

# Hacia la integración de un sistema de información geográfico y una simulación basada en agentes

*Towards the integration of a geographical information system and agent-based simulation*

## **RAFAEL ANDRÉS GONZÁLEZ RIVERA**

Ingeniero de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana, magister en Ciencias de la Computación, doctor (*cum laude*) en Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Delft, Holanda. Director del Departamento de Ingeniería de Sistemas. Bogotá, Colombia.

Contacto: [ragonzalez@javeriana.edu.co](mailto:ragonzalez@javeriana.edu.co)

## **LUIS FELIPE WANUMEN SILVA**

Ingeniero de Sistemas, especialista en Ingeniería de Software, estudiante de maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: [lwanumen@udistrital.edu.co](mailto:lwanumen@udistrital.edu.co)

Fecha de recepción: 15 de agosto de 2013

Clasificación del artículo: revisión

Fecha de aceptación: 1 de noviembre de 2013

Financiamiento: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

**Palabras clave:** arquitectura de sistemas, interoperabilidad de aplicaciones, modelo de integración de sistemas, simulación basada en agentes, sistemas de información geográfico.

**Key words:** Agent-based simulation, geographic information systems, interoperability of applications, systems architecture, systems integration model.

## **RESUMEN**

Este artículo evalúa estrategias para integrar sistemas de información geográfica (SIG) con simuladores basados en agentes (SBA). Primero se obtienen estrategias existentes para integrar SIG con otros sistemas, estrategias que se usan

para integrar SBA con otros sistemas y estrategias usadas para integrar SIG con SBA. Segundo, se establecen criterios para evaluar las estrategias; finalmente, se muestra el proceso de aplicación de criterios y los resultados obtenidos se aplican en un caso real de integración entre un SIG y una SBA existentes.

## ABSTRACT

This article assesses strategies for integrating geographic information systems (GIS) with agent-based simulators (ABS). First you get existing strategies to integrate GIS with other systems, strat-

egies used to integrate with other systems ABS and strategies used to integrate GIS with ABS. Second, establish criteria for evaluating strategies and, finally, shows the process of implementation of criteria and the results are applied in a real case of integration between existing GIS and existing ABS.

\* \* \*

## INTRODUCCIÓN

El intercambio de información geográfica entre los SIG y simulaciones basadas en agentes presenta múltiples perspectivas inconsistentes (Chang, 2009), que deben ser tenidas en cuenta desde la concepción de los simuladores que requieren sistemas de información geográfica (SIG) (Chang, 2010) para beneficiarse de las simulaciones basadas en agentes (SBA) (Al-Zakwani, Brimicombe y Mouratidis, 2007). Incorporar SBA a los SIG permitiría potencialmente añadir comportamiento humano a los SIG (Bo, Yong-gang y Wang, 2009; Yu *et al.*, 2010) y añadir SIG a las simulaciones permite a los SIG visualizar simulaciones de forma georreferenciada (Lodha *et al.*, 2003; Bista y Pack, 2008). Concretamente, los simuladores pensados en la atención de emergencias, al integrarse con SIG, pueden simular situaciones reales a un bajo costo, debido a que la limitación de espacio y de tiempo es baja (Huang *et al.*, 2010).

En este caso, la SBA por integrar con el SIG está enfocada a analizar el problema de la coordinación entre profesionales de atención de emergencias (en particular una explosión), donde los agentes principales son policías, médicos y bomberos. Actualmente, la simulación se visualiza sobre un plano cartesiano simple y se busca que se pueda visualizar sobre un SIG existente. El SIG por integrar con la SBA contiene un mapa de una localidad de Bogotá con serios problemas de vulnerabilidad (Usme) y está desarrollado sobre la plataforma Arcgis. De esta manera, se puede proveer a la SBA de un SIG que aporta valor técnico

(Bisher, 1998) y humano (Nedovic y Pinto, 2001) en un entorno real. Aunque Arcgis permite integración con aplicaciones web (Lu *et al.*, 2010), para el presente caso se estudiarán estrategias para integrarlo con una SBA a través de una aplicación de escritorio.

Lograr la integración entre estos dos sistemas permitirá a la SBA georreferenciar los objetos de dicha simulación sobre un mapa de Usme, e integrar de manera más natural la SBA a los procesos existentes de las organizaciones involucradas en la atención de emergencias en Usme. De otra parte, sabiendo que los SIG desempeñan un papel importante en decisiones sociales, económicas y políticas (Yu *et al.*, 2010), el hecho de mejorar un SIG y darle la posibilidad de ser útil en servicios de emergencia y administración de desastres permite obtener mayor información geográfica útil en la planeación de emergencias (Onsrud y Rushton, 1995). Sin embargo, para lograr intercambio exitoso entre SIG y SBA se requiere un medio ambiente propicio para el intercambio de información geográfica (Stoimenov *et al.*, 2005).

Para lograr esta integración se plantea lo siguiente:

- Un proceso para encontrar estrategias de integración entre SIG y SBA (sección 2).
- Una forma para evaluar las estrategias (sección 3).
- Una presentación de las mejores estrategias aplicables al caso de integración entre un SIG y un SBA existentes (sección 3).

La evaluación de estrategias se hizo usando el método de comparación de características (*feature comparison*) usando los criterios de disponibilidad de información, nivel de integración, modularidad, interoperabilidad en comunicación, interoperabilidad en datos, rapidez, completitud, escalabilidad y eficiencia para analizar las ventajas y desventajas de cada estrategia.

### **ESTRATEGIAS DE INTEGRACIÓN ENTRE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SIMULADORES BASADOS EN AGENTES**

El proceso de identificar estrategias para integrar SIG con SBA se realizó en tres etapas:

- En la primera etapa se buscaron estrategias para integrar SIG con otros sistemas.
- En la segunda etapa se buscaron estrategias para integrar SBA con otros sistemas.
- En la tercera etapa se buscaron estrategias que son explícitamente usadas para integrar SIG con SBA.

#### **Estrategias para integrar sistemas de información geográfica con otros sistemas**

Entre las estrategias encontradas para integrar SIG con otros sistemas se encontraron el desarrollo de una ontología global compartida (Chaabane *et al.*, 2009), la integración basada en la cooperación de bases de datos (Berge, 1958) y la integración semántica (Kuny Fuling, 2007).

La estrategia para desarrollar una ontología global (EDOG) consiste en desarrollar una ontología compartida, espacial y semánticamente enriquecida que permita integrar el SIG con otra aplicación que sea coincidente en términos de conceptos (Chaabane *et al.*, 2009). Esta estrategia garantiza el intercambio de información entre el SIG y

otros sistemas desde el punto de vista semántico; el problema radica en la heterogeneidad de ontologías geográficas, lo cual traslada el problema de integración de los sistemas a la ontología.

La estrategia para integrar sistemas basados en la cooperación de bases de datos (EISBCD) ofrece una mayor disponibilidad de los datos, pero nuevamente tiene el inconveniente de la numerosa y heterogénea cantidad de puntos de vista para realizar esta integración en cuanto a bases de datos (Berge *et al.*, 1958).

La estrategia basada en integración semántica (EBIS) es útil cuando se requieren búsquedas de coincidencias en los servicios SIG y las bases de datos espaciales. Es aplicable a entornos web, sobre todo en la recuperación de información web, y ha tomado auge con el surgimiento de tecnologías como los servicios web (Kunet *et al.*, 2007). El problema típicamente surge cuando esta recuperación de información es frecuente, como sería necesario para integrar con una simulación que cambia de estado continuamente. Adicionalmente, la integración semántica se puede hacer entre GIS (Kun *et al.*, 2007), y esto permite integrar incluso varias aplicaciones GIS (Al-Zakwani *et al.*, 2007). El problema es que el rendimiento se ve seriamente afectado en dichas aplicaciones (Sun y Li, 2008). Por otra parte, es interesante observar que los servicios se han ido incorporados en los sistemas GIS con el fin de integrar aplicaciones geográficas (Jun *et al.*, 2007); sin embargo, es discutible si realmente esta integración cumple con los requisitos de rendimiento de los SIG (Sun *et al.*, 2008).

#### **Estrategias para integrar simulaciones basadas en agentes con otros sistemas**

Actualmente existen formas para establecer comunicación entre SBA y otros sistemas como los *sockets*, los RPC (*Remote Procedure Calls*) y los objetos distribuidos (Tanenbaum, 1995).

La estrategia para integración de *sbacon* otros sistemas usando *sockets* (Eisosus) tiene la capacidad de comunicar procesos mediante datagramas o flujos de datos (*streams*). Sin embargo, los *sockets* requieren que las aplicaciones implanten sus propios protocolos para codificar y decodificar los mensajes que intercambian, lo que introduce una problemática diferente a la naturaleza del conflicto por resolver y aumenta la posibilidad de errores durante la ejecución (Cornell, 2000). No obstante, el rendimiento de sistemas basados en *sockets* es superior con respecto a sistemas basados en Cobra o sistemas basados en servicios web (Jagannadham *et al.*, 2007). Mientras que la ventaja de los servicios web es su alta escalabilidad y facilidad en el desarrollo de aplicaciones (Jagannadham *et al.*, 2007), los *sockets* en general tienen más alto desempeño para conectar SIG con otras aplicaciones, especialmente cuando las conexiones son frecuentes y en “tiempo real” (Kai *et al.*, 2010). Aunque las conexiones por *sockets* pueden ser inseguras, son las más rápidas, puesto que requieren menos carga de componentes de *software*. Esta inseguridad se puede aliviar con el uso de conexiones seguras SSL (Nianshenget *al.*, 2008; Sadi *et al.*, 2012). Específicamente, los sistemas de visualización (muy útiles cuando apoyan con GIS) (Keim, 2000), conectados mediante *sockets* con SBA, han demostrado gran rendimiento por encima de otras soluciones de conectividad (Herrera, Martín y Rubio, 2007).

La estrategia de integración de *sbacon* con otros sistemas usando RPC (Eisosur) permite comunicar sistemas con RPC—una de las estrategias clásicas de interconexión entre aplicaciones—, así como invocar procedimientos remotos donde la comunicación entre los elementos que componen el sistema distribuido; se realiza mediante la invocación de funciones que se encuentran en espacios de direcciones diferentes. En este caso, el programador tiene la “impresión” de trabajar con procedimientos locales, mientras que en realidad el sistema RPC se encarga de empaquetar los argumentos y enviarlos al proceso que contiene el

código que implementa a la rutina remota. Los sistemas codifican los parámetros de la invocación y los valores en una representación externa de los datos. Un ejemplo de este tipo de representaciones externas es XDR (eXternal Data Representation), especificado dentro de la comunidad Internet en el documento RFC 1832 (Cornell, 2004) (Cornell *et al.*, 2000).

La estrategia de integración de *sbacon* con otros sistemas usando objetos remotos (Eisosur) requiere ya no invocar procedimientos remotos, sino métodos de objetos remotos. El empleo de objetos distribuidos implica varias ventajas, como la orientación a objetos, la movilidad de las aplicaciones, la potencial aplicación de patrones de diseño, la seguridad y la recolección de basura distribuida (Tanenbaum, 2002); sin embargo, también presenta algunas desventajas como la disminución del rendimiento con respecto a los *sockets*, por el uso que hace de objetos volátiles y objetos persistentes (Walton, 2001). Los ejemplos de objetos distribuidos son los sistemas distribuidos basados en objetos como ANSA (1989-1991), DCOM de Microsoft Corba de OMG y tecnologías Java de Sun Microsystems como Remote-MethodInvocation (RMI), Enterprise Java Beans (EJB) y JINI.

### **Estrategias para integrar sistemas de información geográfica con simulaciones basadas en agentes**

El uso de acoplamiento flexible entre SIG y SBA (Uafss) es el método que consiste básicamente en comunicar los dos sistemas a través de los archivos o bases de datos. Este método requiere una mínima carga de programación debido a que la carga se deja al motor de bases de datos geográfico; sin embargo, su desventaja se encuentra en los frecuentes errores mientras se envía información a la base de datos. Por otra parte, este método presenta baja eficiencia en la generación de datos intermedios que no son leídos por los sistemas (Yi *et al.*, 2010).

El uso de acoplamiento cerrado entre SIG y SBA (UACSS) es un método que busca que la SBA y el SIG tengan la misma interfaz. Es precisamente esta interfaz la clave de la unificación que busca la integridad de las funciones del sistema. Este método tiene dos variantes: (a) incorporar herramientas de SIG en las SBA y (b) distribuir una SBA en el SIG.

El uso de acoplamiento completo entre SIG y SBA (Uaccess) es una integración en la cual cada uno de los módulos del SBA, tanto en lo que se refiere a datos, como en su modelado matemático, se integra con el SIG (Chao *et al.*, 2001; González, 2010). La cuestión es que para desarrollar este tipo de integraciones se debe realizarla SBA de la mano del sistema de información geográfica, desde el principio, para lograr este acoplamiento. En la actualidad este método se encuentra en desarrollo e investigación (Yi *et al.*, 2010; Novotny y Hauser, 2006; Keim *et al.*, 2000). La tabla 1 resume las estrategias candidatas que serán analizadas para soportar la integración entre SIG con SBA.

**Tabla 1.** Estrategias candidatas para soportar integración entre con sistemas de información geográfica (SIG) y simuladores basados en agentes (SBA)

Obtención de estrategia	Nombre de la estrategia
Buscando estrategias para integrar SIG con otros sistemas	EDOG, estrategia de desarrollar una ontología global
	Eisbcd, estrategia para integrar sistemas basados en la cooperación de bases de datos
	EBIS, estrategia basada en la integración semántica
Buscando estrategias para integrar SBA con otros sistemas	Eisosus, comunicación entre sistemas con <i>sockets</i>
	Eisosur, comunicación entre sistemas mediante RPC
	Eisosuor, comunicación entre sistemas con objetos distribuidos

Obtención de estrategia	Nombre de la estrategia
Buscando estrategias para integrar SIG con SBA	Uafss, método de acoplamiento flexible para integrar SIG con simulaciones basadas en agentes
	Uacss, método de acoplamiento cerrado para integrar SIG con simulaciones basadas en agentes
	Uaccess, método de acoplamiento <i>full</i> para integrar SIG con simulaciones basadas en agentes

Fuente: elaboración propia.

## SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE INTEGRACIÓN ENTRE SIG Y SBA

El proceso de selección de la estrategia se basa en el método de comparación de características que permite hacer una selección de criterios usando criterios cualitativos, pero formales (Christopher, 2011; Mao, Wang, Yang y Wang, 2011).

Los siguientes aspectos se han usado para medir el grado de integración de dos sistemas que se comunican: resultados deseados, disponibilidad de información, nivel de integración (Noy y Klein, 2003) y por ello se tendrán en cuenta para evaluar las anteriores estrategias. También se tendrán en cuenta los criterios de interoperabilidad establecidos por McCall (1996): modularidad, interoperabilidad en comunicación e interoperabilidad en datos. Finalmente, teniendo en cuenta que la interoperabilidad buscada está íntimamente ligada con temas de comunicaciones, se han seleccionado los siguientes criterios: rapidez (Reaidya *et al.*, 2003), completitud (Zhang *et al.*, 2003), escalabilidad (Ben-Ameur *et al.*, 2002) y eficiencia (Bellifemine *et al.*, 2000). En la tabla 2 se explican estos criterios a la luz de los requerimientos que debe cumplir la integración planteada.

**Tabla 2.** Criterios establecidos para evaluar las estrategias de integración

Nombre del criterio	Origen del criterio	Explicación
C1: resultados deseados (Noy <i>et al.</i> , 2003)	Teoría sobre la integración de sistemas y la finalidad de dicha integración	Se desea poder visualizar la ubicación de los agentes en el SIG
C2: disponibilidad de información (Noy <i>et al.</i> , 2003)	Teoría sobre la integración de sistemas y la finalidad de dicha integración	Inicialmente se requiere que tan solo la información de ubicación esté disponible para su correcta visualización en el sistema de información geográfico
C3: nivel de integración (Noy <i>et al.</i> , 2003)	Teoría sobre la integración de sistemas y la finalidad de dicha integración	El nivel de integración es unidireccional, es decir, el simulador envía datos, pero el SIG inicialmente no hará reenvíos de datos al simulador con miras a que sea incluida esta información para su posterior procesamiento
C4: modularidad (McCall <i>et al.</i> , 1996)	Criterios de interoperabilidad establecidos por McCall <i>et al.</i> (1996)	El simulador escogido para la prueba tiene una arquitectura de cuatro capas, y se requiere que máximo se tenga que alterar una de ellas para llevar a cabo la integración y que el resto de módulos queden intactos
C5: interoperabilidad en comunicación (McCall <i>et al.</i> , 1996)	Criterios de interoperabilidad establecidos por McCall <i>et al.</i> (1996)	A nivel de comunicación se requiere que los datos de las posiciones que envía el simulador se puedan interpretar por el SIG, al igual que la información de identificación sobre cuál es el agente que tiene esta posición
C6: interoperabilidad en datos (McCall, <i>et al.</i> , 1996)	Criterios de interoperabilidad establecidos por McCall <i>et al.</i> (1996)	Las posiciones del simulador están con respecto a una cuadrícula y se requiere que se puedan pasar en formato georreferencial
C7: rapidez (McCall <i>et al.</i> , 1996)	Criterios de interoperabilidad extrapolado de la teoría de redes	A nivel de rapidez se requieren retardos en la visualización de máximo 3 segundos
C8: completitud (Zhang, Wang y Lesser, 2003)	Criterios de interoperabilidad extrapolado de la teoría de redes	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
C9: escalabilidad (Ben-Ameuret <i>et al.</i> , 2002)	Criterios de interoperabilidad extrapolado de la teoría de redes	Se requiere que funcione con diversos tipos de datos geográficos
C10: eficiencia (Bellifemine <i>et al.</i> , 2000)	Criterios de interoperabilidad extrapolado de la teoría de redes	Se requiere que la simulación integrada con SIG no sufra retardos significativos en un entorno de red con respecto a la SBA sin SIG y en un entorno sin red

Fuente: elaboración propia.

### Aplicación de criterios para la evaluación de estrategias de integración

La tabla 3 muestra las métricas usadas para presentar los resultados de aplicación de los anteriores criterios.

**Tabla 3.** Métricas para presentación de resultados

Como afecta el criterio	Valor	Significado
Lo aumenta en alto grado	3	Significa que esta estrategia afecta positivamente el criterio
Lo aumenta en mediano grado	2	Significa que la estrategia afecta positivamente en algún grado el criterio
Lo aumenta en bajo grado	1	Significa que la estrategia afecta leve y positivamente el criterio
No lo afecta	0	No se encuentra relación directa entre el criterio y la estrategia. Al parecer no tiene efectos sobre este criterio
Lo disminuye en bajo grado	-1	Significa que la estrategia afecta leve y negativamente el criterio

Como afecta el criterio	Valor	Significado
Lo disminuye en mediano grado	-2	Significa que la estrategia afecta negativamente en algún grado el criterio
Lo disminuye en alto grado	-3	Significa que la estrategia afecta muy negativamente el criterio
No está documentado	X	No se encontró evidencia en cuanto a si afecta positiva o negativamente la estrategia al criterio.

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4 se aprecian los resultados de aplicar los criterios a las estrategias antes mencionadas, usando las métricas establecidas en la tabla 3. El \* significa que la evaluación es teórica, las letras entre corchetes significan la referencia usada, el valor numérico antes de la referencia corresponde con uno de los posibles valores de la tabla 3. La “X” significa que no está documentado o que no fue posible conseguir documentación al respecto.

**Tabla 4.** Estrategias candidatas para soportar integración entre SIG con SBA

Criterio	Estrategia de integración entre SBA y SIG									Resultado
	Edog	Eisbcd	EBIS	Eisosus	Eisosur	Eisosuor	Uafss	Uacss	Uacess	
C1	0 (Chaabane et al., 2009)	0 (Berget et al., 1958)	X (Kun et al., 2007)	3 (Niansheng, et al., 2008)	3 (Cornell et al., 2000)	2 (Walton et al., 2001)	-1 (Yi, et al., 2010)	3 (Wang, Xiong, & Yang, 2010)	3* (Yi, et al., 2010)	13
C2	1 (Chaabane et al., 2009)	2 (Berge et al., 1958)	X (Kun et al., 2007)	X (Niansheng, et al., 2008)	X	1 (Walton et al., 2001)	1 (Yi, et al., 2010)	3 (Wang et al., 2010)	3* (Yi, et al., 2010)	11
C3	2 (Chaabane et al., 2009)	1 (Berge et al., 1958)	2 (Kun et al., 2007)	0 (Herrera et al., 2007)	0 (Cornell et al., 2004)	1 (Walton et al., 2001)	X	3 (Chao, et al., 2001)	3* (Yi, et al., 2010)	12

Continúa

Criterio	Estrategia de integración entre SBA y SIG									Resultado
	Edog	Eisbcd	EBIS	Eisosus	Eisosur	Eisosuor	Uafss	Uacss	Uacess	
C4	3 (Chaabane <i>et al.</i> , 2009)	X	3 (Kun <i>et al.</i> , 2007)	0 (Herrera <i>et al.</i> , 2007)	0 (Cornell <i>et al.</i> , 2000)	2 (Tanenbaum <i>et al.</i> , 2002)	1 (Yi <i>et al.</i> , 2010)	2 (Wanget <i>et al.</i> , 2010)	2* (Yi <i>et al.</i> , 2010)	13
C5	3 (Chaabane <i>et al.</i> , 2009)	2 (Berge <i>et al.</i> , 1958)	3 (Kun <i>et al.</i> , 2007)	0 (Sadi <i>et al.</i> , 2012)	0 (Cornell <i>et al.</i> , 2000)	0 (Walton <i>et al.</i> , 2001)	1 (Yiet <i>et al.</i> , 2010)	1 (Peng y Wang, 2009)	1* (Yiet <i>et al.</i> , 2010)	11
C6	1 Chaabane <i>et al.</i> , 2009)	1 (Berge <i>et al.</i> , 1958)	1 (Kun <i>et al.</i> , 2007)	0 (Nian-shenget <i>et al.</i> , 2008)	0 (Cornell <i>et al.</i> , 2000)	0 (Tanenbaum <i>et al.</i> , 2002)	1 (Yiet <i>et al.</i> , 2010)	1 (Peng <i>et al.</i> , 2009)	1* (Yi <i>et al.</i> , 2010)	6
C7	-3 (Chaabane <i>et al.</i> , 2009)	-3 (Berge <i>et al.</i> , 1958)	-3 (Kun <i>et al.</i> , 2007)	3 (Sadi <i>et al.</i> , 2012)	3 (Cornell <i>et al.</i> , 2004)	3 (Walton <i>et al.</i> , 2001)	-3 (Yiet <i>et al.</i> , 2010)	-2 (Yi <i>et al.</i> , 2010)	-2* (Yi <i>et al.</i> , 2010)	-7
C8	0 (Chaabane <i>et al.</i> , 2009)	X	1 (Tanenbaum <i>et al.</i> , 1995)	X	X	0 (Walton <i>et al.</i> , 2001)	1 (Yi <i>et al.</i> , 2010)	-2 (Yi <i>et al.</i> , 2010)	X	0
C9	3 (Chaabane <i>et al.</i> , 2009)	1 (Berge <i>et al.</i> , 1958)	3 (Kun <i>et al.</i> , 2007)	0 (Sadi <i>et al.</i> , 2012)	0 (Cornell <i>et al.</i> , 2000)	1 (Walton <i>et al.</i> , 2001)	1 (Yi <i>et al.</i> , 2010)	-3 (Wanget <i>et al.</i> , 2010)	1* (Yi <i>et al.</i> , 2010)	7
C10	-3 (Chaabane <i>et al.</i> , 2009)	-3 (Berge <i>et al.</i> , 1958)	-3 (Kun <i>et al.</i> , 2007)	3 (Sadi <i>et al.</i> , 2012)	3 (Cornell <i>et al.</i> , 2000)	-2 (Walton <i>et al.</i> , 2001)	-2 (Yi <i>et al.</i> , 2010)	1 (Wanget <i>et al.</i> , 2010)	1* (Yi <i>et al.</i> , 2010)	-2
Valor de afectación	7	1	7	9	9	8	0	7	13*	

Fuente: elaboración propia.

Las tres estrategias factibles de usar en la integración entre un SIG existente y una SBA existente son Uacess, Eisosus y la Eisosur con los mayores valores de afectación positivos de 13, 9 y 9, respectivamente. Es necesario ahora analizar la factibilidad de implementación de estas estrategias en una SBA existente y en un SIG existente, para ello se requiere analizar las características de los dos sistemas que se van a integrar por separado.

### HACIA UNA ARQUITECTURA DE INTEGRACIÓN ENTRE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y SIMULADORES BASADOS EN AGENTES (SBA)

La SBA que se desea integrar con un SIG es una simulación enfocada a analizar el problema de la coordinación en emergencias tipo fuego (González,



2010). El SIG por integrar es un SIG basado en Arcgis y el lenguaje de programación propuesto para la integración es Java, aprovechando que ambos están desarrollados en este lenguaje.

La estrategia Uaccess no es factible de implementar, por cuanto es útil cuando el SIG y la SBA se construyen paralelamente; sin embargo, el SIG y la SBA por integrar en este caso ya están elaborados. La SBA no tiene una ontología basada en georreferenciación, el SIG no tiene ontologías y se requieren cambios profundos en cada sistema para integrarlos con esta estrategia. Por lo tanto, quedan solo las estrategias Eisosus y Eisosur como las únicas posibles para solucionar el pro-

blema de integración entre SIG y SBA cuando la SBA ya está elaborada y no es posible construirla desde cero.

Para resolver el dilema, en la tabla 5 se comparan las potenciales ventajas de aplicación de las dos estrategias mencionadas con los objetivos iniciales del proyecto, teniendo en cuenta los criterios definidos en la tabla 2. Así mismo, se muestra una columna llamada “estrategia que se podría aplicar para cumplir con el objetivo”, donde se especifican los nombres de las estrategias potenciales que se podrían usar para cumplir con cada uno de los objetivos de la integración a la luz del análisis seguido, usando los criterios de la tabla 2.

**Tabla 5.** Comparación de potenciales ventajas en la aplicación de las estrategias Eisosus y Eisosur con los objetivos iniciales del proyecto, usando los criterios de la tabla 2

Criterio	Ventaja de usar la estrategia Eisosus	Ventaja de usar la estrategia Eisosur	Objetivos de la integración inicial	Estrategia que se podría aplicar para cumplir el objetivo
C1	Los agentes se mueven más rápidamente que con RPC	Los agentes se mueven más lentamente	Lograr un movimiento de los agentes sin retardos	Eisosus
C2	En todo momento el SIG tuvo información disponible sobre posiciones de los agentes		Permitir que no se pierdan los datos enviados por la SBA en el lado del SIG	Eisosus y Eisosur
C3	En ambas estrategias se envía correctamente información de la SBA hacia el SIG, pero al revés se requiere hacer serias modificaciones en el lado de la SBA		Probar que es posible integrar una SBA existente con un SIG existente	Eisosus y Eisosur
C4	Fue necesario modificar el módulo de visualización de la SBA y el de recepción de posiciones del SIG únicamente. Estos módulos sirven en ambas estrategias		Realizar los mínimos cambios en los módulos de los sistemas por integrar	Eisosus y Eisosur
C5	Funciona en intranets que tengan habilitados los puertos 45 a 52	A parte de tener habilitados los puertos, se requiere que el <i>firewall</i> esté abajo	Realizar un mínimo de cambios a la estructura de red donde se ejecuta la integración	Eisosus
C6	Se requiere agregar un módulo de transformación de datos en el envío en lado de la SBA y otro módulo de interpretación de datos en la SBA. Estos mismos módulos sirven en ambas estrategias. El mismo programa de interpretación de datos sirve en ambas estrategias		Realizar la mínima cantidad de procesamiento adicional para lograr interoperabilidad de datos	Eisosus y Eisosur
C7	Se presentan movimientos sin cortes	Se presentan parpadeos en el movimiento de los agentes	Se requiere que la visualización sea fluida y sin cortes	Eisosus
C8	No se pierden datos enviados por la SBA en el SIG, en ninguna estrategia		Perder la mínima cantidad de datos de la SBA hacia el SIG	Eisosus y Eisosur

Continúa

Criterio	Ventaja de usar la estrategia Eisosus	Ventaja de usar la estrategia Eisosur	Objetivos de la integración inicial	Estrategia que se podría aplicar para cumplir el objetivo
C9	La estrategia no funciona con SIG basados en RPC	La estrategia funciona con SIG basados en RPC	Reducir lo mayor posible los parpadeos en la visualización	Eisosur
C10	Uso del procesador 1 %, después de un minuto de ejecución	Uso del procesador 3 %, después de un minuto de ejecución	Consumir la mínima cantidad de procesador en la ejecución	Eisosus

Fuente: elaboración propia.

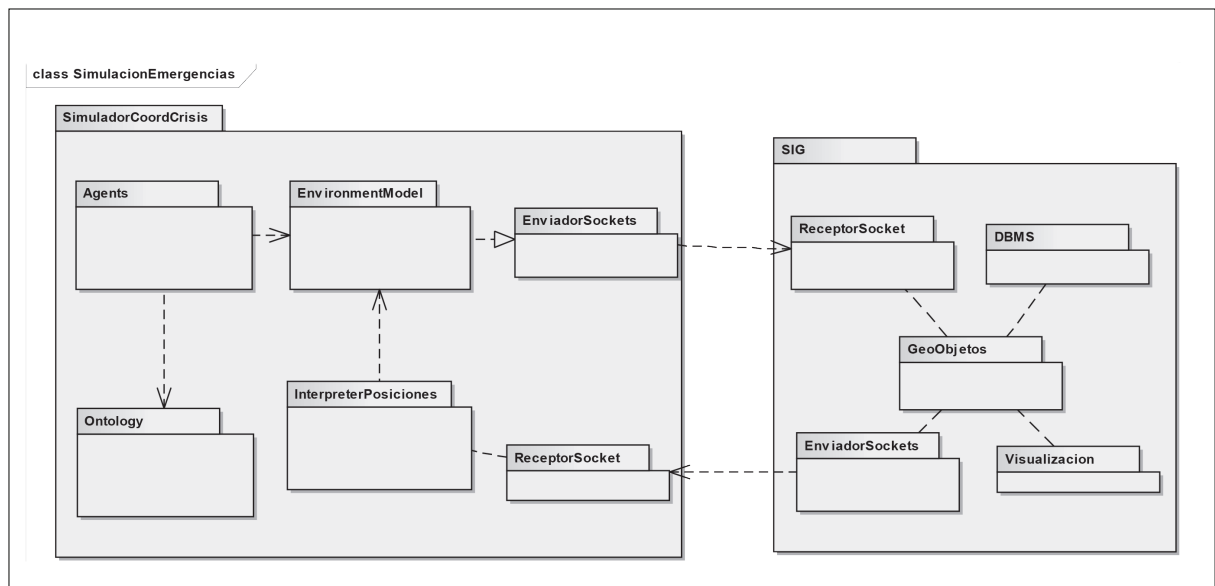
Si se observan los resultados de la tabla 5, se seleccionaría la estrategia que más veces aparezca en esta tabla. La estrategia Eisosus supera satisfactoriamente 9 de 10 criterios, en tanto que la estrategia Eisosur supera tan solo 6 de 10 criterios. El hecho de usar *sockets* hace que el rendimiento de esta estrategia sea mucho más dependiente del tamaño de visualización que del tamaño de los datos y esto hace a Eisosus interesante para grandes conjuntos de datos (Novotny *et al.*, 2006).

Los anteriores resultados corroboran la afirmación según la cual “La integración entre SIG y otros sistemas se debe hacer sobre la base de qué

tipo de información se requiere del SIG y que nivel de integración se requiere que tenga el SIG con el otro sistema” (Almir y Mirza, 2010).

La visualización que se pretende hacer, fruto de la integración entre el SIG y el SBA, no es una visualización en 3D; razón por la cual, no es necesario mejorar el modelo espacial de un sistema de información geográfico (Hui Xin, 2010).

La arquitectura implementada para validar que es posible aplicar la estrategia Eisosus en la interacción entre un SIG existente con una SBA existente se muestra en la figura 1



**Figura 1.** Arquitectura inicial para la integración entre SBA y SIG que implementa la estrategia Eisosus

Fuente: elaboración propia.

Las capas “Enviador Sockets” y “Receptor Sockets” fueron implementadas tanto en el SIG como en la SBA para lograr la integración entre estos sistemas. Las otras capas son capas que ya existían en los sistemas por integrar y que se encargan en el lado del SIG de colocar objetos según las posiciones provenientes de una DBM, y en el lado de la SBA de implementar la lógica de simulación discreta explicada en detalle en el simulador Crisis Coord (González, 2010).

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se concluye que las comunicaciones que se realizan usando *sockets* entre el SIG y el SBA son la solución más apropiada después del acoplamiento *full*, por cuanto que es la estrategia que presenta el mayor rendimiento. El acoplamiento *full* no es válido si ya están construidos los sistemas que se van a integrar.

Por otra parte, el SBA que se desea integrar con SIG inicialmente no debe hacer envíos de información desde el SIG hacia el SBA, sino que únicamente se limita el simulador a enviar localizaciones que deben visualizarse en el SIG. Con

esto la interacción entre el SBA y el SIG es de una sola vía (desde el SBA hacia el SIG) y desde esta perspectiva la complejidad que podría tener la integración con *sockets* se vería mitigada por la sencillez de la comunicación requerida.

La estrategia de desarrollar una ontología global permite alta interoperabilidad y escalabilidad, el problema es que no es una estrategia válida cuando se tienen que integrar simuladores y sistemas de información geográficos que no manejan la misma ontología o en los cuales uno de ellos carece de una ontología. La práctica de integrar sistemas basados en la cooperación de bases de datos no es una buena elección cuando se tienen SIG y simuladores que inicialmente no fueron proyectados para ser integrados, pues el rediseño de una base de datos común implica rehacer tanto el SIG, como el sistema de simulación basado en agentes.

La estrategia Eisosus elegida para interactuar entre el SIG y el SBA presenta el problema de tener que agregar coordinadores por tipos de agentes por enviar y es probable que este problema se agrave cuando el tipo de agentes (no el número de agentes) en el lado de la SBA sea mayor.

---

## REFERENCIAS

- Almir, K. and Mirza, P. (2010). Integration and interoperability of spatial data in spatial decision support system environment. *MIPRO, 2010 Proceedings of the 33rd International Convention*, 1266-1271, Opatija, Croatia.
- Al-Zakwani, A., Brimicombe, A. and Mouratidis, H. (2007). An Agent-Based System to Support Geo-Information Analysis. *Conference on Intelligent Agent Technology, 2007. IAT '07. IEEE/WIC/ACM International*, 269-272, Fremont, CA.
- Bellifemine, F., Poggi, A. and Rimassa, G. (2000). *Jade-A Fipa-compliant agent framework*. Italy. The Practical Application Company Ltd.
- Ben-Ameur, H., Chaib-Draa, B. and Kropf, P. (2002). Multi-Item Auctions for Automatic Negotiation. *Scientific Series Cirano*. 4.

- Berge, C. C. (1958). *Theorie des graphes et ses applications*. París: Dunod.
- Bisher, Y. (1998). Overcoming the semantic and other barriers to GISs interoperability. *International Journal of Geographical Information Science*, 12, 299-314.
- Bista, X. and Pack, M.L. (2008). Real-Time Massive Data Simulation Visualization. *IEEE Conference on Technologies for Homeland Security*, 543-548, Waltham, MA.
- Bo, Y., Yong-gang, W. and Wang, C. (2009). A Multi-agent and GIS Based Simulation for Emergency Evacuation in Park and Public Square. *International Conference on Computational Intelligence and Security*, 2009. CIS '09, 1, 211-216, Beijing.
- Chaabane S., Jaziri W. and Gargouri , F. (2009). A proposal for a geographic ontology merging methodology. *International Conference on the Current Trends in Information Technology (CTIT)*, 1-6, Dubai.
- Chang , Z. and Li, S.(2009). Reconciling inconsistent perspectives in collaborative GIS using multi-agent method. *17th International Conference on Geoinformatics*, 1-6, Fairfax, VA.
- Chang, Z. (2010). *Reconciling inconsistent perspectives in collaborative GIS using multi-agent method*. Toronto, Canadá: Ryerson University.
- Chao, T., Shan, F., Rendong, Q. and Xu, L. (2001). An agent-based architecture in geographical information system. *American Control Conference Proceedings of the*, 2, 912-917, Arlington, VA.
- Cornell, H. (2000). *Java 2: Fundamentos* (vol. 1). España: Editorial Alhambra.
- Cornell,H. (2004). *Java 2: Características avanzadas* (vol. 2). España: Editorial Alhambra.
- Christopher, H. and Mark, W. (2011). Empirical evaluation of meta-analytic approaches for nutrient and health outcome dose-response data. *Research Synthesis Methods*. Lipsey, 4 issue 3, 256-268.
- González, R. A. (2010). *A Framework for ICT Supported ICT in crisis Response*. (Tesis doctoral). Delft University of Technology, Netherlands.
- Herrera, P, J., Martín de Blas, S.,. and Rubio, I. (2007). *Sistema Multiagente con capacidad de percepción visual y toma de decisiones en un entorno 3D*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Huang, Y., Wang, R., Jiang, M. and Lei, D. (2010). Simulation and Evaluation for the Emergency Management under the Situation of Fatal Disaster. *International Conference on Multimedia Communications (Mediacom)*, 258-262, Hong Kong.
- HuiXin, W. (2010). Survey on three-dimensional spatial data models in GIS. *Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT), 2010 International 2*, 492-495, Wuhan.
- Jagannadham, D., Ramachandran, H. and Kumar, H. (2007). Java2 distributed application development (Socket, RMI, Servlet, CORBA) approaches, XML-RPC and web services functional analysis and performance comparison. *International Symposium on Communications and Information Technologies, 2007. ISCIT '07*, 1337-1342, Sydney, NSW.
- Kai, W., Ning, S., Lei, L. and Fenghua, L. (2010). A Geo-Information Data Transmission Method in Socket-Based Mobile Device. *6th International Conference on Wireless*

- Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, 1-4, Chengdu.
- Kun, M. and Fuling, B. (2007). An Ontology-Based Approach for Geographic Information Retrieval on the Web. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCom)*, 5959-5962, Shanghai.
- Jun, S., Young, H., Yoon-Seop, C., Kyung-Ok, K. y Kyu-Chul, L. (2007). The Performance Evaluations and Enhancements of GIS Web Services. *International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2007. MUE '07*, 668-673, Seoul.
- Keim, D, A. (2000). Designing pixel-oriented visualization techniques: theory and applications. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 6, 59-78.
- Lodha, S., Faaland, N., Wong Charaniya, A., Srikumar, R. and Keller, A. K. (2003). Consistent visualization and querying of GIS databases by a location-aware mobile agent. *Computer Graphics International, 2003. Proceedings*, 248- 253.
- Lu, H., Nihong, W., Chang, W. and Yujia, C. (2010). The Research on the WebGIS Application Based on the J2EE Framework and ArcGIS Server. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 3. 942-945, Changsha.
- Mao, Yi., Wang, X., Yang, F. and Wang, H. (2011). Research on synthesis load modeling with online statistical measurement-based method. *International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, 674,677, Xian Ning.
- McCall, J. (1977). Factors in Software Quality: Preliminary Handbook on Software Quality for an Acquisiton Manager (Vol. 1). General Electric. Nedovic , Z. and Pinto, J. (2001). Organizational (soft) GIS interoperability: lessons from the U.S. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3,290-298.
- Niansheng, L., Yang, L., Wang, Y. and Guo, D. (2008). Security analysis and configuration of SSL protocol. *2nd International Conference on Anti-counterfeiting, Security and Identification, ASID 2008*, 216,219, Guiyang.
- Novotny, M. and Hauser, H. (2006). Outlier Preserving Focus+Context Visualization in Parallel Coordinates. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 12, 893-900.
- Noy, N. and Klein, M. (2004). Ontology Evolution: Not the Same as Schema Evolution. *Knowledge & Information Systems*, 6, 428-440
- Onsrud , H. J. and Rushton G. (1995). Sharing geographic information: an introduction in sharing geographic information. *Centre for Urban Policy Research*. New Brunswick, New Jersey, 13-17.
- Peng, M., Wang, C. (2009). GIS Dynamic Service Technology Based on Mobile Agent. *ISA 2009. International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, 1-4.
- Reaidya, J., Massottea, P. and Diep D. (2003). Comparison of negotiation protocols in dynamic agent-based manufacturing systems. *International journal of production economics*, 2, 26-31.
- Sadi, M.S., Khan, M.M.R., Islam, M.M., Srijon, S. and Mia, M.M.H. (2012). Towards detecting phishing web contents for secure internet surfing. *International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, 237-241.

- Stoimenov, L., Stanimirovic, A. and Djordjevic-Kajan, S. (2005). Development of GIS Interoperability Infrastructure in Local Community Environment. *Fig Working Week and GSDI-8, from Pharaohs to Geoinformatics*. Cairo, Egypt, 16-21.
- Sun, Y. and Li, G. (2008). Interoperability Research of Heterogeneous GIS Based on Spatial Information Grid. *International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 3, 41-44.
- Tanenbaum, S. (1995). *Distributed operating systems*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Tanenbaum, S. Van and Oteen, M. (2002). *Distributed systems: principles and paradigms*. Scottsdale, AZ: Prentice Hall.
- Walton, S. (2001). *Programación de Sockets*. Madrid: Prentice Hall.
- Wang, J., Xiong, J. and Yang, K. (2010). Use of GIS and agent-based modeling to simulate the spread of influenza. *18th International Conference on Geoinformatics*, 1-6.
- Yi, P., Linghui, M. and Chengda, L. (2010). Research on Coupling GIS and Multi-agent of Spatial Information. *2nd International Conference on Networks Security Wireless Communications and Trusted Computing (NSWCTC)*, 1. 433-436.
- Yu X., Chen N., He, J., Yanrong, C., Liguang M. and Haijun, Y. (2010). Research on geographic information sharing in different cultural backgrounds. *18th International Conference on Geoinformatic*, 1-5.
- Wang, G. Zhang, W. Mailler, R. and Lesser, V. (2003). Distributed Sensor Networks: A multiagent perspective. In V. Lesser, C. Ortiz and M. Tambe (eds.), *Analysis of negotiation protocols by distributed search* (59-64). Ed Kluwer Academic Publishers.