

# Sistema multiagente para el análisis del comportamiento social ante un acontecimiento sísmológico.

## Multi-agent system for the analysis of social behavior in the face of a seismological event.

Adith Bismarck Perez-Orozco<sup>1</sup>, Erley Blanco-Carvajal<sup>2</sup>, José Ricardo Pedraza-Ballén<sup>3</sup>,  
Maria Angelica Galvis-Cuadrado<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Popular del Cesar, Valledupar - Colombia

ORCID: <sup>1</sup>[0000-0002-2149-1625](https://orcid.org/0000-0002-2149-1625), <sup>2</sup>[0000-0001-5963-1286](https://orcid.org/0000-0001-5963-1286), <sup>3</sup>[0000-0003-1632-1055](https://orcid.org/0000-0003-1632-1055), <sup>4</sup>[0000-0001-6274-7888](https://orcid.org/0000-0001-6274-7888)

Recibido: 18 de febrero de 2023.

Aceptado: 19 de abril de 2023.

Publicado: 01 de mayo de 2023.

**Resumen-** Este artículo tiene como objetivo presentar el diseño de un sistema multiagente, para el análisis del comportamiento social, ante una emergencia ocasionada por un sismo. Los autores utilizan una metodología basada en el modelo BDI (Belief, Desire, Intentions) como estructura interna de un agente. El proyecto tiene como resultados un framework de desarrollo Jadex, los distintos modelos sociológicos individuales y los protocolos de atención civil de acontecimientos sísmicos. En conclusión, los investigadores proceden al diseño estructurado del sistema, describiendo los diferentes componentes, y las variables a tener en cuenta durante la simulación. Finalmente, el artículo analiza las estadísticas proporcionadas en el tiempo de ejecución y se discuten las conclusiones encontradas en la investigación.

**Palabras clave:** multiagente, modelos, protocolos, simulación, agente.

**Abstract—** This paper aims the design of a Multi-Agent System for the analysis of social behavior in the event of an emergency caused by an earthquake. The authors analyze the methodology based on BDI model (Belief, Desire, Intentions) as the agent internal structure. The project has like results a Jadex like development framework, individual sociological models and civil service protocols for seismic events. In conclusions, the researchers proceed to the structured design of the system, describing the different components and the used variables during the simulation. Finally, the article analyzes the statistics provided at the execution time and the conclusions found in the research.

**Keywords:** multiagent, models, protocols, simulation, agent.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [adithperez@unicesar.edu.co](mailto:adithperez@unicesar.edu.co) (Adith Bismarck Perez Orozco).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Este es un artículo bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Como citar este artículo: A. B. Perez-Orozco, E. Blanco-Carvajal, J. R. Pedraza-Ballén y M. A. Galvis-Cuadrado, "Sistema multiagente para el análisis del comportamiento social ante un acontecimiento sísmológico", *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, vol. 11, no. 2, pp. 66-81 2023, doi: [10.15649/2346030X.3249](https://doi.org/10.15649/2346030X.3249)

## I. INTRODUCCIÓN

La humanidad, a través de su historia, ha enfrentado distintas problemáticas de tipo social: desde la formación de comunidades, hasta disolución de las mismas por objetivos individuales. Este comportamiento ha sido objeto de estudio durante siglos y las comunidades actuales no escapan a este fenómeno. Los sismos, son escenarios ideales para analizar el comportamiento reactivo de los individuos, así como el espectro generado por la comunidad en una emergencia. [1] Diferentes ciencias se han interesado en este análisis y la computación no es ajena a este estudio, las nuevas tecnologías y el aumento de la fuerza computacional, permiten que su participación sea mucho más activa en la búsqueda de soluciones pertinentes. La simulación numérica, ha sido el principal aporte computacional a estas problemáticas, comenzando en la década de los 70s, con el desarrollo de los ordenadores en las grandes universidades, enfocándose en la dinámica de sistemas: un método que se basa en la capacidad de cálculo utilizando grandes sistemas de ecuaciones diferenciales para representar las trayectorias de variables en el tiempo. La utilidad de la simulación se veía comprometida por la capacidad de convertir el objeto a estudiar en una ecuación. Posteriormente, surgieron otros métodos como el paradigma multi-nivel y autómatas celulares aplicados en la teoría de juegos, que significaron un gran avance en la simulación de teorías sociales. Finalmente, con la aplicación de la IA (Inteligencia Artificial), se libera a los autómatas celulares, teniendo la posibilidad de ser autónomos y dirigidos por objetivos: los SMA (Sistemas Multi-Agentes) [2]. Por otra parte, para representar la realidad, la humanidad ha utilizado modelos; estos pueden ser: lenguaje natural, maquetas, gráficos, lenguaje lógico matemático y computacional. Al modelar una entidad, las técnicas sociológicas presentan una aproximación fidedigna; por ejemplo, los tipos ideales de Weber o la teoría de Bratman. El punto de intersección de las diferentes disciplinas (SMA, IA, y modelos sociológicos pertinentes) supone una nueva herramienta, en la solución de distintas temáticas sociales que aún carecen de un procedimiento adecuado [3].

## II. MARCO TEÓRICO

Inicialmente, Según [4], un agente es un programa auto contenido capaz de controlar su proceso de toma de decisiones, basado en la percepción de su ambiente todo en busca de alcanzar sus objetivos. Sin embargo, para Russell [5], un agente es todo aquello que está en capacidad de percibir su ambiente mediante sensores y tiene una respuesta en el ambiente por medio de efectores.

Para este proyecto se tomará en cuenta la definición de agente dada por Ferber [6]: agente es una entidad física o virtual capaz de actuar de manera correcta, significa que al obtener percepciones del entorno en el que se encuentra y teniendo sus recursos y conocimientos, el agente selecciona la acción más adecuada para cumplir sus objetivos tratando siempre de tener el mejor desempeño.

Ferber dice que un agente es una entidad física o virtual que:

- Se encuentra en un ambiente que percibe y representa parcialmente.
- Cuenta con un conjunto de tendencias u objetivos las cuales trata de alcanzar por medio de conductas.
- Posee habilidades y está en capacidad de ofrecer servicios.

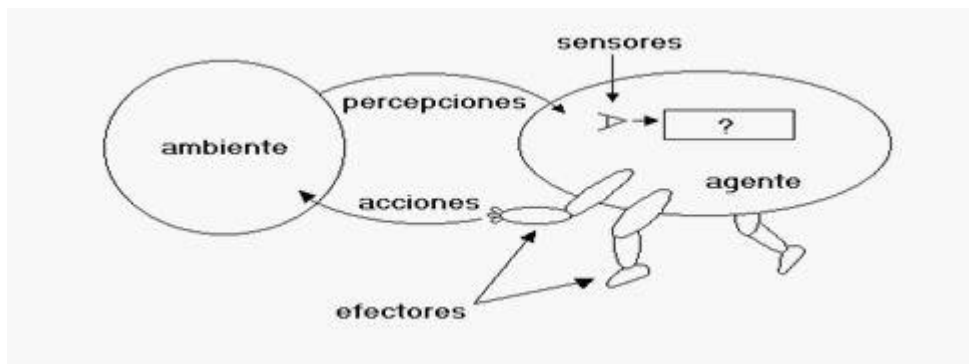


Figura 1: Modelo agente.  
Fuente: Elaboración propia.

La autonomía de una agente está dada cuando su conducta se define por su propia experiencia, basándose en sus percepciones y el conocimiento que posee, esto permite que un agente actúe sin necesidad de intervenciones humanas [7].

Los agentes poseen un comportamiento dirigido por metas y objetivos, conocido como proactividad. Si un agente tiene un meta, debe intentar lograrla y debe estar en capacidad de responder ante cambios en su ambiente, afrontando nuevos objetivos según la información recibida.

Ferber clasifica los agentes en dos tipos: Cognitivos y reactivos. Los primeros poseen una base conocimientos, información y experiencias requeridas para llevar a cabo sus objetivos. Los agentes reactivos no manejan una representación del mundo en el que se encuentran, se basan en responder a estímulos percibidos en sus sensores. [3].

Por otra parte, Avancini [5] propone una clasificación basada en la funcionalidad del agente, como se ve en la tabla:

Tabla 1: Clasificación de Avancini.

Clasificación Avancini	
Tipo Agente	Descripción
Colaborativos	Enfatizan la autonomía y la cooperación a fin de satisfacer las necesidades de sus usuarios
de interfaz	Trabajan sobre el aprendizaje y la autonomía.
Móviles	Son autónomos, cooperativos y capaces de trasladarse de un sitio (host) a otro usando una red de computadoras.
información / Internet	Filtran y administran información desde múltiples fuentes (se relacionan con los tres primeros)
de software reactivos	No poseen un modelo del entorno en el que se encuentran, estos perciben y actúan a través de acciones estímulo – respuesta.
Híbridos	Hereda características de los otros tipos de agentes.
Heterogéneos	Están compuestos por al menos dos tipos de agentes
Inteligentes	Reúne tres características autonomía, aprendizaje y cooperación.

Fuente: Elaboración propia.

### Los SMA como solución a la simulación de la dinámica social.

Actualmente, con el aumento de la fuerza computacional, la informática se vio fortalecida principalmente en el desarrollo de sistemas inteligentes, puesto que son los que requieren mayor capacidad de computo. Los servidores robustos permitieron la implementación de redes neuronales más potentes y algoritmos mucho más complejos.

Los autómatas celulares también se vieron afectados por los avances computacionales y se reflejó en la posibilidad de ser dirigidos por objetivos, naciendo así los Sistemas Multiagentes.

Knapik [6] define un SMA, como un conjunto de agentes y sus relaciones que proveen información intrínseca del sistema. Los agentes saben cómo se relacionan con otros agentes y conocen su estado actual, lo que facilita el manejo de la información del sistema.

Sin embargo, Ferber [3] dice que SMA es un conjunto organizado de agentes que interactúan de forma cooperativa para lograr de una manera colectiva un objetivo global. Un SMA está compuesto por:

- Ambiente: Espacio en el que perciben y actúan los agentes.
- Objetos: Conjunto de entes pasivos, situados en el ambiente. Estos pueden ser afectados por los agentes.
- Agentes: Conjunto de entes activos. Los agentes forman parte del conjunto de objetos.
- Relaciones entre los objetos (agentes): Conjunto de relaciones que vinculan a los objetos.
- Operaciones: Acciones para que los agentes puedan percibir, producir, consumir, transformar y manipular objetos.
- Operadores: Representan la aplicación de las operaciones y la reacción del mundo en los intentos de modificación por parte de los agentes.

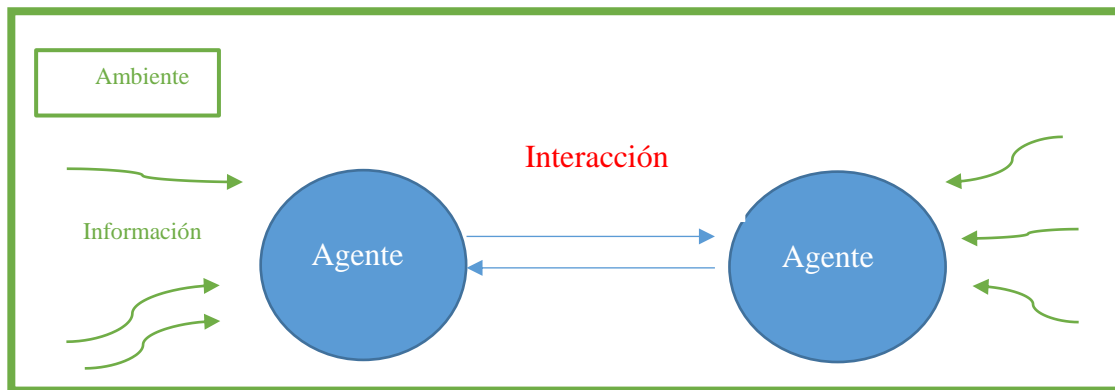


Figura 2: Comunicación entre agentes.

Fuente: Elaboración propia.

La interacción como se ve en la figura 2 entre agentes abre la posibilidad de cooperación para alcanzar objetivos compartidos mediante priorización de metas, lo que proporciona la dinámica suficiente para recrear algunos comportamientos como la conformación de grupos y cooperación que existe en la sociedad.

### Interacciones

Según Ferber [3] una interacción se produce cuando dos o más agentes tienen una relación dinámica por medio de acciones recíprocas, e interactúan en su comportamiento futuro por medio de una serie de eventos de manera directa o indirecta.

Una interacción tiene:

1. La presencia de agentes capaces de actuar.
2. Situaciones en común de los agentes.
3. Elementos dinámicos que permitan relaciones temporales y locales entre los agentes como la comunicación.
4. Agentes con autonomía de tomar enlaces fijos para relaciones rígidas entre ellos.

### Tipos de interacciones

Con base a las interacciones se pueden inferir tipos de situaciones de interacción como se ve en la tabla

Objetivos (metas)	Recursos	Habilidades	Situación	Categoría
Compatibles	Suficientes	Suficientes	Independencia	Indiferencia
		Insuficientes	Colaboración Simple	
	Insuficientes	Suficientes	Obstrucción	Cooperación
		Insuficientes	Colaboración Coordinada	
Incompatibles	Suficientes	Suficientes	Competencia Individual	Antagonismo
		Insuficientes	Competencia Colectiva	
	Insuficientes	Suficientes	Conflictos Individuales por recursos	
		Insuficientes	Conflictos Colectivos por recursos	

Fuente: Elaboración propia.

### Comunicación entre agentes

En los Sistemas Multiagentes se requiere de un elemento clave dentro del proceso de prestación de servicios en búsqueda de la materialización de objetivos, e interoperabilidad entre agentes, que brinde soporte a las interacciones necesarias para el funcionamiento adecuado del sistema, los cuales son la comunicación, los lenguajes y protocolos de conversación entre agentes.

La comunicación es la base fundamental para la interacción y la organización social dentro de los SMA, ya que, si se carece de la misma, los agentes no tendrán la posibilidad de cooperar, coordinar y ejecutar tareas de forma conjunta, perdiendo la capacidad de percepción y actuación dentro del entorno. Adicionalmente, la comunicación de un agente es un proceso social, que se lleva cabo mediante el intercambio de señales y comportamientos haciendo que los mensajes no tengan un significado único, sino que se da a partir de un contexto, lo que permite al agente tener conocimiento de los modos de interacción e interlocutores dentro de la comunicación. [7]

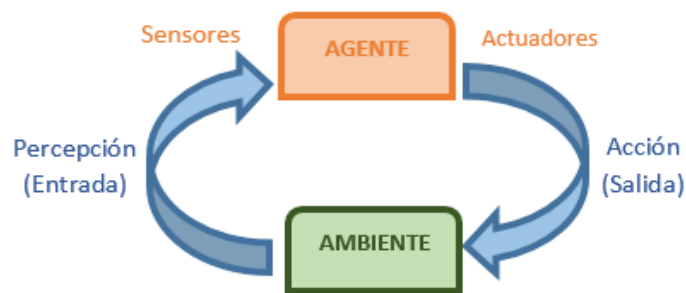


Figura 3: Interacción agentes.  
 Fuente: Elaboración propia.

Los modelos de comunicación de agentes están basados en:

El modelo básico de un sistema de comunicación: se basa en los estados mentales de las entidades que hacen parte de la comunicación, y el contenido del mensaje o información a transmitir, según la siguiente estructura como se ve en la ilustración 4.

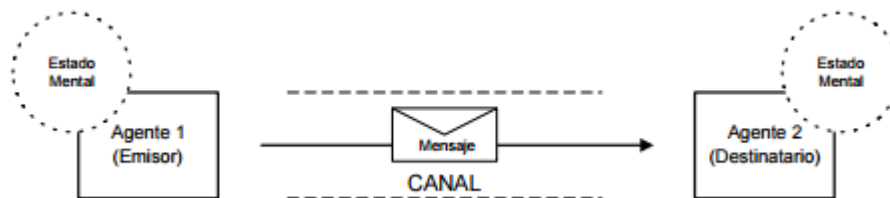


Figura 4: Comunicación.  
 Fuente: Elaboración propia.

Donde se observan cuatro elementos fundamentales (emisor, receptor, medio, mensaje) donde puede existir: Intención de comunicación, participación activa, la naturaleza del medio y el enlace emisor-receptor.

Dentro un modelo de comunicación es de suma importancia, que la forma en que se comunica el agente cumpla con la funcionalidad mostrada en la tabla 4, que permite que los agentes puedan entenderse:

Tabla 3: Funcionalidades modelo de comunicación.

Funcionalidad modelo de comunicación de agentes	
Funcionalidad	Descripción
Expresiva	Caracteriza la actitud del remitente
Cognitiva	Relativa a órdenes y peticiones
Referencial	Centrada en el contexto
Reconocimiento del canal	Establece, verifica e interrumpe el canal de comunicación.
Estética	Relacionada con el mensaje en sí mismo.
Metalingüística	Relativa a los mensajes, lenguajes y situaciones de comunicación.

Fuente: Elaboración propia.

## La teoría de los actos de habla

La teoría de actos de habla ha contribuido en gran medida al entendimiento de la relación entre el estado interno de un agente y las expresiones que intercambia con otros agentes. La teoría se basa en la observación de que las oraciones expresadas por humanos durante la comunicación no únicamente aseveran un hecho, sino que en realidad tratan de transmitir una creencia o conocimiento, una intención o un deseo. La teoría de actos de habla ha contribuido en gran medida al entendimiento de la relación entre el estado interno de un agente y las expresiones que intercambia con otros agentes.

Existen varias categorías de actos de habla, ver tabla 4.

Tabla 4: Categorías actos de habla.

Clasificación actos del habla	
Actos	Descripción
Representativos	Exponen una determinada proposición como representación de un estado de cosas del mundo.
Directivos	En ellos se intenta que el oyente actúe de tal modo que su conducta concuerde con el contenido proposicional.
Exhortativos	Constituye un compromiso por parte del hablante de adoptar el tipo de acción representado en el contenido proposicional.
Expresivos	Indican al destinatario estados mentales del emisor
Declarativos	Realizan una acción en el mismo hecho de producirse

Fuente: [8].

## Lenguajes de comunicación de agentes

Los lenguajes de comunicación de agentes son lenguajes de alto nivel, que se han ido adaptando para brindar soporte a los diferentes procesos de colaboración, negociación y transferencia de información, mediante complejas estructuras y sub-lenguajes, los cuales definen el contenido del mensaje, criterios de interpretación, ontológica y aptitud profesional (como el receptor debe interpretar el contenido del mensaje). Una decisión fundamental para la interacción de agentes es separar la semántica del protocolo de comunicación (independiente del dominio) de la semántica del mensaje encapsulado (dependiente del dominio). El protocolo de comunicaciones debe ser conocido por todos los agentes. Debe ser conciso y tener un número limitado de actos de comunicación primitivos. Técnicamente los lenguajes de comunicación entre agentes se ejecutan mediante protocolos de transporte a nivel inferior como SMTP, TCP / IP, IIOP, o HTTP, permitiendo la comunicación intencional y social, necesaria para que pueda existir interacción entre agentes. Esto se logra mediante proposiciones, reglas, y acciones en lugar de simples objetos sin semántica asociada con ellos, es decir un mensaje dentro del contexto de un lenguaje de comunicación entre agente describe un estado deseado en un lenguaje declarativo, en lugar de un procedimiento o método. [7].

### Lenguaje de comunicación de agentes kqml (knowledge query and manipulation language)

Es orientado a mensaje y un protocolo para intercambio de información independiente de la sintaxis del contexto y la ontología aplicable, La semántica definida para KQML se basa en precondiciones, pos-condiciones y condiciones de compleción para cada performative, estas condiciones describen estados de los agentes en un lenguaje de aptitudes mentales (creencias, conocimiento, deseos e intenciones) y descriptores de acción para envío y procesado de un mensaje. [7].

### Lenguaje comunicación de agentes fipa

Se basa en la teoría de los actos de habla, consiste en un conjunto de tipos de mensajes y la descripción de su pragmática, es decir, su efecto sobre los estados o aptitudes mentales. Las primitivas de FIPA ACL (llamadas performatives en KQML), se denominan actos comunicativos, distingue o dos niveles en los mensajes, uno dedicado al lenguaje externo (tipo de mensaje) y otro para el lenguaje interno (contenido del mensaje). Las principales características de ambos lenguajes

Tabla 5: Protocolos.

	KQML	FIPA ACL
<b>Primitiva de comunicación</b>	<i>Performative</i>	Acto comunicativo
<b>Lenguaje de contenido</b>	Elección libre	Elección libre
<b>Sintaxis</b>	Tipo LISP	Tipo LISP
<b>Semántica</b>	Precondiciones, poscondiciones, cond. compleción	Condiciones, admisibilidad, Efectos racionales

Fuente: Elaboración propia.

## Modelo BDI para la estructura interna del agente

El modelo cognitivo y comportamental propuesto por Michael E. Bratman [12] ha sido ampliamente estudiado en la sociología y psicología e implementado por la informática principalmente en los SMA. En este modelo se define el proceso de toma de decisión de una persona ante una situación emergente y contempla una estructura basada en creencias, deseos e intenciones (Beliefs, Desires, Intentions) que, al ser aplicados en los agentes, los dota de actitudes muy similares a las humanas.

En los SMA-BDI, el agente cuenta con una representación parcial del ambiente que se traduce en creencias internas que pueden o no condicionar su comportamiento, estas creencias son cualquier tipo de condición interna o de información percibida en el ambiente y simbolizan el conocimiento que se posee del mundo en un momento determinado [9]. Naturalmente este modelo del mundo es solo una aproximación de lo que está sucediendo en el sistema y su veracidad está condicionada por la capacidad de pensar y actualizar sus creencias antes de que el ambiente cambie. Los deseos representan los objetivos del agente o también llamadas Metas, definen el ¿Qué quiero hacer? y trazan el curso del comportamiento emergente. Los Agentes pueden tener varios objetivos a cumplir alcanzándolos uno a uno, aplicando diferentes métodos hasta alcanzar su deseo. Estas metas pueden estar condicionadas por un contexto o creencia del agente, que determinaría cuando emplear un

objetivo específico. Al ser movidos por objetivos los agentes aumentan el dinamismo del sistema, actuando de manera autónoma, pero con una orientación que guía sus acciones a un mismo fin. Por otro lado, las intenciones o planes de un agente responden a la pregunta: ¿Cómo lo voy a hacer?, expresan la acción final que ha sido desencadenada mediante la activación de un objetivo o el cambio de una creencia, encarnando una labor conclusiva como respuesta a este evento. Naturalmente un objetivo puede alcanzarse por diferentes métodos o planes que ejecutaran uno a uno, hasta que sea cumplida la meta.



Figura 5: Estructura interna del Agente BDI.  
Fuente: Elaboración propia.

## Principales frameworks para el manejo de agentes

El manejo de agentes ha sido ampliamente estudiado por la comunidad de JAVA, ofreciendo gran variedad de posibilidades en el uso de plataformas y frameworks que permiten un desarrollo más rápido y eficiente, dando soluciones a las problemáticas de estructura y estandarización. Todos estos, han sido guiados bajo la luz de los principios y patrones de diseño de software, lo que garantiza un desarrollo con razonables niveles de calidad.

En primer lugar, encontramos a JADE, un framework para el manejo de agentes inteligentes realizado totalmente en JAVA, permitiendo su portabilidad y movilidad. Además de ser un software libre distribuido por TILAB en código fuente bajo una licencia LPGL. Jade permite la integración de diferentes aplicaciones, incluso con plataformas distintas, manejando un lenguaje de comunicación en el estándar FIPA-ACL y es orientado a tareas. Ofrece a los agentes servicios como: ciclo de vida, páginas blancas, páginas amarillas, transporte de mensajes, además de herramientas gráficas que permiten la depuración y ejecución de estos. No obstante, carece de una estructura preestablecida para manejar agentes BDI lo que hace discutible su utilización en este proyecto, puesto que habría que diseñar completamente el sistema de toma de decisiones en un sistema de agentes muy generales.

También se destaca BDI4JADE, un framework que desarrolla una estructura BDI en una capa en la parte superior de JADE. Obteniendo todas las características ya mencionadas del framework base y proporcionando nuevas características como el manejo de intenciones, creencias, planes, estrategias y metas. Cuenta también, con una página web donde encontramos toda la documentación y guía para el uso de esa herramienta. Sin embargo, no hay muchos ejemplos claros en la comunidad de desarrolladores, y no cuenta con foros oficiales para la solución de problemáticas emergentes.

Por ultimo, resalta JADEX, un framework para el desarrollo de sistemas multiagentes que soporta tantos agentes orientados a tareas como agentes BDI. Fue desarrollado principalmente en JAVA y cuenta con el estándar de comunicación FIPA y RMI para sistemas distribuidos, así como los diferentes servicios de ejecución de agentes. En cuanto a la estructura BDI, maneja los conceptos de creencias, objetivos e intenciones adicionando capacidades que serán estudiadas más a fondo en el diseño del modelo. También cuenta con una página web donde se encuentra una buena documentación, un número considerable de ejemplos, un soporte actual mediante un foro con respuestas rápidas y todas las facilidades para la instalación del programa.

## Jadex

Jadex es un framework para el manejo y construcción de agentes basado en Java que implementa una estructura BDI, como sistema cognitivo en el agente. A continuación, se describen las principales características de este framework.

El modelo de programación de Jadex es basado en el concepto de componentes activos (Agentes) que conceptualmente aplica SCA (Arquitectura orientada a Componentes). Así, el diseño de una aplicación es la descomposición jerárquica de componentes que interactúan a través de servicios SOA (Arquitectura Orientada a Servicios) lo cual disminuye la complejidad. Estos componentes activos están orientados a trabajos concurrentes y sistemas distribuidos dinámicos [10].

En Jadex los componentes activos son basados en las interacciones llamada de método, ya que es la técnica usada en los Objetos. Se admiten nuevos tipos de valores de retorno estructurados (Futuros, Intermedios) que facilitan el manejo de casos en los que un servicio llamado quiere anunciar más de un valor de retorno en el sentido de “esquemas de suscripción”. Jadex también brinda una API de alto nivel para el binario de transferencia de datos a través de corrientes. Los programadores pueden pasar una corriente como parámetro dentro de una llamada de un servicio de tal forma que un lado puede leer de él y el otro lado de escritura a la misma [10].

Jadex suministra la configuración de un mecanismo de seguridad potente y además flexible basado en compartir secretos. El mecanismo de seguridad garantiza que su plataforma y los datos están protegidos contra el acceso de otras plataformas. Estas plataformas comparten un secreto en común que es una contraseña y un nombre de red lógica, permitiendo descubrir e invocar servicios del uno al otro, genera una contraseña aleatoria y por lo tanto está protegida contra posibles atacantes maliciosos.

[11] en su revisión al modelo BDI implementado en Jadex inician definiendo cada uno de los conceptos básicos (Creencias – Metas – Planes) y otras características que aportan al enriquecimiento del modelo.

Jadex basa su arquitectura en el modelo cognitivo y comportamental propuesto por Bratman [12], el éxito de este modelo está basado en la simplicidad reduciendo el marco de explicación para el comportamiento humano guiado por una motivación. Pokarhr dice que las creencias, deseos e intenciones son actitudes mentales que se ven reflejadas en el cumplimiento de las acciones tomadas a cabo por el agente.

En la figura se presenta una visión abstracta de la arquitectura BDI en Jadex.

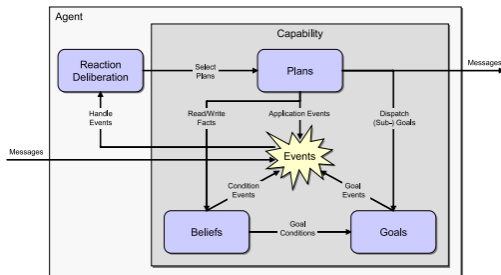


Figura 6: Modelo BDI agente Jadex.  
Fuente: Elaboración propia.

Las creencias de un agente representan su conocimiento del mundo. El agente sabe esto y las utiliza para razonar [10]. Las creencias no son sólo un almacén de datos pasivo, si no que hace parte activa en la ejecución del agente mediante el control de condiciones del estado de las creencias [11]. Estas creencias pueden conducir a las acciones de un agente, iniciar sus objetivos o metas, no obstante, también controlan el comportamiento en curso mediante la determinación de cuándo o no se alcanza una meta.

Los planes juegan un papel central en Jadex, pues encapsulan la receta para lograr cierto estado, son las ejecuciones o acciones propias tomadas por el agente, como recurso final para alcanzar su objetivo [10]. Cuando se selecciona el plan de ejecución, se pueden realizar acciones básicas del sistema, como envío de mensajes, manipulación de creencias, o creación de sub-objetivos [11]. Jadex [10] maneja tres formas de utilizar los planes y basta con usar la anotación @plan:

- Método: En este caso se pueden utilizar sin todos los aspectos del plan (sin condiciones previas ni contextos).
- Clase interna: En el caso de una clase interna permite un fácil acceso de las creencias de los agentes y los campos usados en el plan.
- Clase: facilita la reutilización para muchos agentes.

Jadex también maneja un motor de razonamiento BDI que garantiza la optimización de planes en base a un evento desencadenante, listando los posibles planes que apliquen como respuesta satisfactoria y eligiendo el más adecuado.

El uso de objetivos es uno de los conceptos clave en el paradigma orientado a agentes. Denota los compromisos adquiridos por el agente durante su existencia, son la guía para la ejecución de planes en un momento determinado [10]. Todo agente participará en el objetivo hasta que se titulado como alcanzado o inalcanzable o no más deseado y pueden estar validados por contextos específicos determinados por las creencias del agente [11]. El agente tratará con todos los planes disponibles hasta que el objetivo sea logrado. En la figura 7 se representa la arquitectura interna de los objetivos:

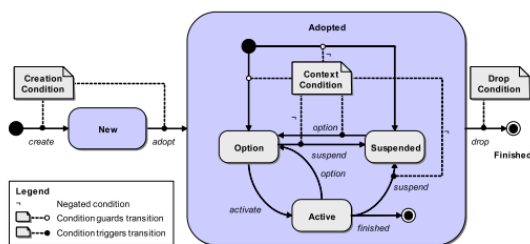


Figura 7: Arquitectura interna de objetivos.  
Fuente: Elaboración propia.

En Jadex [10] BDI V3 se usa con la anotación @goal:

- Clase interna: Si un objetivo es privado de un agente, es útil la utilización de una clase interna para representar el objetivo. Puesto que la clase interna tiene un acceso natural a los campos y las creencias internas lo que disminuye la complejidad en la programación.
- Clase: Un objetivo también se puede representar como una clase normal de Java, por lo tanto, no hay ninguna conexión directa con el agente disponible y tiene que pasar en el constructor todo lo necesario para alcanzar el objetivo.

Uno de los principios fundamentales en la construcción de software es la reutilización, ya que la aplicación de una solución se puede dar en varios lugares. Los agentes BDI pueden usar la reutilización por medio de la herencia existente en java, diseñando una clase base de agente y extendiendo funcional común a distintos agentes. No obstante, no se puede utilizar la multi herencia y para este caso los agentes encapsulan las funcionalidades necesarias en capacidades.

Una capacidad en Jadex BDI v3 representa un módulo que puede contener: creencias, metas y planes como un agente convencional y su representación se da con la anotación @Capability por medio de una clase, puesto que la capacidad debe permitir la reutilización como un archivo de clase convencional [10].



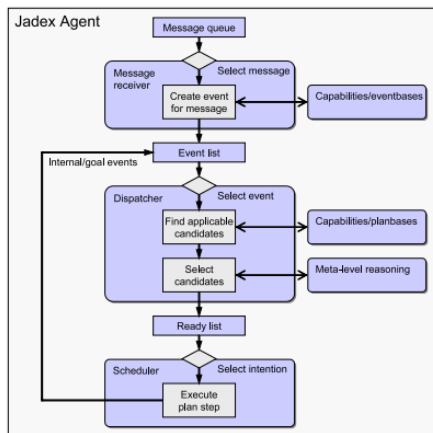


Figura 8: Modelo de reacción.  
Fuente: Elaboración propia.

Los mensajes entrantes se colocan en la cola de mensajes global del agente. Si el mensaje le pertenece a una conversación en curso, un evento para el mensaje entrante se crea en la capacidad de ejecución de la conversación. El distribuidor es responsable de seleccionar los planes aplicables para el evento de la lista de eventos. Esto se debe hacer en dos pasos: Una lista AP (Planes aplicables) que se genera haciendo coincidir el caso contra las cabeceras de planes, luego se selecciona un sub conjunto de planes aplicables para ejecución. En Jadex un evento proporciona una configuración flexible a la influencia de procesamiento sobre la base de eventos individuales. La elección de los planes se deja abierta; bien podría ser el primero de la lista o una comparación de metadatos más completa. Los mensajes son publicados en un plan, pero para los objetivos se ejecutan muchos planes hasta la consecución de la meta [11].

### Comportamientos en emergencias sísmicas comportamientos de civiles en la zona de la emergencia

Los comportamientos individuales durante emergencias suelen variar y depender de circunstancias específicas, no obstante, Silva [13] propone un modelo de comportamiento en evacuaciones basado en roles:

Tabla 6: Roles de emergencia.

Rol	Rol padre	Descripción
Persona	Habitación	El principal objetivo de la persona es salir de la edificación.
Escapista	Persona	Tiene como objetivo evacuar, pero además su nivel de conocimiento del sitio, edad y sexo es variable.
Rescatista	Persona	Además de su objetivo de evacuar, tiene como objetivo ayudar a los escapistas a salir del sitio y su conocimiento del sitios es muy alto.

Fuente: [13].

Galvis y Gonzales hablan sobre los fundamentos psicológicos detrás de una situación de emergencia: [16].

- Sistema nervioso autónomo: (SNA) Sistema Nervioso autónomo, controla y regula la activación de órganos y respuestas musculares como correr o prepararse para una situación de peligro.
- Valoración cognitiva, regulación emocional y activación del SNA: se mide por valoraciones cognitivas, las cuales pueden comprenderse como un proceso de categorización de contextos y situaciones teniendo en cuenta que tanto bienestar genera al individuo o sus acompañantes. Esta valoración genera un proceso de regulación emocional donde se busca reducir las emociones negativas y mantener las positivas. Se divide en valoraciones primarias que se relacionan con la percepción del riesgo y las secundarias como la evaluación de recursos disponibles para las demandas de la situación.
- Ansiedad: Es un sistema de defensa involucrado de en la evaluación del peligro, de situaciones potencialmente dañinas, protección del organismo y de preservación de otros miembros de la especie o con quien haya generado un vínculo emocional.
- Miedo: Es una emoción que responde ante una situación de peligro, llevando al organismo a evitar contacto con la situación o la amenaza.
- Pánico: Es una sobre activación de los sistemas de fuga y comportamiento defensivo y se entiende como una forma episódica de ansiedad donde hay una activación de gran intensidad traduciéndose en miedo, caracterizándose por la pérdida de control o percepción que la muerte es inminente.

Por otra parte, [17] propone un modelo de comportamiento en situaciones de emergencia iniciando por los factores que intervienen en la situación como se ve la tabla 7.



Tabla 7: Modelo de comportamientos de Fidalgo [17].

Momento del día	Diurno, Nocturno
Características de la población	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Edad</li> <li>● Sexo</li> <li>● Condiciones psicológicas</li> <li>● Condiciones físicas / Salud</li> <li>● Nivel de formación</li> <li>● Sentido de Orientación</li> <li>● Rapidez de percepción</li> <li>● Tolerancia a la frustración</li> <li>● Gregarismo</li> <li>● Liderazgo</li> <li>● Aislamiento</li> <li>● Angustia</li> <li>● Miedo</li> <li>● Ansiedad</li> <li>● Pánico</li> <li>● Conocimiento de la zona</li> <li>● Nivel de riesgo</li> <li>● Estado actual</li> </ul>
Características ambientales	toxicidad, visibilidad, tensión ambiental, acústica.
Acceso a información	Personal del lugar, personal de rescate, medios de comunicación

Fuente: Elaboración propia.

Vega [17] propone tener en cuenta aspectos como la personalidad que determina el grado de predictibilidad en las reacciones personales y sugiere tener en cuenta tres rasgos en situaciones de emergencia: histérico, depresivo y obsesivo. También se debe tener en cuenta el nivel de formación, puesto que personas con mayor grado de instrucción muestra más autocontrol. En bajos niveles de formación se encuentran conductas de inseguridad y desconcierto, actitudes de hacinamiento y menor cooperativismo. El sexo [17] es valorado en la conducta ya que las mujeres suelen atender más a las señales de alarma y los hombres atienden más a los datos que puedan indicar una posible señal subjetiva de alarma.

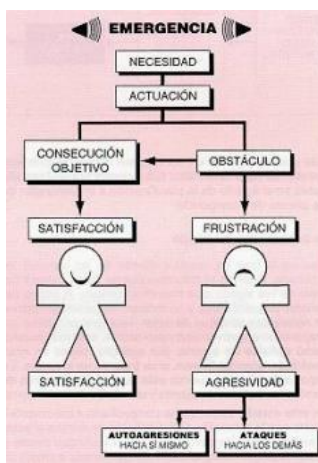


Figura 9: Frustración.  
Fuente: [13].

La edad es importante a la hora de modelar comportamientos en situaciones de emergencia ya que los jóvenes tienen mayor probabilidad de que se produzcan conductas desinhibidas y desordenadas pasando del desconcierto al miedo muy rápidamente. En cambio, los individuos maduros muestran mayor autocontrol y más cooperativismo. Y las personas de avanzada edad tienen una disminución en su capacidad de reacción, lentitud, inseguridad. Las condiciones físicas también son un factor en el comportamiento ya que incide en la capacidad de movimiento y en la toma de decisiones en salidas riesgosas. Frustración según [13] es un estado que emerge en el individuo cuando interfiere en una conducta meta un instigador externo, impidiendo la consecución del objetivo. Así, la frustración es origen de conductas agresivas como se explica en la Figura 9. La tendencia al gregarismo a nivel general sucede cuando un individuo se ve inmerso en una situación de emergencia, siente miedo de la responsabilidad de sus actos, de la toma de decisión y tiene de una manera instintiva a refugiarse en el grupo, tomando decisiones en el mismo liberando toda la presión. La territorialidad es una variable importante en el modelo de comportamiento en emergencias [13]. Se trata de que las personas necesitamos un espacio vital que puede ser más o menos amplio dependiendo de circunstancias sociales y condiciones de la situación específica. Fidalgo también tiene en cuenta el liderazgo como la capacidad de controlar y dirigir a otros, toma gran importancia para la correcta solución de problemas. Los líderes son los que lleva mensajes de calma y serenidad, y evita a toda costa la aparición de pánico manipulando las conductas para una correcta evacuación. Proceso de reacción conductual ante la emergencia [17]:

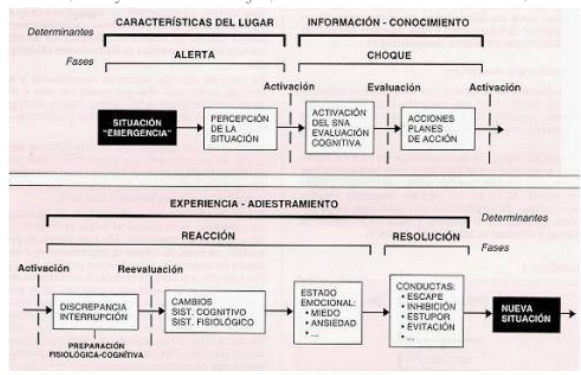


Figura 10: Reacción conductual de la emergencia. Fuente: [13].

**Modelo atención de desastres**

La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [18], explica el procedimiento básico para la atención de emergencias en los diferentes municipios del país.

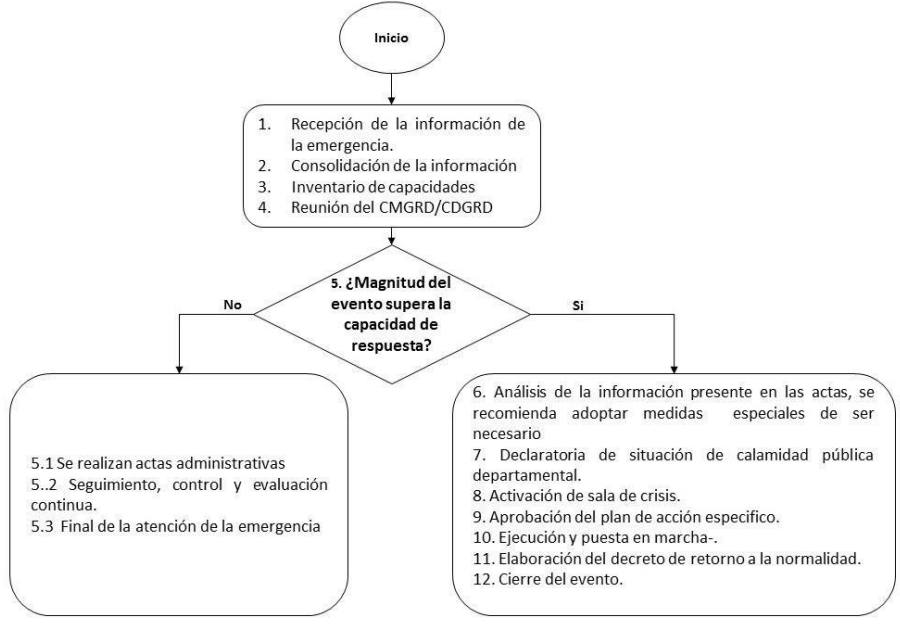


Figura 11: Protocolo de manejo de emergencias. Fuente: Elaboración propia.

**III. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS**

Esta investigación es de tipo no experimental, según los autores debido a que las variables no se manipulan intencionalmente, sino que sólo se observa y se analiza el fenómeno tal y como es en su contexto natural. A su vez según se maneja un diseño longitudinal. La palabra cultura, término central en esta definición, es todo lo relacionado con el comportamiento y creencias del ser humano. Puede incluir el lenguaje, rituales, estructuras económicas y políticas, etapas de la vida, interacciones y estilos de comunicación. Para entender estos patrones compartidos por el grupo, el etnógrafo pasa un periodo de tiempo considerable en el lugar bajo estudio entrevistando, observando y recopilando documentos. Esto debido a que se representan datos a través del tiempo en puntos o periodos, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias.

Toda investigación, debe delimitar claramente las unidades de análisis o la población de estudio de acuerdo a los criterios de inclusión que el investigador seleccione. La población es un conjunto de individuos de la misma clase, limitada por el estudio., Cuando seleccionamos algunos elementos con la intención de averiguar algo sobre una población determinada, nos referimos a este grupo de elementos como muestra. Para tal fin, en el caso de este estudio, la población se selecciona basada en un conjunto de características específicas:

- Todas las unidades de población deben ser seres humanos.
- Todas las unidades de población deben encontrarse ubicadas geográficamente en la ciudad Valledupar-Colombia.

Basado en el escenario expuesto, la población corresponde a cualquier persona que resida en la ciudad de Valledupar.

Para este artículo se utilizará una técnica de revisión de fuente primaria y secundaria. En cuanto a los instrumentos utilizados para la revisión documental, se utilizaron diversos tipos de fichas: las fichas bibliográficas en donde se recopilaron los datos de los diferentes textos, fuentes, autores y otros elementos; las fichas resumen para sintetizar los textos y documentos con algunas opiniones personales, la ficha textual para vaciar información sin distorsión y literalmente de las fuentes consultadas; las fichas de análisis cuyas actividad radicó en describir los juicios

u opiniones personales de estos investigadores para confrontarlo con las opiniones de los autores consultados, y las fichas de campo en donde se recopiló la información que se obtuvo del medio directamente.

En la primera etapa se identifican roles en el aplicativo definiéndolos en términos de metas y tareas. Lo que determina un rol es la responsabilidad dentro del SMA y forma la base para la descripción de tipos de agente.

Lo siguiente es identificar las habilidades asignadas a cada rol. Estas habilidades son responsabilidades y servicios para poder ejecutar un rol en el sistema, construyendo así un modelo de habilidades.

Luego se modela el conocimiento que se posee del ambiente relacionado con los roles y/o habilidades.

Se expresa la arquitectura organizacional del SMA y se analiza la coordinación que debe existir para llevar a cabo el alcance de objetivos. Por último, se estudia la dinámica del SMA en términos de flujo de información. Se modelan la dependencia entre roles y/o agentes.

#### IV. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

##### Desarrollo de la simulación de sistemas multiagente con base en el modelo planteado.

Teniendo en cuenta el modelo organizacional y de roles del sistema multiagente, se procede al diseño estructural del aplicativo, definiendo un sistema de dos capas como lo muestra la ilustración.

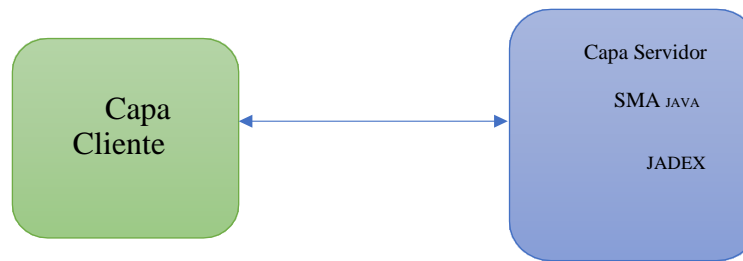


Figura 12: Descripción del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

Se estableció la creación de historias de usuario basadas en los comportamientos descritos por la UNGRD [18], colocadas en un tablero digital llamado Trello, como se ve en la Figura 13:

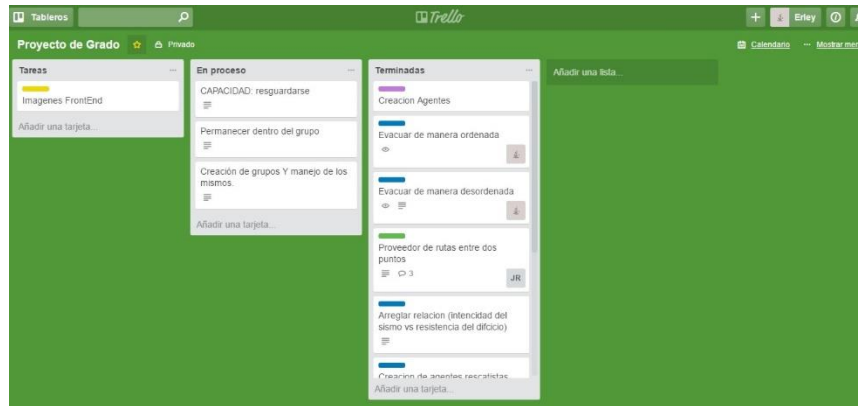


Figura 13: Tablero Digital.  
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se requirió la creación de una estructura que simulara las intensidades de un sismo según la escala de Mercalli que mide la magnitud del sismo por los daños ocasionados en las estructuras, descritas en la tabla 8.

Tabla 8: Escala de Mercalli.

Magnitud	Descripción	Efecto
2.0 - 3.0	Micro Magnitud	No son perceptibles.
3.0 – 3.9	Menor Magnitud	Perceptibles con poco movimiento y sin daño.
4.0-4.9	Ligera Magnitud	Perceptibles con movimiento de objetos y rara vez produce daño.
5.0-5.9	Moderada (o Mediana) Magnitud	Puede causar daños mayores en construcciones débiles o mal construidas.
6.0-6.9	Fuerte Magnitud	Pueden ser destructivos.
7.0-7.9	Mayor Magnitud	Pueden ser destructivos en zonas extensas.
8.0-9.9	Gran Magnitud	Catastróficos, provocando destrucción total en zonas cercanas al epicentro.
10 o +	Magnitud Épica	Jamás registrado, puede generar una extinción local.

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, la estructura creada genera picos de intensidad aleatoria según sea requerido, simulando el comportamiento de un sismo, como se ve en la gráfica de la ilustración

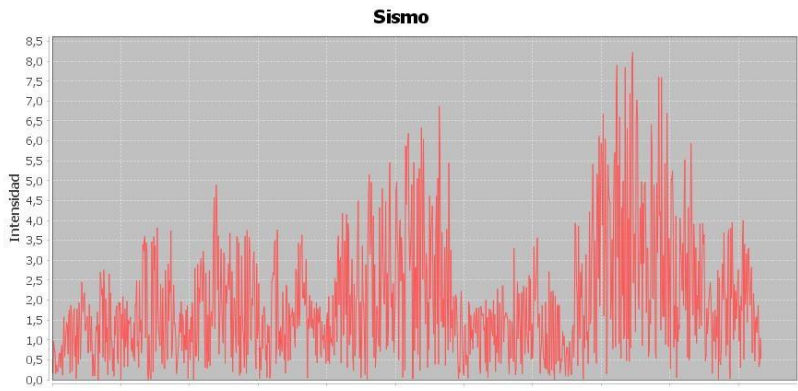


Figura 14: Sismo SISOBEEEM.  
Fuente: Elaboración propia.

La simulación debe estar limitada geográficamente a una locación bien definida, restringiendo la zona de estudio se garantiza la observabilidad de los eventos en tiempo de ejecución. Para esto se eligió el servicio prestado por la API de Google Maps., que permite además del fácil acceso y una excelente documentación, la utilización de marcadores en el mapa y la trazabilidad de rutas entre calles, como se ve en la figura 15.

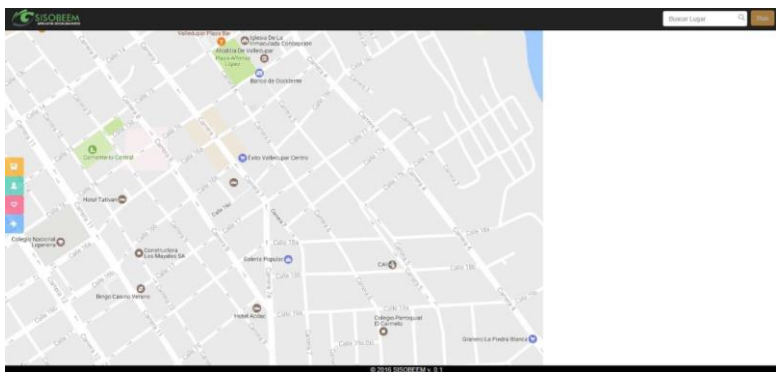


Figura 15: Diseño elección de la locación.  
Fuente: Elaboración propia.

Se analizó el modelo planteado por [17] sobre las características de la población y se determinaron pertinentes en el marco de este estudio las características ilustradas en la tabla 9.

Tabla 9: Características a tener en cuenta en la población.

Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Edad</li> <li>● Condiciones psicológicas</li> <li>● Salud</li> <li>● Nivel de formación</li> <li>● Gregarismo</li> <li>● Liderazgo</li> <li>● Conocimiento de la zona</li> <li>● Nivel de riesgo</li> <li>● Estado actual</li> </ul>
Emociones	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Confianza</li> <li>● Miedo</li> <li>● Tristeza</li> <li>● Enojo</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### Configuración de la simulación Y diseño de interfaces gráficas

En esta parte del desarrollo, se establecieron las condiciones de entrada necesarias para poner en marcha la simulación en el SMA, explicadas en las tablas mostradas a continuación con su respectivo diseño de interfaz gráfica.

### Configuración de la simulación

Tabla 10: Configuración de la Simulación.

Variable	Valores posibles
Lugar	Bounds
Duración de la simulación	Segundos
Duración del sismo	Segundos
Intensidad	0<=Entero<=10

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16: Formulario de configuración de la simulación.  
Fuente: Elaboración propia.

### Configuración de la población

Tabla 11: Configuración de la población.

Variable	Valores posibles
Número de personas	Numero entero
Edad	Niño, adulto, anciano
Conocimiento de la Zona	Alto, medio, bajo
Condiciones físicas	Capacitados, discapacitados
Liderazgo	Alto, bajo

Fuente: Elaboración propia.

### Configuración de la atención de la emergencia

Tabla 12: Configuración de la atención de la emergencia.

Variable	Valores posibles
Tiempo de respuesta	Porcentaje respecto a la duración de la simulación
Personal de Búsqueda	Numero entero
Personal de salud	Numero entero
Personal de seguridad	Numero entero

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17: Formulario de la configuración de atención de la emergencia.  
Fuente: Elaboración propia.

### Configuración de las edificaciones

Tabla 13: Configuración de las edificaciones.

Variable	Valores posibles
Número de personas	Numero entero
Ubicación	Latitud, longitud
Resistencia	Porcentaje
Número de pisos	Numero entero
Salidas disponibles	Numero entero

Figura 18: Formulario de configuración de cada edificio.  
Fuente: Elaboración propia.

Al trabajar en un navegador Web, el dinamismo proporcionado por JavaScript en conjunto con CSS (Cascading Style Sheets), permite que el diseño sea moderno e intuitivo como se ve en las siguientes ilustraciones.

Luego del diseño de los formularios se procede a la ubicación de los edificios en el mapa proporcionado por Google Maps, donde se verá la ejecución de la simulación como se observa en la ilustración.

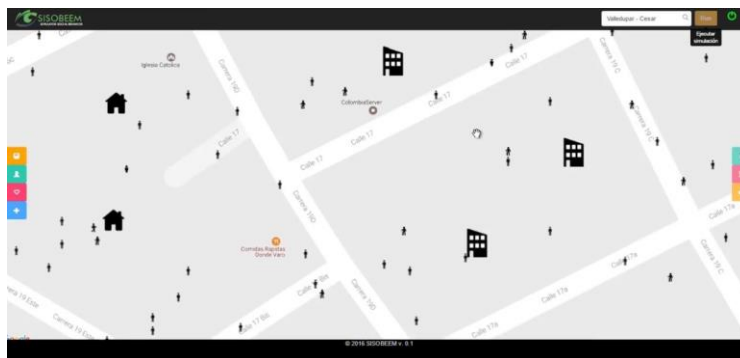


Figura 19: Ubicación de los edificios.  
Fuente: Elaboración propia.

Al ejecutar la simulación se pueden observar la ejecución de los diferentes comportamientos por parte de los agentes, como se observa en la figura 20.

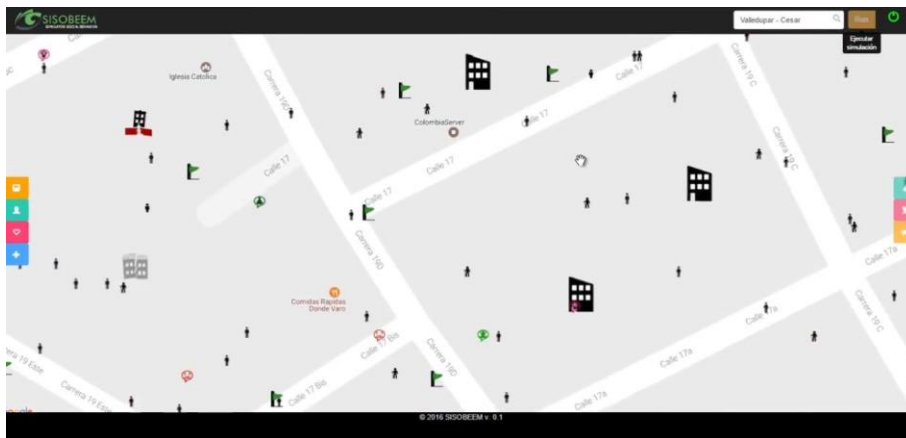


Figura 20: Ejecución de la Simulación.  
Fuente: Elaboración propia.

Estos comportamientos visibles se representan por medio de imágenes, que son descritos en la tabla 14.

Tabla 14: Descripción de los símbolos.

Descripción	Símbolo
Mensaje de Primeros Auxilios	
Mensaje de Ayuda	
Mensaje de Calma	
Mensaje de Confianza	
Mensaje de Frustración	
Mensaje Hostil	
Mensaje de Motivación	
Mensaje de Pánico	
Mensaje de Resguardo	
Agente Muerto	
Personal de Salud	
Personal de Seguridad	
Personal de Búsqueda y rescate	
Agente Civil	
Orientación a punto Seguro	
Punto Seguro	
Punto Inseguro	
Edificios	
Edificio Pequeño	
Edificio Averiado	
Edificio Derrumbado	

Fuente: Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

Al analizar las diferentes metodologías actuales de desarrollo de Sistemas Multi-Agentes, la metodología de Sistemas Multiagente provee la mejor guía estructurada para el diseño de la simulación social, adaptándose a la problemática social tratada en la investigación y al paradigma BDI como respuesta a la estructura interna del agente. De igual forma, siguiendo la metodología de diseño de Sistemas Multi-Agentes y las diferentes investigaciones sobre comportamientos en contextos de emergencia, así como los estudios realizados por la Unidad Nacional de Riesgo, se consigue modelar exitosamente los componentes involucrados en la situación de emergencia sísmica. Más aun, utilizando el paradigma de programación orientado a agentes y apoyándose en un framework actual que permita la arquitectura BDI, se consigue desarrollar exitosamente un sistema multiagente que simule una sociedad artificial y sus componentes en medio de una emergencia sísmica.

La simulación desarrollada en esta investigación se encuentra acorde con el modelo planteado y representa los comportamientos destacables y estudiados de una sociedad actual en una emergencia sísmica. Basados en los resultados obtenidos durante la simulación desarrollada en esta investigación, se pueden establecer estrategias preventivas que supongan una mejora efectiva en la atención de la emergencia. Por último, se concluye gracias a los objetivos específicos que se logró cumplir el objetivo general modelando y desarrollando un sistema multiagente que simule los comportamientos de una sociedad ante un acontecimiento sísmológico obteniendo resultados que nos permiten comprender la dinámica de la comunidad en este tipo de emergencias.

## VI. REFERENCIAS

- [1] R. Marin y A. Smith , «PI113-01 MSSIN: Modelo de simulacion social basada agentes con un enfoque inteligente,» Revista Iberoamericana, 2012.
- [2] M. Arroyo Menéndez y S. Hassan Collado, «Simulación de procesos sociales basada en agentes de Software,» Revista de metodología de ciencias sociales, pp. 139-161, 2007.
- [3] C. Lozares, «La simulación social, ¿una nueva manera de investigar la ciencia social?,» Papers, pp. 165-188, 2004.
- [4] G. Tolosa y F. Bordigon, «Reviwe: Tehnology of agents of sotware,» Brasilia, 1999, pp. 302-309.



- [5] N. Rusel, *Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno*, Prentice Hall, 1996.
- [6] J. Ferber, *Multiagent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison- Wesley Longman, 1999.
- [7] M. Wooldridge, *Reasoning About Rational Agents*, MIT press, 2000.
- [8] H. H. Avancini, «FraMaS: Un Framework para Sistemas Multi-agente basado en Composición,» UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, Tandil, 2000.
- [9] M. Knapik y J. Jhonson, *Developing Intelligent Agents for Distributed Systems*, 1998.
- [10] M. Delgado, «Metodología Aplicable,» 2022. [En línea]. Available: [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70040/fichero/C\\_6%252FCap\\_6.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70040/fichero/C_6%252FCap_6.pdf).
- [11] R. Rizo y F. P. M. Llorens, «Arquitecturas Y Comunicacion entre Agentes,» 2003.
- [12] M. Bratman, D. Israel y P. M. E, «Plans and resource-bounded practical reasoning,» *Computational Intelligence*, 1988, pp. 349-355.
- [13] L. P. d. Silva, «Planning in BDI agent systems,» RMIT- Repository, 2009.
- [14] Jadex, «Jadex Active Components,» 19 08 2016. [En línea]. Available: <https://www.activecomponents.org/#/project/news>.
- [15] A. Pokahr, L. Braubach y W. Lamersdorf, «Jadex: A BDI reasoning engine.,» *Multi-agent programming*, pp. 149-174, 2005.
- [16] A. Galvis y J. Gonzalez, *SIMPCE (Simulador de Movilidad de Personas en espacios Cerrados, Bogota: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA*, 2009.
- [17] F. Vega, *La conducta humana ante situaciones de emergencia: análisis de proceso en la conducta individual*, 1995.
- [18] UNGRD, *Guía Metodológica para la Elaboración de la Estrategia de Respuesta Municipal.*, Bogota, 2013.
- [19] C. D. F. A. TABOADA, «Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción,» *Física de la Tierra*, n° 10, pp. 111-148, 1998.
- [20] El País S.A, «elpais,» 17 Agosto 2007. [En línea]. Available: <http://historico.elpais.com.co/historico/ago172007/INT/hd02.html>.
- [21] G. D. Carlos Martín Beristain, *Reconstruir el tejido social: un enfoque crítico de la ayuda humanitaria*, vol. 146, Barcelona: Icaria Editorial, 1999, pp. 61-73.
- [22] R. T. Schaefer, «el concepto de sociología,» de *Introducción a la sociología*, Madrid , McGraw-Hill, 2006, pp. 2-21.
- [23] M. Arroyo y S. Hassan, «Simulación de procesos sociales basada en agentes software EMPIRIA.,» *Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*, pp. pp. 139- 161, 2007.
- [24] C. Lozares, «La simulación social, ¿una nueva manera de investigar en ciencia social?,» *Papers* 77, pp. 165-188, 2004.