

# **BDI Y GAIA COMO HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO Y USO DE AGENTES EN MODELOS APLICADOS EN EL ÁREA DE GEOMÁTICA**

*BDI AND GAIA AS TOOLS FOR THE DESIGN AND USE OF AGENTS IN APPLIED MODELS IN THE GEOMATICS AREA*

## **René Rodríguez Zamora**

Tecnológico Nacional de México / IT de Mazatlán, México  
*rene.rz@mazatlan.tecnm.mx*

## **Álvaro Peraza Garzón**

Tecnológico Nacional de México / IT de Mazatlán, México  
*alvaro.pg@mazatlan.tecnm.mx*

## **Juan Carlos Cabanillas Noris**

Tecnológico Nacional de México / IT de Culiacán, México  
*cabanillasjc@gmail.com*

## **Iliana Amabely Silva Hernández**

Universidad Politécnica de Sinaloa, México  
*isilva@upsin.edu.mx*

## **Mónica Avelina Gutiérrez Haros**

Universidad Politécnica de Sinaloa, México  
*mgutierrez@upsin.edu.mx*

**Recepción:** 13/abril/2020

**Aceptación:** 30/junio/2020

## **Resumen**

En este trabajo se revisan metodologías que aplican los conceptos de agente, modelo basado en agentes, y sistemas multiagente. Se identificó que BDI y GAIA poseen características de integración y estandarización que las hacen pertinentes para ser utilizadas en experimentos aplicables al campo de la geomática. Además, se identificó GAMA como una herramienta software libre y de código abierto que permite realizar experimentos con modelos basados en arquitectura BDI y sistemas multiagente diseñados con GAIA. Por último, se presenta un ejemplo en el cual se toma como entrada un mapa en formato shape para simular un modelo de evacuación.

**Palabras Clave:** Agente, Modelado, Geomática.

## **Abstract**

*This paper reviews methodologies that apply agent concepts, agent-based modeling, and multi-agent systems. It was identified that BDI and GAIA have integration and standardization characteristics that make them relevant for use in experiments applicable to the field of geomatics. In addition, GAMA was identified as a free and open source software tool that allows experiments with models based on BDI architecture and multi-agent systems designed with GAIA. Finally, an example is presented in which a map in shape format is taken as input to simulate an evacuation model.*

**Keywords:** *Agent, Geomatics, Model.*

## **1. Introducción**

Las actividades humanas alteran de forma cada vez más acelerada la biósfera de nuestro planeta, alteraciones provocadas entre otras cosas, por la emisión de combustibles fósiles, la expansión de zonas urbanas o comerciales a expensas de zonas forestales, alteraciones en los ciclos del agua, y las consecuencias que todo esto conlleva al cambio climático [Olmedo, 2018].

Existen diversas disciplinas que estudian aspectos relacionados con el impacto de los usos que los seres humanos dan al territorio que habitan. Entre ellas se encuentra la geomática, palabra que representa la contracción de los términos geodesia y geoinformática y que fue acuñada en 1969 por el francés Dubuisson. A pesar de que el término surge hace medio siglo, se ha desarrollado como un área relativamente nueva que ha tomado auge a partir del crecimiento acelerado de la tecnología digital para combinar el uso de sensores y sistemas computacionales. La geomática es “la disciplina o rama del conocimiento que, de manera interrelacionada, estudia la naturaleza y estructura de la información geográfica, los procedimientos, técnicas y métodos para su captura, almacenamiento, procesamiento, análisis, graficación y difusión o comunicación” [Groot, 1987].

En la geomática se integran conocimientos de las áreas de geografía y computación, de esta segunda representados particularmente por los Sistemas de Información Geográfica (SIG). De tal forma, se hace uso de la cartografía, la

geodesia, la topografía, la fotogrametría, la percepción remota, el tratamiento digital de imágenes, los Sistemas de Posicionamiento Global de Navegación por Satélite (GPS), así como los métodos y fundamentos matemáticos necesarios para la creación de propuestas de modelos de solución de los problemas geoespaciales. Existe una gran diversidad de modelos que utilizan diferentes técnicas para estudiar problemas en los cuales la información geoespacial es fundamental, por ejemplo, planeación urbana, deforestación, prevención de desastres, etc.

Un modelo es una representación simplificada de la realidad. Así, un modelo representa de manera simplificada los diferentes componentes y procesos que forman parte del sistema en estudio. El proceso de construcción de un modelo contribuye a identificar, seleccionar y ordenar la información disponible en relación al funcionamiento del sistema de estudio [Rodríguez, 2008]. Los sistemas que se estudian en el área de geomática, así como los fenómenos que de ellos surgen encajan en la categoría de los sistemas complejos. Los sistemas complejos se caracterizan por las interdependencias, heterogeneidad y jerarquías anidadas de sus componentes (individuos, actores diversos, espacio, etc.). Las interdependencias pueden existir entre los actores, entre los actores y espacio biofísico, y a lo largo del tiempo. En este orden de ideas, el US National Research Council [National Research Council, & Geographical Sciences Committee, 2014] agrupa los modelos aplicables al ámbito de la geomática en cuatro categorías:

- Modelos inductivos basados en patrones (PBM). Los cambios en el territorio se modelan empíricamente utilizando la estadística, métodos de aprendizaje automático y la observación en retrospectiva para calibrar las funciones que describen las relaciones entre los cambios.
- Enfoque celular el cual integra mapas de idoneidad para uso/cobertura del territorio y los efectos que causa en un rango de vecindad, así como información concerniente a aspectos cuantitativos respecto a los cambios esperados.
- Modelos económicos espacialmente disgregados diseñados para identificar las relaciones económicas causales que impactan el equilibrio en los sistemas territoriales.

- Modelos económicos basados en la oferta y demanda de territorio en función de las actividades económicas e intercambio entre regiones.
- Modelos Basados en Agentes (MBA) que simulan las decisiones respecto a cambios en el territorio tomadas por los actores que interactúan entre sí y con su medio ambiente.

Los últimos representan un reto, especialmente para simulaciones sociales en donde se intenta representar el comportamiento de seres humanos, en particular considerando que su comportamiento conlleva numerosos conflictos relacionados a sus necesidades y deseos [Taillandier, Bourgeois, Caillou, Adam, & Gaudou, 2016]. La inteligencia artificial (IA) se esfuerza por representar, construir y entender las capacidades inteligentes involucradas en el comportamiento de los individuos. Como lo indica Ferber: “la alternativa hacia la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) consiste en la distribución de los conocimientos en un grupo de entidades autónomas y en sus interacciones” [Ferber, 1999].

No existe una definición universalmente aceptada para el término “agente inteligente”, debido a que desde el nacimiento de la IAD eran múltiples y muy variadas las aplicaciones que el concepto tenía: Lingüística, Robótica, Filosofía, etc. Sin embargo, existe un acuerdo generalizado sobre las características que debe poseer un agente. Así, podemos afirmar que un agente es una entidad física o virtual, autónoma, dotada de:

- Metas propias mínimas, que intenta alcanzar satisfactoriamente.
- Sensores, que recogen información de otros agentes y del entorno.
- Actuadores, que ejecutan las acciones por medio de los agentes de forma individual o en conjunto con otros agentes sobre el entorno.
- Recursos y herramientas de decisión.

Los agentes se construyen sobre objetos, pero van mucho más allá en sus especificaciones. No todos los objetos pueden entenderse como agentes. Un sistema en el que múltiples agentes autónomos, heterogéneos, interactúan entre sí y con el entorno, cada uno buscando sus propias metas, corresponde con lo que

se denomina sistema multiagente. Los agentes son entidades físicas o virtuales que toman decisiones de manera autónoma. Pueden representar átomos, células, animales, gente u organizaciones dependiendo de su aplicación.

Según menciona García-Valdecasas [2011], los MBA permiten representar un espacio geográfico a través de un “hábitat” o “mundo” donde los agentes interactúan entre sí y con su entorno. Dicho espacio puede modelarse con distintos niveles de abstracción, desde una cuadrícula bidimensional, hasta entornos más realistas, pero más complejos en su tratamiento. Este espacio virtual es el que permite observar la dinámica en una simulación a través de la cual emergen estructuras sociales macroscópicas. Los MBA posibilitan el realizar experimentos virtuales que, por factores logísticos, temporales, o financieros no sería posible realizar por medio de experimentos de laboratorio o con sistemas reales. Es por esto por lo que los MBA permiten experimentar sobre un laboratorio virtual representado por un modelo de simulación computacional [Epstein & Axtell, 1996] en el cual los experimentos se pueden repetir sucesivamente para observar comportamientos colectivos emergentes variando factores y parámetros de entrada en el modelo [Gilbert, 2019]. Los MBA pueden ser implementados utilizando elementos de la geomática, particularmente los mapas que se generan a partir de una base de datos geográfica en diversos formatos que pueden representar: rutas, ciudades, carreteras, países, etc. El empleo conjunto de los MBA y la geomática se ha extendido en distintos campos, desde la geografía y los estudios urbanos [Koch, & Mandl, 2011], hasta la sociología rural, la ecología y los estudios de desarrollo sustentable [Bousquet, 2005]. A partir de un MBA se concibe y diseña un Sistema Multiagente (SMA) como base para realizar experimentos con simulaciones. En este sentido, Ferber [1999] define un SMA como un conjunto de elementos llamados agentes, los cuales poseen relativa autonomía para llevar a cabo acciones reactivas y/o proactivas las cuales van encaminadas a satisfacer necesidades individuales o colectivas; y a través de las cuales modifican el entorno o medio ambiente en el cual coexisten. Debido a las características que definen la naturaleza y la manera de operar de un SMA, es posible utilizarlo, por ejemplo, para diseñar simulaciones de un modelo depredador-presa en el marco de la ecología poblacional [Rodríguez, 2008].

Un SMA está compuesto por los siguientes elementos:

- Un medio ambiente E, esto es, un espacio el cual generalmente tiene un volumen o un tamaño.
- Un conjunto de objetos O. Estos objetos están situados, es decir, es posible en un momento dado asociar a cualquier objeto una posición en E. Además, estos objetos son pasivos, lo que significa que pueden ser percibidos, creados, destruidos, y modificados por los agentes.
- Un conjunto de agentes A, los cuales son objetos específicos que representan entidades activas del sistema.
- Un conjunto de relaciones R, las cuales enlazan a los objetos (y por lo tanto a los agentes) unos con otros.
- Un conjunto de operaciones Op, las cuales hacen posible que el ensamble de agentes A perciba, produzca, consuma, transforme y manipule a objetos de O.
- Operadores, los cuales tienen la tarea de representar la aplicación de estas operaciones y la reacción del “mundo” ante el intento de modificación.

Existen diversas metodologías tanto para el desarrollo de MBA como para el diseño de SMA, el propósito de este trabajo es mostrar, a partir de una revisión realizada, dos metodologías que poseen las características pertinentes para ser utilizadas en la construcción de modelos y su desarrollo. Para lograrlo, se tiene como objetivo, analizar el uso de las herramientas BDI y GAIA para la implementación de un modelo de evacuación, en GAMA-GAMAL como lenguaje, que sirva como entorno de experimentos y revisión de características. Cabe señalar, que las simulaciones computacionales que pueden ser valiosas en los campos de estudio de la Geomática, ya que permite mimetizar las características del entorno, para observar el resultado de sus dinámicas.

## **2. Métodos**

Es un hecho que hay una variedad considerable de metodologías con características heterogéneas tanto para construir MBA como SMA, en la tabla 1 se presentan algunas que cumplen de manera estándar con las características que

definen tanto un agente, como un sistema con múltiples agentes interactuando y su correspondiente modelo.

Tabla 1 Metodologías para el desarrollo de MBA y SMA.

Metodología	Descripción	Comentarios
Vowel Engineering	Vowel o Vocal: A (por agentes), E (por entorno), I (por interacciones) y O (por organización). Consiste en tener en cuenta los elementos señalados por las vocales en un cierto orden. El orden se decide en función del tipo de sistema que queramos tener.	El proceso de desarrollo es el punto débil de esta metodología. Vowel Engineering sólo proporciona las vocales como resumen de elementos a considerar en el desarrollo y un conjunto de tecnologías aplicadas.
MAS-CommonKADS	Plantea un desarrollo de SMA integrado con un ciclo de vida de software, concretamente el espiral dirigido por riesgos [Pressman 82]. Propone siete modelos para la definición del sistema: agente, tareas, experiencia, coordinación, comunicación, organización y diseño.	El proceso es costoso, las especificaciones son hechas en lenguaje natural.
BDI	Las arquitecturas BDI se inspiran en un modelo cognitivo del ser humano. Los agentes utilizan un modelo del mundo, una representación de cómo se les muestra el entorno. El agente recibe estímulos a través de sensores. Estos estímulos modifican el modelo del mundo que tiene el agente (representado por un conjunto de creencias). Para guiar sus acciones, el agente tiene Deseos. Un deseo es un estado que el agente quiere alcanzar a través de intenciones.	No tiene herramientas de soporte. Sin embargo, los modelos formales que se pueden encontrar tras esta metodología constituyen una referencia obligada para aquellos interesados en la integración de teorías de agentes y las prácticas de ingeniería.
MaSE	Parte del paradigma orientado a objetos, se asume que un agente es sólo un objeto especializado.	Se dificulta expresar elementos característicos de la tecnología de agentes como lo es, el razonamiento de los agentes.
ZEUS	Propone un desarrollo en cuatro etapas [Collis et al. 99]: el análisis del dominio, el diseño de los agentes, la realización de los agentes y el soporte en tiempo de ejecución.	Conceptualmente, ZEUS es superior a MaSE, la primera está más orientada a la aplicación de tecnología de agentes (planificación, definición de ontologías, secuenciación de tareas), la segunda se orienta más a las prácticas de ingeniería convencional.
GAIA	Propone trabajar inicialmente con un análisis a alto nivel. En este análisis se usan dos modelos, el modelo de roles para identificar los roles clave en el sistema junto con sus propiedades definitorias y el modelo de interacciones que define las interacciones mediante una referencia a un modelo institucionalizado de intercambio de mensajes, como el FIPA-Request [FIPA, 2003].	Se queda a un nivel de abstracción demasiado alto. Según los autores, con ello se consigue desacoplar GAIA de las distintas soluciones de implementación de agentes. Dado el nivel de abstracción en que se queda es de esperar que el esfuerzo a invertir para pasar de una especificación GAIA hasta su implementación sea alto.
INGENIAS - MESSAGE	Define un conjunto de meta-modelos con los que hay que describir el sistema. Los meta-modelos indican qué hace falta para describir: agentes aislados, organizaciones de agentes, el entorno, interacciones entre agentes o roles, tareas y objetivos. Estos meta-modelos se construyen mediante un lenguaje de meta-modelado, el GOPRR (Graph, Object, Property, Relationship, and Role)	El proceso de desarrollo que propone INGENIAS es excesivo cuando se trata de desarrollos reducidos. A diferencia de MAS-CommonKADS que dota de procesos de desarrollo adaptados al tamaño del problema, INGENIAS da la impresión de dedicarse exclusivamente a desarrollos de gran tamaño.

De manera resumida la información se organizó a través de tres columnas en las que se cita el nombre de la metodología, una descripción, y en una tercera columna con un comentario resultado de la indagación acerca de la metodología descrita. En la tabla 1 se puede observar que algunas de las metodologías mencionadas son costosas, y esto puede estar relacionado con diversos factores como: complejidad, disponibilidad de herramientas computacionales para implementarlas, compatibilidad con estándares para el diseño de SMA, adaptabilidad para modelar las características de los sistemas que se pretenden analizar, etc. De tal forma que como resultado de la revisión que se realizó en este trabajo se identificó que las metodologías BDI y GAIA cumplen con características que consideramos importantes para crear MBA y SMA aplicables al campo de estudio de la geomática. El paradigma BDI (Belief-Desire-Intention) se aplica en el área de ingeniería de software orientada a agentes y se utiliza para formalizar la arquitectura interna de agentes inteligentes. Este enfoque fue propuesto a partir de los desarrollos en inteligencia artificial para representar la forma en que los agentes pueden llevar a cabo razonamiento complejo. Aunque se ha considerado desventajoso diseñar e implementar agentes en un sistema usando este paradigma argumentando complejidad y costo computacional, las arquitecturas y los entornos de desarrollo actuales ofrecen capacidades e interfaces de usuario adecuadas y pertinentes para realizar simulaciones sociales [Taillandier, 2016].

Caillou [2017] menciona que en el paradigma BDI, un agente basa su arquitectura en dos aspectos principales: conocimiento y comportamiento.

El conocimiento se describe por medio de predicados e implica establecer en el diseño del agente:

- Creencias: Se refiere a la representación de lo que el agente piensa, del conocimiento que tiene acerca del mundo. Las creencias se expresan mediante predicados y generalmente pueden ser verdaderas o falsas, además de que se actualizan dinámicamente durante una simulación.
- Deseos: Representan lo que un agente necesita, los objetivos que quiere cumplir. Los deseos de un agente se integran en un conjunto y se remueven de éste cuando se consideran cumplidos, es decir, cuando pasan a formar

parte de las creencias o conocimiento del agente. Al igual que las creencias, los deseos se actualizan dinámicamente durante una simulación.

- **Intenciones:** Representa lo que el agente ha decidido hacer. La intención actual determina a su vez un plan a seguir. Es importante mencionar que las intenciones se pueden poner en estado de espera si se requiere que un deseo se cumpla, y por esta razón se genera una pila para almacenar las intenciones de un agente, en la cual la última intención contenida en dicha pila se considera como la actual y será la única que no estará en estado de espera.

Por otro lado, el comportamiento se refiere a la percepción y a los planes de los agentes, en donde:

- **Percepción:** Se refiere a una función la cual es invocada en cada iteración, y a partir de su salida eventualmente un agente actualiza su base de creencias o deseos.
- **Planes:** Representa el conjunto de planes que tiene un agente, los cuales se definen como comportamientos para alcanzar deseos específicos. Un plan puede ser inmediato y/o persistente, puede tener asociado un valor de prioridad dinámico para elegir de entre el conjunto de planes disponibles.

GAIA [Wooldridge, Jennings, & Kinny, 2000] es una metodología para el diseño de SMA cuyo propósito es ayudar a sistematizar el proceso de análisis para tratar de que sea lo suficientemente detallado para ser implementado directamente haciendo uso de alguna herramienta computacional. En GAIA, al igual que en metodologías para el desarrollo de software como el proceso unificado, se entiende que a través del modelo de análisis lo que se pretende es abstraer un sistema y su estructura sin hacer referencia en esa etapa de ninguna herramienta particular para la implementación posterior. Esto se concibe a través del concepto de organización, entendida una organización en GAIA como una colección de roles, los cuales mantienen ciertas interacciones con otros roles. Los roles agrupan cuatro aspectos: responsabilidades del agente, recursos que se le permite utilizar, las tareas asociadas e interacciones. GAIA propone trabajar inicialmente con un análisis a alto

nivel. En este análisis se usan dos modelos, el modelo de roles para identificar los roles clave en el sistema junto con sus propiedades definitorias y el modelo de interacciones definidas a partir del modelo estándar de intercambio de mensajes FIPA-Request [FIPA, 2003]. Posteriormente, en GAIA se realiza el diseño a alto nivel cuyo objetivo es generar tres modelos: el modelo de agentes que define los tipos de agente que existen, cuántas instancias de cada tipo y qué papeles juegan cada uno de los agentes, el modelo de servicios que identifica los servicios (funciones del agente) asociados a cada rol, y un modelo de comunicaciones que define los enlaces que existen entre agentes.

### **3. Resultados**

Para ilustrar el uso de estas metodologías se presenta un modelo de evacuación. Para implementar el modelo de simulación se utilizó la plataforma GAMA. GAMA [Grignard, Taillandier, Gaudou, Vo, Huynh, & Drogoul, 2013] es una plataforma software con licencia tipo GPL y de código abierto para simulación de MBA cuyo objetivo es proporcionar a los expertos de campo, modeladores y científicos informáticos un entorno completo para simulaciones espacialmente explícitas. Ofrece capacidades de visualización 3D, gestión de datos geográficos y modelado multinivel.

En GAMA se utiliza el lenguaje orientado a agentes basado en predicados GAML. Así pues, el MBA con arquitectura BDI y la SMA diseñada con GAIA e implementada usando la plataforma GAMA tiene las siguientes características:

- Los agentes son personas ubicadas en una cierta región geográfica.
- Tienen como creencias el conocimiento de la región geográfica que habitan y las catástrofes que ahí suceden.
- Los agentes tienen como deseos el llegar a un punto de resguardo identificado dentro de la región geográfica.
- Las intenciones están representadas por las acciones que realizan los agentes para que, a partir de las percepciones o creencias, en el momento de conocer que corren peligro, seguir un plan para evacuar a través de una ruta trazada para llegar a un punto de resguardo.

En este modelo los agentes son civiles cuyo único rol es ponerse a salvo ante una situación de peligro y comunicarse con otros agentes para transmitir el mensaje de la ocurrencia de una catástrofe. En la figura 1 se muestran creencias escritas en el lenguaje GAML de GAMA mediante el comando “*predicate*”. En la figura 2 se muestran percepciones y emociones creadas que determinan las intenciones de los agentes. Esto es, cuando un agente percibe que está en peligro por la ocurrencia de una catástrofe avisa a otros agentes y determina su intención para ponerse a salvo. En la figura 3 se muestran las intenciones de los agentes que, a partir de la detección de una situación de peligro, deben ponerse a salvo siguiendo una ruta de evacuación para llegar lo más pronto posible a un punto de resguardo.

```
// con el fin de simplificar el modelo definimos 4 deseos como variables
predicate at_target <- new_predicate("at_target");
predicate in_shelter <- new_predicate("shelter");
predicate has_target <- new_predicate("has target");
predicate has_shelter <- new_predicate("has shelter");

// les damos también 2 creencias como variables
predicate catastropheP <- new_predicate("catastrophe");
predicate nonCatastrophe <- new_predicate("catastrophe",false);
```

Figura 1 Creencias y deseos del MBA con arquitectura BDI en GAMA.

```
// al final definimos 2 emociones ligadas al conocimiento de la catástrofe
emotion fearConfirmed <- new_emotion("fear_confirmed",catastropheP);
emotion fear <- new_emotion("fear",catastropheP);

bool noTarget<-true;

// establecemos esta variable incorporada en true para utilizar el proceso emocional
bool use_emotions_architecture <- true;

// si el agente percibe que es algo que no es normal (un peligro), tiene una probabilidad proba_detect_hazard de suponer (agregar a su base de incertidumbre) que está ocurriendo
perceive target:hazard in: hazard_distance when: not escape_mode and flip(proba_detect_hazard){
  focus id:"catastrophe" is_uncertain: true;
  ask myself {
    if(fearful){
      do to_escape_mode;
    }else{
      color<+#green;
    }
  }
}

// si el agente percibe la catástrofe, se añade una creencia acerca de ella y pasar en el modo de escape
perceive target:catastrophe in:catastrophe_distance{
  focus id:"catastrophe";
  ask myself{
    if(not escape_mode){
      do to_escape_mode;
    }
  }
}
```

Figura 2 Percepciones de los agentes en el MBA con arquitectura BDI en GAMA.

```
// si el agente tiene un miedo confirmado, tiene el deseo de ir a un refugio
rule emotion:fearConfirmed remove_intention: at_target new_desire:in_shelter strength:5.0;

// si el agente tiene la creencia de que hay una catástrofe, que tiene el deseo de ir a un refugio
rule belief:new_predicate("catastrophe") remove_intention:at_target new_desire:in_shelter strength:5.0;

rule emotion:new_emotion("fear" ,new_predicate("catastrophe")) new_desire:in_shelter remove_intention:at_target when: fearful strength:5.0;

// plan de movimiento normal
plan normal_move intention: at_target {
  if (target = nil) {
    target <- any_location_in(one_of(road));
  } else {
    do goto target: target on: road_network move_weights: current_weights recompute_path: false;
    if (target = location) {
      target <- nil;
      noTarget<-true;
    }
  }
}
}
```

Figura 3 Intenciones de los agentes en el MBA con arquitectura BDI en GAMA.

Finalmente, en la figura 4 se muestra la simulación del SMA en la cual se observa en el círculo rojo la zona en la que ha ocurrido una catástrofe, los puntos azules en los extremos representan los lugares de resguardo y las líneas representan las carreteras que sirven de rutas para llegar a los puntos azules.

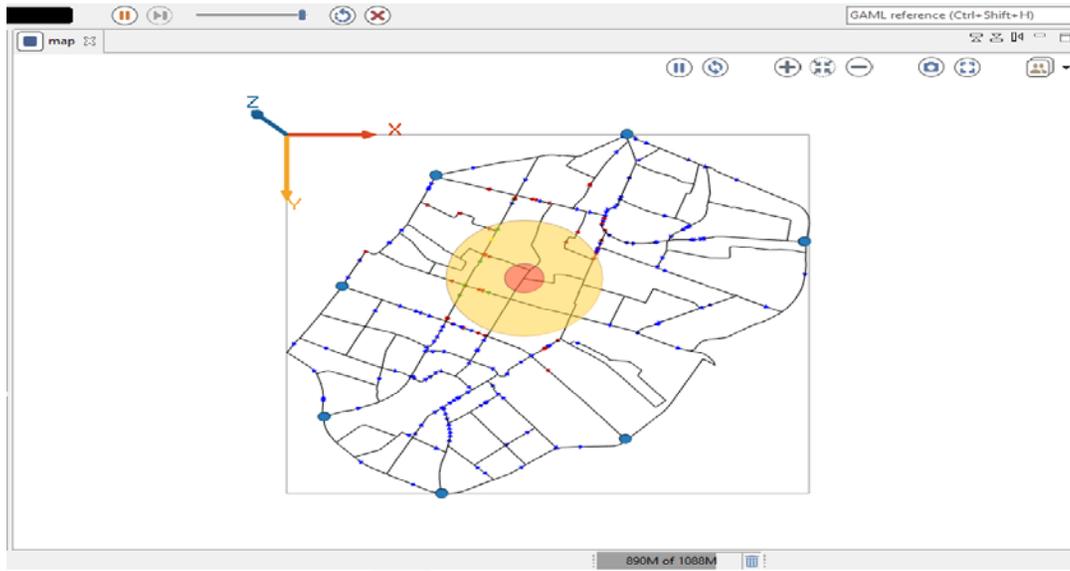


Figura 4 SMA del MBA con arquitectura BDI en GAMA.

Los puntos pequeños sobre las líneas (carreteras) representan los agentes desplazándose, en este experimento existen 200 agentes interactuando durante la simulación. Un aspecto importante para resaltar es que, para esta simulación se

toma como entrada para representar el entorno datos geográficos en un formato que puede ser manipulado antes o después en un SIG, en este caso se toma un mapa en formato *shape* para representar el entorno a través de polígonos que trazan una región geográfica.

#### **4. Discusión**

A lo largo de los últimos 25 años se han estado utilizando herramientas matemático-computacionales para modelar fenómenos urbanos, particularmente integrando elementos espacio-temporales. De los más utilizados son los modelos basados en Autómatas Celulares (AC) [Rodríguez, 2002]. Durante la década pasada se han planteado MBA, los cuales tienen propiedades similares a los AC de poder representar propiedades de los sistemas complejos, así como patrones de comportamiento emergente para analizar dinámicas urbanas [Cantergiani, 2014], [Peraza, 2016]. Una de las líneas que ha despertado considerable interés para la comunidad científica del área de Geomática es el estudio de escenarios territoriales [Ubilla-Bravo, 2014], entendidos estos como la representación geográfica de una situación futura a partir de una situación inicial, motivo por el cual se ha vuelto atractivo el utilizar agentes para este tipo de estudios.

El reto principal de este tipo de modelos es el de poder abstraer de alguna manera los rasgos característicos concernientes a la conducta social de los individuos que habitan en una determinada región geográfica.

Otro elemento adicional a la complejidad propia del proceso de abstracción es la extensa diversidad y heterogeneidad de metodologías y herramientas que existen para trabajar con modelos multiagente, aun cuando exista consenso en cuanto a las propiedades que definen a un agente.

En este trabajo se revisaron metodologías tanto para la creación de MBA como para implementar SMA y se identificó que BDI y GAIA cumplen con características de integración y estandarización que son pertinentes para desarrollar modelos aplicables al campo de la geomática. Además, se identificó GAMA como herramienta software libre y de código abierto con un lenguaje apropiado (GAML) para realizar experimentos con simulaciones incorporando datos geográficos para

representar el entorno, en este caso un mapa, sobre el cual el sistema multiagente desarrolla su dinámica.

#### **4. Bibliografía y Referencias**

- [1] Bousquet, F. (ed.). Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia. Int. Rice Res. Inst., 2005.
- [2] Caillou, P., Gaudou, B., Grignard, A., Truong, C. Q., & Taillandier, P. A Simple-to-use BDI architecture for Agent-based Modeling and Simulation. In *Advances in Social Simulation 2015*, pp. 15-28, Springer, Cham, 2017.
- [3] Cantergiani, C., Gómez Delgado, M., & Vergara, C. Desarrollo de un Modelo Basado en Agentes para la simulación del crecimiento urbano: Submodelo de asignación de nuevo suelo urbanizable. Asociación de Geógrafos Españoles (AGE), 2014.
- [4] Epstein, M. & Axtell, R. *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. MIT Press, 1996.
- [5] Ferber, J. *An introduction to distributed artificial intelligence*. 1999.
- [6] García-Valdecasas, J. La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, núm. 136, pp. 91-110, Madrid, Centro de Investigaciones Sociológicas, 2011.
- [7] Gilbert, N. *Agent-based models*. Sage Publications, Incorporated, 2019.
- [8] Groot, R. Geomatics: A key to country development?. *ITC journal*, no 4, p. 277-283, 1987.
- [9] FIPA. FIPA:ACL Message Structure Specification. <http://www.fipa.org>, 2003.
- [10] Grignard, A., Taillandier, P., Gaudou, B., Vo, D. A., Huynh, N. Q., & Drogoul, A. GAMA 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation. In *International conference on principles and practice of multi-agent systems* (pp. 117-131). Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [11] National Research Council, & Geographical Sciences Committee. *Advancing land change modeling: opportunities and research requirements*. National Academies Press, 2014.

- [12] Koch, A., & Mandl, P. (ed.). Modeling and simulating urban processes. LIT Verlag Münster, 2011.
- [13] Olmedo, M. C., Paegelow, M., Mas, J. F., & Escobar, F., Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios. An Introduction. In Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios, pp. 1-8, Springer, Cham, 2018.
- [14] Peraza, Á., Rodríguez, R., Plata, W., & Uriarte, J. Sistemas Multiagente para la Simulación de Dinámicas Urbanas, *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, no. 8, pp. 56-65, 2016.
- [15] Rodriguez, R. Modelación de flujo de tránsito de autos utilizando autómatas celulares. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., Septiembre, 2002.
- [16] Rodriguez, R. Autómatas celulares y sistemas multiagente para la modelación de ecosistemas. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., Octubre, 2008.
- [17] Taillandier, P., Bourgeois, M., Caillou, P., Adam, C., & Gaudou, B. A BDI agent architecture for the GAMA modeling and simulation platform. In International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation, pp. 3-23, Springer, Cham, 2016.
- [18] Ubilla-Bravo, G., & Lastra-Sáez, C. Prospectiva. Análisis de escenarios territoriales para la Región Metropolitana de Santiago, Doctoral dissertation, Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, Santiago, 2014.
- [19] Wooldridge M., Jennings, N. R., & Kinny, D. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design. *Autonomous Agents and multi-agent systems*, vol. 3, no 3, p. 285-312, 2000.