

Simulación multi-agente para gestión de desastres y reducción de riesgo

Multi-agent simulation for disaster management and risk reduction

Padilla, Virginia* y Dávila, Jacinto

Centro de Simulación y Modelos, Facultad de Ingeniería
Universidad de Los Andes Mérida 5101, Venezuela

*vpadilla@uneg.edu.ve

Resumen

Los desastres ocupan un espacio cada vez más importante del debate público debido, desde luego, a las pérdidas lamentables de vidas humanas y de infraestructura que ocurren en cada caso, pero también porque sus efectos se acumulan para influir negativamente sobre las posibilidades de desarrollo de los países y, en general, la defensa de los derechos humanos. Gestionar desastres (Valdés, 1999) significa estudiar sus factores determinantes. Gestión de la reducción del riesgo se refiere a las acciones para prevenir y anticipar las causas y a las estrategias para reducir la vulnerabilidad y las condiciones de riesgo. En este documento se presenta el diseño general de un sistema de información en el dominio de la gestión de desastres y reducción de riesgo. La aplicación estará orientada al servicio público y le proporcionará al usuario respuesta a la interrogante de ¿Cuál es el riesgo de no tener agua potable durante un período de sequía?. El sistema simulará la ocurrencia de cambios en la dinámica de lluvias sobre una geografía determinada que podrían significar períodos de sequía y le permitiría a un usuario anticipar las secuelas de tal tipo de desastre sobre el servicio de suministro de agua residencial que presta un acueducto en la región de estudio. Esta aplicación permitirá validar un modelo de referencia de un sistema multi-agente que explora la relación entre los agentes, las bases de datos y los sistemas de información geográfica. El modelo de referencia es un intento de generalizar las características de Galatea (Dávila y Uzcátegui, 2002; Davila et al., 2007), un software de simulación orientada a los agentes, con la intención de lograr una plataforma integral, uniforme y bien fundamentada, para simular sistemas espaciales complejos.

Palabras clave: sistemas multiagentes, bases de datos, simulación, Galatea, gestión de desastres y reducción de riesgo.

Abstract

Disasters occupy an increasingly important share of public debate due not only to the unfortunate loss of human lives and infrastructure but also because their effects accumulate and negatively affect the possibilities for a country development and, in general, the defense of human rights. Management Risk reduction refers to the actions to reduce the causes of disasters and to the strategies to reduce vulnerability and risk conditions (Valdés, 1999). This document presents the design of an information system in the domain of disaster management and risk reduction. The application will be oriented to public service and should provide answers to the question: what is the risk of insufficient water supply for a household during a dry season?. The system simulates the occurrence of changes in the dynamics of rainfall over a particular geography that would cause droughts and anticipate the consequences of that type of disaster on the service of residential water supply that provides an aqueduct in the study area. This application will be used to validate a reference model of a multiagent system that explores the relationship between agents in multiagent systems, databases and geographic information systems. The reference model is an attempt to generalize the characteristics of Galatea (Dávila y Uzcátegui, 2002; Davila et al., 2007), a multiagent, simulation system, and it is part of an effort aimed to a more comprehensive, uniform and well-founded, platform to simulate complex spatial systems.

Key words: multi-agent systems, database, simulation, Galatea, disaster management and risk reduction.

1 Introducción

Los desastres ocupan un espacio cada vez más impor-

tante del debate público debido, desde luego, a las pérdidas lamentables de vidas humanas y de infraestructura, pero también porque sus efectos se acumulan para influir negativamente sobre las posibilidades de desarrollo de los países y, en general, en la defensa de los derechos humanos. Sobre la gestión de desastre y reducción de riesgo, GDRR, Valdés (Valdés, 1999) dice “[..], como se ha ido definiendo durante el Decenio, tiene muchas definiciones y matices, pero se entiende como el conjunto de actividades que se realizan para eliminar o reducir los elementos expuestos a un posible fenómeno destructor de origen natural o socio-natural y mitigar su impacto. Se refiere a las acciones para reducir las causas o mitigar el impacto, mejorar la capacidad de responder y actuar, y, sobre todo, mejorar las estrategias para reducir la vulnerabilidad y condiciones de riesgo”. A los términos especializados que hacen explícitos los conceptos vinculados a los desastres, Valdés (Valdés, 1999) los presenta así:

- Un peligro (amenaza) representa la potencial ocurrencia de un suceso, que se manifiesta en un lugar específico, con una intensidad, magnitud y duración determinada. Se suelen clasificar en: de origen natural (hidrometeorológico o geológico), socio-natural (deterioro ambiental, incendios forestales) o provocados por el ser humano.
- La vulnerabilidad es el resultado de la conducta humana, y se puede definir como un sujeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. Aspectos físicos, sociales, económicos, educativos, políticos y culturales, entre otros, contribuyen a la conformación o acumulación de vulnerabilidad. Como ejemplos se pueden citar el grado de conciencia colectiva de los peligros, el estado físico de los asentamientos humanos y su infraestructura, la calidad de las políticas y de la gestión pública, la capacidad de organización en todos los campos de manejo de los desastres.
- El riesgo se define como la probabilidad de daños sociales, ambientales y económicos, en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado.

En este contexto, diseñar una solución supone enfrentarse no sólo al modelado de un sistema con una complejidad de múltiples facetas, relacionadas con la naturaleza del fenómeno y las dinámicas humanas, sino que implica también el desarrollo de herramientas flexibles, adaptables, amigables, computacionalmente eficientes al servicio de información que soporte la solución. Nuestra hipótesis fundamental de trabajo es que la mejor manera de construir tales herramientas es a partir de una conceptualización de nociones como bases de datos, sistemas de información geográfica y agentes adaptable a este dominio de aplicación y servicio.

En este documento se presenta un modelo de referencia para sistemas multiagentes que permite explorar la relación entre los agentes computacionales, sistema de bases de datos y sistemas de información geográfica y se le usa para guiar el diseño y desarrollo de una herramienta para simular sistemas espaciales complejos.

Un modelo de referencia es la base epistémica de una ontología (se hace referencia a la ontología en su sentido histórico, antes que en el sentido técnico de la ingeniería ontológica). Es la descripción de cosas y conceptos dentro de algún dominio del conocimiento. Un modelo de referencia para sistemas multiagentes debe suministrar la definición de cada agente y del sistema como un todo.

El modelo de referencia de un sistema multiagente que se presenta en este artículo es un intento de generalizar las características de Galatea (Dávila, 2011; Dávila et al., 2007), un software de simulación orientada a los agentes, con la intención de lograr una plataforma integral, uniforme y bien fundamentada, para servicios de gestión del conocimiento y es parte de un intento por superar la “[..] debilidad relativa de la ingeniería de software en el lado de los sistemas multiagentes: existen muchas metodologías o disponibilidad de lenguajes orientados a objetos, pero no un fuerte compromiso con una semántica operacional determinada” (Drogoul et al., 2003).

Este documento se estructura como sigue. La sección 2 describe el modelo de referencia propuesto. La sección 3 presenta un diseño general de un sistema de simulación multiagentes para GDRR con fuentes de conocimiento heterogéneas y compartidas de acuerdo al modelo propuesto. Finalmente, en la sección 4 se concluye y se presenta una visión de los trabajos futuros.

2 Un Modelo de Referencia para Sistemas Multiagentes

La noción de agentes ha llegado a ser extremadamente popular en el mundo tecnológico en tiempos recientes. La inteligencia Artificial, IA, gira alrededor de este concepto y existen proyectos para desarrollar un nuevo paradigma orientado a agentes (Russell y Norvig, 2004) con el fin de reforzar el paradigma de la orientación a objetos, OO, (Rumbaugh et al., 1991). En ese contexto, un agente es concebido como un objeto con una interface a su ambiente a través del cual se reciben entradas al objeto y se entregan salidas desde el objeto. Un agente es “cualquier cosa que pueda percibir el mundo mediante sensores y actuar sobre el mundo mediante efectores”. (Russell y Norvig, 2004). Se puede decir que “la meta del proyecto total de la IA es diseñar un agente inteligente racional que opere o actúe adecuadamente en su ambiente” (Russell y Norvig, 2004).

El paradigma de la orientación a agentes (Bratman, 1987; Kowalski, 1997; Russell y Norvig, 2004; Kowalski, 2011) prescribe un conjunto de estructuras para el estado de un agente y su entorno. A continuación se presenta una serie de definiciones de estructuras que definen a un sistema multiagente en el modelo que se propone:

Estructuras de estado interna: vista de cada individuo

- creencias: lo que el agente conoce acerca de su ambiente y de otros agente y que normalmente se constituyen en una base de conocimientos.

- metas: objetivos que al agente apunta a lograr o causar, usualmente por medio de la ejecución de planes de acción. Las metas pueden clasificarse en:
 - metas de mantenimiento, que representan una relación permanente entre el agente y su ambiente, en la forma de reglas condicionales.
 - metas de logro, son objetivos particulares, derivadas de las anteriores, que el agente trata de lograr en algún punto del tiempo.
- intenciones: metas que el agente está comprometido en alcanzar.
- preferencias: un conjunto distinguido de metas o las reglas para seleccionadas. Las preferencias de un agente cierto estado pueden ser incorporadas como parte de una función de utilidad, a la cual se le asigna valores para expresar cuan deseable es cada estado deseado o plan de acción.
- compromisos: las obligaciones adquiridas por un agente o acordadas con otro agente y a las cuales el agente está sujeto.
- reglas: un conjunto de preceptos o instrucciones establecidas en alguna forma regular y que suelen constituirse en una base de conocimientos.
- planes: la secuencia de acciones, ordenadas en el tiempo, que un agente puede ejecutar con el objeto de lograr sus metas.
- historia: el agente guarda información concerniente a su propio registro de percepciones.

dinámica interna:

- mecanismo de actualización: para incorporar nueva información.
- mecanismo de activación del agente: para conectarse con su entorno.
- mecanismo de planificación y ejecución del agente, el cual incluye un motor de inferencia y un mecanismo de toma de decisiones, con los cuales el agente traduce sus entradas en salidas apropiadas.

estado externo: vista del entorno y el colectivo.

- roles: funciones organizacionales realizadas por el agente en un sistema multiagente. Usualmente están representados en cada agente por medio de las metas.
- casos de uso: descripción sucinta del comportamiento de los agentes al prestar algún servicio.

interfaz: entre el agente y su exterior

- aptitudes: el agente posee la funcionalidad e información correcta con el objeto de ser capaz de interrelacionarse con el medio ambiente que lo rodea. Están definidas en términos de:
 - habilidades: lo que el agente sabe que puede hacer como resultado de la combinación de sus

percepciones y creencias.

- capacidades: el conjunto de acciones que el agente puede realizar siempre que se cumplan ciertas condiciones de operación

Esta lista de definiciones constituye la base del modelo de referencia que se propone. Se ha usado este modelo como un marco comparativo para evaluar metodologías industriales, tratando de mostrar como cada concepto está representado por cada metodología. La meta (ambiciosa de por sí) es el de aproximarse a una meta-metodología¹, a modo de una teoría general de sistemas multiagente (Dávila et al., 2007), que permita explorar estrategias concretas para diseñar, generar y controlar sistemas basados en conocimiento. Hasta ahora, las metodologías bajo escrutinio han sido: AAIL (Kinny et al., 1996), GAIA (Zambonelli et al., 2003), MaSE (Mark, 2000), Prometheus (Padgham y Winikoff, 2002), MESSAGE/UML (Caire et al., 2002), INGENIAS (Gomez-Sanz y Pavón, 2003), Tropos (Bresciani et al., 2004), MAS-CommonKADS (Iglesias et al., 1997), y O-MaSE Process Framework (Garcia-Ojeda et al., 2007). Todas estas metodologías comparten esa noción básica de agente inteligente o racional que se citó antes y, prácticamente, todas las nociones que se proponen en el modelo para las estructuras y dinámicas de los agentes. Se omite la comparación par a par en aras del espacio.

El modelo formal de un sistema multiagente está construido sobre trabajos previos en IA (Ferber y Müller, 1996) y Simulación (Dávila y Tucci, 2002) los cuales conducen a una teoría multiagentes para simulación (Dávila et al., 2007). El modelo adapta esa teoría y la combina con la propuesta de (Blecic et al., 2009) para producir una teoría multiagente para geosimulación, la cual explica la relación entre agentes, bases de datos y sistemas de información geográfica; como una herramienta para simular sistemas espaciales complejos. Los detalles se explican a continuación.

2.1 Una primera aproximación a un modelo formal de un sistema multiagentes

Se presenta a continuación la descripción de la dinámica completa de un sistema multiagentes. Los detalles están en (Dávila y Tucci, 2002) pero para beneficio de la explicación se reproducirá el conjunto completo de formulas que han sido adaptadas, en la sección 2.2.5, al integrarlas con el metamodelo propuesto por Blecic et al (Blecic et al., 2009). Es importante notar que esta formalización ha sido extendida en (Dávila et al., 2007) para dar cuenta de agentes aprendices. Pero se apela a la teoría sin aprendices por el beneficio de la simplicidad.

Esta es la descripción matemática de un sistema po-

¹ conceptualización general que podría guiar, eventualmente, el desarrollo de metodología específicas (Blecic et al., 2009)

blado por muchos agentes, descrito como la función Cycle la cual “mueve” el sistema desde un estado global al siguiente cronológicamente. El estado global se caracteriza, como es usual en simulación, como un conjunto de variables de estados y sus valores, representado en esta formalización por σ (y similares). Sin embargo, como es propuesto por Ferber y Müller (Ferber y Müller, 1996), el estado global también incluye un conjunto conocido como las influencias, γ (y similares), que representan todas las acciones que el agente ha ejecutado (su historia) y que está tratando de ejecutar en un momento particular (sus intenciones). Se usa γ_i para representar las influencias producidas por el agente i y, t para contabilizar el tiempo. El único mecanismo adicional que se necesita es el conjunto de todos los posibles estados mentales de todos los agentes (S), para producir la definición formal de un sistema multiagente que se muestra en la ecuación 1:

$$\text{Evolution: } S \times T \times \Sigma \times \Gamma \rightarrow \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{Evolution}(\langle s1, s2, \dots, sn \rangle, t, \sigma, \gamma) = \text{Evolution}(\text{Cycle}(\langle s1, s2, \dots, sn \rangle, t, \sigma, \gamma)) \quad (2)$$

y

$$\text{Cycle: } S \times T \times \Sigma \times \Gamma \square S \times T \times \Sigma \times \Gamma \quad (3)$$

$$\text{Cycle}(\langle s1, s2, \dots, sn \rangle, t, \sigma, \gamma) = \langle \langle s'1, s'2, \dots, s'n \rangle, t', \sigma', \gamma' \rangle \quad (4)$$

donde la reacción del ambiente a las influencias del agente se define en la ecuación 5:

$$\langle \sigma', \gamma' \rangle = \text{React}(\text{Laws}, t, \sigma, \gamma U_i \gamma_i) \quad (5)$$

y la conducta del agente frente a los cambios en ese ambiente es modelada por la ecuación 6:

$$\langle s'i, \gamma_i \rangle = \text{Behavioura}(t, ra, k, g, \gamma) = \langle k, g', \gamma' \rangle \quad (6)$$

donde, cada $s'i$, es una abreviación de $\langle ki, gi \rangle$, que son respectivamente, la base de conocimiento y las metas del agente i , y,

$$\text{Laws} = \text{Scan}(\text{Network}, \xi) \quad (7)$$

$$\xi = \text{NextEvent}(\gamma) \quad (8)$$

$$t' = \text{TimeOff}(\xi) \quad (9)$$

son los elementos habituales para describir un sistema en un simulador DEVS (Zeigler et al., 2000) (Wainer, 2009). Network contiene el modelo global, como una red de componentes, del sistema simulado, cuyos eventos asociados (al igual que ξ) manejan la dinámica completa.

2.2 Un agente con racionalidad acotada

La racionalidad acotada (Simon, 1955) se refiere al hecho de que un agente tiene recursos limitados, típicamente tiempo o espacio de memoria, para razonar, una característica ampliamente aceptada de los agentes económicos, incluyendo a los humanos (.ibid). Con la intención de considerar el concepto en el modelo de los agentes que acá se propone, se apela a lo propuesto en (Dávila, 1997) y (Kowalski, 2011). En esos trabajos se explica cómo un agente puede amalgamar pensamiento y acción, fijando un límite de tiempo (o espacio) para cada tarea, en particular para el razonamiento, al cabo del cual cambia a la otra actividad. En tales condiciones de operación, es posible que el agente termine actuando sobre razonamientos incompletos por falta de tiempo. Teniendo mas tiempo para razonar, el agente podría elegir otro curso de acción. La idea clave es que ese tipo de agente estará listo para (re)accionar más rápido que un agente que trata de agotar el proceso de razonamiento. El precio que paga es que este agente “reactivo” no siempre toma el “mejor” curso de acción.

Formalmente, se ha convertido ese límite en una restricción en el tiempo utilizado por el agente para razonar. Una vez alcanzado ese límite, se debe cambiar al “lugar de control” e intentar ejecutar cualquier acción que haya decidido (si la hubiere) antes de suspender el proceso de razonamiento. Nótese que el segundo argumento de la función de planificación Planninga: $T \times R \times Ka \times Ga \square Ga \times \Gamma$, es un número real (R) : es el tiempo utilizado para el proceso de planificación (razonamiento). En una primera aproximación, sin embargo, ese número es un entero y contabiliza el número de “pasos de razonamiento” o tiempo usado para razonar, realizados durante el espacio de tiempo total concedido para razonar. La función Planninga debe ser implementada como una (co)rutina (re)entrante que es interrumpida cada cierto tiempo para permitir actualizaciones. Cada cuanto tiempo se le interrumpe es, justamente la cota que se menciona para la racionalidad. Esta previsión, parte de la función que describe el comportamiento del agente descrita a continuación, es el primer elemento de este modelo de agente con racionalidad acotada.

2.3. El comportamiento de un agente como una función matemática.

Caracterizamos un agente a como un función matemática

$$\text{Behavioura: } T \times R \times Ka \times Ga \times \Gamma \square Ka \times Ga \times \Gamma \quad (10)$$

que relaciona los recursos limitados, el estado interno del agente y el conjunto de influencias a un nuevo estado interno y a un conjunto de influencias producidas por el agente. La función Behavioura se define como en la ecuación 11:

$$\text{Behavioura}(t, ra, k, g, \gamma) = \langle k', g', \gamma' \rangle \quad (11)$$

donde

$$k' = \text{Updatea}(t, \text{Perceptiona}(\gamma), k) \quad (12)$$

$$\langle \gamma', g' \rangle = \text{Planninga}(t, ra, k', g) \quad (13)$$

La función Updatea simplemente añade el conjunto de perceptos observado por el agente a en su base de conocimiento. La función Planninga es más compleja. Especifica una máquina de inferencia que transforma las metas g en metas g' e influencias γ' , usando las reglas e información objetiva contenida en k' , comenzando en el tiempo t y tomando no más que ra unidades de tiempo para hacerlo.

En definitiva, un agente es descrito como una 6-tupla:

$$\langle Pa, Ka, Ga, \text{Perceptiona}, \text{Updatea}, \text{Planninga} \rangle \quad (14)$$

donde Pa es el conjunto de posibles perceptos para un agente a y Perceptiona explica como actualmente el agente percibe su ambiente. Un agente racional tiene una base de conocimiento, Ka , y un conjunto de metas (o intenciones), Ga , que, conjuntamente, caracteriza su estado interno. Updatea: $T \times Pa \times Ka \rightarrow Ka$ es el mecanismo de memorización pero ésta garantiza que la adición de nueva información preserva la estructura interna de la base de conocimiento (y su consistencia) porque Ka es una colección de formulas lógicas con sintaxis y semántica bien definidas.

Planninga: $T \times R \times Ka \times Ga \rightarrow Ga \times \Gamma$, representa la función de razonamiento que deriva nuevas metas e influencias, tomando en cuenta las metas previas y la base de conocimiento. Note que ambas Updatea y Planninga introducen un argumento (con dominio T , el conjunto de todos los puntos de tiempo posibles) para indicar el tiempo en el cual cada proceso toma lugar. Con Planninga se modela el proceso por medio del cual un agente deriva, a partir de un conjunto de metas de alto nivel, un conjunto de metas de bajo nivel, algunas de las cuales son acciones que pueden ser tratadas de ejecutar.

Esta vista de un agente reduciendo metas a submetas ha sido estudiada en (Kowalski, 2011), (Kowalski y Sadri, 1997) y (Dávila, 1997) en el contexto de agentes en la programación lógica y lógica computacional. A continuación se procede a integrar este modelo de cada agente en el contexto de un sistema complejo.

2.4. La teoría de sistemas de información geográfica MAGI

El meta-modelo presentado en (Blecic et al., 2009) representa una teoría formal de una geografía con agentes y objetos en ella. Sirve, al igual que la teoría de Galatea (Dávila y Uzcátegui, 2002), como una especificación formal que guía la implementación de un sistema geocomputacio-

nal llamado MAGI (Multi-Agent Geosimulation Infrastructure) actualmente usado como un geosimulador. La teoría MAGI es un complemento perfecto para la teoría de simulación y el modelo de referencia puesto que 1) define el cuerpo físico de cada agentes y su ubicación en una geografía y 2) establece una relación cuidadosamente detallada de la estructura de datos y funciones asociadas requeridas para que un sistema de información geográfica calcule eficientemente las respuestas a consultas. La teoría original de Galatea (Dávila et al., 2007) no contempla esos elementos. Un tercer efecto colateral de la combinación de teorías es la posibilidad de dar cuenta de la creación tanto de objetos como de agentes. Por su lado, la teoría MAGI obtiene de Galatea un registro explícito del tiempo. A parte de eso, no hay mayores dificultades para la integración de ambas teorías.

En la teoría MAGI, el ambiente Env , esta representado por las 3-tuplas:

$$Env = \langle PG, FG, L \rangle \quad (15)$$

donde PG representa el conjunto de todos los posibles pares parámetro=valor definiendo atributos del sistema y FG el conjunto de todas las posibles funciones globales operando sobre esos parámetros y valores, mientras L es el conjunto de las posibles capas que describen una geografía. Cada capa $L \in L$, a su vez esta definida por una tupla-3:

$$L = \langle PL, FL, A \rangle \quad (16)$$

donde PL y FL son las contrapartes locales de PG y FG , y A representa el conjunto de entidades (objetos y agentes) que pueblan el sistema. Noten que, en esta solución, el número de agentes no está definido (ni, por tanto, acotado). Los agentes son, a su vez, descritos por un doble registro: el agente mismo (o un agente particular de tipo τ) se describe con una tupla-3:

$$a\tau = \langle s, g, C \rangle \quad (17)$$

donde s es el estado interno del agente, g representa los atributos geo-espaciales del agente (atributos descriptivos del cuerpo del agente) y C representa un contexto espacial: el conjunto de referencias a objetos y agentes observadas por este agente y sujeto a sus acciones. El correspondiente tipo de agente τ se formaliza por una tupla-6:

$$\tau = \langle S\tau, G\tau, \Sigma\tau, \Theta\tau, \delta\tau, \gamma\tau \rangle \quad (18)$$

donde $S\tau$ es el conjunto de todos los posibles estados internos del agente, $G\tau$ representa el conjunto de capas admisibles para este tipo de agente, $\Sigma\tau$, representa el conjunto de todas las posibles acciones, $\Theta\tau$ es el conjunto de las funciones de percepción, $\delta\tau$, el conjunto de las funciones de decisión y $\gamma\tau$ el conjunto de las funciones de negociación por medio de la cual el agente coopera con otros agentes. Es claro que esto corresponde a las características de un siste-

ma multiagente, debido al hecho que los agentes tienen atributos bien definidos para su representación y ubicación en un espacio físico, aún cuando no hay previsiones particulares para la dinámica interna de cada agente. Esto último se obtiene con la integración de teorías que se propone.

2.5. Una nueva aproximación a un modelo formal de un sistema multiagente

En el resto de este artículo se preserva la notación MAGI solo en forma parcial, mientras se plantea la teoría integrada de simulación multiagente, comenzando con la ecuación 19:

$$\begin{aligned} & \text{Evolution: } T \times \text{Env}^* \square \varepsilon \\ \text{Evolution}(t, \text{env}) &= \text{Evolution}(\text{Cycle}(t, \text{env})) \end{aligned} \quad (19)$$

donde $\text{env} \in \text{Env}^*$ es una estructura que contiene todos los estados globales, como los elementos de Env , pero también las influencias de los agentes en el sistema:

$$\text{Env}^* = \langle \text{PG}, \text{FG}, \text{L}, \gamma \rangle \quad (20)$$

y, por lo tanto,

$$\text{Cycle: } T \times \text{Env}^* \square T \times \text{Env}^* \quad (21)$$

$$\langle t', \text{env}' \rangle = \text{Cycle}(t, \text{env}) \quad (22)$$

donde

$$\text{env}' = \langle p', f, l', \gamma' \rangle \quad \text{y} \quad \text{env} = \langle p, f, l, \gamma \rangle, \quad (23)$$

$$\langle p', f, l', \gamma' \rangle = \text{React}(t, p, f, l, \gamma \text{Uaya}) \quad (24)$$

y $l \in \text{L}$, $l = \langle p_l, f_l, A \rangle$ y $a \in A$ es cada agente en el sistema cuyo comportamiento es modelado como sigue: un agente es una tupla-4

$$a\tau = \langle k, \text{goals}, \text{georefs}, \text{Context} \rangle \quad (25)$$

donde $k \in K\tau$, $\text{goals} \in \text{Goalst}\tau$, $\text{georefs} \in \text{Shapest}\tau$ y Context es el contexto espacial explicado anteriormente. Note-se que, como lo indica el subíndice, este agente está asociado a un tipo de agente τ el cual, a su vez, se formaliza por la tupla-7:

$$\tau = \langle K\tau, \text{Goalst}\tau, \text{Shapest}\tau, \Sigma\tau, \text{Pr}\tau, \text{Perception}\tau, \text{Updater}\tau, \text{Planning}\tau \rangle \quad (26)$$

donde $K\tau$, es el conjunto de bases de conocimiento posibles para este tipo de agente, $\text{Goalst}\tau$ es el conjunto de metas posibles para este tipo de agente, $\text{Shapest}\tau$ es el conjunto de formas admisibles que el cuerpo del agente (de este tipo) puede adoptar, $\Sigma\tau$ es el conjunto de acciones posibles que

este agente puede ejecutar, $\text{Pr}\tau$ es el conjunto de observaciones posibles que el agente puede hacer, y $\text{Perception}\tau$, $\text{Updater}\tau$ y $\text{Planning}\tau$ son, como se explicó antes, funciones para modelar las conexiones entre percepción y acción para este tipo de agente. Todas estas estructuras especificadas para el agente o para el tipo de agente pueden conectarse con el resto del sistema por la función modificada del comportamiento del agente, como se indicó anteriormente:

$$\text{Behavioura: } T \times R \times K\tau \times \text{Goalst}\tau \times \Gamma \square K\tau \times \text{Goalst}\tau \times \Gamma \quad (27)$$

$$\langle k', \text{goals}', \gamma a' \rangle = \text{Behavioura}(t, ra, k, \text{goals}, \gamma) \quad (28)$$

donde

$$k' = \text{Updatea}(t, \text{Perceptiona}(\gamma), k) \quad (29)$$

$$\langle \gamma a', \text{goals}' \rangle = \text{Planninga}(t, ra, k', \text{goals}) \quad (30)$$

donde $\langle k', \text{goals}', \gamma a' \rangle$, describe la base de conocimiento, las metas de agente a y las influencias, $\gamma a'$, que este agente está enviando a su ambiente como acciones que se propone ejecutar.

Como antes, el estado global, constituido por parámetros globales, funciones y capas, es recorrido adecuadamente para activar sus eventos y cambios, con:

$$\langle p, f, l \rangle = \text{Scan}(\text{Network}, \xi) \quad (31)$$

y las ecuaciones 8 y 9 que son, como se indicó anteriormente, los elementos usuales del simulador DEVS (Zeigler et al., 2000; Wainer, 2009). La estructura env es ahora el macro-objeto sobre el que se realiza la búsqueda para identificar los componentes actuales donde ocurrirá el próximo evento y las instrucciones asociadas. Se supone que esto permite especificar una forma de realizar ese recorrido eficientemente tomando en cuenta las especificidades de la información geográfica.

3 Un Sistema Multiagente para GDRR

A continuación se presenta el diseño general de un sistema de información para servicio público que simulará la ocurrencia de cambios en la dinámica de lluvias sobre una geografía determinada que podrían significar períodos de sequía. El sistema le permitirá a un usuario anticipar las secuelas de tal tipo de desastre sobre el servicio de suministro de agua potable a comunidades que son atendidas por un acueducto ubicado en la región de estudio.

El escenario de estudio es el acueducto “La Ceibita” (Ramírez, 2005) ubicado en el sector Buena Vista, municipio Santos Marquina del Estado Mérida. El acueducto le proporciona servicio de agua potable a los sectores Buena Vista, La Ceibita, La Travesía y La Trinidad; todas pertenecientes a la comunidad “El Murciélagos” y con una pobla-

ción de aproximadamente novecientos (900) habitantes.

El sistema del acueducto “La Ceibita” está catalogado como un acueducto de tipo rural² y opera por gravedad. Es abastecido por la quebrada “La Zarza”, una fuente de tipo manantial³. La quebrada aporta al sistema del acueducto 25,67 lts/seg según una medición preliminar. La red de distribución urbana no se detalla y se asume que hay un suministro uniforme para cada sector.

El propósito de la aplicación es el servicio público y debe proporcionar al usuario respuesta a la interrogante de ¿Cual es el riesgo de no tener agua potable en mi casa o mi sector durante un posible periodo de sequía?, entre otras.

Los objetivos planteados para el desarrollo del sistema son: (1) Desarrollar una interfaz gráfica para la descripción del escenario climático que conduciría a la sequía. (2) Desarrollar el modelo de simulación de la dinámica del acueducto, considerando la dinámica de las lluvias. (3) Codificar un agente que en la simulación sea el encargado de gestionar la salida del tanque de almacenamiento y controlar el suministro de agua de acuerdo a cada circunstancia climática. (4) Desarrollar una interfaz al usuario que muestre, entre otros, el gráfico de la salida de agua máxima posible o esperable en una vivienda cualquiera.

3.1. Diseño de la interfaz gráfica para el escenario de sequía

Para el diseño de una interfaz gráfica que permita modelar un escenario de sequía se hará uso de mapas sobre un sistema de información geográfica en la World Wide Web (gvSIG, 2004). Los mapas en la Web ya no son solo un medio para mostrar resultados finales. También se les usa, según (Kraak, 2004) como: (1) mapas utilizados como un índice para buscar otros datos geográficos y no-geográficos, (2) mapas que son parte de un motor de búsqueda en una infraestructura de datos geográficos locales, y (3) mapas como pre-visualizadores de datos que van a ser cargados en la interfaz gráfica. La interfaz gráfica, de la que ya existe un prototipo funcional, permite seleccionar el lugar donde se desea realizar el estudio. Cuando el usuario señale el lugar en el mapa, éste actuará como un índice para realizar la búsqueda del acueducto que atiende el lugar y otras zonas poblacionales conectadas a esa misma red de distribución.

Una vez seleccionado el lugar, la interfaz presentará la opción de modelar el escenario de amenazas. La pantalla que se despliega (izquierda fig. 1) muestra una gráfica con el promedio histórico de lluvias de la zona y una barra, ubicada en la zona inferior de la figura referida, para escoger por cada mes del año un valor bajo, medio o alto, establecidos como predeterminados. Bajo, es el valor de precipitación más bajo para ese mes, entre los valores históricos registrados; medio, el valor de la precipitación es igual al

promedio; y alto, el valor de precipitación más alto para ese mes, entre los valores históricos registrados. Los valores históricos de precipitaciones que se utilizaron para construir el promedio de lluvias, están detallados en la opción Historia del menú. Esta opción despliega la gráfica derecha de la fig. 1, que muestra los niveles de precipitaciones mensuales para varios años, registradas por la estación meteorológica Mucujún (Méndez, 2000; Andressen, 2000), cercana a la zona de estudio y que forma parte de la red bioclimática del estado Mérida.

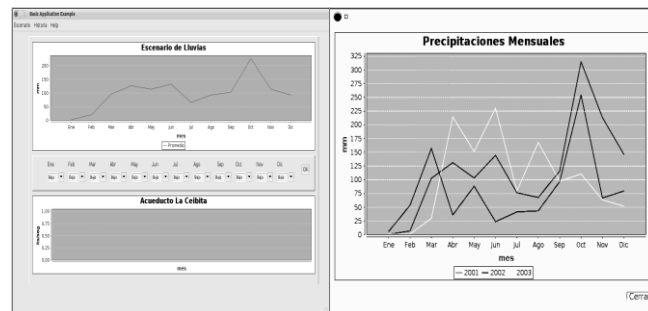


Fig. 1: Modelar Escenario de Sequía - Histórico de Lluvias

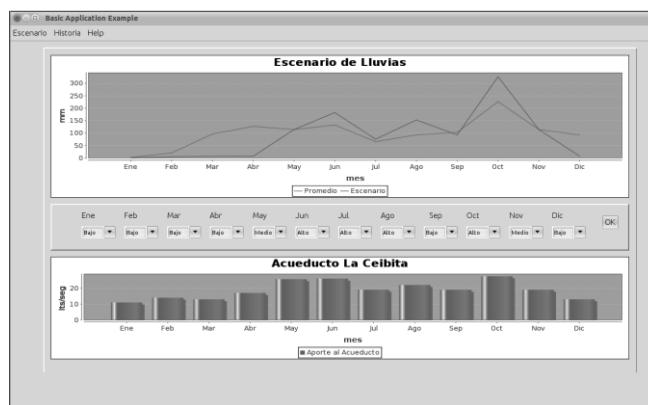


Fig. 2: El modelo de Lluvias

Una vez hecha la selección de los niveles de lluvia, se despliega el escenario de lluvia (fig. 2), en el cual el gráfico muestra los niveles de precipitación escogidos por el usuario. El nivel de lluvia en la zona incide sobre la cantidad de agua que ingresa al acueducto y ese efecto se visualiza en la parte baja de la figura 2. Como una primera aproximación, para estimar cuanto aportan las lluvias al acueducto se han tomado los valores puntuales de medida del caudal realizados en (Ramírez, 2005), y con interpolación aritmética se han generado los aportes mensuales al acueducto para el nivel de precipitaciones estimado.

Se están evaluando varios modelos computacionales disponibles (SWAT, 2011; TOPMODEL, 2011; WEPP, 2011) para, con modelos de simulación hidrológica y un levantamiento más exacto de las características de la cuenca, predecir el caudal en el punto de alimentación del acue-

² puesto que atiende a menos de 2000 habitantes

³ que subterráneas por lo que ha sido difícil precisar su cuenca hidrográfica

ducto. Así mismo se está evaluando la incorporación de herramientas (EPANET, 2011) para simular el comportamiento específico del tanque y las tuberías del acueducto (Ramírez, 2011).

3.2 Diseño del modelo de simulación de la dinámica del acueducto.

Los datos de entrada al proceso de simulación son los niveles de agua que ingresa al acueducto. En la figura 3 se esquematiza los componentes que conformaría el sistema de simulación del acueducto, y que se describen en el modelo formal propuesto. El sistema involucra a dos agentes el regulador y el consultor, pero sólo el primero es parte de las simulaciones del desempeño del acueducto en cada escenario climático, representando a la persona encargada de cuidar del tanque principal (y único) del acueducto. El otro agente es externo a la simulación y fungirá como asesor del usuario de la herramienta.

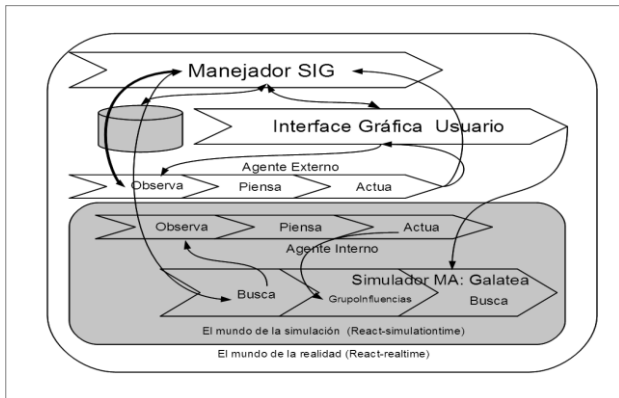


Fig. 3: Componentes del Sistema

3.2.1. El agente regulador

El agente regulador tiene como meta mantener un nivel de agua adecuado en el tanque de almacenamiento entonces, interactúa con el ambiente simulado observando las variables de estado y regulando la salida del agua del sistema. Es un agente cuya meta es mantener el nivel del tanque de almacenamiento en un rango determinado. Sus reglas de conducta dependen de cierta información que debe estar a su alcance, tal como el nivel actual del tanque, el nivel óptimo y un margen de error pre-establecido. Una forma preliminar de esas reglas es:

Si el nivel actual es N , el nivel deseado es N_{bien} , el margen de

error E y $N < N_{bien} - E$, entonces llave cerrada.

Si el nivel actual es N , el nivel deseado es N_{bien} , el margen de

error E y $N > N_{bien} + E$, entonces llave abierta.

3.2.2. El agente consultor

El agente consultor observa los resultados de las acciones tomadas por el agente regulador, y los datos asociados a la zona de estudio, tales como ubicación y densidad poblacional, registrados en el sistema de información geográfica; relaciona y evalúa ambas observaciones y proporciona al usuario el plan de racionamiento para el escenario simulado.

El agente consultor, en combinación con el simulador y la interfaz se podrían considerar un agente proactivo. Su meta es generar el plan de racionamiento del servicio de agua para el usuario solicitante. Para ello, el agente debe conocer la ubicación física del usuario, el número de habitantes que conforman su comunidad, el consumo estimado por viviendas en esa comunidad y cuanto es la demanda por suministro de agua al resto de los sectores que forman parte del sistema de distribución del acueducto. El agente debe observar el resultado de las acciones del agente regulador, esto es la cantidad de agua que se suministraría a cada sector, y estimar los planes de racionamiento.

Las funcionalidades del agente consultor incluirá también la asistencia al usuario en el proceso de construir distintos escenarios de amenazas. Estos escenarios deben poder construirse con distintos datos geográficos y meteorológicos disponibles libremente (W3C, 2011) obtenidos automáticamente en la web. Para lograr esta capacidad en el agente, se le programará para extraer información de fuentes de datos estructurados y no-estructurados. Para ello se está evaluando un conjunto de herramientas (Ashish y Knoblock 1997; Gruser et al., 1998; Liu et al., 2000, Zaccak, 2007).

3.3. Diseño de la interfaz gráfica para reportes

La interfaz con el sistema le proporcionará al usuario, gráficos con: (1) volumen total de agua mensual suministrado por el acueducto a los sectores conectados a la red de distribución, (2) volumen total de agua mensual suministrado por el acueducto para cada vivienda perteneciente al sector determinado y un plan de racionamiento semanal para la vivienda en particular (fig.4).

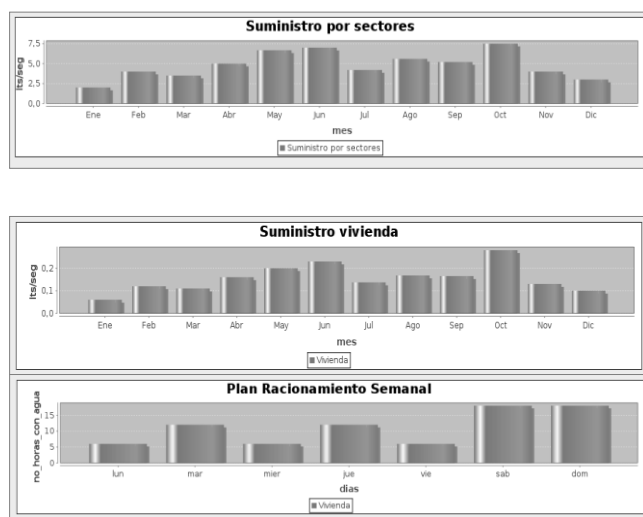


Fig. 4: Salida

4 Conclusiones y trabajos futuros

Se ha desarrollado un modelo formal de propósito general para representar sistemas multiagentes y que permite explorar la relación entre los agentes en un sistema multiagente y los sistemas de información geográfica. Se ha establecido una base para integrar el simulador Galatea con un sistema de información geográfica, y así lograr disponer de una herramienta más flexible, adaptable, amigable y computacionalmente eficiente que simule sistemas espaciales complejos. Para demostrar estos atributos descriptivos, se ha diseñado un sistema multiagente en el dominio de la GDRR.

El trabajo futuro planeado incluye desarrollar, implementar y evaluar con la comunidad el sistema descrito en el documento. Se pretende ampliar las funcionalidades del agente consultor para que interactúe con el usuario, asistiéndole en el proceso de construir distintos escenarios de amenazas e incorporando datos geográficos y meteorológicos disponibles libremente. Se espera que la contribución más importante sea suministrar una plataforma de servicio para implementaciones rápidas de sistemas complejos para gestión de conocimiento comunitario.

Referencias

Andressen R, 2000, Datos Estación climatológica Mucujún, Tech rept CIAE, Universidad de Los Andes. Se encuentra en <http://www.cecalc.ula.ve/redbc/colecciones>, Fecha de consulta: 15 Octubre 2010.

Ashish N y Knoblock C, 1997, Wrapper generation for semi-structured internet sources, ACM SIGMOD Record, Vol. 26, No.4.

Blecic I, Cecchini A y Trunfio GA, 2009, A Multi-Agent Geosimulation Infrastructure for Planning, en Geocomputation and Urban Plannig, Editorial Springer Verlag, Berlin,

Vol.176, pp. 237--253.

Bratman M, 1987, Intention, Plans and Practical Reasoning, Editorial Harvard University Press, Cambridge.

Bresciani P, Giorgini P, Giunchiglia F, Mylopoulos J, y Perini A, 2004.

Tropos: An Agent-Oriented Software Development Methodology, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.8, No.3, pp. 203-236.

Caire G, Coulier W, Garijo F, Gomez J, Pavon J, Leal F, Chainho P, Kearney P-E, Stark J, Evans R, & Massonet P, 2002, Agent Oriented Analysis Using Message/{UML}, LNCS, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.2222, pp. 119-135.

Dávila J, 1997, Agents in Logic Programming, PHD Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK.

Dávila J, 2011, Lógica Práctica y Aprendizaje Computacional, Editorial Académica Espanola, ISBN: 978-38465-6233-8.

Dávila J y Tucci K, 2002, Towards a logic-based, multi agent simulation theory, AMSE Special Issue 2000, pp. 37-51.

Dávila J y Uzcátegui M, 2002, GALATEA: A multi-agent simulation platform, AMSE Special Issue 2000, pp. 52-67.

Dávila J, Uzcátegui M, y Tucci K, 2007, From a Multi-Agent Simulation Theory to Galatea, Proceedings of 2007 Summer Computer Simulation Conference, ISBN:1-56555-316-0.

Drogoul A, Vanbergue D, y Meurisse T, 2003, Multi-agent based simulation: where are the agents?, LNCS, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.2581, pp. 43-49.

EPANET, 2011, Portal EPANET, Se encuentra en www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html, Fecha de consulta: 15 de marzo de 2011.

Ferber J y Müller J-P, 1996, Influences and Reaction: a Model of Situated Multiagent Systems, Second International Conference on MultiAgent Systems, pp.72-79.

Garcia-Ojeda JC, DeLoach SA, Robby, Oyenon WH, y Valenzuela J, 2007, O-MaSE: A Customizable Approach to Developing Multiagent Development Processes, LNCS, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.4951, pp. 1-15.

Gómez-Sanz JJ, y Pavón J, 2003, Agent Oriented Software Engineering with INGENIAS, LNCS, Editorial Springer Verlag, Berlin, 2691, pp. 394-403.

Gruser JR, Raschid L, Vidal ME, y Bright L, 1998, Wrapper Generation for Web Accessible Data Sources, CoopIS, pp. 14-23.

gvSIG, 2004, Portal gvSIG. Se encuentra en www.gvsig.org, Fecha de consulta: 15 de octubre de 2010.

Iglesias C, Garijo M, Gonzalez J, y Velasco J, 1997, Analysis and Design of multiagent system using MAS-commonKADS, LNCS, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.1365.

Kinny D, Georgeff M, y Rao A, 1996, A Methodology and Modelling Technique for Systems of {BDI} Agents, LNCS, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.1038, pp. 56-71.

- Kowalski R, 2011, Computational Logic and Human Thinking: How to be Artificially Intelligent, Editorial Cambridge University Press, Cambridge.
- Kowalski R, y Sadri F, 1997, An Agent Architecture that Unifies Rationality with Reactivity, LNCS, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.1154, pp. 135-149.
- Kraak M-J, 2004, The role of the map in a Web-GIS environment, Journal of Geographical Systems, Editorial Springer Verlag, Berlin, Vol.6, No.3, pp. 83-93.
- Liu L, Pu C, y Han W, 2000, XWRAP: an XML-enabled wrapper construction system for Web information sources, 16th International Conference on Data Engineering, pp. 611-621, ISBN: 0-7695-0506-6.
- Mark W, 2000, Multiagent Systems Engineering: A Methodology for Analysis and Design of Multiagent Systems, M.Phil. thesis, School of Engineering, Air Force Institute of Technology (AU), Wright-Patterson AFB, OH.
- Méndez Z, 2000, Metadatos Estación climatológica Mucujún, Centro de Cálculo Científico de la ULA (CE-CALCULA). Se encuentra en: <http://www.cecalc.ula/redbc>, Fecha de consulta: 3 de octubre de 2010.
- Padgham L, y Winikoff M, 2002, Prometheus: A Pragmatic Methodology for Engineering Intelligent Agents, Proceedings of the OOPSLA 2002, Workshop on Agent-Oriented Methodologies, pp. 97--108.
- Ramírez M, 2005, Diagnóstico y Reacondicionamiento del Acueducto "La Ceibita, Buena Vista", Reporte Técnico, Universidad de los Andes.
- Ramírez M, 2011, Modelo de Simulación de Redes de Distribución de Agua basado en Software Libre, M.Phil. thesis, Universidad de los Andes.
- Rumbaugh J, Blaha M, Premerlani W, Eddy F, y Lorensen W, 1991, Object-Oriented Modeling and Design, Editorial Prentice Hall, New Jersey.
- Russell S, y Norvig P, 2004, Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno. 7ma edición, Editorial Pearson, España.
- Simon HA, 1955, A Behavioral Model of Rational Choice, Quarterly Journal of Economics, pp. 99-118.
- SWAT, 2011, Soil and Water Assessment Tool, Se encuentra en <http://swatmodel.tamu.edu>, Fecha de consulta: 15 de marzo de 2011.
- TOPMODEL. 2011. Se encuentra en <http://www.es.lanacs.ac.uk>, Fecha de consulta: 15 de marzo de 2011.
- Valdés HM, 1999, Reducción de Desastres como un Derecho Humanos, Sistemas de Naciones Unidas. Se encuentra en <http://www.radixonline.org/humanrights.htm>, Fecha de consulta: 4 Octubre 2010.
- W3C, 2011, Linking Open Data, Se encuentra en www.w3.org/~CommunityProjects/LinkingOpenData, Fecha de consulta: 15 Octubre 2011.
- Wainer G, 2009, Discrete-Event Modeling and Simulation, Editorial CRC Press, New York.
- WEPP, 2011, Water Erosion Prediction Project. Se encuentra en <http://www.ars.usda.gov/Research>, Fecha de consulta: 15 de marzo de 2011.
- Zaccak G, 2007, Wrapster : semi-automatic wrapper generation for semi-structured websites, M.Phil. thesis, MIT, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science. Se encuentra en <http://hdl.handle.net/1721.1/40537>, Fecha de consulta: 26 de agosto de 2011
- Zambonelli F, Jennings N, y Wooldridge M, 2003, Developing Multiagent Systems: the Gaia Methodology, ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, vol.12.
- Zeigler B, Praehofer H, y Kim T-Gon, 2000, Theory of Modelling and Simulation, Editorial Academic Press, San Diego.

Recibido: 10 de abril de 2011

Revisado: 09 de septiembre de 2011