidades vs requerimientos contextualizados .....	9
<b>Tabla 3.</b> Planeación de los incrementos .....	11
<b>Tabla 4.</b> Instanciación de atributos de calidad por incremento .....	12
<b>Tabla 5.</b> Identificación de los escenarios .....	14
<b>Tabla 6.</b> Planeación de incrementos para cumplir con requerimientos y con atributos de calidad.....	15
<b>Tabla 7.</b> Estrategias candidatas para soportar integración entre SIG con SBA .....	16
<b>Tabla 8.</b> Resultados arquitectónicos al finalizar cada incremento .....	18
<b>Tabla 9.</b> Familias de sistemas y estilos de familias arquitectónicas [73] .....	22
<b>Tabla 10.</b> Razones para la selección del patrón de arquitectura CDS .....	23
<b>Tabla 11.</b> Razones para la selección del patrón de arquitectura CDS .....	24
<b>Tabla 13.</b> Tabla de comparación atributos de calidad versus patrones de diseño. Autor: Khosravi y Guéhéneuc.....	28
<b>Tabla 14.</b> Formato usado para adjudicación de atributos a componentes. Fuente el autor ....	29
<b>Tabla 15.</b> Atributos de calidad para los paquetes “disclient”, “disblack” y “disserver”. Fuente el autor .....	30
<b>Tabla 16.</b> Atributos de calidad para toda la arquitectura de interacción entre SIG y una SBA. Fuente el autor .....	30
<b>Tabla 17.</b> Proceso de validación de arquitectura, cuestiones solucionadas y no solucionadas .....	31
<b>Tabla 18.</b> Planeación de los incrementos .....	32
<b>Tabla 19.</b> Elementos que georeferencia el SIG, relacionados con los elementos que tiene en cuenta la SBA CrisisCoord .....	34
<b>Tabla 20.</b> Resultados de la aplicación de las validaciones en forma triangulada.....	36



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Modelo de la Ciencia del diseño. Fuente: [19] _____	5
<b>Figura 2.</b> Modelo de desarrollo iterativo incremental [6] _____	8
<b>Figura 3.</b> Arquitectura de referencia que usa el patrón Patrón Client Dispatcher Server ____	18
<b>Figura 4.</b> Arquitectura refinada después de todos los incrementos _____	19
<b>Figura 5.</b> Validación vista dinámica de alto nivel _____	20
<b>Figura 6.</b> Situación inicial arquitectónica antes de la integración _____	21
<b>Figura 7.</b> Servicios del sistema para el caso del patrón Client Dispatcher Server _____	25
<b>Figura 8.</b> Ejecución de la SBA en forma independiente del SIG. Imagen obtenida fruto de la ejecución del Simulador CrisisCoord [1] _____	33
<b>Figura 9.</b> Ejecución del SIG en forma independiente de la SBA. Imagen obtenida fruto de la ejecución del SIG _____	34
<b>Figura 10.</b> Ejecución del SIG interactuando con la SBA. Imagen obtenida fruto de la ejecución del prototipo elaborado por el autor. _____	35
<b>Figura 11.</b> Modelo de Aceptación de la Tecnología. Fuente: Davis [2]. _____	35

## **ABSTRACT**

This research is aimed at integrating an existing agent-based simulation (SBA) and a geographic information system (GIS) for training and planning for crisis response. This enables the parallel benefits of simulating different coordination mechanisms both within professional crisis response teams as well as between them, addition to being able to visualize the animated results over a real map. The design is based on an incremental approach to establish an architecture that enables this integration. The resulting architecture is tested with a prototype, validating the potential usefulness of the system with firefighters in a neighborhood of Bogotá.

## **RESUMEN**

Esta investigación está dirigida a integrar una simulación basada en agentes (SBA) existente y un sistema de información geográfico (GIS) para el entrenamiento y planificación de la atención de emergencias. Esto permite beneficiarse en forma paralela tanto de la simulación de diferentes mecanismos de coordinación, al interior de los equipos de respuesta a crisis, así como entre ellos, y de tener la capacidad de visualizar los resultados de la animación sobre un mapa. El diseño está basado en un enfoque incremental que establece una arquitectura que permite esta integración. La arquitectura resultante se valida a través de la evaluación de utilidad potencial de un prototipo por parte de los bomberos de una localidad de Bogotá.

## RESUMEN EJECUTIVO

El problema que motiva esta investigación es contribuir desde la ingeniería en la planeación de atención de emergencias a través de la construcción de simulaciones georeferenciadas. La utilidad de esta simulación se da en la medida en que el mapa sobre el que corra la simulación sea real y en la medida en que las acciones ejecutadas en la misma sean similares a las tomadas por los bomberos en situaciones de crisis, en las que se coordinan esfuerzos entre sí y con otros profesionales (por ejemplo paramédicos).

Teniendo en cuenta que existen SIG (sistemas de información geográficos) que proveen información útil en la planeación de emergencias y que existen SBA (simulaciones basadas en agentes) diseñadas para la planeación de emergencias, se determina, a partir de un estado del arte, que la interacción entre estos dos sistemas, potencialmente brindaría simulaciones georeferenciadas que incorporen la visualización sobre mapas que proveen los SIG y que incorporen los mecanismos de coordinación incluidos en una SBA. La SBA existente simula un conjunto de agentes (bomberos y paramédicos) permitiendo configurar diferentes mecanismos de coordinación para establecer su efectividad (en términos de tiempo y prevención de fatalidades) en la atención a una emergencia resultante tras una explosión, pero lo hace sobre un espacio plano y no real.

Se plantea entonces una estrategia de interacción entre estos dos sistemas basada en un modelo de arquitectura. Esta arquitectura se diseña a partir de requerimientos arquitectónicos que debe cumplir la interacción, en donde la mayoría de requerimientos son no funcionales, debido a que la lógica propia de los requerimientos funcionales está provista por los sistemas a integrar y se busca no perder funcionalidad con la integración.

El diseño sigue un proceso iterativo incremental en donde cada incremento es el fruto de varias decisiones de arquitectura que se toman con la rigurosidad y creatividad planteada por la ciencia basada en el diseño. En el diseño resultante se tienen en cuenta los atributos arquitectónicos que debe cumplir la interacción planteada. Cada requerimiento está relacionado con uno o varios atributos de calidad y la relación existente entre atributos de calidad y requerimientos presenta una simbiosis que finalmente es resuelta por medio de objetivos arquitectónicos, que se instancian según las necesidades de cada incremento.

Se asocian requerimientos a cada iteración de diseño proyectada. Se desarrolla la arquitectura aplicando iteraciones y en cada una de ellas se evalúa el paso a la siguiente iteración. Esta evaluación se hace una con unos parámetros asociados a un conjunto de escenarios que al final son usados también para verificar la arquitectura resultante.

La documentación de la arquitectura se hace a través de una vista estática y una vista dinámica siguiendo la recomendación IEEE 1471 que identifica las buenas prácticas para establecer un marco y un vocabulario para desarrollo de una arquitectura de software [56]

Se establece que el patrón general que debe gobernar la arquitectura es el patrón “Client Dispatcher Server”. En un nivel más detallado el otro patrón que gobierna a la capa Dispatcher es

el patrón “BlackBoard” que permite que los datos estén disponibles en ambos sistemas (SIG y SBA).

La arquitectura de alto nivel se refina con un diseño detallado en donde se establece que el patrón de diseño “Composition” soluciona problemas de escalabilidad cuando se tienen múltiples agentes y mejora el rendimiento del sistema; de otra parte, se establece que el uso del patrón “Singleton” soluciona conflictos de múltiples configuraciones del SIG, al igual que el patrón de diseño detallado “Interpreter Command” ayuda a solucionar problemas de interpretación de los datos enviados por la SBA hacia el SIG

Se realizan pruebas de concepto para la validación del estilo arquitectónico en el que se corrobora que el “Client Dispatcher Server” y el “BlackBoard” son los adecuados para gobernar la arquitectura propuesta. Para ello se hacen supuestos de los efectos que se tendrían si se plantearan otros patrones arquitectónicos.

Se construye el prototipo y se realiza una verificación del software basado en el balanceo de los subsistemas y cuyos resultados sirven para detectar problemas de codificación del prototipo con respecto al modelo planteado. También se realiza una verificación de la arquitectura a partir de los atributos de calidad y patrones en donde se establece una valoración cualitativa y cuantitativa del cumplimiento de los atributos de calidad por paquete a partir de una metodología “bottom up” para obtener los valores del cumplimiento de estos atributos en los paquetes de bajo nivel, hasta obtener los paquetes de mayor nivel en la arquitectura y establecer que la comprensibilidad y la simplicidad son los atributos que menos se cumplen en la arquitectura planteada y que la robustez y el rendimiento están entre los atributos de mayor cumplimiento de la arquitectura propuesta.

Se plantea una arquitectura que pretende reducir el fracaso en integraciones entre SIG y SBA con condiciones similares a las del proyecto de investigación, en donde el SIG se podía modificar en su totalidad, la SBA tenía una capa aislada de las demás diseñada específicamente para la visualización y, tecnológicamente era factible desarrollar la estrategia basada en sockets para su comunicación. El prototipo que implementa la arquitectura fue validado por parte de los Bomberos de la estación Usme en Bogotá.

El uso del proceso de desarrollo incremental (PDI) permitió que se conociera el progreso real del proyecto desde las primeras iteraciones y hacer una extrapolación para verificar si la finalización era viable en la fecha prevista. El PDI permitió gestionar de manera natural los cambios que fueron apareciendo durante el desarrollo del proyecto. El uso del PDI permitió iniciar el proceso de desarrollo con los requisitos que más valor aportaban al proyecto, aún cuando los demás no estuvieran del todo definidos, y a medida que se avanzaba, se realizaban nuevas iteraciones y nuevos requisitos se tenían en cuenta.

El estudio de la interoperabilidad desde el punto de vista sistema como lo hace McCall, desde el punto de vista de comunicaciones y las comparaciones de los atributos de calidad versus patrones de diseño fueron elementos claves para el desarrollo de la arquitectura, así como la validación triangulada fue clave en la validación y verificación de la arquitectura.

## INTRODUCCIÓN

Al presentarse emergencias por fuego en Colombia, existen organismos como el FOPAE [28] y el Cuerpo Nacional de Bomberos de Colombia [29] entre otros, que brindan atención en este tipo de emergencias. Existen además otros organismos como el IGAC [30], IDEAM [31] que tienen información geográfica valiosa que sería útil conocer con anterioridad a la emergencia por parte de los bomberos y otros profesionales. Lo anterior muestra la necesidad de interactuar con los SIG (sistemas de información geográfica) y el rol importante de los SIG en estas situaciones [32][33].

La preparación para una emergencia requiere del establecimiento de una organización que articule distintas disciplinas profesionales (e incluso voluntarias) para que puedan responder de manera coordinada. Este tipo de organizaciones puede ser visto como un sistema complejo en donde se auto organizan los componentes sin que ésta organización esté controlada exclusivamente por un ente central [74]. Por ello resulta útil la adopción de simulaciones basadas en agentes (SBA) que permitan explorar y evaluar distintas configuraciones para esta organización. La ventaja de usar SBA es que no se requiere modelar matemáticamente el comportamiento de cada una de las posibles relaciones entre los objetos [75], sino que se puede verificar el funcionamiento del sistema usando técnicas de simulación basadas en agentes autónomos [76].

La primera razón de usar SBA es descubrir comportamientos que emergen fruto de las interacciones entre los agentes, pero que no han sido tenidos en cuenta en la preparación de emergencias. La segunda razón es la capacidad de procesamiento paralelo de las SBA que justifica la tendencia creciente en el uso de SBA en la planeación de emergencias [53]; y la tercera razón es aprovechar SBA existentes que incorporan mecanismos de coordinación en la atención de emergencias que no muestran la simulación en mapas reales [1] pero que lo podrían hacer si logran la interacción con los SIG.

La integración entre SBA y SIG permite al SIG procesar más rápidamente la información para visualizar ubicación de personas [34], permite a la SBA usar datos geo-espaciales [34] y permite a los SIG aprovechar reutilizar la lógica de procesamiento incluida en las SBA [35] [36] [37] [38] [39][40] [41].

La interacción con los SIG es compleja por las diferencias semánticas que plantean estos sistemas con respecto a otros [20], porque se requiere que la interacción con los SIG se haga a través de entornos de red distintos [21] y porque, a pesar que existen técnicas de geo-simulación que usan modelado basado en agentes e integración de plataformas SIG [22], éstas técnicas aplican cuando se desarrolla el SIG en forma paralela a la SBA. A pesar de lo anterior, existen casos en los que no es posible desarrollar el SIG paralelamente con la SBA, debido a que tanto el SIG como la SBA ya están desarrollados.

Existen en Colombia SIG que muestran posibles vías de evacuación [68], sistemas que contienen concentraciones de energía eléctrica muy útiles cuando se presentan emergencias por tipo fuego [69], sistemas que contienen concentraciones de amenazas por remoción en masa útiles para ubicar los organismos de atención en sitios donde no exista peligro de desliza-

mientos [70], sistemas que contienen sitios de amenazas volcánicas, los cuales son susceptibles en momentos de incendios [71]. Los anteriores SIG no usan interacciones con SBA, simplemente explotan las funcionalidades de ubicación y georeferenciación provistos por los SIG.

Existen de otra parte SBA que incorporan la posibilidad de simular distintas configuraciones de mecanismos de coordinación en atención de emergencias [1], simuladores que modelan situaciones de crisis en ambientes urbanos [72], pero carecen de información espacial que puede ser provista por los SIG.

En Bogotá hay localidades como la de Usme en la cual las áreas afectadas por incendios forestales se han incrementado en los últimos años según estudios del Observatorio Ambiental de Bogotá [77]. El 3 de enero de 2010 por ejemplo un incendio de grandes magnitudes consumió parte de los cerros de la periferia sur oriental de la capital de la República y provocó una humareda en los barrios circunvecinos que afortunadamente pudo ser controlada con la ayuda de los bomberos de Bogotá, la Defensa Civil y la Aeronáutica Civil, el problema fue que la emergencia tardó 3 días en controlarse [78]. Adicionalmente Usme es una localidad que cuenta con sólo una estación de bomberos con 10 bomberos y una densidad poblacional creciente [79], lo cual la hace vulnerable en situaciones de crisis por fuego.

Se tiene entonces una oportunidad de integrar SBA con SIG, para ayudar en la planificación de la coordinación entre múltiples agencias de atención de emergencias, haciendo que los SIG entreguen información del sector de Usme que pueda ser usada por las SBA y a su vez por las agencias involucradas.

Pensar en términos de arquitectura cuando se interactúa entre SBA y SIG permite mayor interacción y escalabilidad del sistema [23], ésta es la razón por la cual una estrategia arquitectónica se plantea como una estrategia de interacción entre SBA y SIG. Adicionalmente, esto permite contribuir al conocimiento del proceso y del producto de diseño, haciendo que la contribución pueda ser usada para integrar sistemas similares en otro contexto.

## I – PLANEACIÓN DEL PROYECTO

En esta sección se exponen los elementos más relevantes necesarios para comprender la planeación del proyecto. Detalles del mismo se encuentran en (anexo Propuesta Trabajo de Grado [M]).

### 1. Objetivos

El proyecto de “Estrategia Arquitectónica de Interacción entre simuladores y SIG para visualizar zonas vulnerables en crisis” presenta los siguientes objetivos.

#### 1.1 Objetivo general

Diseñar una arquitectura de interacción entre simuladores basados en agentes y sistemas de información geográficos para sistemas de visualización<sup>1</sup> de ubicación de personas vulnerables en una crisis.

#### 1.2 Objetivos específicos

1. Análisis de necesidades e infraestructura tecnológica con que cuentan los organismos de atención de crisis en la localidad de USME para visualización de ubicaciones de personas antes de la ocurrencia de una crisis.
2. Evaluar arquitecturas de visualización de personas vulnerables en crisis, arquitecturas de interacción entre simuladores basados en agentes y SIG y arquitecturas para modelar responders usando agentes.
3. Desarrollar un modelo arquitectónico que permita simular la ubicación de personas vulnerables entre 6 y 10 años usando servicios de localización e interacción entre un sistema basado en agentes y SIG.
4. Probar la estrategia arquitectónica con el caso de estudio de visualización de ubicación de niños de primaria expuestos a crisis y atendidos por centrales de bomberos en la localidad de USME usando el “A Framework for ICT-Supported Coordination in Crisis Response” con un sistema de información geográfico.

---

<sup>1</sup> El término visualizar se refiere a “Hacer visible una imagen en un monitor”. Tomado del diccionario de la Real Academia Española. Consultado el día 4 de Junio de 2012

## 2. Marco teórico

A continuación se presentan los conceptos que permiten contextualizar el presente trabajo de grado.

El término crisis se relaciona con situaciones dificultosas [42], de desastre [43] y es tomado en el trabajo investigativo para definir los procesos de atención de emergencias realizados por los bomberos en situaciones de fuego, como procesos de atención de crisis. Para mayor detalle remítase al anexo "Estado del arte [L]" en donde se plantea que la visualización es una estrategia válida para apoyar procesos de atención de crisis.

Las crisis requieren alta capacidad de procesamiento y es aquí donde las SBA potencialmente son útiles para modelar este tipo de problemas [54] gracias a los mecanismos de colaboración y coordinación eficientes propios de las SBA [55]. En la investigación se usó una SBA que carecía de visualización sobre mapas reales [1] y para concretar la estrategia de visualización se plantea su interacción con un sistema de información geográfico (SIG), el cual tiene unas características que se definen a continuación.

Teniendo en cuenta que un SIG es un conjunto de herramientas que permiten obtener, almacenar, gestionar, analizar y modelar datos geográficos para resolver problemas espaciales [50], permiten mostrar información geográfica [51] y analizar relaciones espaciales entre objetos usando relaciones topológicas [52]; se aprovechan estas prestaciones de los SIG, para proponer una integración de estos, con una SBA lo que teóricamente permitiría observar comportamientos de los agentes durante la emergencia [55]. La integración en el proyecto se fundamenta en el término interoperabilidad que se explica en la siguiente sección.

La propuesta de integración entre SIG y SBA, planteada, es contextualizada en la investigación a la luz de criterios de interoperabilidad [45], vista como “la habilidad de dos o más sistemas, redes de comunicación, aplicaciones o componentes para intercambiar información entre ellos y para usar la información que ha sido intercambiada” [46]. Del concepto de interoperabilidad se estudian los criterios siguientes para desarrollar la arquitectura propuesta: 1) resultados deseados, 2) disponibilidad de información, 3) nivel de integración [13]. También se tuvieron en cuenta los criterios de interoperabilidad establecidos por McCall [14]: 4) Modularidad, 5) Interoperabilidad en comunicación e 6) Interoperabilidad en datos [44]. Finalmente, teniendo en cuenta que la interoperabilidad buscada está íntimamente ligada con temas de comunicaciones, se han seleccionado los siguientes criterios adicionales: 7) Rapidez [15], 8) Completitud [16], 9) Escalabilidad [17] y 10) Eficiencia [18].

Aunque existen definiciones de interoperabilidad como el del ITF (Interoperability Technical Framework) [47] y el del programa europeo IDABC (Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations, Businesses and Citizens) [48], estas definiciones no son tomadas debido a que describen la interoperabilidad a nivel organizacional y la interoperabilidad buscada en el proyecto es a nivel de sistemas.

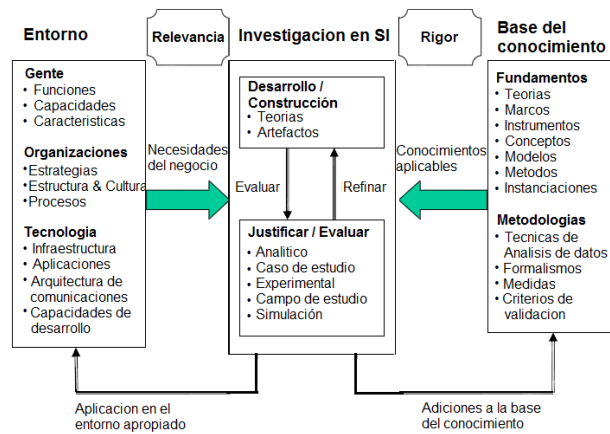
La definición de interoperabilidad usada en la validación del prototipo es la del CEN-TC251 (Comité Europeo de Normalización) “asociación que existe entre dos entidades de aplicaciones, en relación con una tarea específica, cuando una aplicación puede aceptar datos de la otra



y llevar a cabo una tarea de forma apropiada y satisfactoria sin necesidad de intervención externa” [49]. Esta definición permite durante el proyecto comprobar que se logra interoperabilidad cuando la SBA es capaz de enviar datos al SIG, de tal suerte que éste último pueda realizar su tarea de visualización sin intervenciones externas.

### 3. Método

La figura 1, muestra la metodología planteada para el desarrollo de la investigación. Se fundamenta en la ciencia basada en el diseño [19], en donde se presentan tres fases principales: Análisis del entorno, Análisis de la base del conocimiento y Construcción y evaluación de la arquitectura de sistema.



**Figura 1.** Modelo de la Ciencia del diseño. Fuente: [19]

Estas tres fases están alineadas con el proceso de desarrollo incremental usado para el establecimiento de la arquitectura de interacción entre SBA y un SIG. La tabla 1 muestra la relación del cumplimiento de estas fases con la estructura del documento y con los anexos del mismo.

**Tabla 1.** Relación entre la metodología de investigación y el proceso de desarrollo incremental usado

Fase según Ciencia del Diseño	Objetivo propuesto de investigación	Fase según el modelo iterativo incremental	Artefacto de cumplimiento de la fase
Análisis del entorno	1. Análisis de necesidades, infraestructura tecnológica (Entorno Ciencia Diseño: Gente, tecnología)	Definición bosquejo de requisitos	Primer documento de estado del arte. También anexos de necesidades
			Anexo “Análisis de necesidades a partir del entorno
			Tabla de análisis de necesidades vs contextualización de requerimientos

Análisis de la base del conocimiento	2. Evaluar arquitecturas de visualización, arquitecturas de interacción (Ciencia del Diseño: Base de conocimiento)	Asignar requisitos a los incrementos	Se usan atributos arquitectónicos provenientes de la base de conocimiento. Una aproximación a estos atributos se tienen en el artículo sometido titulado "Hacia la integración de un sistema de información geográfico y una simulación basada en agentes"	
			Se tienen en cuenta un análisis de necesidades a partir de la base de conocimiento ANEXO C: Análisis de necesidades a partir de la base de conocimiento. Se diseñan como se establecerían los cuatro incrementos, con sus respectivos objetivos y atributos ANEXO D: Proceso iterativo de desarrollo de arquitectura siguiendo modelo incremental	
Construcción y evaluación de la arquitectura de sistema	3. Desarrollar un modelo arquitectónico (Investigación Ciencia Diseño)	Diseñar la arquitectura del sistema	Estudio de arquitecturas existentes	Este estudio se encuentra en el artículo sometido titulado "Hacia la integración de un sistema de información geográfico y una simulación basada en agentes"
			Establecimiento de estrategias candidatas para soportar integración entre SIG con SBA	Estas estrategias se encuentran en el artículo sometido titulado "Hacia la integración de un sistema de información geográfico y una simulación basada en agentes"
		Propuesta de arquitectura inicial para refinar		
		Propuesta de arquitectura de referencia que usa el patrón Patrón Client Dispatcher Server		
	4. Probar la estrategia arquitectónica con el caso de estudio de visualización de ubicación de niños de primaria expuestos a crisis y atendidos por centrales de bomberos en la localidad de USME usando el "A Framework for ICT-Supported Coordination in Crisis Respon-	Desarrollar incrementos del sistema	Validar incrementos	Proceso documentado en el anexo "Proceso iterativo de desarrollo de arquitectura siguiendo modelo incremental"
			Integrar incrementos	Proceso documentado en el anexo "Proceso iterativo de desarrollo de arquitectura siguiendo modelo incremental"
			Verificar el sistema	Verificación de la arquitectura
Verificación de coherencia conceptual e inicial de la arquitecta del sistema				
	Verificación del software desarrollado			

se” con un sistema de información geográfico. (Investigación Ciencia Diseño)		Verificación de la arquitectura a partir de atributos de calidad y patrones
	Validar el sistema	Validación del prototipo con TAM
	Validación final	Validación triangulada de la arquitectura vs requerimientos

En la tabla 1 se aprecia que la construcción y evaluación de la arquitectura promulgada por la ciencia del diseño, se hace a través de incrementos iterativos del sistema los cuales guardan relación con la metodología de investigación. A continuación se explican cada una de las fases mencionadas en la tabla I.

La investigación parte de un análisis del entorno en donde concretamente fruto de un análisis de necesidades e infraestructura tecnológica (anexo Análisis de necesidades e infraestructura tecnológica de los bomberos de la localidad de USME [A]) se detecta que la atención de incidentes forestales al igual que la preparación antes y durante la emergencia es el cuello de botella relevante, vistos por los bomberos se Usme. Al finalizar esta fase se han mapeado necesidades del entorno a requerimientos provenientes del entorno (anexo Análisis de necesidades a partir del entorno [B]).

En la construcción de la base de conocimiento se hace a través de un estudio de patrones tanto de arquitectura como de diseño que se estudian para analizar su viabilidad de utilización en la arquitectura propuesta. De otra parte se analizan las estrategias para lograr la integración propuesta (Propuesta Artículo sometido al CLEI [N]), se realiza una revisión de los conceptos de crisis y visualización (anexo Estado del arte [L]) y se concluye con unos requerimientos de la arquitectura provenientes de la base de conocimiento (anexo Análisis de necesidades a partir de la base de conocimiento [C]).

La última fase de construcción y validación del modelo se hace a través de un proceso de desarrollo incremental (PDI) (anexo Proceso iterativo de desarrollo de arquitectura siguiendo modelo incremental [D]) que produce una arquitectura que finalmente es validada usando verificaciones de coherencia conceptual (anexo Verificación de coherencia conceptual e inicial de la arquitecta del sistema [F]), verificaciones a partir de atributos de calidad (anexo Verificación de la arquitectura a partir de atributos de calidad y patrones [H]) e incluso validaciones con los organismos directamente implicados (anexo Validación del prototipo con TAM [I]). El resultado de las validaciones hechas (anexo Validación triangulada de la arquitectura vs requerimiento [J]) arroja que el sistema y que el prototipo (anexo Video prototipo [K]) cumplen con los requerimientos inicialmente planteados en gran medida.

## II – DESARROLLO DEL PROYECTO

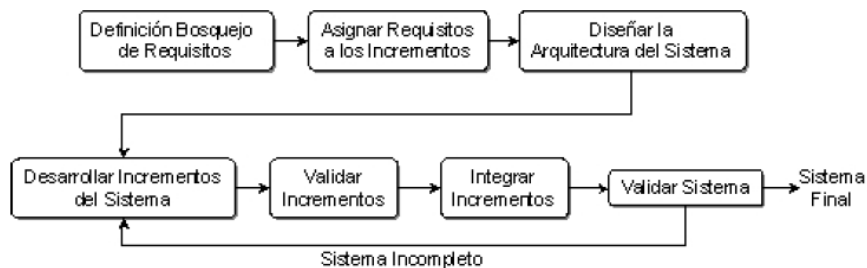
### 1. Proceso de desarrollo

Antes de iniciar el proceso de desarrollo se realizó un estado del arte (anexo Estado del arte [L]) que refleja como la visualización de los simuladores se puede mejorar a través de su integración con sistemas de información geográfica (SIG), ya que permite a los simuladores basados en agentes (SBA) mostrar sus resultados sobre mapas reales. También se descubren variables que afectan el problema de interoperabilidad, y son precisamente estas variables las que al refinarlas permiten bosquejar los requerimientos del proceso de desarrollo, que es el primer paso del modelo de proceso de desarrollo incremental.

El proceso de desarrollo seguido se basa en un modelo de proceso de desarrollo iterativo e incremental, el cual se ha convertido en un modelo de proceso importante en la industria y nos permite una buena relación entre el desarrollo y las pruebas [6]. El proceso de desarrollo en esta investigación cobra especial énfasis teniendo en cuenta que la calidad del proceso de software es la que produce un producto de software de alta calidad [7]. De otra parte, el proceso de desarrollo iterativo e incremental seguido en la investigación usa las decisiones arquitectónicas como eje fundamental para establecer los incrementos. Esto es factible hacerlo debido a que el desarrollo incremental permite rastrear la toma de decisiones en los requisitos hasta adquirir experiencia con el sistema [8].

Para la documentación de la arquitectura existen varios estándares como el “Modelo de 4+1 vistas de la arquitectura de software” de Philippe B. Kruchten [9] y el de Robert L. Nord y compañía titulado, “La arquitectura de software en aplicaciones industriales” [10]. Se toma como base la recomendación IEEE 1471 que identifica las buenas prácticas para establecer un marco y un vocabulario para desarrollo de una arquitectura de software [56]. (La actualización de esta norma es la ISO / IEC 42010 [57]).

Las fases del proceso de desarrollo iterativo incremental se muestran en la figura 2. Dichas fases se explican en las secciones 1.1 a 1.5, en donde la sección 1.4 agrupa el desarrollo de incrementos, la validación de incrementos y la integración de incrementos.



**Figura 2.** Modelo de desarrollo iterativo incremental [6]

## 1.1 Definición de requerimientos

El análisis de necesidades (anexo Análisis de necesidades e infraestructura tecnológica de los bomberos de la localidad de USME [A]) deja en evidencia que la planeación de emergencias es útil en el cuerpo de bomberos de Usme.

Para la realización del bosquejo de requerimientos fue necesario realizar las siguientes actividades:

- Un análisis de necesidades tecnológicas de los bomberos (anexo Análisis de necesidades e infraestructura tecnológica de los bomberos de la localidad de USME [A])
- Un análisis de necesidades de integración a partir del entorno, de las organizaciones, de la tecnología y a partir del caso de aplicación (anexo Análisis de necesidades a partir del entorno [B]).

Una vez realizadas las actividades anteriores, se obtuvo un bosquejo de requerimientos, que permiten describir el requerimiento en términos de los atributos de calidad que se ven involucrados con mayor relevancia para el cumplimiento del mismo. La tabla 2 muestra la contextualización de los requerimientos obtenidos a partir de necesidades tanto del entorno como de la base de conocimiento. El “Id necesidad” cuando inicia con las letras EG indica necesidad a partir del entorno-gente, cuando inicia con EO indica entorno-organizaciones, cuando inicia con ET indica entorno-tecnología, cuando inicia con EC indica entorno-caso-aplicación, cuando inicia con BF indica base-de-conocimiento-fundamentos, cuando inicia con BM indica base-de-conocimiento-metodologías.

**Tabla 2.** Análisis de necesidades vs requerimientos contextualizados

<b>Id</b>	<b>Id necesidad</b>	<b>Requerimiento contextualizado</b>
R1	EG1	Se requiere que la simulación incorpore mecanismos para resolver problemas de ubicación y coordinación
R2	EG2	Se requiere que la integración se haga con una simulación y que el SIG esté basado en ArcGIS.
R3	EG3	Es importante que la simulación al final se ejecute sobre un mapa real
R4	EG4	Es importante contar con un sistema que permita obtener el número de personas que son víctimas en un incendio
R5	EO1	El mapa ayuda a localizar más fácilmente las víctimas y sobre todo en un ambiente de visualización.
R6	EO2	La información hidrológica es sobre todo muy útil en incendios forestales, debido a que ayuda a establecer la rapidez con la que potencialmente se propagaría el incendio
R7	EO3	El análisis de la necesidad organizacional de crear simuladores, simplemente ayuda a justificar el proyecto y le da una viabilidad organizacional dentro de la amplia estructura de procesos del cuerpo de bomberos de Usme

R8	EO4	Le da impacto al proyecto con el caso de aplicación de incendios forestales. Corrobora que los incendios forestales son una buena alternativa de caso de estudio
R9	ET1	Se requiere que la aplicación pueda ejecutarse sin necesidad de tener conexiones a internet.
R10	ET2	Se requiere inicialmente una simulación que trabaje sin parámetros de vegetación, ya que esta información actualmente no es usada por los bomberos de Usme.
R11	ET3	Se requiere que la interacción la puedan usar los bomberos en Usme, teniendo en cuenta que ellos carecen de altos conocimientos físicos sobre el comportamiento del fuego
R12	ET4, ET5	Se requiere que la integración funcione inicialmente sin solicitar esta información de topografía al usuario final
R13	ET6	Se requiere máximo 3 segundos como valor de retardo después que la SBA entregue información al SIG y este sea capaz de procesarla.
R14	ET7	Inicialmente no se evaluará la completitud de los posibles casos concretos entre SIG y SBA, sino que se basará en que el modelo se pueda aplicar en un caso específico
R15	ET8	Se requiere que funcione con diversos tipos de datos geográficos
R16	ET9	La integración entre el SIG y la SBA es útil en la medida en que se permita la visualización.
R17	EC1	Inicialmente se requiere que el simulador funcione para el caso de incendios forestales
R18	EC2	Por tanto, un requerimiento es buscar colegios que tengan riesgos por incendios.
R19	BF1	Es útil la visualización georeferenciada
R20	BF2	Esto comprueba que la estrategia de integración entre SIG y SBA es socialmente útil
R21	BF3	Esto da a entender que el rendimiento y el movimiento en tiempo real de los agentes sobre el SIG es una de las metas arquitectónicas
R22	BF4	Esto da a entender que una forma de medir que la integración es útil es porque de una manera geo-espacial se ha mejorado la visualización
R23	EG3	Buscar formas y modelos para manejar el movimiento de los agentes acorde a la realidad, debe ser una de las metas de la arquitectura
R24	BF5	Una forma de verificar que la simulación es coherente es que los agentes respondedores deben moverse en forma coherente hacia los agentes víctimas
R25	BF7	Se requiere que se haga un estudio de patrones o técnicas formales que mejoren la visualización
R26	BF6	Se requiere que el sistema sea capaz de enviar datos desde el simulador hasta el SIG y se puede evaluar en la medida en que el SIG pueda usar la información que ha sido enviada por el SBA. Esto es de otra forma una forma de evaluar el sistema.
R27	BF8	Se requiere incluir la meta arquitectónica de modularidad
R28	ET6	Se requiere incluir la meta arquitectónica de interoperabilidad en comunicación
R29	BF11	Se requiere incluir la meta arquitectónica de interoperabilidad en datos

R30	EG3	Se requiere que los resultados deseados inicialmente estén relacionados con la posibilidad que se puedan visualizar la posición de los agentes en el SIG
R31	BF13	El primer nivel de disponibilidad se define como la posibilidad que la información producida por el SBA esté disponible para ser procesada por el SIG
R32	ET4, ET5	Se requiere definir niveles de integración
R33	BF4	Se deben buscar patrones de diseño que permitan que la presentación de los datos sea independiente de la fuente de donde se obtienen los datos
R34	ET6, ET7, Y ET8	Se requiere estudiar modelos de interoperabilidad
R35	ET8	El requerimiento arquitectónico de escalabilidad es importante en la estrategia de integración
R36	BF7, BM1, BM2, BM4	La incorporación de patrones es una necesidad y un requisito desde el punto de vista arquitectónico
R37	BM5	Deja entrever que la forma para medir la integración es que efectivamente se logre visualizar las zonas de mayor tráfico
R38	BM6	Deja entrever que se puede validar la integración en la medida en que los agentes estén geo-localizados y en la medida en que sea usable el sistema por otras personas
R39	BM6, BM3	Deja entrever que los incrementos de refinamiento de la arquitectura, terminan cuando se logra un movimiento muy similar al que se tiene en el SBA sin el uso de SIG.
R40	ET10, ET11	El SIG debe beneficiarse de la interacción con el SBA en el sentido que logra que el movimiento de los objetos en el SIG esté direccionado por agentes y de otra parte la SBA se beneficia de la interacción con el SIG, en el sentido que logra que el movimiento de los agentes se realice sobre un mapa real.

El mapeo de las necesidades con los requerimientos del entorno, puede ser consultado en el anexo B (anexo Análisis de necesidades a partir del entorno), en tanto que las necesidades con los requerimientos a partir de fundamentos y metodologías puede ser consultado en el anexo C (anexo Análisis de necesidades a partir de la base de conocimiento). Finalmente, los requerimientos de la tabla 2, con cubiertos a través de un proceso iterativo, que requiere una asignación de requisitos a cada iteración; tal como se muestra en la siguiente sección.

## 1.2 Asignación de requisitos para cada iteración

La asignación de requisitos a los incrementos no es más que la planeación del proyecto de una forma estructurada para ir controlando los incrementos. La tabla 3 muestra los objetivos asociados a cada uno de los incrementos del proceso de desarrollo incremental iterativo seleccionado en donde la primera columna corresponde con el identificador del incremento y la segunda con el objetivo asociado a dicho incremento.

**Tabla 3.** Planeación de los incrementos

<b>Id I</b>	<b>Objetivo</b>
I_1	Preparar el SIG y la SBA para futuros incrementos

I_2	Realizar una versión inicial de la arquitectura que permita algún tipo de interacción
I_3	Probar la interacción entre los dos sistemas con varios agentes
I_4	Lograr que la visualización sobre el SIG sea similar a la de la SBA

En donde cada incremento tiene asociados unos atributos arquitectónicos como en la tabla 4, en la que adicionalmente se relacionan los atributos de calidad implicados con una descripción contextualizada del objetivo arquitectónico por cada incremento descrito en la tabla 3.

**Tabla 4.** Instanciación de atributos de calidad por incremento

ID_A	Atributos calidad	Objetivos arquitectónicos
1_1	Confiabilidad:	Confianza. El servicio de simulación debe ser continuo sin importar si el acceso de internet existe o no
1_2	Desempeño:	Velocidad. Se requiere que el sistema transfiera lo más rápido posible, datos del simulador al SIG y que el SIG en tiempo real los capture para posteriormente procesarlos. Tiempo requerido para responder al evento de envío de datos de coordenadas por parte del SBA, en el SIG debe ser de menos de 1 segundo. El número de agentes N, donde N inicialmente es 15 deben enviar información al SIG en menos de un segundo, porque el sistema SIG se refresca cada segundo
1_3	Usabilidad:	Facilidad de comprensión. El sistema debe ser intuitivo en su funcionamiento
1_4	Desempeño:	Uso de memoria. El hecho de usar ArcGIS hace que el uso de memoria sea grande, con lo cual se requiere que el uso de memoria por parte de los componentes sea mínimo con el ánimo de no saturar la máquina y evitar posibles errores de memoria
1_5	Mantenibilidad:	Capacidad de ser cambiado, analizado y probado. Todos los módulos del sistema deben ser susceptibles de ser probados y analizados en forma independiente
1_6	Interoperabilidad con bajo acoplamiento	Interoperabilidad con bajo acoplamiento, es el objetivo inicial de este proyecto. Sin embargo es probable que para mejoras futuras de próximos proyectos se note la importancia de lograr un mayor acoplamiento entre el SIG y la SBA
2_1	Funcionalidad:	Exactitud. El SIG debe estar sincronizado con la SBA para que cuando un civil se vuelva víctima en la SBA, este cambio se refleje en el SIG.
2_2	Funcionalidad:	Cumplimiento funcional. Se requiere que inicialmente los agentes se muevan como lo ordena la SBA en el SIG. Concretamente se requiere que al culminar una simulación, los agentes visualizados en el SIG se detengan y cuando la SBA comience automáticamente, se pase a un estado de escucha nuevamente por parte del SIG para comenzar a visualizar nuevamente la graficación. Todo esto dado que la simulación se realiza con varios experimentos en la parte del SBA que se usa Portabilidad: Coexistencia. Se requiere que este movimiento de los agentes se haga sin alterar inicialmente el funcionamiento de la SBA, ni el funcionamiento del SIG



2_3	Funcionalidad:	Cumplimiento funcional. Se requiere que los agentes responders se muevan hacia los agentes victimas y que la lógica implementada en el SBA se pueda llevar a cabo en el SIG, inicialmente sin tener en cuenta cuestiones de tráfico o demás cuestiones que inicialmente no fueron contempladas en el SBA.
2_4	Portabilidad:	Coexistencia. El software de SIG debe ser capaz de recibir información de la SBA, sin afectar el funcionamiento de la SBA. Eficiencia: Comportamiento temporal. El sistema debe tener pocas interacciones cuando la SBA tenga agentes que no se estén moviendo, de otra parte cuando los agentes están en movimiento y el número de agentes que están en movimiento es algo, el numero de interacciones desde la SBA hacia el SIG debe ser alto.
2_5	Funcionalidad:	Interoperabilidad. El sistema debe incluir interoperabilidad en comunicación, es decir las posiciones informadas por el SBA, deben ser usadas por el SIG. Usabilidad: Capacidad para ser entendido. Las posiciones informadas por la SBA deben ser comprendidas por el SIG, luego deben ser transformadas a coordenadas que acepte el SIG para su posterior visualización
2_6	Usabilidad:	Comprensión. Los usuarios deben poder comprender en que sitio están las víctimas con respecto al mapa
2_7	Funcionalidad:	Exactitud. Se debe georeferenciar acorde al sistema de coordenadas que tenga cada mapa en el SIG
2_8	Desempeño:	Velocidad. La rapidez con la que se muevan los agentes por la simulación debe estar casi sincronizada con la del SBA, ya que la visualización debe ser lo más aproximada a la realidad que ven los agentes.
2_9	Eficiencia:	Comportamiento en el tiempo. Se requiere que el tiempo máximo sean tres segundos desde que la SBA entrega datos al SIG, hasta que el SIG la coloca gráficamente y es visible por el usuario del sistema.
2_9	Desempeño:	Velocidad. Dado que cargar un mapa sobre ArcGIS es computacionalmente una tarea de alto consumo de recursos, se requiere la búsqueda de técnicas como las del paralelismo para graficar los agentes en una interfaz común, en caso de presentarse retardos en la visualización
2_10	Mantenibilidad:	Capacidad de ser cambiado, analizado y probado. Todos los módulos del sistema deben ser susceptibles de ser probados y analizados en forma independiente
2_11	Eficiencia:	Comportamiento temporal. El sistema debe proporcionar rápidos tiempos de respuesta una vez la SBA envía datos al SIG. Eficiencia: Utilización de recursos. Cuando el número de agentes crezca, no debe deteriorarse la rapidez con la que se envían datos, lo qu hace necesario que se tengan que adoptar medidas para crear mecanismos que así usen mayor cantidad de recursos hagan que la rapidez de envío de datos, se no se vea afectada.
2_12	Mantenibilidad:	Capacidad para ser probado. Se debe poder probar por tipos de agentes y por agentes individuales que la posición enviada por la SBA es procesada correctamente por el SIG
3_1	Funcionalidad:	Exactitud. La visualización de zonas con mayor tráfico requiere mayor exactitud y debe reflejarse dicha exactitud también en la visualización.

3_2	Mantenibilidad:	Facilidad de cambio. En próximas versiones se podría reemplazar por un módulo que incorpore la solicitud al usuario de información de topografía y debería funcionar si se le hace este cambio a futuro
3_3	Confiabilidad:	La integración entre el SIG y la SBA es útil no solo en la medida en que se permita la visualización, sino también en la medida en que se pueda confiar en la visualización que se muestra al usuario
3_4	Desempeño:	Rendimiento. Se deben enviar datos de la SBA hacia el SIG cuando las posiciones hayan cambiado, de otra parte el SIG no debería recibir notificaciones para aumentar el rendimiento y disminuir el tráfico de red
4_1	Fiabilidad:	Recuperabilidad: Se requiere que ante un problema de coordinación, los mecanismos de coordinación le den al sistema esa recuperabilidad
4_2	Desempeño:	Uso de memoria. El hecho de usar un mapa real sobre ArcGIS, hace que el consumo de la máquina con solo cargar el mapa sea grande, con lo cual bien vale la pena buscar rendimiento en el resto de los componentes de integración con el fin de evitar bloqueos por falta de memoria en el sistema
4_3	Seguro:	Safety Critical. A futuro se quiere que el simulador evite pérdidas de vidas humanas, pero esto es una utopía implementarlo para el proyecto de investigación
4_4	Usabilidad:	Operatividad. Se requiere que lo puedan usar los bomberos de Usme. Usabilidad: Atractividad. Se requiere que lo quieran usar los bomberos de Usme
4_5	Portabilidad:	Adaptabilidad. La idea es que el modelo teórico funcione en cualquiera de los casos concretos de forma correcta, sin embargo dado que esto no es posible para la versión inicial del sistema, lo que sí se quiere es que el modelo arquitectónico se adapta a cualquier caso concreto
4_6	Funcionalidad:	Interoperabilidad. Se requiere que cualquiera que sea el tipo de dato geográfico, funcione el sistema
4_7	Funcionalidad:	Exactitud. La visualización de zonas con mayor tráfico requiere mayor exactitud y debe reflejarse dicha exactitud también en la visualización. Inicialmente dado que el mapa contiene pocos elementos y pocos agentes, no se hace necesario llegar a un nivel avanzado de visualización con alto nivel de tráfico, pero seguramente en un futuro será un tema que ocupará un tema central en las próximas decisiones de diseño
4_8	Funcionalidad:	Exactitud. La visualización de zonas con mayor tráfico requiere mayor exactitud y debe reflejarse dicha exactitud también en la visualización.

En la tabla 4, el identificador del atributo comienza por uno cuando pertenece al primer incremento, por 2 cuando pertenece al segundo incremento y así sucesivamente.

Cabe mencionar que desde la misma planeación de las iteraciones se define cómo probar que los objetivos asociados a cada iteración se cumplieron. Esto se logra proponiendo los siguientes escenarios que no son más que situaciones extremas que potencialmente provocarían errores de ejecución en caso que no se hayan cumplido los objetivos de cada iteración. La tabla 5 identifica estos escenarios.

**Tabla 5.** Identificación de los escenarios

ID Escenario	Explicación
E1	La SBA inicia primero que el SIG
E2	El SIG inicia primero que la SBA
E3	Se tienen imágenes tipo Raster
E4	Se tienen datos vectoriales
E5	Se tiene una gran cantidad de agentes enviando información al SIG
E6	Se quiere verificar que la georeferenciación sea correcta

La tabla 6 usa los atributos y escenarios de la tabla 5 para planear tareas con el fin de cumplir con los atributos de calidad.

**Tabla 6.** Planeación de incrementos para cumplir con requerimientos y con atributos de calidad

In-cremen-to	Esce-narios impli-cados	Atributos Calidad	Decisiones	Requerimien-to afectado
I_1	E3 y E4	1_1	Preparar la SBA para la integración	EO4, ET3, EC1, BF7, ET6, BF11
		1_2	Decidir que SIG se usará y qué mapa se usará	
		1_3	Crear el SIG usando el mapa obtenido anteriormente	
		1_4, 1_1	Solucionar el problema de licencias de ArcGIS por código	
		1_5	Permite acceso a ciertas herramientas de ingeniería provistas por ArcGIS.	
		1_6	Definir las herramientas extendidas que son necesarias	
		1_3	Definir el visor de ArcGIS que se usará para la interacción	
I_2	E1 y E2	2_1, 2_2, 2_3, 2_4, 2_7, 2_9, 2_2_12	Seleccionar ¿Qué tecnología de integración se usará?	EG2, EG3, ET4, ET5, ET6 ET8, ET9, BF1 BF3
		2_4, 2_5, 2_6, 2_8, 2_10, 2_11	Seleccionar ¿Qué modelo geográfico se usará?	
I_3	E5	3_1, 3_4	Lograr que muchos agentes mismo tipo, se geo referencien en el lado del SIG	EG1, EG4, EO1, EO2, EO3, EO4, ET1, ET2, ET7, EC2, BF2, BF4, BF5, BF6, BF8
		3_2, 3_3, 3_1, 3_4	Hacer que no se pierdan agentes	
		3_2, 3_3	Implementar un protocolo de envío de datos al SIG que grafique en coordenadas georeferenciadas un punto proveniente de un sistema externo	
		3_2, 3_3, 3_1, 3_4	Hacer que no se pierdan agentes	

I_4	E6	4_1, 4_2, 4_3, 4_4,	Mejorar la interpretación de datos prove-	BM1, BM2, BM3, BM4, BM5, BM6, ET10, ET11, BF1
		4_5, 4_6, 4_7, 4_8	nientes de la SBA	
		4_1, 4_2	Mejorar los problemas de envío de posicio- nes repetidas por parte de la SBA para me- jorar el rendimiento	

Las columnas con el título E1, E2, E3, E4, E5 Y E6 corresponden con los escenarios que se proyectan cumplir en dicho incremento. De otra parte es bueno observar en la anterior tabla que las decisiones no siempre afectan un atributo de calidad sino que pueden afectar varios atributos de calidad a la vez. Se ha colocado para simplificar el ejercicio los atributos que más relevancia tienen si se realizan acciones para cumplir con la decisión planteada. Un ejercicio similar, pero agrupado por incremento se ha realizado para especificar los requerimientos que se intentan cubrir con el incremento. Esto no quiere decir que al finalizar se tengan que cumplir todos los requerimientos proyectados, porque al igual que en cualquier proyecto de investigación se presentan inconvenientes por el camino que es necesario reconciliar sobre la marcha. De otra parte fruto de la ejecución de los incrementos planteados en la tabla 6 y documentados en el anexo respectivo (anexo Proceso iterativo de desarrollo de arquitectura siguiendo modelo incremental [D]), se establece un diseño inicial que se muestra en la sección 1.3.

### 1.3 Diseño de la arquitectura del sistema

Antes de proponer un diseño inicial para ir refinando a través de incrementos, se hace un estudio de arquitecturas candidatas que podrían soportar el proceso de integración entre SIG con SBA (Propuesta Artículo sometido al CLEI [N]) y finalmente de estas estrategias se elige una arquitectura inicial siguiendo unos criterios para evaluación de las mismas. Sin embargo esta arquitectura inicial es susceptible de mejorar a través de un proceso incremental.

#### Estudio de arquitecturas existentes

El diseño de la arquitectura del sistema tuvo en cuenta las estrategias ortogonales encontradas entre integraciones con SIG y otros sistemas, entre SBA y otros sistemas distintos a SIG y entre SIG con SBA. El listado de las estrategias encontradas se muestra en la tabla 7

**Tabla 7.** Estrategias candidatas para soportar integración entre SIG con SBA

Forma como se obtuvo la estrategia	Nombre de la estrategia
Buscando estrategias para integrar SIG con otros sistemas	Es1. Estrategia de desarrollar una ontología global
	Es2. Estrategia de integrar sistemas basados en la cooperación de bases de datos
	Es3. Estrategia basada en la integración semántica
Buscando estrategias para integrar simulaciones basadas en agentes con otros sistemas	Es4. Comunicación entre sistemas con sockets
	Es5. Comunicación entre sistemas mediante RPC
	Es6. Comunicación entre sistemas con objetos distribuidos
Buscando estrategias para	Es7. Método de acoplamiento flexible para integrar SIG con SBA

<b>Forma como se obtuvo la estrategia</b>	<b>Nombre de la estrategia</b>
integrar SIG con simulaciones basadas en agentes	Es8. Método de acoplamiento cerrado para integrar SIG con SBA
	Es9. Método de acoplamiento full para integrar SIG con SBA

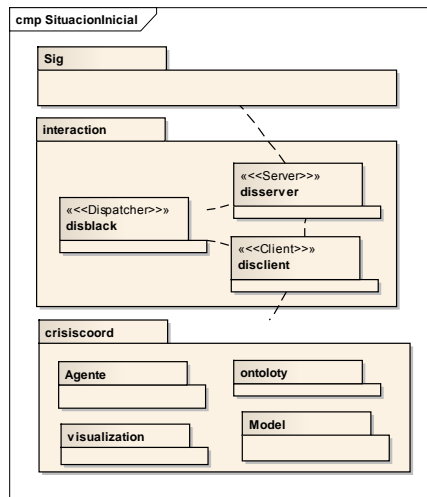
Los siguientes aspectos se han usado para medir el grado de integración de dos sistemas que se comunican: 1) resultados deseados, 2) disponibilidad de información, 3) nivel de integración [13]. También se tuvieron en cuenta los criterios de interoperabilidad establecidos por McCall [14]: 4) Modularidad, 5) Interoperabilidad en comunicación e 6) Interoperabilidad en datos [44]. Finalmente, teniendo en cuenta que la interoperabilidad buscada está íntimamente ligada con temas de comunicaciones, se han seleccionado los siguientes criterios adicionales: 7) Rapidez [15], 8) Completitud [16], 9) Escalabilidad [17] y 10) Eficiencia [18].

Aplicando los anteriores criterios a las estrategias mencionadas se ha establecido que la estrategia arquitectónica más viable para hacer la integración propuesta es la estrategia E4 “Comunicación entre sistemas con sockets”

### **Propuesta de arquitectura inicial para refinar**

Antes de hacer incrementos del sistema se verifica la coherencia del diseño de arquitectura plasmado y para ello se mira la coherencia entre los objetivos de cada uno de los subsistemas planteados con respecto al subsistema al cual pertenece y así en forma recursiva hasta llegar al sistema mayor de interacción. Esta coherencia es a nivel conceptual y permite analizar si los objetivos de cada uno de los componentes más detallados están de acuerdo con los objetivos del componente que lo contiene. El resultado de esta verificación preliminar de coherencia de la arquitectura de sistema revela que es necesario hacer ajustes a la arquitectura cuando se pasa a niveles detallados y una vez solventados estos problemas se ajusta el modelo detallado y se aprueba el modelo global (Esto se puede hacer ya que si conceptualmente el modelo detallado es coherente, con más razón el modelo global). Detalles de estas verificaciones en el anexo F (anexo Verificación de coherencia conceptual e inicial de la arquitecta del sistema [F]).

El diseño preliminar propuesto de arquitectura está basado en Client Dispatcher Server [58]. La figura 3 muestra la arquitectura de referencia, la cual permite ver la interacción entre los dos sistemas. En este caso se muestra que el SIG debe ser capaz de enviar datos de posiciones a la SBA y que la SBA debe enviar solicitudes para moverse, las cuales serán validadas por el SIG. En esta situación vemos que debe tenerse la posibilidad de un intercambio de información en ambos sentidos, con lo cual el patrón arquitectónico que mejor se ajusta al sistema es el patrón Client Dispatcher Server.



**Figura 3.** Arquitectura de referencia que usa el patrón Patrón Client Dispatcher Server

En la arquitectura de referencia, se puede apreciar que antes de lograr la comunicación entre el SIG y la SBA, cualquiera que inicie la comunicación debe preguntarle a un despachador por la ubicación donde se encuentra el otro sistema, acto seguido si se establece comunicación entre estos sistemas. La arquitectura de la figura 3, se detalla a través de incrementos del sistema a fin de ponerla en ejecución a través de un prototipo.

### 1.4 Decisiones arquitectónicas para cada incremento del sistema

La forma como se instancian los incrementos es a través de decisiones arquitectónicas que tiene inmersos objetivos, una vez se haya validado que estos objetivos se han cumplido se hacen las integraciones a la arquitectura de estas decisiones para ir refinando la arquitectura. El resumen de los patrones hallados en cada uno de los incrementos se muestra en la tabla 8.

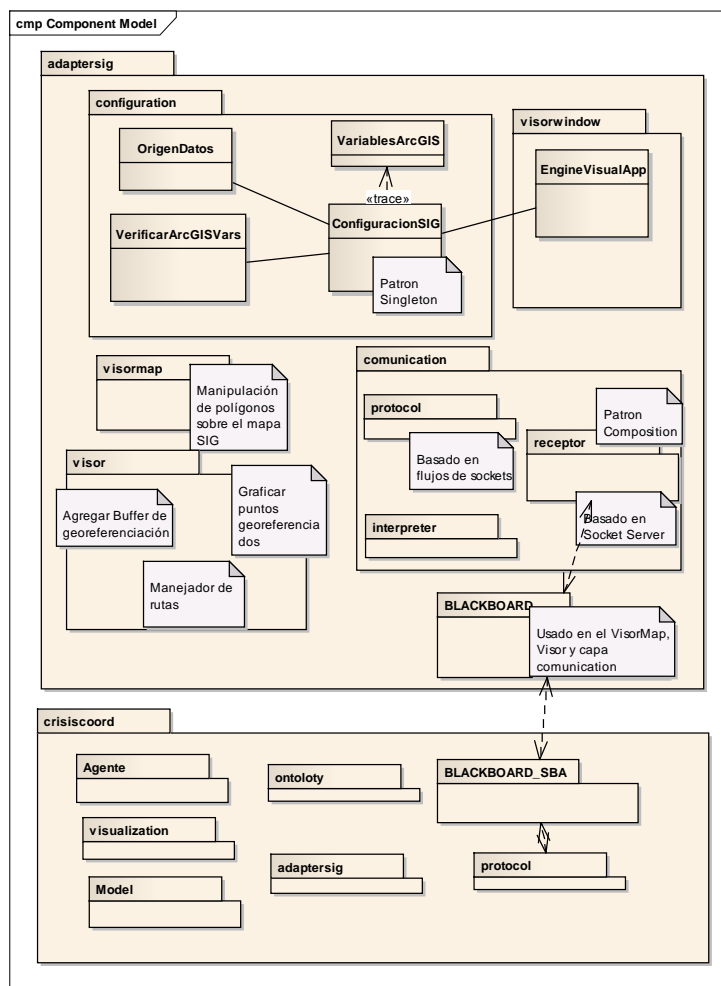
**Tabla 8.** Resultados arquitectónicos al finalizar cada incremento

Incre- mento	Patrones hallados
1	Se establece que el patrón general de arquitectura que debe gobernar la arquitectura es el patrón ClienDispatcherServer.
2	Se establece que por debajo del patrón anterior debe existir un patrón de arquitectura BlackBoard para que los datos estén disponibles en ambos lados, tanto en el SIG como en la SBA (El SIG y la SBA vienen a ser los extremos del patrón ClientDispatcherServer)
3	Se establece que el patrón de diseño composition soluciona problemas de escalabilidad cuando se tengan muchos agentes y mejora el rendimiento del sistema. También permite identificar errores en la transmisión de datos de un sistema a otro.
4	Se establecen los patrones singleton en los componentes de visualización y configuración del SIG. También se establece que el patrón interpreter Command ayuda a solucionar problemas de interpretación de los datos enviados por la SBA hacia el SIG.

Los resultados arquitectónicos por incremento relacionan la arquitectura propuesta con el proceso iterativo. Sin embargo cada incremento se hizo a través de una serie de decisiones arquitectónicas que no se muestran en este apartado, pero que están disponibles en el anexo respectivo (anexo Proceso iterativo de desarrollo de arquitectura siguiendo modelo incremental [D]). Fruto de la realización de los anteriores incrementos se plantea una arquitectura en donde principalmente se tienen dos vistas: La estática y la dinámica de alto nivel.

### Vista Estática de alto nivel

Al final de este proceso iterativo se obtiene la arquitectura refinada de la figura 4, en donde se aprecia que el patrón general arquitectónico es el patrón ClientDispatcherServer y que la capa Dispatcher implementa internamente el patrón de arquitectura “BlackBoard”.



**Figura 4.** Arquitectura refinada después de todos los incrementos

Es importante mencionar que un “BlackBoard” también lo maneja la simulación “Crisi-Coord”, sin embargo como trabajo futuro se deja usar la misma API (WolfieBlackBoard) en

el simulador de crisis a fin de perfeccionar la interacción. La razón para no haber elaborado esta integración es que inicialmente se tendrían que hacer algunas modificaciones a la SBA y el objetivo es mostrar una arquitectura que funcione en la integración de SIG y SBA existentes (hacer modificaciones sustanciales en uno de los dos haría que el modelo sea menos genérico).

La figura 4 muestra que el refinamiento de la arquitectura se logra con la implementación de patrones de diseño tal como se describe a continuación:

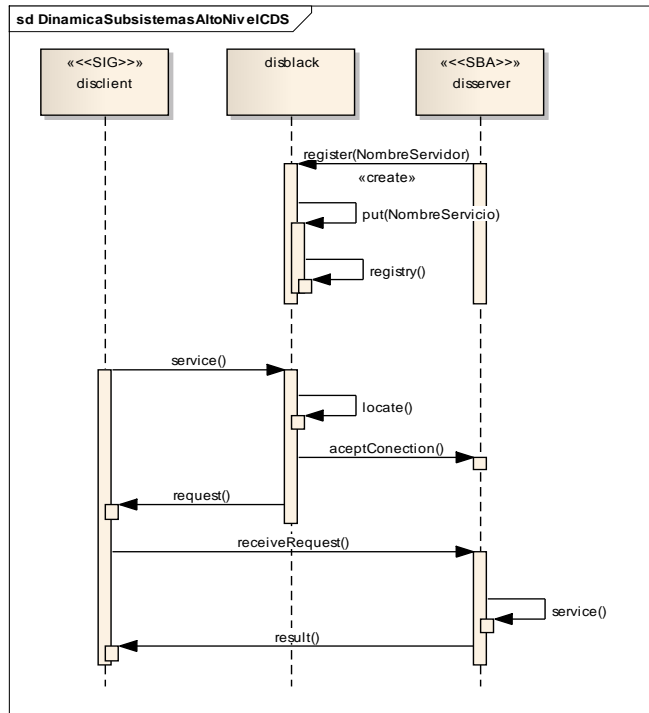
- El patrón singleton en la parte de configuración, permite que no puedan existir dos configuraciones para el SIG, si se hace una configuración y ya existía otra, entonces se sobre escribe la anterior.
- El patrón composition en el paquete receptor permite que se puedan crear coordinadores y que en un futuro el modelo pueda tener coordinadores de más alto nivel que coordinen a coordinadores de bajo nivel. Estos coordinadores ayudan a vigilar cambios en las posiciones por tipos de agentes; es decir existe un coordinador de bomberos que coordina la actualización de las posiciones de los agentes bomberos en el SIG por intermedio de un flujo basado en sockets, en el que detecta cuando un agente ha cambiado la posición. Esto hace que si la SBA envía al SIG la misma posición para un agente, esta petición no se procesa y esto disminuye el trabajo de procesamiento.

Refinando la arquitectura a nivel más detallado se aplican otros patrones como el patrón interpreter para mejorar la interpretación de los comandos enviados por la SBA hacia el SIG. Sin embargo la aplicación de otros patrones detallados de diseño se toma como decisiones menores y por eso en el anterior diagrama no se detallan. Si se desea un detalle de las razones por las cuales se seleccionaron estos métodos para la realización de pruebas remítase al (anexo Pruebas [O]).

**Vista dinámica de alto nivel:** La vista dinámica de la arquitectura de alto nivel de la siguiente figura muestra que la arquitectura a nivel de interacción tiene tres capas: la capa SIG, la capa SBA y la capa “disblack”, que actúa como la capa despachadora siguiendo el patrón arquitectónico ClientDispatcherServer. Sin embargo el nombre no se ha colocado “Dispatcher”, debido a que fruto de refinar la capa intermediadora se tomó la decisión que al interior de esta capa debería estar el patrón de arquitectura blackboard y para especificar esta situación a la capa intermedia se la he colocado el nombre “disblack”. La interacción mostrada en la figura 5 corresponde con la interacción usando el patrón Client Dispatcher Server [58].

**Figura 5.** Validación vista dinámica de alto nivel





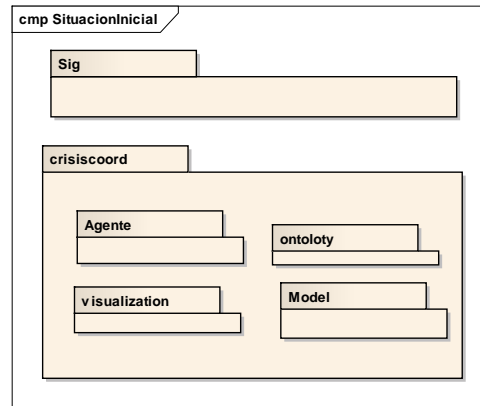
De otra parte es bueno recordar que el patrón CLient Dispatcher Server permite a dos sistemas interactuar en un momento dado como clientes o como servidores y por esta razón la vista dinámica de la arquitectura permite que en momento dado el cliente sea la SBA, momento en el cual la SBA actuaría como aplicación servidora. La arquitectura refinada propuesta en la figura 4 (vista estática) y figura 5 (vista dinámica) es estable en la medida en que su verificación y validación entreguen resultados por lo menos aceptables.

### 1.5 Verificación y validación de la arquitectura

En la parte de la validación se hacen validaciones de la aceptación tecnológica potencial que tiene esta integración [11] y verificaciones basadas en los atributos de calidad que son afectados por la aplicación de patrones en la arquitectura propuesta [12]

**Validación conceptual con enfoque TopDown del estilo de arquitectura:** Es bueno tener en cuenta que la arquitectura planteada es para los casos en los que la simulación ya existe y el SIG ya se tiene elaborado. Esto da a entender que la idea principal del proyecto no es modificar completamente las SBA, ni modificar completamente los SIG, sino buscar la forma de crear adaptaciones de tal suerte que las adaptaciones no alteren el funcionamiento de cada uno de los sistemas por separado. La situación inicial arquitectónica de los sistemas antes de realizar la integración se muestra en la figura 6

**Figura 6.** Situación inicial arquitectónica antes de la integración



La figura 6 muestra que la SBA a integrar con el SIG posee cuatro capas definidas, en tanto que el SIG está casi en su totalidad sin desarrollar. Esta situación es necesario conocerla de antemano para proceder a plantear un diseño de arquitectura del sistema en el que se toman en cuenta las familias establecidas en la tabla 9

**Tabla 9.** Familias de sistemas y estilos de familias arquitectónicas [73]

Concepto en español	Concepto en inglés
Familias de sistemas seguros	Security Family
Familias de sistemas por niveles	TieredFam
Familias de sistemas cliente servidor	ClientAndServerFam
Familias de sistemas por capas	LayeredFam
Familias de sistemas por tuberías y filtros	PipesAndFiltersFam
Familias de sistemas que publican y suscriben datos	PubSubFam
Familias de sistemas que comparten datos	SharedDataFam
Familia de sistemas por tres niveles	ThreeTieredFam

La clasificación de la tabla anterior fue tomada de una herramienta avalada mundialmente para la descripción de arquitecturas por medio de un lenguaje de descripción de arquitecturas llamado ACME [73].

Realmente la simulación debe entregar información al SIG y este a su vez debe posicionar los agentes en un mapa. De otra parte el mapa debe entregarle información a la SBA y esto hace pensar que el intercambio de información entre estos dos sistemas es alto. Se concluye entonces que la familia de arquitectura es una familia de compartición de datos

**Validación conceptual del patrón global de arquitectura:** Una vez definido el estilo de arquitectura, se procede a buscar un patrón de arquitectura que esté más acorde no sólo con el estilo escogido, sino que cumpla con el principal requisito de interoperabilidad. En la búsqueda de este patrón, se han examinado las ventajas y desventajas del patrón arquitectónico Layer.

Ventaja del Layer: Es útil cuando existen roles previamente establecidos. La cuestión es que el análisis de datos lo puede hacer tanto el SIG como la SBA, y teniendo en cuenta que el

intercambio de datos de posiciones es el centro de la interacción, se dice que esta arquitectura no es conveniente.

Desventaja del Layer: Reduce la eficiencia, sobre todo en situaciones donde la ultima capa solicita datos a la primera capa, se tiene que pasar el mensaje por todas las capas intermedias y esto disminuye la eficiencia. La cuestión es que en el caso del proyecto no es útil debido a que se requiere que el intercambio de datos sea lo más eficiente. Atravesar por múltiples capas antes de enviar los datos de la SBA al SIG no es conveniente ya que disminuye la eficiencia

Un ejercicio similar al anterior, pero usando el patrón arquitectónico “Pipes y filters”, puede ser desarrollado y se comprueba que la ventaja de este patrón es su utilidad cuando es necesario hacer transformaciones de datos, es decir cuando se requiere una entrada de datos transformarla en una salida que deba ser analizada por otro proceso que a su vez le haga otra transformación, sin embargo la arquitectura de interacción entre SIG y SBA no es una arquitectura de alta transformación de datos, debido a que la única transformación que hace el SIG de los datos es georeferenciarlos. El sistema más requiere disponibilidad de los datos enviados inicialmente por el SIG y mantener informado a la SBA sobre las posiciones georeferenciadas

Con las anteriores validaciones teóricas, queda al descubierto que el patrón arquitectónico CDS es una opción factible para el caso de la integración propuesta. De otra parte, este patrón debe cumplir con los siguientes requisitos de diseño arquitectónico:

- Debe ser un patrón que permita incorporar capas intermedias entre dos sistemas
- Debe ser un patrón que oculte los detalles de establecimiento de la conexión entre el SIG y la SBA
- Dado que la SBA podría consumir una gran cantidad de recursos, el patrón arquitectónico debería permitir que en un futuro varias SBA interactúen con uno o varios SIG.
- Antes de comenzar el envío de datos desde la SBA hasta el SIG es probable que se hayan manejado mecanismos para el establecimiento de la conexión entre el SIG y la SBA.
- Se requiere flexibilidad a la hora de cambiar ubicación IP, tanto de la SBA como del SIG.
- Se requiere un patrón que permita separar el momento en el que la SBA reconoce que existe un SIG para enviar datos y el momento en el que envía los datos propiamente dichos al SIG para que sean colocados en un mapa geográfico.

Teniendo en cuenta los anteriores requerimientos se ha seleccionado el patrón arquitectónico Client Dispatcher Server (CDS) y las razones se resumen en la tabla 10

**Tabla 10. Razones para la selección del patrón de arquitectura CDS**

Id requisito	Justificación para seleccionar cliente dispatcher server
1	Añade una capa intermedia entre un cliente y un despachador que permite al cliente localizar un servicio propuesto por un servidor. En este caso el servicio propuesto por el SIG, es el de recibir posiciones y graficarlas en un mapa geográfico.

2	Implementar el patrón de arquitectura Client Dispatcher Server permite a la SBA ocultar los detalles de establecimiento de la conexión con el SIG
3	El patrón Client Dispatcher Server es un patrón que se usa en sistemas distribuidos y permite incorporar varios servicios y consumidores de servicios en ambientes distribuidos, por esta razón implementar el patrón Client Dispatcher Server como patrón arquitectónico global del sistema de interacción entre el SIG y la SBA permite que en un futuro varias SBA interactúen con uno o varios SIG, ya que los SIG actuarían como sistemas que ofrecen el servicio de geo localizar agentes y la SBA ofrecen el servicio de mostrar hacia donde se deben mover los agentes.
4	Cuando se habla del patrón arquitectónico Client Dispatcher Server se dice que existen dos momentos que están claramente desacoplados: Un momento es el momento del establecimiento de la conexión y otro el momento de la invocación del servicio por parte del cliente. Por esta razón implementar Client Dispatcher Server hará que antes de comenzar el envío de datos desde la SBA hasta el SIG es probable que se hayan manejado mecanismos para el establecimiento de la conexión entre el SIG y la SBA. En este caso el establecimiento de la conexión es un servicio que estaría esperando posiciones del SBA y en algún momento distinto es cuando la SBA consume el servicio de geo localización y envía las posiciones.
5	Client Dispatcher Server hace que los proveedores de servicios digan que servicios ofrecen, pero dicho servicio es localizado por un Despachador que le da transparencia al método de localización del servicio. Esta propiedad del patrón Client Dispatcher Server permitirá por tanto al sistema tener una gran flexibilidad a la hora de cambiar de ubicación tanto de la SBA como del SIG, ya que los clientes que acceden a un servicio usando Client Dispatcher Server pueden hacerlo desde cualquier ubicación, siempre y cuando tengan acceso a la interfaz dispatcher y puedan crear objetos que extiendan de una interfaz común de acceso a servicios.
6	Se requiere un patrón que permita separar el momento en el que la SBA reconoce que existe un SIG para enviar datos y el momento en el que envía los datos propiamente dichos al SIG para que sean colocados en un mapa geográfico. En el patrón Client Dispatcher Server se puede hacer que el servicio al momento de crearse si es por parte de la SBA haga que el otro sistema, es decir que el SIG, esté disponible como un servicio y que al momento que la SBA envíe posiciones, este servicio active un mecanismo de recepción de peticiones por medio de multiprocesos.

La descripción de las capas implementadas del patrón CDS y su mapeo con las funcionalidades expuestas en el apartado de arquitectura del sistema, se muestran en la tabla 11.

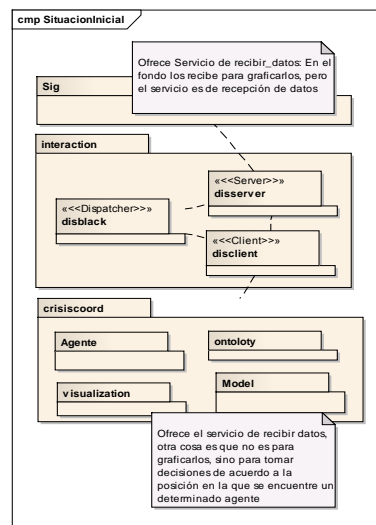
**Tabla 11.** Elementos estructurales del CDS vs capas globales de la arquitectura propuesta

<b>Elemento estructural del CDS</b>	<b>Capa que implementa la lógica del patrón</b>
El CDS tiene un elemento despachador que actúa como intermediario entre clientes servidores. Implementa un servicio de nombres que permite a clientes referirse a los servidores por nombres, lo que proporciona transparencia de ubicación.	Subsistema disback: Es el nombre del subsistema encargado de localizar los servicios de geo localización que solicita la SBA
Los servidores en el CDS proporcionan servicios a los componentes cliente. Cada servidor	Subsistema disclient: Mantiene las conexiones con la SBA para que el SIG pueda recibir las

es identificado de forma única por su nombre y está conectado a los clientes por el despachador	solicitudes de geo localización enviadas por la SBA. Una buena forma de implementar esta lógica de servidores con nombres únicos es por medio de tablas hash
Los clientes confían en el despachador para localizar un servidor particular y para establecer comunicación con dicho servidor.	Subsistema disserver: Mantiene las conexiones con el SIG, de tal forma que pueda entregarle estas conexiones a la SBA, cuando ésta última así lo requiera

Una vez se selecciona CDS como patrón arquitectónico, la figura 7 muestra los servicios del sistema que podrá acceder el CDS

**Figura 7.** Servicios del sistema para el caso del patrón Client Dispatcher Server



### Validación de la vista dinámica de los subsistemas de alto nivel en el CDS

**Situación en la que el cliente es el SIG.** Cuando el cliente SIG haga la petición de recibir posiciones a la SBA, estas posiciones pueden ser capturadas por la SBA para tomar decisiones a cerca de los movimientos que pueden dar los agentes producto de saber en qué posición se encuentra. Se tendría que hacer alguna modificación sencilla a la arquitectura si se tiene que validar que las posiciones en el SIG no son válidas, o que por alguna razón está en una posición en la que temporalmente no se puede mover. Es probable que este tipo de situaciones de presenten y la única forma de tomar en cuenta estas cosas y no alterar la arquitectura es haciendo que en el request enviado al cliente se envíe un objeto con detalles sobre estos hechos. Si posteriormente se crean objetos compuestos, de tal suerte que el paso de mensajes entre el SIG y la SBA son objetos se solucionaría este tipo de problemas.

**Situación en la que el cliente es la SBA.** En esta situación, se podrían incluso enviar objetos sencillos, y no se requiere mayor paso de parámetros, siempre y cuando a la simulación entregue solamente posiciones como información importante para el SIG. Es posible que simulaciones complejas puedan incluso incorporar el estado de un agente durante una emergencia y decir que el agente está estresado por la ocurrencia de la crisis y sus capacidades de ubicación durante la emergencia han bajado, de tal suerte que el SIG no le debe permitir moverse a este agente con la misma velocidad que cuando el agente no está en situaciones de estrés. La incorporación de este tipo de lógicas se solucionaría en forma similar a como se hizo para el caso de SIG hacia SBA, es decir se solucionaría con la incorporación de objetos compuestos como parámetros, de tal suerte que el SIG, sea capaz de interpretarlos y usarlos para su geo localización y para su movimiento al interior del SIG.

En el caso de la arquitectura propuesta la SBA entrega información sólo de posiciones, y se asume que el SIG incorpora información de ubicación, en donde no hay sitios en donde un agente no pueda moverse, es decir se parte del supuesto en el que siempre hay una forma de moverse dentro del mapa. Con estos conceptos claros se ve sencillamente que el modelo dinámico planteado anteriormente funciona para los dos escenarios (El envío de datos del SIG hacia la SBA y el envío de datos de la SBA hacia el SIG). Si se desea ver los detalles de la verificación de la vista estática de nivel 2 de la arquitectura y de la vista dinámica de nivel 2 de la arquitectura remítase al anexo respectivo (anexo Verificación de la arquitectura [E]).

### **Verificación del software basado en el balanceo de subsistemas**

La verificación mostrada en esta sección parte de un enfoque Bottom-Up, el cual parte de evaluaciones de elementos detallados de nivel bajo y a partir de ellas en un enfoque hacia arriba se describe cómo se comportan los elementos más generales. Es un enfoque usado para describir las organizaciones, en donde una organización como un todo se puede describir a partir de la suma de cada una de las descripciones detalladas de la organización [80]. La ventaja de este enfoque es que si se efectúa un cambio en un componente general, este cambio será impulsado por las necesidades de todo el sistema y no por un conjunto general de conceptos que no están alineados a las necesidades reales de cada uno de los elementos constitutivos [81].

Con lo anterior mencionado, se realizan las verificaciones listadas a continuación por cada paquete detallado del sistema:

- Verificación de extensibilidad de los paquetes (NCC y NCI)
- Verificación basada en la responsabilidad de los paquetes (CA) Afferent Couplings
- Verificación basada en independencia de los paquetes (EC) Efferent Coupling
- Verificación del grado de abstracción de los paquetes
- Verificación de la capacidad de cambio de los paquetes
- Verificación del balance entre abstracción y estabilidad de los paquetes

De tal suerte que si la arquitectura pasa la prueba de verificación basado en el balanceo de subsistemas, quiere decir que los paquetes abstractos son estables y que los paquetes no abstractos son inestables. En caso de presentarse la existencia de un paquete que sea abstracto e

inestable o la existencia de un paquete que sea no abstracto y estable se da por no aprobada la verificación del software basado en el balanceo de subsistemas. Si desea ver en detalle cada una de las anteriores verificaciones refiérase al anexo respectivo (anexo Verificación del software desarrollado [G]). Es importante anotar que para esta verificación se comenzó con una valoración para los paquetes detallados y luego se promediaron los resultados de los paquetes que estaban en otro paquete contenedor, y así sucesivamente hasta llegar al balanceo de los paquetes mostrados en la tabla 12

**Tabla 12.** Análisis de balanceo de los paquetes de la arquitectura

Paquete	Análisis de balanceo de paquete
Raíz	Este paquete está bien estructurado
Configuración	La capa de configuración está diseñada de tal suerte que es una vez se define la configuración, esta es conocida por el resto de elementos de la arquitectura. Al finalizar la valoración se deduce que es poco extensible
Router	La capa de enrutamiento podría modificar su forma de implementar el algoritmo de enrutamiento y no debería alterar a los demás de los paquetes. Sin embargo lo que se aconseja es que la capa de enrutamiento decida su algoritmo de enrutamiento al principio de la ejecución y no se garantiza buen funcionamiento si se hacen alteraciones como por ejemplo que en tiempo dinámico y de ejecución se modifique el algoritmo de enrutamiento.
Visor-map	Problema: El sistema propuesto ha quedado ligado al tipo de visor usado por el SIG, se requiere entonces solucionar este problema, ya que al cambiar el tipo de visor de SIG, es probable que se hagan necesarias algunos ajustes a la arquitectura. A pesar de esta situación tan problemática, también se puede decir que el visor es suministrado por ArcGIS y la posibilidad que saquen otro visor con características completamente distintas a los visores actuales y con total incompatibilidad es baja. Esto se vuelve entonces un riesgo en el sentido que la arquitectura no funcionaría si se modifican por parte de ArcGIS los visores y se tiene que los actuales visores son totalmente incompatibles con el mapa que se muestra en el SIG.
Visor-singleton	El resultado de valorar el paquete VisorSingleton, comprueba que el paquete es más abstracto que concreto. De otra parte al valorar el grado de estabilidad se comprueba que el patrón es más inestable. Con ello decimos que el paquete no supera la prueba de balanceo de paquetes y se hace necesario incorporar en un futuro el patrón “adapter”, para lograr que cualquier cambio en el visor no afecte a los paquetes relacionados con este visor. Esto solucionaría el problema y deja el paquete balanceado por cuanto lo deja abstracto y lo vuelve estable, sin embargo en el trabajo no se ha analizado el impacto que este cambio tendría en la arquitectura total.
Visor-window	Problema: Es probable que se requiera una modificación de este paquete y en su mayoría el sistema se vería seriamente afectado. Sin embargo como se dijo anteriormente, también se piensa que dado que estos visores son desarrollados por los creadores de los frameworks para SIG, se espera que estos cambios en los visores presenten compatibilidad con los anteriores visores.
Black-Board	Compuesto por los paquetes civilian, fire, firemen, firestation, hospital, house, medic, vehicle; en el que cada uno implementa una parte del blackboard, y la validación es estable y concreta, con lo cual se aprueba la validación de balanceo del paquete.

Interpre- ter	Es importante que este paquete funcione bien, por cuanto este paquete se encarga de manipular la interacción entre el simulador y la SBA y es invocado por los diversos agentes con el fin de interpretar la información proveniente de la SBA y enviarla en el formato adecuado al SIG para que este geoposiciones los elementos en el mapa.
interpre- tercom- mand	Esta clase es una clase que ayuda a la implementación del patrón Command y refleja que la aplicación de este patrón en esta parte del sistema no generara problemas de arquitectura, por lo menos en lo concerniente al cumplimiento de los principios de orientación a objetos por parte de los patrones de diseño.
Protocol	Esta clase es una clase que ayuda a la implementación del patrón Command y refleja que la aplicación de este patrón en esta parte del sistema no genera problemas de arquitectura, por lo menos en lo concerniente al cumplimiento de los principios de orientación a objetos por parte de los patrones de diseño.
receptor- composi- tion	Esta clase es una clase que ayuda a la implementación del patrón Command y refleja que la aplicación de este patrón en esta parte del sistema no genera problemas de arquitectura, por lo menos en lo concerniente al cumplimiento de los principios de orientación a objetos por parte de los patrones de diseño.

En caso de requerir un detalle sobre la forma para calcular estos problemas a partir de las métricas anteriores se recomienda revisar el anexo respectivo (anexo Verificación del software desarrollado [G]).

### Verificación de la arquitectura a partir de atributos de calidad y patrones

La evaluación que se muestra en esta sección se basa en el modelo de “nutshell” de Khosravi y Guéhéneuc [5] en donde la identificación de los atributos de calidad es primordial para verificar la calidad de la arquitectura. Se usó como base la tabla 13

**Tabla 13.** Tabla de comparación atributos de calidad versus patrones de diseño. Autor: Khosravi y Guéhéneuc.



Design Patterns	Quality Sub-characteristics and Characteristics								
	Expendability	Simplicity	Generality	Modularity	Learnability	Understandability	Operability	Scalability	Robustness
Abs. Fact.	E	E	G	G	G	G	G	G	G
Builder	G	G	F	F	F	G	F	G	G
Fact. Met.	P	P	F	G	G	G	G	G	G
Prototype	E	G	F	G	F	G	F	E	G
Singleton	P	B	F	E	F	F	F	G	G
Adapter	F	F	P	G	G	F	F	G	F
Bridge	G	F	G	G	F	F	G	G	G
Composite	F	F	F	F	F	G	F	F	G
Decotator	E	E	G	F	G	G	G	G	F
Façade	G	G	G	G	F	G	F	F	F
Flyweight	P	P	F	G	G	P	F	G	G
Proxy	G	P	F	G	F	P	G	G	F
Chain of Res.	G	G	G	P	F	F	G	P	F
Command	G	P	F	F	P	B	G	G	G
Interpreter	G	F	G	F	F	F	G	G	F
Iterator	E	E	G	F	G	F	F	G	G
Mediator	G	F	G	G	F	F	G	G	F
Memento	G	F	F	B	P	F	G	F	P
Observer	E	G	E	F	F	G	G	G	G
State	G	G	F	P	F	B	G	G	F
Strategy	G	F	P	F	P	P	F	P	F
Tem. Met.	E	G	F	F	G	G	G	G	G
Visitor	E	G	G	F	G	P	F	G	F

Excellent  
Good  
Fair  
Bad  
Poor

En donde se presentan la forma como se debe evaluar una paquete a nivel de atributos de calidad, si se conoce el atributo de diseño que lo gobierna. Por ejemplo el paquete “visorsingleton” que es gobernado por el patrón “singleton”, obtuvo una valoración descrita en la siguiente tabla 14

**Tabla 14.** Formato usado para adjudicación de atributos a componentes. Fuente el autor

Paquete	co.javeriana.integration.disblack.adaptersig.visorsingleton	
Clase	Configuracion	
Objetivo	Especificar parámetros iniciales para inicio de la SBA sobre el SIG	
Extiende de	Null	
Implementa	Null	
Grado en el que afecta la arquitectura el componente		
Item a evaluar	Valor (1 a 5)	Justificación
Expendability	1	Debido a que usa patrón de diseño singletón
Simplicity	2	Debido a que usa patrón de diseño singletón
Generality	3	Debido a que usa patrón de diseño singletón
Modularity	5	Debido a que usa patrón de diseño singletón
Learnability	3	Debido a que usa patrón de diseño singletón
Understandability	3	Debido a que usa patrón de diseño singleton

Operability	3	Debido a que usa patrón de diseño singleton
Scalability	4	Debido a que usa patrón de diseño singleton
Robustness	4	Debido a que usa patrón de diseño singleton

El ejercicio mostrado en la tabla 14, fue realizado para cada uno de los paquetes del sistema y en un esfuerzo por describir los resultados usando el enfoque Bottom-Up, se promediaron los valores obtenidos para todas las clases pertenecientes al paquete “visorsingleton” y se obtiene la tabla de atributos para el paquete “visorsingleton”. Seguidamente se promedian los atributos de cada uno de los paquetes que pertenecen al paquete “adaptersig” y finalmente se promedian los atributos de los paquetes contenidos en el paquete “disblack”(en donde “el paquete visorsingleton” está contenido en el paquete “adaptersig” y este a su vez está contenido en el paquete “disblack”), de tal suerte que se obtiene la tabla 15 para los tres principales paquetes de la arquitectura planteada:

**Tabla 15.** Atributos de calidad para los paquetes “disclient”, “disblack” y “disserver”.  
Fuente el autor

Atributo de calidad	Paquete disclient		Paquete disblack		Paquete disserver	
	valoración cuantitativa	valoración cualitativa	valoración cuantitativa	valoración cualitativa	valoración cuantitativa	valoración cualitativa
Expendability	4,3889	Good	3,2667	Fair	3,1667	Fair
Simplicity	4,0556	Good	2,2667	Bad	3,1667	Fair
Generality	3,6111	Good	3,3333	Fair	4,5	Excellent
Modularity	4,9444	Excellent	4,2	Good	3,8333	Good
Learnability	3,5556	Good	2,8	Fair	3,1667	Fair
Understandability	3,5556	Good	3	Fair	3,4167	Fair
Operability	3,5556	Good	3,7333	Good	3,6667	Good
Scalability	3,8889	Good	3,5333	Good	4,5	Good
Robustness	4,4444	Good	3,2667	Fair	4,75	Excellent

Con la información de la tabla 15, se obtiene la tabla 16 de atributos de calidad de la arquitectura total de interacción

**Tabla 16.** Atributos de calidad para toda la arquitectura de interacción entre SIG y una SBA. Fuente el autor

Interacción		
Ítem a evaluar	valoración cuantitativa	valoración cualitativa
Expendability	3,607407407	Good
Simplicity	3,162962963	Fair
Generality	3,814814815	Good
Modularity	4,325925926	Good
Learnability	3,174074074	Fair

Understandability	3,324074074	Fair
Operability	3,651851852	Good
Scalability	3,974074074	Good
Robustness	4,153703704	Good

Si se quieren ver los detalles de cómo se obtuvieron estos valores para cada uno de estos paquetes se pueden observar en el anexo H (anexo Verificación de la arquitectura a partir de atributos de calidad y patrones).

### Verificación de la arquitectura a partir del cumplimiento de escenarios

La validación de la arquitectura se ha hecho cada vez que se termina un incremento tal como muestra la tabla 17 en la que se refleja como cada iteración soluciona problemas arquitectónicos, deja problemas arquitectónicos pendientes para próximas iteraciones y descubre cuestiones arquitectónicas que deben ser tenidas en cuenta en esta o en futuras iteraciones.

**Tabla 17.** Proceso de validación de arquitectura, cuestiones solucionadas y no solucionadas

In-cremen-to	Validación	Cuestiones arquitectónicas encontradas	Cuestiones arquitectónicas pendientes	Cuestiones arquitectónicas solucionadas
1	Validación práctica, con un prototipo que soporta esta arquitectura	Es necesario hacer un análisis de la naturaleza de dos sistemas, cuando el objetivo es integrarlos.	Hacer un primer ejercicio en donde se demuestre que efectivamente los dos sistemas estaban preparados para soportar algún tipo de integración	Se logró preparar el SIG y la SBA para la interacción
2	Validación práctica, con un prototipo que soporta esta arquitectura	El uso del patrón interpreter en la capa de comunicación mejor sustancialmente la comunicación entre el SIG y la SBA, por lo menos ayudando a geoposicionar los puntos enviados por la SBA.	El problema es que la integración conseguida presenta muchos problemas de actualización y compartición de datos	Se comprobó que el uso de patrones de diseño como singleton, composition, e interpreter permiten que la interacción entre el SIG y la SBA sea un hecho.
3	Validación práctica, con un prototipo que soporta esta arquitectura	El uso del patrón blackboard soluciona muchos problemas cuando un agente requiere saber la posición de los demás, y a parte de todo, lo soluciona de la mejor manera	No se ha comprobado si la arquitectura funciona correctamente para el envío de datos desde el	Se comprobó en forma práctica que la arquitectura funciona correctamente para el envío de datos

	tectura	a nivel de consumo de recursos.	SIG hacia la SBA	desde la SBA hasta el SIG
4	Validación teórica con documentos que soportan la elección de esta arquitectura.	Se pueden agrupar patrones de arquitectura por niveles de jerarquía. Es posible que cada sistema por aislado tenga su propia arquitectura, pero el sistema integrado tenga otra arquitectura.	Queda pendiente la construcción de un prototipo que valide funcionalmente esta arquitectura teórica	Se encontró un mecanismo arquitectónico para integrar el SIG y la SBA en ambos sentidos, por lo menos desde el punto de vista teórico

Una forma interesante de validar los resultados es verificando el cumplimiento de los escenarios por incremento. La tabla 18 muestra la planeación de los incrementos y los escenarios involucrados, en donde aparece una X en el incremento en donde se logró cumplir con el escenario

**Tabla 18.** Planeación de los incrementos

Incremento	Objetivo	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	Preparar el SIG y la SBA para futuros incrementos			X	X		
2	Realizar una versión inicial de la arquitectura que permita algún tipo de interacción	X	X				
3	Probar la interacción entre los dos sistemas con varios agentes					X	
4	Lograr que la visualización sobre el SIG sea similar a la de la SBA						X

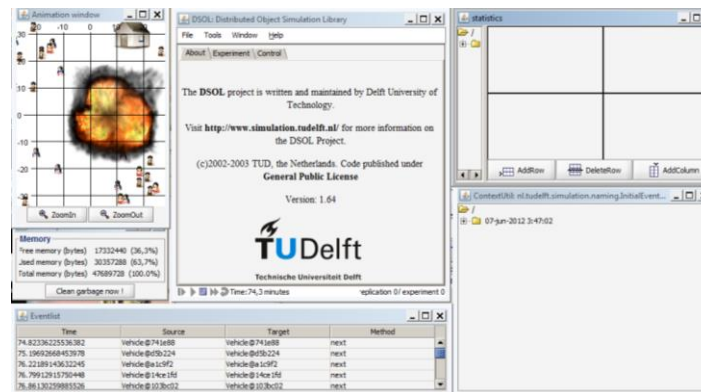
En donde E1, E2, E3, E4, E5 y E5 corresponde con los escenarios plasmados en la planeación de las iteraciones. Con lo anterior vemos que los escenarios planteados se han logrado comprobar. Es importante notar que al cumplir con los escenarios planeados, se tiene un serio indicio que indica que la arquitectura propuesta está terminada y se hace sin embargo necesario una validación formal de la arquitectura usando varios métodos, tal como se muestra en la siguiente sección.

### III – PROTOTIPO Y VALIDACIÓN

En esta sección se mostrará el prototipo y la forma de validarlo. El video de la ejecución del prototipo se presenta en el anexo respectivo (anexo Video prototipo [K]).

#### 1. Presentación del prototipo

La SBA es una simulación que toma en cuenta las coordinaciones de las personas en momentos de crisis, concretamente en el caso en el que dos vehículos se chocan y producen un incendio, el cual provoca que unos civiles cambien su estado y se vuelvan víctimas, caso en el cual unos agentes responders capturan su posición, cambian de posición acercándose a las víctimas y les prestan asistencia [1]. La ejecución de la SBA en forma independiente del SIG se muestra en la figura 8.



**Figura 8.** Ejecución de la SBA en forma independiente del SIG. Imagen obtenida fruto de la ejecución del Simulador CrisisCoord [1]

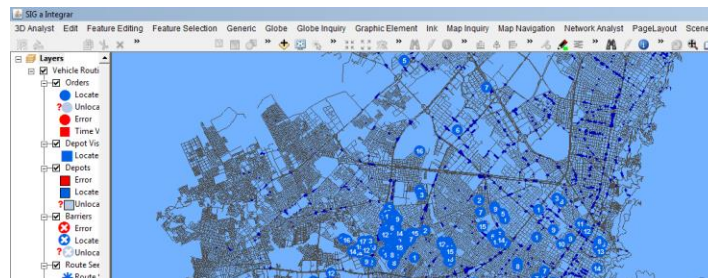
La forma de visualización que presenta la SBA, en donde se aprecia que la simulación se hace sobre una grilla y no se hace sobre mapa geográfico alguno. Los elementos que maneja la simulación para tipificar el incendio son: Civiles, fuego, vehículo, casas, estación de bomberos, hospital, bombero y médico ( en donde los dos últimos son tratados como agentes y los demás como recursos del medio ambiente)

De otra parte el SIG está basado en ArcGIS, y el SIG desarrollado fue desarrollado por el autor de la tesis en donde se han incorporado las funcionalidades siguientes: 1) Herramientas para análisis 3d, 2) Herramientas de edición de mapas, 3) Herramientas de edición de “features”, 4) Herramientas de selección de “features”, 5) Herramientas genéricas para apertura, cierre y manipulación de mapas, 6) Herramientas para manipulación de mapas tipo “Globe”, 7) Herramientas para pintado de polígonos, 8) Herramientas para manejo de pinceles y colores, 9) Herramientas para medición de distancias, 10) Herramientas para navegación al interior de un mapa, 11) Herramientas para análisis de red, 12) Herramientas para manejo del zoom del mapa, 13) Herramientas básicas para manipulación de escenas cartográficas. La tabla 19, permite relacionar los elementos que georeferencia el SIG con los elementos que maneja la SBA para tipificar el incendio

**Tabla 19.** Elementos que georeferencia el SIG, relacionados con los elementos que tiene en cuenta la SBA CrisisCoord

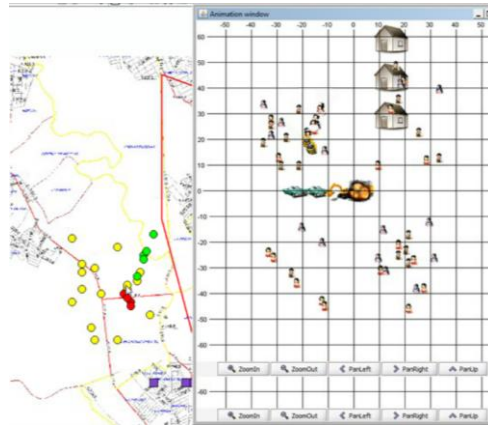
Elemento que tiene en cuenta la SBA	Elemento que referencia el SIG
Fire Station	Estación de bomberos Usme: Marichuela: Kra 1 Cll 76 A Bis Sur
Hospital	Hospital principal Usme I: Trv 2 # 135 – 78 Sur / UPA Unidad primaria de atención (Marichuela): Cll 76 # 1-42 sur / UPA Yomasa: Cll 88B sur # 49B -10 este / UPA Betania Cll 76B sur # 2 -34 este / UPA Santa Marta Cll 68C sur 1ª – 88 este / UPA la reforma Cll 85ª sur # 6ª -09 / UPA San Juan Bautista Cll 74 sur # 1b-17 / UPA Lorenzo Alcantuz Cra 54ª este calle 103 sur / UBA Fiscalía: Centro de salud Juan Camilo / UBA Danubio Azul Cra 5ABis #55-65 sur / UBA La flora Kra 15 este #95-71
Vehicle	Los cuatro vehículos que posee la estación de bomberos inicialmente son geo referenciados con las posiciones enviadas por la SBA.
Civilian	La ubicación y el número serán colocadas por la SBA
Victim	La posición de una víctima es la misma de la de un civil, la razón es simple: una víctima es un civil
Fireman	Dado que el número de bomberos de la localidad de Usme son 15, el SIG inicialmente recibirá máximo 15 posiciones iniciales de bomberos.
Medic	La ubicación y el número serán colocadas por la SBA inicialmente

Es posible ejecutar el SIG separadamente de la SBA, prueba de esta ejecución se observa en la figura 9, en donde se presentan diversas capas de sitios de interés (en donde están colegios, hospitales, estaciones de bomberos) y donde las posiciones son estáticas y no cambian.



**Figura 9.** Ejecución del SIG en forma independiente de la SBA. Imagen obtenida fruto de la ejecución del SIG

Al integrar la SBA con el SIG, se logra que unos agentes respondedores se muevan sobre el SIG en forma georeferenciada. La siguiente gráfica muestra que hay una semejanza entre la visualización propia de la SBA y la visualización provista por el SIG; sin embargo es más rica la visualización sobre el SIG por estar sobre un mapa geográfico y potencialmente esta ventaja puede ser usada para lograr mayores objetivos como por ejemplo analizar la mejor ruta, analizar la ruta menos congestionada, sin embargo estos objetivos se salen del objetivo del proyecto de investigación y se dejan como trabajo futuro de investigación.



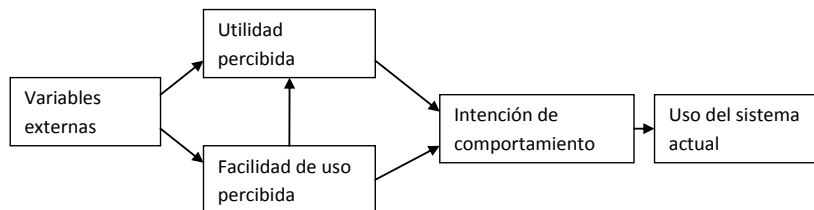
**Figura 10.** Ejecución del SIG interactuando con la SBA. Imagen obtenida fruto de la ejecución del prototipo elaborado por el autor.

En la figura 10, se ve que los agentes bomberos (de rojo) se mueven no necesariamente por la vía; esto se debe a que están en una zona verde en donde la carretera pasa, pero el bombero puede acortar camino por la zona verde.

## 2. Resultados de validación del prototipo

El Modelo de Aceptación de la Tecnología (Technology Acceptance Model - TAM) de Davis [2] resumido en la figura 11, es una teoría de los sistemas de información que modela cómo los usuarios llegan a aceptar y utilizar una tecnología. El modelo sugiere que cuando a los usuarios se les presenta una nueva tecnología, una serie de factores influyen en su decisión sobre cómo y cuándo la van a utilizar, dicho de otra forma, sirven de base para determinar las actitudes enfocadas al uso del sistema. Estos factores son:

- PU (Perceived usefulness, Utilidad Percibida): “el grado en que una persona cree que el uso de un determinado sistema mejora su rendimiento en el trabajo”.
- FUP (Perceived ease-of-use, Percepción de facilidad de uso): “el grado en que una persona cree que utilizando un sistema en particular, podrá liberarse del esfuerzo que le conlleva realizar un trabajo”. [3]



**Figura 11.** Modelo de Aceptación de la Tecnología. Fuente: Davis [2].

La aplicación de la validación usando TAM se dio mediante el siguiente formulario de encuesta que se presentó al comandante de los bomberos de la localidad de Usme, al personal

administrativo y a los bomberos de turno. Se tomó como guía el tipo de encuesta realizado por Orantes [4], con respectivos ajustes para el entorno en el cual se va a aplicar, además de controlar las opciones de votación de 7 opciones como maneja orantes a 5 (totalmente de acuerdo - 5, de acuerdo - 4, ni acuerdo ni desacuerdo - 3, en desacuerdo - 2, totalmente en desacuerdo - 1):

#### Facilidad de Uso

- Afirmación.1: Es fácil aprender a operar el nuevo sistema
- Afirmación.2: Es fácil acceder al sistema para hacer lo que deseo
- Afirmación.3: Es fácil aumentar mi experiencia gracias al uso del nuevo sistema
- Afirmación.4: El nuevo sistema es fácil de utilizar
- Afirmación.5: Sería fácil llegar a ser un experto en el manejo del sistema

#### Utilidad Percibida

- Afirmación.6: El uso del nuevo sistema me ayudaría a atender emergencias más rápido
- Afirmación.7: El uso del nuevo sistema mejoraría el funcionamiento de mi trabajo dentro del cuerpo de bomberos
- Afirmación.8: El uso del nuevo sistema aumenta mi productividad en el momento de atención de emergencias
- Afirmación.9: El uso del nuevo sistema incrementa la efectividad con que los bomberos atienden emergencias
- Afirmación.10: El nuevo sistema es de utilidad dentro del cuerpo de bomberos

#### Actitud hacia el Uso

- Afirmación.11: Usar el nuevo sistema es una buena idea
- Afirmación.12: Usar el nuevo sistema es una inteligente idea
- Afirmación.13: Me gusta la idea de usar el nuevo sistema
- Afirmación.14: Usar el nuevo sistema me parece (placentero/no-placentero)

Si se desean ver los detalles de la aplicación de la validación TAM, refiérase al anexo I (anexo Validación del prototipo con TAM [I]).

### 3. Análisis de resultados de la validación

Las anteriores validaciones se han hecho a la arquitectura y se ha obtenido la tabla 20, en la que se detalla que tipo de validación o verificación fue necesaria para comprobar el cumplimiento de los requerimientos contextualizados que habían sido establecidos al comienzo del proceso de investigación. Detalles de esta validación en el anexo J (anexo Validación triangulada de la arquitectura vs requerimiento [J]).

**Tabla 20.** Resultados de la aplicación de las validaciones en forma triangulada



Id	Id análisis de necesidad	Contextualización del requerimiento	Validación TAM	Verificación a partir de atributos de calidad y patrones	Verificación hecha en tesis CrisisCoord	Verificación de coherencia conceptual	Verificación del software desarrollado	Verificación de la arquitectura	Evaluación final de cumplimiento del requerimiento	Justificación
1	EG1	Se requiere que la simulación incorpore mecanismos para resolver problemas de ubicación y coordinación		X	X				Alto = 4	Los problemas de coordinación han sido probados rigurosamente en la tesis de la SBA
2	EG2	Se requiere que la integración se haga con una simulación y que el SIG esté basado en ArcGIS.		X					Muy alto = 5	Haciendo la verificación del funcionamiento de los componentes es irrefutable que la interacción presentada se da entre una SBA y un SIG basado en ArcGIS
3	EG3	Es importante que la simulación al final se ejecute sobre un mapa real	X	X					Alto = 4	El hecho que los bomberos ven utilidad en el sistema, es que ellos perciben que el mapa es real y que la solución es real y útil para ellos. De otra parte el hecho de usar un mapa geo referenciado en formato MDX, hace que este requerimiento se cumpla
4	EG4	Es importante contar con un sistema que permita obtener el número de personas que son víctimas en un incendio			X				Bajo = 2	Obtener el número de personas afectadas, se puede hacer consultando la información directamente de la SBA, pero hacerlo real requiere una infraestructura tecnológica que se sale del alcance del proyecto

5	E O 1	El mapa ayuda a localizar más fácilmente las víctimas y sobre todo en un ambiente de visualización.	X						Alto = 4	La facilidad de ubicación es algo subjetivo percibido por los bomberos y si ellos lo perciben se puede evaluar satisfactoriamente el cumplimiento del requerimiento
6	E O 2	La información hidrológica es sobre todo muy útil en incendios forestales, debido a que ayuda a establecer la rapidez con la que potencialmente se propagaría el incendio							Muy bajo = 1	Este requerimiento no se ha cumplido en absoluto debido a que haciendo en análisis de las implicaciones de usar información hidrológica, hace que el comportamiento de la SBA se tenga que modificar para incorporar acciones frente a esta otra variable y la modificación de la SBA está por fuera del alcance del proyecto
7	E O 3	El análisis de la necesidad organizacional de crear simuladores, simplemente ayuda a justificar el proyecto y le da una viabilidad organizacional dentro de la amplia estructura de procesos del cuerpo de bomberos de Usme	X						Muy alto = 5	Usar una SBA se cumple con el uso de Crisis-Coord
8	E O 4	Le da impacto al proyecto con el caso de aplicación de incendios forestales. Corrobora que los incendios forestales son una buena alternativa de caso de estudio	X						Alto = 4	Ejecutando la simulación en la parte de Usme en donde existe gran cantidad de zonas verdes se cumple el requerimiento, debido a que Usme tiene más zonas verdes que rurales

9	E T1	Se requiere que la aplicación pueda ejecutarse sin necesidad de tener conexiones a internet.	X	X				Muy alto = 5	La tecnología usada de interacción está diseñada para ambientes distintos a los de internet, ya que los sockets funcionan bien en una intranet y presentan algunos problemas en ambientes de internet
10	E T2	Se requiere inicialmente una simulación que trabaje sin parámetros de vegetación, ya que esta información actualmente no es usada por los bomberos de Usme.	X	X				Muy alto = 5	No se trabajan parámetros de vegetación
11	E T3	Se requiere que el sistema lo puedan trabajar bomberos en Usme, teniendo en cuenta que ellos carecen de altos conocimientos físicos sobre el comportamiento del fuego	X					Alto = 4	La validación TAM, muestra que los usuarios bomberos están en capacidad de usar el sistema y a parte de todo les parece útil el sistema
12	E T4, E T5	Se requiere que la integración funcione inicialmente sin solicitar esta información de topografía al usuario final	X	X				Muy alto = 5	Los parámetros iniciales con los que funciona la integración no son solicitados al usuario final y según la verificación de componentes, estos parámetros son establecidos por los componentes en forma predeterminada. Esto no quiere decir que no se pueda extender la funcionalidad para que algunos parámetros sean en un futuro solicitados, ya que la arquitectura tiene componentes especializados en manejar estos parámetros

1 3	E T6	Se requiere máximo 3 segundos como valor de retardo después que la SBA entregue información al SIG y este sea capaz de procesarla.	X							Alto = 4	El retardo no fue grande y si hubiera sido grande habría sido percibido por los usuarios bomberos
1 4	E T7	Inicialmente no se evaluará la completitud de los posibles casos concretos entre SIG y SBA, sino que se basará en que el modelo se pueda aplicar en un caso específico	X							Me- diano = 3	El modelo se ha implementado en un caso particular de Usme, sin embargo el sistema desarrollado no es del todo funcional y está desarrollado a nivel de prototipo
1 5	E T8	Se requiere que funcione con diversos tipos de datos geográficos		X						Me- diano = 3	Los tipos de datos geográficos dependen de la consecución de estos datos y también del formato de archivo SIG que se use, ya que la interacción ha sido probada con datos en formato MDX y si la información está en este formato, se pueden hacer interacciones funcionales, sin embargo en otros formatos no ha sido probada la arquitectura
1 6	E T9	La integración entre el SIG y la SBA es útil en la medida en que se permita la visualización.	X							Muy alto = 5	Se permite la visualización y esto ha parte de ser evidente con el prototipo queda probado con la validación TAM
1 7	E C 1	Inicialmente se requiere que el simulador funcione para el caso de incendios forestales	X							Muy bajo = 1	La totalidad de las cosas que se deben tener en cuenta en una simulación de incendios forestales hacen que se haga necesario modificar la conducta de los agentes provistos por la SBA, cosa que se sale del alcance del proyecto. Por esta razón el cumpli-

											miento de este requisito se deja para próximos proyectos de investigación
18	E C 1	Por tanto, un requerimiento es buscar colegios que tengan riesgos por incendios.	X								Alto = 4 En la elaboración del mapa SIG se han referenciado algunos colegios que cumplen con las condiciones establecidas en este requerimiento
19	B F1	Es útil la visualización georeferenciada	X	X							Alto = 4 La verificación de componentes comprueba contundentemente que la geo referenciación se ha hecho correctamente para cumplir con este requerimiento
20	B F1	Esto comprueba que la estrategia de integración entre SIG y SBA es socialmente útil	X								Alto = 4 La validación TAM, demuestra la utilidad de la interacción vista desde el punto de vista de los bomberos de Usme
21	B F3	Esto da a entender que el rendimiento y el movimiento en tiempo real de los agentes sobre el SIG es una de las metas arquitectónicas						X		X	Alto = 4 En la verificación de componentes queda claro que la tecnología de comunicación entre los sistemas es una de las más rápidas. De otra parte la verificación a nivel de cumplimiento de principios de orientación a objetos muestra que no se ha abusado de características de los objetos para dañar el rendimiento del sistema. Con todo lo anterior el requerimiento de cumple en su totalidad

2 2	B F4	Esto da a entender que una forma de medir que la integración es útil es porque de una manera geoespacial se ha mejorado la visualización	X						Me- diano = 3	La visualización vista por los bomberos es coherente teniendo en cuenta que el incendio se provoca en zonas destacadas en donde las carreteras son escasas.
2 3	E G 3	Buscar formas y modelos para manejar el movimiento de los agentes acorde a la realidad, debe ser una de las metas de la arquitectura		X					Me- diano = 3	Desde el punto de vista del envío de datos de la SBA hacia el SIG es totalmente coherente, sin embargo a pesar que teóricamente el modelo plasmado funcionaría para el envío de datos desde el SIG hacia la SBA, el prototipo todavía no incorpora esta funcionalidad y sería entonces prematuro decir que en su totalidad se ha probado este requerimiento
2 4	B F5	Una forma de verificar que la simulación es coherente es que los agentes respondedores deben moverse en forma coherente hacia los agentes víctimas	X						Alto = 4	La ejecución de la visualización muestra que este requerimiento se cumple
2 5	B F7	Se requiere que se haga un estudio de patrones o técnicas formales que mejoren la visualización		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes y el uso de patrones muestra el cumplimiento en alto grado de este requerimiento
2 6	B F6	Se requiere que el sistema sea capaz de enviar datos desde el simulador hasta el SIG y se puede evaluar en la medida en que el SIG pueda usar la información que ha sido enviada		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente con el cumplimiento de este requerimiento

		por el SBA. Esto es de otra forma una forma de evaluar el sistema.								
27	B F7	Se requiere incluir la meta arquitectónica de modularidad		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente con el cumplimiento de este requerimiento
28	E T6	Se requiere incluir la meta arquitectónica de interoperabilidad en comunicación		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente con el cumplimiento de este requerimiento
29	B F1 1	Se requiere incluir la meta arquitectónica de interoperabilidad en datos		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente con el cumplimiento de este requerimiento
30	E G 3	Se requiere que los resultados deseados inicialmente estén relacionados con la posibilidad que se puedan visualizar la posición de los agentes en el SIG	X						Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente con el cumplimiento de este requerimiento
31	B F1 3	El primer nivel de disponibilidad se define como la posibilidad que la información producida por el SBA esté disponible para ser procesada por el SIG		X				X	Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente con el cumplimiento de este requerimiento. Este cumplimiento también es corroborado por la verificación inicial de la arquitectura hecha al final de la propuesta de arquitectura y antes de las validaciones y verificaciones específicas
32	E T4 , E T5	Se requiere definir niveles de integración				X			Muy alto = 5	La verificación de coherencia conceptual es contundente con el cumplimiento de este requerimiento

3 3	B F4	Se deben buscar patrones de diseño que permitan que la presentación de los datos sea independiente de la fuente de donde se obtienen los datos		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente en el cumplimiento de este requerimiento
3 4	E T6 , E T7 , Y E T8	Se requiere estudiar modelos de interoperabilidad		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente en el cumplimiento de este requerimiento
3 5	E T8	El requerimiento arquitectónico de escalabilidad es importante en la estrategia de integración		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente en el cumplimiento de este requerimiento
3 6	B F7 , B M 1 Y B M 4	La incorporación de patrones es una necesidad y un requisito desde el punto de vista arquitectónico		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente en el cumplimiento de este requerimiento
3 7	B M 5	Deja entrever que la forma para medir la integración es que efectivamente se logre visualizar las zonas de mayor tráfico	X						Alto = 4	La verificación TAM demuestra el cumplimiento del requerimiento, sin embargo se deja un margen de error por lo abierto de la afirmación TAM hecha a los bomberos
3 8	B M 6	Deja entrever que se puede validar la integración en la medida en que los agentes estén geo-localizados y en la medida en que sea usable el sistema	X	X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente en el cumplimiento de este requerimiento



		por otras personas								
39	BM6	Deja entrever que los incrementos de refinamiento de la arquitectura, termina cuando se logra la mayor aproximación con la realidad	X						Alto = 4	La verificación TAM demuestra el cumplimiento del requerimiento, sin embargo se deja un margen de error por lo abierto de la afirmación TAM hecha a los bomberos
40	ET10,ET11	El SIG debe beneficiarse de la interacción con el SBA en el sentido que logra que el movimiento de los objetos en el SIG esté direccionado por agentes y de otra parte la SBA se beneficia de la interacción con el SIG, en el sentido que logra que el movimiento de los agentes se realice sobre un mapa real.		X					Muy alto = 5	La verificación de componentes es contundente en el cumplimiento de este requerimiento

En la tabla 20 se aprecia que de 40 requerimientos tan sólo 1 tuvo una evaluación de 2 y 2 requerimientos tuvieron una evaluación de 1. Es decir tan solo 3 requerimientos no se satisfacen con la arquitectura. Se concluye entonces que 37 requerimientos de 40 fueron satisfechos, lo que equivale a un 92,5% de validez triangulada de la arquitectura propuesta con estos requerimientos. Es importante mencionar los requerimientos no resueltos están más relacionados con la información que podría tener el SIG, como por ejemplo información sobre la parte hidrográfica, sin embargo el lograr satisfacer este requerimiento implicaría modificar la forma como los bomberos actuarían sobre este tipo de condiciones físicas. No es lo mismo las decisiones en tierra que en agua. Como conclusión, se plantean nuevos retos de modificación tanto del SIG como de la SBA para adaptarlo a situaciones particulares no contempladas en el presente proyecto.

## IV – RESULTADOS

El procesos de desarrollo basados en el modelo incremental que ha tomado tanto auge en la actualidad [6], demostró en el proyecto ser un modelo de proceso útil en el caso de la integración propuesta gracias al paralelismo que ofrece para hacer incrementos y pruebas de la arquitectura, además de su flexibilidad para ser usado con varias técnicas de validación.

Aunque existen varios métodos para el diseño de arquitecturas como COPA, FAST, FORM, Kobra y QADA que tienen en cuenta el contexto, el usuario, la estructura y la validación [67] el hecho de usar ciencia del diseño, permitió añadir a los anteriores, los siguientes elementos: tecnologías disponibles en el entorno, fundamentos y metodologías de la base de conocimiento y permitió articularlos con un diseño en donde incrementalmente se realizaron mejoras al diseño a partir de estos aspectos aplicando rigor científico y teniendo en cuenta los aspectos relevantes del entorno.

UML se ha convertido en un estándar aceptado por la industria de software para visualizar arquitecturas [67], el uso de UML en la arquitectura desarrollada, permite que la arquitectura planteada sea comprensible a los arquitectos familiarizados con UML.

A pesar que al pasar de un diseño arquitectónico a un diseño detallado se requiere una amplia base de conocimiento sobre el manejo de los patrones de diseño detallado [66], el uso de la tabla 16 de comparación de atributos de calidad versus patrones de diseño permitió establecer patrones de diseño útiles en la propuesta de la arquitectura.

A nivel de prototipo se logró establecer que para el caso del simulador CrisiCoord y un sistema SIG basado en datos entregados por la empresa Procálculo, la arquitectura planteada permite la construcción de un sistema en el que se logra una interacción entre los dos sistemas, e incluso la visualización en el SIG no presenta parpadeos visuales si se usan la técnica de un buffer de posiciones que mantiene la última posición que tenían los agentes.

La implementación del prototipo se ha hecho sobre un SIG y sobre una SBA, ambos basados en tecnología java, con lo cual se garantiza que la tecnología es interoperable, ya que ésta es una de las características de las aplicaciones java.

En el análisis de necesidades se encontró que una de las grandes debilidades de los bomberos de Usme es la atención de incidentes forestales, razón por la cual el prototipo se enfocó a una zona verde en donde el número de casas es pequeño. También se encontró que los vehículos son una limitante para los bomberos ya que tienen pocos vehículos y como si fuera poco son muchas las zonas de Usme, en las cuales los vehículos de los bomberos no llegan y esto corrobora la razón por la cual la simulación no tuvo en cuenta la dirección de las vías, puesto que muchas emergencias se atienden dejando el vehículo en un lugar alejado y acercándose a pie a la zona. A partir del entorno se concluye que el personal está capacitado para manejar un computador, pero ellos requieren cursos adicionales de manejo de antiexplosivos, de minas y otra serie de cosas que afectan seriamente a la localidad. Estos resultados se corroboran en los anexos A y B.

## V – CONCLUSIONES, ACLARACIONES Y TRABAJO FUTURO

A continuación se presentan las conclusiones y el trabajo futuro propuesto fruto de la realización de la investigación.

### 1. Conclusiones

Son muchas las integraciones propuestas entre SIG y SBA, pero sin duda estas propuestas son válidas cuando se pretende diseñar un SIG y una SBA que en un futuro interactuarán. Una conclusión de este trabajo al respecto plantea que efectivamente es posible plantear arquitecturas de integración para SBA y SIG ya existentes con el ánimo de aprovechar todo el esfuerzo realizado en la construcción de estos sistemas.

La ciencia del diseño aquí adoptada parte de una epistemología pragmática [63] según la cual la validez o verdad de la contribución científica se basa en la “utilidad” del resultado y no en la “verdad” generalizable de las proposiciones. Adicionalmente, para garantizar un equilibrio correcto entre rigor y relevancia, como se espera de todo proyecto de investigación basada en el diseño, la validez está también soportada por un proceso transparente de construcción y verificación, así como de triangulación de varios mecanismos de evaluación y validación: Es así como en la investigación el uso varios métodos de verificación no sólo es deseable, sino que fue necesario a fin de probar la arquitectura planteada.

Es importante anotar que el proceso de desarrollo incremental a pesar de su simplicidad conceptual, al aplicarlo en el caso de la integración entre dos sistemas que no fueron diseñados para su integración, requirió alto grado de creatividad para poderlo realizar, por cuanto la planeación de incrementos se basaban en objetivos para los cuales se desconocía su viabilidad de implantación. Esta creatividad estuvo relacionada con la lógica de razonamiento abductiva expuesta en la ciencia del diseño, en donde las clásicas opciones científicas de inducción y deducción son reemplazadas por un esfuerzo creativo en donde la participación del diseñador es crucial y se aleja de la perspectiva positivista en que el investigador solo actúa como observador independiente [64]

El esfuerzo necesario para implementar la arquitectura se tuvo en gran parte por la escasa documentación que existe para la manipulación de SIG a partir de código, ya que la mayoría de cursos, tutoriales y empresas que trabajan SIG, trabajan a tan alto nivel los SIG que son pocas las veces que se ven obligados a implementar líneas de código al interior del SIG. Esta dificultad se ve reflejada en este tipo de proyectos en donde la documentación por ejemplo del ArcGIS se consigue si se toman cursos específicos de capacitación que pocas personas en Colombia lo han tomado.

Otra conclusión es existen con mapas de USA descargables [82], pero no existe un sitio con este tipo de mapas para el caso colombiano. Existen sitios que ofrecen información de sitios en Colombia [83], pero su navegación es web y no se puede descargar en formato reconocible por un SIG. Incluso públicamente se reconoce que alguna información geológica colombiana está restringida por políticas de privacidad y términos de uso [84], más aún, existe un modelo de seguridad de información para la estrategia de gobierno en línea [85], que deja entrever

que existe información que el gobierno no comparte información cuando está de por medio la seguridad nacional. Entre esta información se incluyen los mapas y zonas del territorio susceptibles de emergencias.

La visualización mostrada en este proyecto depende entre otras cosas de la calidad del mapa y la precisión en la ubicación depende de la forma como se ha digitalizado la información geográfica en el mapa por parte de los expertos en sistemas de información geográfica.

Un aporte del presente proyecto de investigación es la forma novedosa como se instanció el modelo de desarrollo iterativo incremental y se demostró que si se sigue este modelo con rigurosidad y creatividad se pueden llegar a grandes avances en términos de arquitectura de un sistema con sólo hacer una iteración. Sin embargo esta iteración se hizo a través de cuatro incrementos en la arquitectura y cada incremento se hizo basado en la toma rigurosa de decisiones arquitectónicas. Se plantea entonces una forma de instanciar este modelo de desarrollo y aplicarlo en este tipo de proyectos, probándose basados en los análisis de los resultados que la forma como se instanció es útil para mejorar arquitecturas de integración entre SIG y SBA.

La validación TAM muestra el interés de los bomberos a proyectos de este tipo, con lo cual queda claro que proyectos futuros tendientes a mejorar el presente proyecto serán bienvenidos por parte del cuerpo de bomberos de Bogotá y concretamente por los bomberos de la localidad de Usme en Bogotá.

A pesar de la gran cantidad de modelos de calidad y herramientas de calidad a disposición del público como de evaluación del PMD, Checkstyle o FindBugs, muy pocos estudios han investigado el uso de modelos de calidad por los desarrolladores en sus actividades diarias. Una de las razones para esta falta de estudios es la ausencia de entornos integrados para el seguimiento de la evolución de la calidad del software [62]. La ausencia de estos entornos integrados hizo que el seguimiento del proceso de desarrollo fuera engorroso.

La mejora de la calidad de los productos y procesos, la reutilización de código y otros componentes de software tales como el diseño y los requisitos contribuyen a la mejora de la productividad.

En la evaluación de arquitecturas de visualización se evaluaron estrategias de servicios web, basadas en RMI, basadas en CORBA y se seleccionó la tecnología de sockets, usando unos atributos arquitectónicos para tomar esta decisión (se hizo incluso la propuesta documentando esta situación en un artículo que está siendo sometido al CLEI, el cual detalla la forma como se eligió esta estrategia). De otra parte a nivel de patrones arquitectónicos las arquitecturas más usadas en este tipo de integración son arquitecturas basadas en P2P, en blackboard y la más usada es la de crear agentes georeferenciados por medio de una ontología común tanto a la SBA como al SIG. El problema de seleccionar esta última alternativa estriba en el hecho en que la estrategia de interacción que se propone es para SIG y SBA que inicialmente no fueron concebidos para esta interacción y teniendo en cuenta que la mayoría de SBA que no se conciben para trabajar datos geográficos no incluyen ontologías geográficas, esta opción no es viable y le quitaría generalidad al proyecto.

En cuanto al desarrollo del modelo arquitectónico, la implementación del modelo incremental de desarrollo de software, fue una buena estrategia de proceso, por cuanto este proceso es útil cuando se desea construir sistemas nuevos en donde no se tiene claridad por dónde empezar y se requiere comenzar un proyecto de cero. De otra parte el desarrollo del modelo arquitectónico concluye especificando al patrón Client Dispatcher Server como el patrón de arquitectura predominante. Esto no quiere decir que no se puedan combinar dos patrones de arquitectura y esto es una buena conclusión ya que fue posible establecer una arquitectura en la que el segundo patrón arquitectónico es el patrón blackboard, es decir en la capa dispatcher del patrón Client Dispatcher Server se propuso el patrón de arquitectura para compartir datos y se concluyó que su uso beneficia la compartición de datos, pero para poderle sacar el mayor provecho se requiere la aplicación de patrones detallados que mejoren estas interacciones. En el caso del proyecto estos patrones detallados fueron sobre todo el Command, que permitió al SIG interpretar correctamente los cambios enviados por la SBA. Sin embargo como toda arquitectura se puede seguir detallando se propusieron patrones detallados que solucionaron algunos inconvenientes de configuración del SIG como el patrón singleton para lograr que solo exista una configuración usada en un instante de tiempo por parte del SIG.

Dado que se escogió una SBA que implementa el patrón blackboard, se concluye que en un futuro para el caso de aplicación desarrollado se puede hacer una integración más íntima entre la SBA y el SIG unificando o sincronizando los blackboard, tanto el del SIG como el de la SBA a través de un despachador para no estropear la arquitectura de más alto nivel.

Al probar la estrategia arquitectónica fueron importantes las verificaciones de coherencia conceptual para verificar que al refinar un diseño, no se dañe el diseño de más alto nivel. Es posible que al realizar implementaciones se dañen niveles superiores y para ello se debe tener en todo momento un mapa con los diagramas de más alto nivel para no perder esta coherencia. Las verificaciones de acoplamiento hicieron que se mejorara el rendimiento del sistema por cuanto revelaron paquetes que tenían muchas dependencias o que afectaban demasiado otros paquetes y ayudó a implementar correctamente los paquetes. También fue una buena estrategia para encontrar errores en la implementación entre paquetes, ya que ésta técnica revela enlaces entre paquetes, que según el diseño de alto nivel no se deberían dar y esto dio como resultado que esta técnica fuera muy útil en este tipo de situaciones.

La validación TAM fue importante en el proyecto porque permitió evaluar cuestiones de funcionalidad que no se pudieron evaluar con métodos clásicos de ingeniería de software. También la validación permitió demostrar que el proyecto tiene un gran futuro por lo menos desde la óptica de los bomberos de Usme.

A pesar de la rigurosidad en la planeación de incrementos para realizar la arquitectura, no es posible cumplir al 100% con todos los requerimientos y hacerlo en el incremento estimado, aún es más complicado. Lo importante es que al finalizar la mayoría de requerimientos se hayan cumplido y se bosqueje teóricamente que si se sigue ejecutando el proceso con más iteraciones se logrará perfeccionar la arquitectura

Una de las recomendaciones relevantes con respecto a la visualización mostrada en este proyecto es que la misma, depende entre otras cosas de la calidad del mapa y la precisión en la ubicación depende de la forma como se ha digitalizado la información geográfica en el mapa

por parte de los expertos en sistemas de información geográfica, con lo cual en la medida en que la información contenida en el SIG esté mejor georeferenciada y posea mayores capas, mayor será la utilidad de la integración.

## 2. Aclaraciones

En integraciones con otras condiciones se hace necesario realizar mejoras a la arquitectura propuesta. Sin embargo integraciones entre SIG y SBA existentes pueden tener una arquitectura válida y distinta a la sugerida y esto no significa que tenga que cambiarse, simplemente que lo expuesto en el presente trabajo es una propuesta de tantas posibles, según el orden en el que se seleccionen los requisitos, según las decisiones de arquitectura tomada y según los conocimientos sobre SBA y SIG.

Cada iteración del PDI condujo a una cierta funcionalidad del proyecto, en donde iteraciones posteriores garantizaron que se mantuvieron como mínimo los resultados alcanzados en anteriores iteraciones, lo cual conlleva a que si se presentan errores en una iteración, se pierda el trabajo de ésta última iteración y no el trabajo de las iteraciones anteriores.

## 3. Trabajo futuro

La arquitectura planteada en la presente investigación hace énfasis en la vista estática y dinámica, pero existen otras vistas que se pueden usar para probar la estrategia. Se sugiere incluso probar con otro SIG y con otra SBA la misma arquitectura a fin de verificar que tan genérica es la arquitectura propuesta.

Teniendo en cuenta que las mejores integraciones hechas entre SIG y SBA, son las que se han hecho construyendo ambos sistemas en paralelo, se deja como trabajo futuro analizar las modificaciones necesarias a nivel de arquitectura en estos sistemas a fin de lograr que la interacción tenga los mismos resultados que si los sistemas hubieran sido construidos en paralelo.

La integración planteada entre SBA y el SIG puede ser mejorada teniendo en cuenta el movimiento de los agentes sobre el SIG, por ejemplo una vía con un solo carril, no debería permitir que los agentes se muevan en ambos sentidos, este tipo de restricciones habría que ir las colocando en trabajo futuros y se plantea que se sigan haciendo incrementos en donde cada incremento tenga en cuenta un aspecto del SIG. Esto hace ver que el número de trabajo futuros derivados de la presente investigación es extenso y abre la posibilidad incluso para proyectos de investigación de gran envergadura.

El uso potencial del sistema desarrollado en esta investigación se logrará, en la medida en que se inviertan recursos y se cuente con equipos multidisciplinarios que tengan distintos conocimientos en cada uno de los temas tocados en esta investigación.

Han surgido tecnologías como los mapas 3d geográficos, el problema es que estos mapas particularmente no existen todavía para localidades de Bogotá como Usme, sin embargo se deja como trabajo futuro la implementación de esta arquitectura en mapas 3d con el ánimo de verificar si ésta arquitectura es válida en estos ambientes.

La tecnología de comunicación usada en la presente arquitectura está basada en tecnología de sockets, sin embargo otras tecnologías de comunicación pueden ser propuestas para lograr la integración planteada, esta es sólo una factible.

Otro trabajo futuro propuesto es mejorar la ontología de la simulación, incorporándole elementos de localización a fin de lograr que la interacción con el SIG sea más transparente por parte de la SBA. De otra parte el prototipo propuesto se basa en tecnología java, pero se podría proponer integraciones en otros lenguajes a fin de verificar la independencia del modelo planteado con respecto a la tecnología.

Las pruebas en paralelo de sistemas software son una tendencia fuerte en la actualidad que permite reducir el tiempo de prueba, los costos y la complejidad de la prueba. La razón para no realizar este tipo de pruebas es que en la práctica no existen modelos prácticos de arquitectura o patrones que permitan realizar la PATS (Parallel Automatic Test Systems) [59], sin embargo es posible proponer trabajos futuros que realicen este tipo de pruebas.

Después de aplicar patrones de diseño, se aplican patrones concretos y dependientes del lenguaje de programación [60]. Estos últimos no fueron tenidos en cuenta porque quitaría generalidad a la estrategia arquitectónica planteada.

Debido a que existe una versión para orientación a servicios de los patrones tradicionales, es posible migrar la actual arquitectura a una arquitectura de orientación a servicios [61], sin cambiar la estructura arquitectónica, pero si haciendo algunos ajustes al desarrollo planteado.

La mejora de la calidad de los productos y procesos, la reutilización de código y otros componentes de software tales como el diseño y los requisitos contribuyen a la mejora de la productividad [65]. En este sentido el aporte que se tuvo usando un API para el manejo del patrón blackboard, permitió un rápido avance del proyecto a nivel de programación, con lo cual se logró experimentar que el uso de APIs probadas ayuda a que el desarrollador se concentre más en lógica de negocio y detalles de arquitectura que en la programación de detalles pequeños.

#### **4. Lecciones aprendidas**

Cuando se sigue un proceso de desarrollo de software incremental, se tiene la ventaja que cada incremento arroja resultados que no se pierden en las siguientes iteraciones, y desde este punto de vista la aplicación de estos modelos de procesos son útiles en desarrollos de sistemas, en donde se tienen muchos riesgos.

Los enfoques de pruebas Top Down tienen un impacto en la comprensión del sistema, pero no permiten capturar incoherencias significativas en la implantación y codificación de los sistemas, con respecto al diseño del modelo.

Las validaciones Bottom Up son útiles para capturar errores de incoherencias entre los modelos planteados y las implementaciones de estos modelos, el problema es que exigen más desgaste de tiempo en su realización. El otro inconveniente es que esta detección de errores se

hace una vez el sistema ya se ha terminado o por lo menos una vez se tiene una funcionalidad del sistema implementada a nivel de software.

Aplicar enfoques de validación transversal (examinando varias vistas en un mismo nivel), validaciones con enfoques bottom up (vistas globales vs vistas detalladas) y validaciones con enfoques Top Down (vistas detalladas vs vistas globales) en forma simultánea es complejo y podría ocasionar un aumento en los resultados incoherentes obtenidos fruto de estas validaciones a medida que se aplica el enfoque híbrido en niveles inferiores de la arquitectura.

Cuando no se tiene una estrategia arquitectónica definida, el uso del patrón arquitectónico blackboard ayuda a visualizar la estrategia arquitectónica a seguir, es probable que esta situación se deba a la generalidad del patrón blackboard y al sinnúmero de casos que cubre el patrón arquitectónico blackboard. Por estas razones se sugiere que en un futuro, siempre que se use el patrón blackboard, se revise si la aplicación de este patrón induce a la implementación de otro patrón específico de arquitectura.

## V - BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gonzalez, Rafael A. "Validation of Crisis Response Simulation within the Design Science Framework". ICIS 2009 Proceedings. Paper 87. 2009. <http://aisel.aisnet.org/icis2009/87>
- [2] Davis, F.D. "User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioural impacts". International Journal of Man-Machine Studies 38, pp. 475-487. 1993
- [3] Davis, F.; Bagozzi, R.; and Warshaw, R. "User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models". Management Science, Volume 35, 1989, pp. 982-1003. 1989
- [4] Orantes Jiménez, S.D. "Viabilidad del Modelo de Aceptación de la Tecnología en las empresas mexicanas. Una aproximación a las actitudes y percepciones de los usuarios de las tecnologías de la información". Revista Digital Universitaria. Volumen 12. Número 1. ISSN: 1067-6079. 2011
- [5] Khosravi, K., Gueheneuc, Y.G. "A Quality Model for Design Patterns". Technical Report 1249. University of Montreal. 2004.
- [6] Fujii, T.; Dohi, T.; Fujiwara, T.; , "Towards quantitative software reliability assessment in incremental development processes," Software Engineering (ICSE), 2011 33rd International Conference on , vol., no., pp.41-50, 21-28 May 2011
- [7] Tran, P.; Galka, R.; , "On incremental delivery with functionality," Computers and Communications, 1991. Conference Proceedings., Tenth Annual International Phoenix Conference on , vol., no., pp.369-375, 27-30 Mar 1991



- [8] Mills, H., O'Neill, D., *The Management of Software Engineering*, IBM Systems, 1980.
- [9] Philippe Kruchten. "The 4+1 View Model of Architecture". *IEEE Software.*, Los Alamitos, CA, USA, Volume 12, Number 6, Pages 42-50, IEEE Computer Society Press, 1995.
- [10] Dilip Soni; Robert L. Nord & Christine Hofmeister. "Software architecture in industrial applications". *ICSE '95: Proceedings of the 17th international conference on Software Engineering*, New York, NY, USA, Pages 196- 207, ACM, 1995.
- [11] Orantes Jiménez, S.D. "Viabilidad del Modelo de Aceptación de la Tecnología en las empresas mexicanas. Una aproximación a las actitudes y percepciones de los usuarios de las tecnologías de la información". *Revista Digital Universitaria*. Volumen 12. Número 1. ISSN: 1067-6079. 2011
- [12] Khosravi, K., Gueheneuc, Y.G. "A Quality Model for Design Patterns". Technical Report 1249. University of Montreal. 2004.
- [13] N. Noy, F. and m. Klein. "Ontology evolution: not the same as schema evolution". *Knowledge and Information Systems.*, 2003.
- [14] J. McCall. *Factors in software quality*, vols. I, II y III. NTIS; Roma, citado en Piattini (1996).
- [15] J. Reaidya, P. Massottea. Diep d., "Comparison of negotiation protocols in dynamic agent-based manufacturing systems". *International journal of production economics*. 2003
- [16] W. Zhang. G. Wang. R. M, LESSER V. "Analysis of negotiation protocols by distributed search". *Distributed Sensor Networks: A multiagent perspective*. 2003
- [17] H. Ben-Ameur . B. Chaib-Draa P. Kropf . "Multi-Item Auctions for Automatic Negotiation". *Cirano. Scientific Series s-68 ISSN 1198-8177*. 2002.
- [18] F. Bellifemine. A. Poggi. G. Rimassa. "Jade–A Fipa-compliant agent framework", Italy.
- [19] Hevner, A., March, S., Park, J., Ram, S. "Design Science in Information Systems Research," *MIS Quarterly* (28:1), pp. 75-105. 2004.
- [20] Leclercq, E., Benslimane, B., Yetongnon, K. "ISIS: a semantic mediation model and an agent based architecture for GIS interoperability ", *Database Engineering and Applications*, 1999. *IDEAS '99. International Symposium Proceedings* , pps.87 - 91.1999.
- [21] Luo Yingwei, Wang Xiaoli,; Xu Zhuoqun. "Design of a framework for multi-user/application oriented WebGIS services", *Computer Networks and Mobile Computing*, 2001. *Proceedings. 2001 International Conference on*, pps.151 – 156.2001.

- [22] Leshan Zhang, Fontaine, C.M., Murray-rust, D., Rounsevell, M.; Wen L.; Ge Chen. "Integrating VR, GIS and agent based model to simulate regional residential demand changes", Computer Science and Information Technology, 2009. ICCSIT 2009. 2nd IEEE International Conference on, pps.388 – 392.2009.
- [23] Tang Chao, Feng Shan, Qiu Rendong, Xu, L.D. "An agent-based architecture in geographical information system", American Control Conference, 2001. Proceedings of the 2001, PPS.912 - 917 vol.2.2001.
- [24] Smoke Emissions and Dispersion, <http://www.firelab.org/scienceapplications/smoke-emissions>. Accedido el 3 de junio de 2011
- [25] Fire Ecology, <http://www.firelab.org/science-applications/fire-ecology>. Accedido el 3 de Junio de 2011
- [26] FOFEM. First Order Fire Effects Model, <http://www.firelab.org/scienceapplications/fire-fuel/111-fofem>. Accedido el 3 de junio de 2011
- [27] Fire and Fuel Management Strategies, <http://www.firelab.org/scienceapplications/fire-fuel>. Accedido el 3 de junio de 2011.
- [28] Reseña Histórica – FOPAE. [http://intranet.fopae.gov.co/portal/page/portal/FOPAE\\_V2/Quienes%20Somos](http://intranet.fopae.gov.co/portal/page/portal/FOPAE_V2/Quienes%20Somos). Accedido el 7 de Mayo 2009
- [29] Caracterización, Planeación y gestión estratégica. Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá. D.C. [http://www.bomberosbogota.gov.co/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=510&Itemid=116](http://www.bomberosbogota.gov.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=510&Itemid=116). Accedido el 1 de Junio de 2011
- [30] IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi, <http://www.igac.gov.co/>. Accedido el 10 de Mayo de 2011
- [31] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, <http://www.ideam.gov.co/>. Accedido el 10 de Mayo de 2011
- [32] Mekni, M., Moulin, B., Hierarchical Path Planning for Multi-agent Systems Situated in Informed Virtual Geographic Environments. Information, Process, and Knowledge Management, 2010. eKNOW '10. Second International Conference on, pp. 48 – 55. 2010
- [33] Guang-Ru Li., Jing-Feng Hu; Zhi Sun., Structure and Algorithm Design of the Manager-Agent in Webgis. Machine Learning and Cybernetics, 2006 International Conference on, pp. 40 – 45, 2006
- [34] Aldo Alvarez, Ph.D., Sobre la evaluación de riesgo de desastres naturales y vulnerabilidad de la comunidad utilizando sistemas de información geográficos,

<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/95/94>, Universidad de puerto rico. Recinto Universitario de Mayaguez, 102 Rev. Int. De Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 5(2). Accedido el 27 de Marzo de 2011

[35] Bin Zhu., Tao Liu., Yongchuan Tang., Research on pedestrian evacuation simulation based on fuzzy logic. Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, 2008. CAID/CD 2008. 9th International Conference on, pp. 1024 – 1029,2008

[36] Yang Bo., Wu Yong-gang., Wang Cheng., A GIS-based simulation for occupant evacuation in an amusement building. Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR), 2010 2nd International. Asia Conference on, vol 3, pp. 274 – 277, 2010

[37] Rafael A. González., A Framework for ICT Supported ICT in crisis Response. Doctoral Dissertation, Delft University of Technology, The Netherlands, pp.1- 218,2010

[38] Miyoshi, T., Nakagawa, M., Ueno, Y., Nakayasu, H., Urgent evacuation simulation in aircraft accident using AAMAS. Computers and Industrial Engineering (CIE), 2010 40th International Conference on, pp. 1 – 6, 2010

[39] Anhong Ling., Xiang Li., Wenjuan Fan., Ning An., Jian Zhan; Lian Li., Yongzhong Sha., Blue Arrow: A Web-Based Spatially-Enabled Decision Support System for Emergency Evacuation Planning. Business Intelligence and Financial Engineering, 2009. BIFE '09. International Conference on, pp. 575 – 578,2009

[40] Oscar Franceze., Center For Transportation Analysis Research Brief., Oak Ridge National Laboratory., “Oak Ridge Evacuation Modeling System. [http://cta.ornl.gov/cta/One\\_Pagers/OREMS.pdf](http://cta.ornl.gov/cta/One_Pagers/OREMS.pdf), 2009

[41] M. Pidd, R. Eglese, and F.N. de Silva, “CEMPS: A Prototype Spatial. Decision Support System to Aid in Planning Emergency Evacuations”, Transactions in GIS, vol. 1, 1997, pp. 321-334.2009

[42] Definición de Crisis según la Real Academia Española. [http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=crisis](http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=crisis). Accedido el 15 de mayo de 2011

[43] Definición de Emergencia según la Real Academia Española. [http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO\\_BUS=3&LEMA=emergencia](http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=emergencia). Accedido el 15 de mayo de 2011

[44] McCall J.(1977): Factors in software quality, vols. I, II y III. NTIS; Roma, citado en Piattini (1996)

[45] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of

- [46] IEEE Standard Computer Glossaries. New York: IEEE, 1990. [Consulta: 29/02/2008]  
EICTA. EICTA White Paper on Interoperability and Standardisation. Bruselas, 2006. 26 p.  
Disponible en:  
[http://www.eicta.org/fileadmin/user\\_upload/document/document1166544474.pdf](http://www.eicta.org/fileadmin/user_upload/document/document1166544474.pdf). [Consulta: 29/02/2008].
- [47] Australian Government Information Management Office. Interoperability Technical Framework for the Australian Government, Version 2, Junio 2003. Disponible en:  
<http://www.agimo.gov.au/publications/2005/04/agtifv2> [Consulta: 29/02/2008].
- [48] IDABC. European Interoperability Framework for pan-European eGovernment Services. Version 1.0. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2004. Disponible en: <http://europa.eu.int/idabc/en/document/3761>. [Consulta: 29/02/2008].
- [49] Citado por Ioannis Theodorou (et al.) Technical Interoperability: Report about Important Issues, Requirements and State-of-the-Art. V. 1.0. QualiPSo, 2007.  
<http://www.qualipso.org/media/A3/D3.1.1B.pdf> [Consulta: 29/02/2008].
- [50] D. Thompson, "Geographic Information Systems : An Introduction. International GIS Sourcebook.", 1992, pp. 338-341,1992
- [51] J.A.Cebrián, "Información geográfica y sistemas de información geográfica.", 1992, Santander: DIDOT SA. ,1992
- [52] D.Comas,E.Ruiz "Fundamentos de los sistemas de información geográfica.", 1993, Barcelona: Ariel. ,1993
- [53] Aldo Alvarez, Ph.D., Sobre la evaluación de riesgo de desastres naturales y vulnerabilidad de la comunidad utilizando sistemas de información geográficos, <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/95/94>, Universidad de puerto rico. Recinto Universitario de Mayaguez, 102 Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 5(2). Accedido el 27 de Marzo de 2011
- [54] Shresta, S.; Mayer, R.H.; , "Modeling of air traffic arrival operations through agent-based simulation," Simulation Conference, 2008. WSC 2008. Winter , vol., no., pp.2673-2681, 7-10 Dec. 2008
- [55] Cabri, G.; Ferrari, L.; Leonardi, L.; , "Agent role-based collaboration and coordination: a survey about existing approaches," Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on , vol.6, no., pp. 5473- 5478 vol.6, 10-13 Oct. 2004
- [55] Mekni, M., Moulin, B., Hierarchical Path Planning for Multi-agent Systems Situated in Informed Virtual Geographic Environments. Information, Process, and Knowledge Management, 2010. eKNOW '10. Second International Conference on, pp. 48 – 55. 2010
- [56] Maier, M.W.; Emery, D.; Hilliard, R.; , "Software architecture: introducing IEEE Standard 1471," Computer , vol.34, no.4, pp.107-109, Apr 200

- [57] Emery, D.; Hilliard, R.; , "Updating IEEE 1471: Architecture Frameworks and Other Topics," Software Architecture, 2008. WICSA 2008. Seventh Working IEEE/IFIP Conference on , vol., no., pp.303-306, 18-21 Feb. 2008
- [58] Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., Stal, M. "Pattern-Oriented Software Architecture Volume 1: a system of patterns". Wiley. Vol 1. Pp: 31. 1996
- [59] Xia Rui; Xiao Ming-qing; Cheng Jin-jun; , "Parallel TPS design and application based on software architecture, components and patterns," Autotestcon, 2007 IEEE , vol., no., pp.234-240, 17-20 Sept. 2007
- [60] Barth, M.; Jonghun Yoo; Saehwa Kim; Seongsoo Hong; , "Design patterns for releasing applications in C++ implementations of JTRS software communications architecture," Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing, 2006. ISORC 2006. Ninth IEEE International Symposium on , vol., no., pp.8 pp., 24-26 April 2006
- [61] Kral, J.; Zemlicka, M.; , "Crucial Patterns in Service-Oriented Architecture," Digital Telecommunications, 2007. ICDT '07. Second International Conference on , vol., no., pp.24, 1-5 July 2007
- [62] Haderer, N.; Khomh, F.; Antoniol, G.; , "SQUANER: A framework for monitoring the quality of software systems," Software Maintenance (ICSM), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.1-4, 12-18 Sept. 2010
- [63] Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75-105.
- [64] Hevner, A. R. (2007). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 19(2), 39-64.
- [65] Butler, G.; , "Quality and reuse in industrial software engineering," Software Engineering Conference, 1997. Asia Pacific ... and International Computer Science Conference 1997. APSEC '97 and ICSC '97. Proceedings , vol., no., pp.3-12, 2-5 Dec 1997
- [66] Jing Wang; Yeong-Tae Song; Chung, L.; , "From software architecture to design patterns: a case study of an NFR approach," Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, 2005 and First ACIS International Workshop on Self-Assembling Wireless Networks. SNPDP/SAWN 2005. Sixth International Conference on , vol., no., pp. 170- 177, 23-25 May 2005
- [67] Matinlassi, M.; , "Comparison of software product line architecture design methods: COPA, FAST, FORM, KobrA and QADA," Software Engineering, 2004. ICSE 2004. Proceedings. 26th International Conference on , vol., no., pp. 127- 136, 23-28 May 2004
- [68] Sistemas de Transmisión. Georeferenciación UPME. Unidad de planeación Minero energética.

<http://www.simec.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=alMunz%2fR5qw%3d&tabid=70>. Accedido el 12 de Junio de 2012.

[69] Sistema de concentraciones de amenazas por remoción. Georeferenciación UPME. Unidad de planeación Minero energética. [http://190.90.10.157/Generacion\\_Real\\_EE](http://190.90.10.157/Generacion_Real_EE). Accedido el 12 de Junio de 2012.

[70] IGAC. Instituto geográfico Agustín Codazzi. SIG-OT. Sistema de Información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial. [http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/PDF/SIGOT\\_AmbAmenRemocMasa\\_Nal.pdf?](http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/PDF/SIGOT_AmbAmenRemocMasa_Nal.pdf?). Accedido el 12 de Junio de 2012.

[71] IGAC. Instituto geográfico Agustín Codazzi. SIG-OT. Sistema de Información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial. Grados de amenaza volcánica. [http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/PDF/SIGOT\\_AmbAmenVolcanicaGrado\\_Nal.pdf?](http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/PDF/SIGOT_AmbAmenVolcanicaGrado_Nal.pdf?). Accedido el 12 de Junio de 2012.

[72] Holm, Gunnar; Moradi, Farshad; Svan, Pernilla; Wallin, Niklas; , "A Platform for Simulation of Crises in Urban Environments," *Modelling & Simulation*, 2007. AMS '07. First Asia International Conference on , vol., no., pp.320-328, 27-30 March 2007

[73] David Garlan, Robert Monroe y David Wile. "Acme: Architectural description of component-based systems". *Foundations of Component-Based Systems*, Gary T. Leavens y Murali Sitaraman (eds), Cambridge University Press, pp. 47-68, 2000

[74] Vicsek, T. "Complexity: The bigger picture". *Nature* 418(6894), pp. 131-131. 2002

[75] Windrum, P., Fagiolo, G., Moneta, A. "Empirical Validation of AgentBased Models: Alternatives and Prospects". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(2), Artículo 8. 2007

[76] Moss, S., Edmonds, B., Wallis, S. "Validation and Verification of Computational Models with Multiple Cognitive Agents". *Centre for Policy Modelling Report*, No. 97-25. 1997

[77] Observatorio Ambiental de Bogotá D.C. <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=180&v=1>. Consultado el 30 de agosto de 2011.

[78] Diario: El Espectador. Sección Noticias Bogotá. Título noticia: "Autoridades piden alertar oportunamente sobre incendios forestales". Fecha de publicación: 3 de enero de 2010.

[79] Conociendo la Localidad de Usme: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Bogotá Positiva – Gobierno de la Ciudad. Secretaría Distrital de Planeación. 2009. Una versión online es posible en <http://www.sdp.gov.co/resources/05usme.pdf>.

[80] Zucconi, L.; , "Software Process Improvement Paradigms for IT Industry: Why the Bottom-Up Approach Fits Best," Software Engineering Conference, 1995. Proceedings., 1995 Asia Pacific , vol., no., pp.511, 6-9 Dec 1995

[81] Thomas, M.; McGarry, F.; , "Top-down vs. bottom-up process improvement," Software, IEEE , vol.11, no.4, pp.12-13, Jul 1994

[82] PROCIS. ArcGIS Online. Servicio de Mapas, <http://www.prosis.com/vistas/productos/online/serviciosMapa.php>. Accedido el 31 de julio de 2012

[83] COLOMBIA TURISMO. Online. Servicio de Navegación por mapas turísticos, <http://www.colombiaturismoweb.com>. Accedido el 31 de julio de 2012

[84] INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Políticas de privacidad y términos de uso, <http://www.ingeominas.gov.co/Nosotros/PoliticasyTerminos-de-Uso.aspx>. Accedido el 31 de julio de 2012

[85] MODELO DE SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN PARA LA ESTRATEGIA DE GOBIERNO EN LÍNEA. Modelo de seguridad SANSI\_SGSI, [http://programa.gobiernoenlinea.gov.co/apc-aa-files/5854534aee4eee4102f0bd5ca294791f/ModeloSeguridad\\_SANSI\\_SGSI.pdf](http://programa.gobiernoenlinea.gov.co/apc-aa-files/5854534aee4eee4102f0bd5ca294791f/ModeloSeguridad_SANSI_SGSI.pdf). Accedido el 31 de julio de 2012

## VI - ANEXOS

El presente trabajo de grado contiene los siguientes anexos

(<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI111-03-EstraInteraSIG/anexos.html>)

[A] Análisis de necesidades e infraestructura tecnológica de los bomberos de la localidad de USME.

[B] Análisis de necesidades a partir del entorno.

[C] Análisis de necesidades a partir de la base de conocimiento.

[D] Proceso iterativo de desarrollo de arquitectura siguiendo modelo incremental.

[E] Verificación de la arquitectura.

[F] Verificación de coherencia conceptual e inicial de la arquitecta del sistema.

[G] Verificación del software desarrollado.

[H] Verificación de la arquitectura a partir de atributos de calidad y patrones.

[I] Validación del prototipo con TAM.

[J] Validación triangulada de la arquitectura vs requerimientos.

(<https://docs.google.com/open?id=0Bx3gYr7Z5Yf0R0JyZFIHcTZUQkk>)

[K] Video prototipo.

(<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI111-03-EstraInteraSIG/memorias.html>)

[L] Estado del arte.

[M] Propuesta Trabajo de Grado.

[N] Propuesta Artículo sometido al CLEI

[O] Pruebas