

Simulación multiagentes 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.

Resumen

Los desastres ocupan un espacio cada vez más importante del debate público debido, no sólo a las pérdidas lamentables de vidas humanas y de infraestructura que ocurren en cada caso, sino 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 reducir las causas y mejorar las estrategias para reducir la vulnerabilidad y 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 ¿ Cual 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 permite validar un modelo de referencia de un sistema multiagente que explora la relación entre agentes, en un sistema multiagentes, bases de datos y sistemas de información geográfico. El modelo de referencia es un intento de generalizar las características de GALATEA(Dávila & Uzcátegui., 2000, 2002; Dávila et al., 2005a, 2007), un sistema de simulación basado en multiagentes, dirigido a 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 that occurs in each case but also because their effects accumulate to negatively influence the possibilities of developing countries and, in general, the defense of human rights. Disaster management (Valdés, 1999) means to study its determinants. Management Risk reduction refers to actions to reduce the causes and improve strategies to reduce vulnerability and risk conditions. This document presents the overall design of an information system in the domain of disaster management and risk reduction. The application will be oriented to public service and provide response the question what is the risk of not having water during a drought?. The system simulates the occurrence of changes in the dynamics of rainfall over a particular geography that would cause droughts and enable to 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 allows 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 & Uzcátegui., 2000, 2002; Dávila et al., 2005a, 2007), a simulation system based on multiagent platform aimed at achieving a more comprehensive, uniform and well-founded, platform to simulate complex space systems.

Keywords: multi-agent systems, database, simulation, GALATEA, disaster management and risk reduction

*También en: Universidad Nacional Experimental de Guayana.

[†]Correo Electrónico: jacinto@ula.ve

1. Introducción

Los desastres ocupan un espacio cada vez más importante del debate público debido, no sólo a las pérdidas lamentables de vidas humanas y de infraestructura que ocurren ante su presencia, sino 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 significa estudiar sus factores determinantes, estos son las amenazas o peligros, la vulnerabilidad y el riesgo (Cushla & Ochoa, 2002). Estos factores Valdés (Valdés, 1999) los conceptualiza así:

- Los peligros (amenazas, A) se pueden dividir en: de origen natural (hidrometeorológico o geológico), socio-natural (deterioro ambiental, incendios forestales) o provocados por el ser humano. Representa la potencial ocurrencia de un suceso, que se manifiesta en un lugar específico, con una intensidad, magnitud y duración determinada.
- La vulnerabilidad (V) 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. Ejemplos: el grado de conciencia de los peligros, el estado de los asentamientos humanos y la infraestructura, las políticas y la gestión pública, la capacidad de organización en todos los campos del manejo de los desastres.
- El riesgo (R) define la probabilidad de daños sociales, ambientales y económicos, en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado.

La *reducción de desastres* o *gestión de la reducción del riesgo* o *prevención* se refiere a las acciones para reducir las causas o mitigar el impacto -mejorar la capacidad de responder y actuar- y mejorar las estrategias para reducir la vulnerabilidad y condiciones de riesgo (Valdés, 1999).

En este escenario, diseñar una aplicación implica enfrentarse no solo al modelado de un sistema con una complejidad de múltiples facetas, relacionadas con la naturaleza del fenómeno, sino también, disponer de herramientas flexibles, adaptables, amigables, computacionalmente eficientes que permitan integrar bases de datos, sistemas de información geográficos y agentes. En este documento se presenta un modelo de referencia para sistemas multiagentes que permite explorar la relación entre los agentes en un sistema multiagente y un, posiblemente múltiples, sistema de bases de datos y sistemas

de información geográfico; como una herramienta para simular sistemas espaciales complejos.

Un modelo de referencia es la base epistémica de una ontología. 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 es un intento de generalizar las características de GALATEA (Dávila, 2009; Dávila & Uzcátegui., 2000; Dávila *et al.*, 2005a,a, 2007), un sistema de simulación basado en multiagentes, dirigido a lograr una plataforma más integral, uniforme y bien fundamentada, para servicios de gestión del conocimiento como una manera de 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 gestión de desastres y reducción del riesgo con fuentes de conocimiento heterogeneas 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 comenzado a ser extremadamente popular en el mundo tecnológico en tiempos recientes. La inteligencia Artificial, IA, gira alrededor de este concepto (Russell & Norvig, 2004) y existen proyectos para desarrollar un nuevo paradigma orientado a agentes 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 llegan entradas al objeto y hay salidas desde el objeto. Lo que hace a los agentes un objeto activo y especial es su dinámica interna, la cual opera sobre sus estados internos y conecta significativamente sus entradas con su salida. Cuando esta conexión produce cierto tipo de comportamiento, se habla acerca de agentes inteligentes. Se puede decir que el objetivo del proyecto total de la IA es definir ciertos tipos de comportamientos y encontrar la manera de generarlos.

Para hacer que un agente sea un objeto de un tipo específico, el paradigma de la orientación a agentes (Bratman, 1987; Kowalski & Sadri, 1997; Russell & Norvig, 2004; Shoham, 1991) prescribe un conjunto de estructuras para ese estado interno. A continuación se mostrará un conjunto de definiciones de esas estructuras internas y externas (con respecto al agente) que definen a un sis-

tema multiagente:

estructuras de estado interna:

- creencias: lo que el agente conoce acerca de su ambiente y de otros agente
- metas: objetivos o situaciones que el agente le gustaría lograr o causar, usualmente por medio de la ejecución de un plan. Estas 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 que el agente trata de lograr en algún punto del tiempo.
- intenciones: metas que el agente va a acometer.
- preferencias: un distinguido conjunto de metas o de reglas que pueden seleccionarse. Las preferencias de un agente para 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.
- compromisos: las obligaciones (metas) 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.
- planes: la secuencia de acciones que un agente puede ejecutar con el objeto de lograr sus metas.
- historia del pasado: el agente guarda información concerniente a su propio registro de percepciones.

dinámica interna:

- mecanismo de actualización.
- mecanismo de activación del agente.
- mecanismo de planificación y ejecución del agente, el cual incluye un motor de inferencia y un mecanismo de toma de decisiones.

estado externo:

- roles: funciones organizacionales realizadas por el agente en un sistema multiagente. Usualmente están representados por medio de las metas.
- casos de uso: descripción adecuada del comportamiento del agente.

interfase:

- aptitudes: el agente posee la funcionalidad e información correcta con el objeto de ser capaz de interrelacionarse con el medio ambiente que lo rodea. Está definido por dos atributos:
 - 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, bajo ciertas condiciones proporcionadas.

Se ha usado este modelo como un marco comparativo para evaluar metodologías industriales, tratando de mostrar como cada concepto está representado por la metodología. La meta (ambiciosa de por sí) es el de aproximarse a una meta-metodología, basada en una teoría multiagentes general (Dávila & Uzcátegui., 2000; Dávila *et al.*, 2005a,b, 2007), que permita explorar estrategias concretas para diseñar, generar y controlar sistemas multiagentes basados en conocimiento. Hasta ahora, las metodologías bajo escrutinio han sido: AAI (Kinny *et al.*, 1996), GAIA (Zambonelli *et al.*, 2003), MaSE (Mark, 2000), Prometheus (Padgham & Winikoff, 2002), MES-SAGE/UML (Caire *et al.*, 2001), INGENIAS (Gómez-Sanz & Pavón, 2003), Tropos (Bresciani *et al.*, 2004), MAS-CommonKADS (Iglesias *et al.*, 1997), y O-MaSE Process Framework (García-Ojeda *et al.*, 2007).

El modelo formal de un sistema multiagente está construido sobre trabajos previos en IA (Ferber & Müller, 1996) y Simulación (Dávila & Tucci, 2002; Dávila & Uzcátegui., 2005; Dávila *et al.*, 2005a,b) los cuales conducen a una teoría multiagentes para simulación (Dávila *et al.*, 2007). Se adaptó esa teoría y se conectó 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 geográfico; como una herramienta para simular sistemas espaciales complejos.

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

Se introducirá la descripción de la dinámica completa de un sistema multiagentes. Los detalles están expresado en (Dávila & Tucci, 2002; Dávila & Uzcátegui., 2002; Dávila *et al.*, 2005b) pero para beneficio de la explicación se reproducirá el conjunto completo de formulas que serán modificadas, en la sección 2.2.6, al integrarlas con el metamodelo propuesto por Blecic *et al.* (Blecic *et al.*, 2009). Incidentalmente, se debe reportar que esta formalización ha sido extendida en (Dávila & Uzcátegui., 2005; Dávila *et al.*, 2007) para dar cuenta de agentes aprendices. Pero se regresa a la teoría previa por el beneficio de la simplicidad. Esta es la descripción matemática.

tica más completa de un sistema poblado por muchos agentes, descrito como la función *Cycle* la cual "mueve" el sistema desde un estado global al próximo 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 similar). Sin embargo, como es propuesto por Ferber y Muller (Ferber & Müller, 1996), el estado global también incluye un conjunto conocido como las influencias, γ (y similar), que representan todas las acciones que el agente ha ejecutado (su historia) y que están habitualmente tratando de ejecutar (sus intenciones). Se usará γ_i para representar la influencia producida por el agente i . El único mecanismo adicional que se necesita es el *conjunto de todos los posibles estado mentales de todos los agentes* (S), para producir la definición formal de las funciones:

$$Evolution : S \otimes \mathfrak{S} \otimes \Sigma \otimes \Gamma \rightarrow \epsilon \quad (1)$$

$$Evolution(\langle s_1, s_2, \dots, s_n \rangle, t, \sigma, \gamma) = Evolution(Cycle(\langle s_1, s_2, \dots, s_n \rangle, t, \sigma, \gamma)) \quad (2)$$

y

$$Cycle : S \otimes \mathfrak{S} \otimes \Sigma \otimes \Gamma \rightarrow S \otimes \mathfrak{S} \otimes \Sigma \otimes \Gamma \quad (3)$$

$$Cycle(\langle s_1, s_2, \dots, s_n \rangle, t, \sigma, \gamma) = \langle \langle s'_1, s'_2, \dots, s'_n \rangle, t', \sigma', \gamma' \rangle \quad (4)$$

donde

$$\langle \sigma', \gamma' \rangle = React(Laws, BackgroundKnowledge, t, \sigma, \gamma \cup_i \gamma_i) \quad (5)$$

y

$$\langle s'_i, \gamma_i \rangle = Behaviour_a(t, r_a, k, g, \gamma) = \langle k', g', \gamma' \rangle \quad (6)$$

donde, cada s'_i es una abreviación de $\langle k'_i, g'_i \rangle$, respectivamente, la base de conocimiento y las metas del agente i , y,

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

$$\xi = NextEvent(\gamma) \quad (8)$$

$$t' = TimeOf(\xi) \quad (9)$$

son los elementos usuales del simulador DEVS (Zeigler *et al.*, 2000) (Wainer, 2009). *Network* representa el componente físico del sistema simulado, cuyos eventos asociados (al igual que ξ) manejan la dinámica completa.

2.2. Un agente con racionalidad acotada.

Racionalidad acotada se refiere al hecho de que un agente tiene recursos limitados, típicamente tiempo o espacio de memoria, para razonar. El concepto fue usado por Simon (Simon, 1955) como parte de un intento de modelar personas como agentes en una economía. El dice que el hombre racional perfecto, propuesto por modelos económicos tradicionales, difícilmente representa el comportamiento preciso de los seres humanos reales porque estos sencillamente no razonan y actúan de esa manera. Los seres humanos están influenciados por un número de variables diversas, tales como la oportunidad, y normalmente no muestran el comportamiento matematicamente perfecto de esos modelos. Lo que se propone en este documento es parte del modelo de un agente presentado en (Dávila, 1997). Este básicamente dice que un agente debe interfoliar razonamiento y acción, así que debe haber límite de tiempo (o espacio) para el razonamiento y, entonces, puede ser que el agente actúe con razonamiento no completamente refinados. Teniendo mas tiempo para razonar, el agente podría haber tomado 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 completar su proceso de razonamiento. El precio que paga es que nuestro agente "reactivo" no siempre toma el "mejor" curso de acción. Formalmente, se ha trasladado ese límite a una restricción en el tiempo utilizado por el agente para razonar. Una vez alcanzado ese límite, se debe cambiar al "lugar de control" y tratar cualquier otra acción que haya decidido (si la hubiere) después del proceso de razonamiento "truncado". Nótese que el segundo argumento de la función de planificación $Planning_a : \mathfrak{S} \otimes \mathfrak{R} \otimes Ka \otimes Ga \rightarrow Ga \otimes \Gamma$, es un número real (\mathfrak{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" realizados durante el último espacio de tiempo concedido para razonar. Esta extensión, junto con la estructura de la función que describe el comportamiento del agente (descrito inmediatamente abajo) es una primera propuesta al modelo de agente con racionalidad acotada.

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

Caracterizaremos un agente a como un función matemática

$$Behaviour_a : \mathfrak{S} \otimes \mathfrak{R} \otimes Ka \otimes Ga \otimes \Gamma \rightarrow Ka \otimes Ga \otimes \Gamma \quad (10)$$

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 $Behaviour_a$ se define como sigue:

$$Behaviour_a(t, r_a, k, g, \gamma) = \langle k', g', \gamma' \rangle \quad (11)$$

donde

$$k' = Update_a(t, Perception_a(\gamma), k) \quad (12)$$

$$\langle \gamma', g' \rangle = Planning_a(t, r_a, k', g) \quad (13)$$

La función $Update_a$ simplemente añade el conjunto de perceptos observado por el agente a en su base de conocimiento. En particular, $obs(P, t)$ podría representar el hecho de que un agente observa la propiedad P en el tiempo t .

La función $Planning_a$ 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 en k' , comenzando en el tiempo t y tomando no más que r_a unidades de tiempo para hacerlo.

2.4. Agentes reactivos y racionales

Un agente es descrito como una 6-tupla:

$$\langle P_a, K_a, G_a, Perception_a, Update_a, Planning_a \rangle \quad (14)$$

donde P_a es el conjunto de posibles perceptos para un agente a y $Perception_a$ explica como actualmente el agente percibe su ambiente. Un agente racional tiene una base de conocimiento, K_a , y un conjunto de metas (o intenciones), G_a , que, conjuntamente, caracteriza su estado interno. $Update_a : \mathfrak{S} \otimes P_a \otimes K_a \rightarrow K_a$ 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 K_a es una colección de formulas lógicas con sintaxis y semántica bien definidas. $Planning_a : \mathfrak{S} \otimes \mathfrak{R} \otimes Ka \otimes Ga \rightarrow Ga \otimes \Gamma$, representa la función de razonamiento que deriva nuevas metas e influencias, tomando en cuenta las metas previas

y la base de conocimiento. Notese que ambas $Update_a$ y $Planning_a$ introducen un argumento (con dominio \mathfrak{S} , el conjunto de todos los puntos de tiempo posibles) para indicar el tiempo en el cual cada proceso toma lugar. Con $Planning_a$, 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 & Sadri, 1997) y (Dávila, 1997) en el contexto de agentes en la programación lógica. Se usará este modelo lógico de un agente como la base de la propuesta presentada en este documento. Este modelo también especifica una manera de resolver el problema de la racionalidad acotada, elemento clave para el propósito propuesto de construir un agente reactivo.

2.5. La teoría de sistemas geográficos MAGI

El meta-modelo presentado en (Blecic *et al.*, 2009) representa una teoría formal de una geografía con agentes y objetos en ella. Esta sirve, igual que la teoría hecha para GALATEA en (Dávila & Uzcátegui, 2002), como una especificación formal que guía la implementación de un sistema geocomputacional llamado MAGI (Multi-Agent Geosimulation Infrastructure) actualmente usado como un geosimulador. La teoría MAGI es un complemento perfecto para la teoría de simulación proporcionada anteriormente para 1) personificar a los agentes y 2) una relación cuidadosamente entallada de la estructura de datos y funciones asociadas requeridas para que un sistema de información geográfico calcule eficientemente las respuestas a consultas. La teoría de GALATEA no contempla esos elementos, cuanto más fue originalmente diseñada como una especificación más general. Un tercer efecto lateral de la combinación de teorías es la posibilidad de dar cuenta de la creación tanto de objetos como de agentes. Por este lado, la teoría MAGI obtiene un registro explícito del tiempo del cual carece.

La combinación no tiene, despreciando su conveniencia y expresividad, relativamente problemas. En la teoría MAGI, el ambiente Env , esta representado por las 3-tuplas:

$$Env = \langle P_G, F_G, \mathcal{L} \rangle \quad (15)$$

donde P_G representa el conjunto de todos los posibles parámetros globales=par de valores y F_G el conjunto de todas las posibles funciones globales operando sobre esos parámetros, mientras \mathcal{L} es el conjunto de todas las posibles capas que pueden constituir la geografía del sistema. Cada capa $L \in \mathcal{L}$, a su vez esta definida por una tupla-3:

$$L = \langle P_L, F_L, \mathcal{A} \rangle \quad (16)$$

donde P_L y F_L son las contrapartes locales de P_G y F_G , y \mathcal{A} representa el conjunto de entidades (objetos y agentes) que pueblan el sistema. Esta solución tiene la oportunidad de suministrar un indefinido número de objetos y agentes. Los agentes son, a su vez, descritos por un doble registro: el agente mismo (o un particular tipo de agente 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 y, aún más interesante, 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:

$$\tau = \langle S_\tau, G_\tau, \sum_\tau, \Theta_\tau, \delta_\tau, \gamma_\tau \rangle \quad (18)$$

donde S_τ es el conjunto de todos los posibles estados internos del agente, G_τ representa el conjunto de capas admisibles para este tipo de agente, \sum_τ representa el conjunto de todas las posibles acciones, Θ_τ es el conjunto de las funciones de percepción, δ_τ , el conjunto de las funciones de decisión y γ_τ 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 sistema multiagente, debido al hecho que los agentes tienen atributos bien definidos para su representación y ubicación en un espacio físico.

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

Se preservará la notación MAGI solo parcialmente en el siguiente replanteamiento de la teoría de simulación multiagente:

$$\begin{aligned} & \text{Evolution} : \mathfrak{S} \otimes Env^* \rightarrow \epsilon \\ \text{Evolution}(t, env) &= \text{Evolution}(\text{Cycle}(t, env)) \end{aligned} \quad (19)$$

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

$$Env^* = \langle P_G, F_G, \mathcal{L}, \Gamma \rangle \quad (20)$$

y, por lo tanto,

$$\text{Cycle} : \mathfrak{S} \otimes Env^* \rightarrow \mathfrak{S} \otimes Env^* \quad (21)$$

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

donde

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

y

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

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

$$a_\tau = \langle k, goals, georefs, Context \rangle \quad (25)$$

donde $k \in K_\tau$, $goals \in Goals_\tau$, $georefs \in Shapes_\tau$ y $Context$ es el contexto espacial explicado anteriormente. Notese 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:

$$\begin{aligned} \tau = \langle K_\tau, Goals_\tau, Shapes_\tau, \sum_\tau, P_\tau, Perception_\tau, \\ Update_\tau, Planning_\tau \rangle \end{aligned} \quad (26)$$

donde K_τ es el conjunto de bases de conocimiento posibles para este tipo de agente, $Goals_\tau$ es el conjunto de metas posibles para este tipo de agente, $Shapes_\tau$ es el conjunto de formas admisibles que el cuerpo del agente (de este tipo) puede adoptar, \sum_τ es el conjunto de acciones posibles que este agente puede ejecutar, P_τ es el conjunto de observaciones posibles que el agente puede hacer, y $Perception$, $Update$ y $Planning$ 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:

$$\text{Behaviour}_a : \mathfrak{S} \otimes \mathfrak{R} \otimes K_\tau \otimes Goals_\tau \otimes \Gamma \rightarrow K_\tau \otimes Goals_\tau \otimes \Gamma \quad (27)$$

$$\langle k', goals', \gamma_a \rangle = \text{Behaviour}_a(t, r_a, k, goals, \gamma) \quad (28)$$

donde

$$k' = Update_a(t, Perception_a(\gamma), k) \quad (29)$$

$$\langle \gamma_a, goals' \rangle = Planning_a(t, r_a, k', goals) \quad (30)$$

donde $\langle k', goals', \gamma_a \rangle$, describe la base de conocimiento, las metas de agente a y las influencias, γ_a , 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:

$$\langle p, f, l \rangle = Scan^*(env, \xi) \quad (31)$$

$$\xi = NextEvent(\gamma) \quad (32)$$

$$t' = TimeOf(\xi) \quad (33)$$

que son, como se indicó anteriormente, los elementos usuales del simulador DEVS (Wainer, 2009; Zeigler *et al.*, 2000). La más alta estructura env está siendo ahora el sujeto de la búsqueda para identificar los componentes actuales donde ocurrirá el próximo evento y las instrucciones asociadas. Así, esto es presumiblemente una forma diferente de recorrido, más específicos a los atributos geográficos del sistema.

3. Sistema multiagente para gestión de desastres y reducción de riesgo

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 población de aproximadamente novecientos (900) habitantes.

El sistema del acueducto “La Ceibita” esta cataloga-

do como un acueducto de tipo rural ¹ y opera por gravedad. Es abastecido por la quebrada “La Zarza”, una fuente de tipo manantial². La quebrada aporta al sistema del acueducto aproximadamente 25,67 lts/seg. 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 que esté orientada al servicio público y que le proporcione al usuario respuesta a la interrogante de ¿Cual es el riesgo de no tener agua potable durante un periodo de sequía?. Los objetivos planteados para el desarrollo del sistema son:

- Desarrollar una interfaz gráfica para la descripción del escenario de sequía.
- Desarrollar el modelo de simulación de la dinámica del acueducto, considerando la dinámica de las lluvias.
- Codificar un agente que durante la simulación gestione la salida del tanque de almacenamiento y racione el suministro de agua.
- Desarrollar la interfaz gráfica de salida que muestre, entre otros, el gráfico de la salida de agua máxima posible 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 geográfico en la *World Wide Web* (gvSIG, 2004). El uso de mapas en la *Web* ya no son solo un medio para mostrar resultados finales. Sus funciones se han extendido (Kraak, 2004) a: (1) mapas utilizados como un índice para buscar otros datos geográfico y no-geográfico, (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.

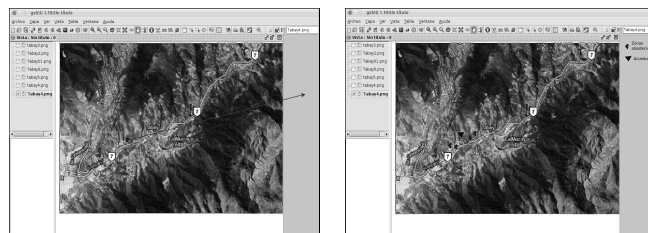


Figura 1: Selección del lugar de estudio

¹ atiende a menos de 2000 habitantes

² proviene de aguas subterráneas por lo que ha sido difícil precisar su cuenca hidrográfica

La interfaz gráfica que se ha diseñado permite seleccionar el lugar donde se desea realizar el estudio. Cuando el usuario señala el lugar en el mapa (dibujo izquierdo de la fig.1), éste actúa como un índice para realizar la búsqueda del acueducto (triángulo dibujo derecho de fig.1) que atiende el lugar y otras zonas poblacionales (polígonos dibujo derecho de fig.1) conectadas a esa misma red de distribución.

Una vez seleccionado el lugar, la interfaz presenta la opción de modelar el escenario de amenazas. La pantalla que se despliega (izquierda fig. 2) 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.

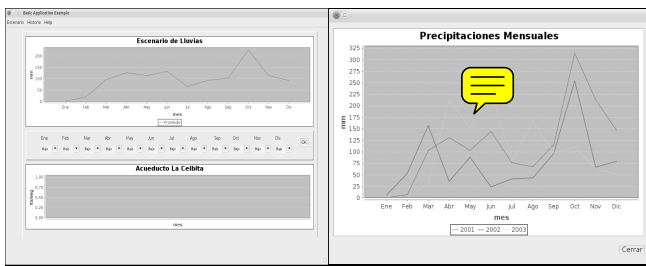


Figura 2: Modelar Escenario de Sequía - Histórico de Lluvias

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. 2, que muestra los niveles de precipitaciones mensuales para varios años, registradas por la estación metereológica Mucujún (Andressen, 2000 - 2007; Guada, 2000-2007; Méndez, 2000-2007), cercana a la zona de estudio y que forma parte de la red bioclimática del estado Mérida.

Una vez hecha la selección de los niveles de lluvia, se despliega el escenario de lluvia (fig. 3), en el cual el gráfico muestra los niveles de precipitación escogidos por el usuario. El nivel de lluvia en la zona inciden sobre la cantidad de agua que ingresa al acueducto y esta influencia se visualiza en la parte baja de la figura 3. Para determinar cuanto aportan las lluvias al acueducto se tomaron los valores puntuales de medida del caudal realizados en (Ramírez, 2005), y con interpolación aritmética se generan los aportes mensuales al acueducto para el nivel de precipitaciones estimado.

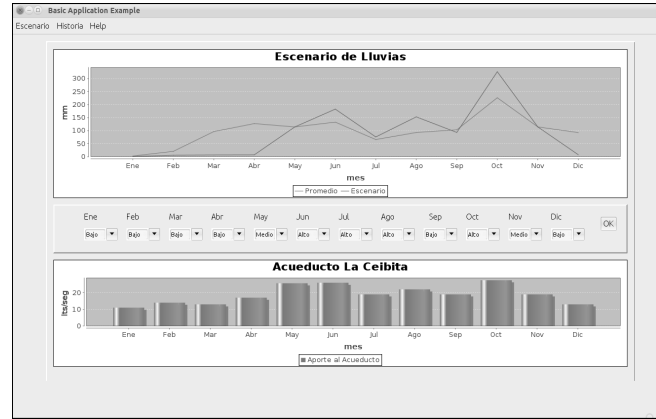


Figura 3: El modelo de lluvias

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

El proceso de simulación se esquematiza en la fig.4. Los datos de entrada al proceso son los niveles de agua que ingresa al acueducto. El modelo del acueducto se especifica con GALATEA (Dávila & Uzcátegui., 2000, 2002; Dávila *et al.*, 2005a, 2007). El modelo tiene dos agentes: el *regulador* y el *consultor*.

El *agente regulador* tiene como meta mantener un nivel de agua adecuado en el tanque de almacenamiento entonces, interactúa con el simulador observando las variables de estado de la simulación y regulando la salida del agua del sistema.

Y 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 geográfico; relaciona y evalúa ambas observaciones y proporciona al usuario el plan de racionamiento para el escenario modelado.

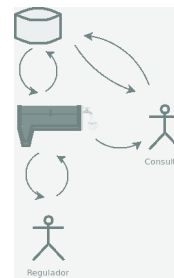


Figura 4: Esquema estructural de la Simulación

3.3. Reglas de conducta del agente regulador.

El agente *regulador* es un agente reactivo, cuya meta es mantener el nivel del tanque de almacenamiento en

un rango determinado. Las reglas de conducta del agente *regulador*:

```

Si el nivel actual es N, el nivel deseado
es Nbien, el margen de error E y  $N < N_{bien} - E$ 
entonces llave cerrada.
Si el nivel actual es N, el nivel deseado
es Nbien, el margen de error E y  $N > N_{bien} + E$ 
entonces llave abierta.

```

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*, es decir, que cantidad de agua se suministrará realmente a cada sector y estimar los planes de racionamiento.

3.4. Diseño de la interfaz gráfica de salida.

La salida del proceso de simulación le proporcionarían 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. 5).

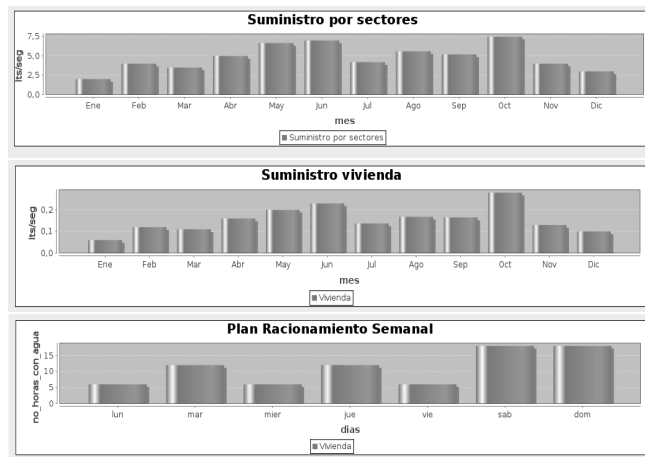


Figura 5: Salida

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, sistema de bases de datos y sistemas de información geográfico. Se ha establecido una base para integrar el simulador GALATEA y gvSIG, 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 Gestión de Desastres y Reducción de Riesgo.

El trabajo futuro es desarrollar e implementar el sistema descrito en el documento y extender la aplicación para dispositivos móviles. Se pretende ampliar las funcionalidades del agente consultor para que interactúe con el usuario y lo asista en el proceso de diseñar distintos escenarios de amenazas. Se espera que la contribución más importante sea suministrar una plataforma de servicio para implementaciones rápidas de sistemas complejos para gestión del conocimiento.

Referencias

- Andressen, P. 2000 - 2007. *Datos estación climatológica mucujún*. Tech. rept. Centro de Investigaciones Atmosféricas y del Espacio (CIAE). Universidad de Los Andes., Se encuentra en <http://www.cecalc.ula.ve/redbc/colecciones>. Fecha de consulta: 15 de octubre 2010.
- Blecic, I., Cecchini, A., & Trunfio, G.A. 2009. A multi-agent geosimulation infrastructure for planning. *Geo-computation and urban planning*, Vol. 176, pp. 237–253.
- Bratman, M. 1987. *Intention, plans and practical reasoning*. Cambridge, Massachusetts, and London, England: Harvard University Press.
- Bresciani, P., Giorgini, P., Giunchiglia, F., Mylopoulos, J., & Perini, A. 2004. Tropos: An agent-oriented software development methodology. Vol. 8(No. 3), pp. 203–236.
- Caire, G., Coulier, W., Garijo, F.J., Gomez, J., Pavon, J., Leal, F., Chainho, P., Kearney, P. E., Stark, J., Evans, R., & Massonet, P. 2001. Agent oriented analysis using message/UML. pp. 119–135.
- Cushla, C., & Ochoa, A. 2002. *Diseño de actividades de autoprotección ciudadana para municipios*. Tech. rept. Universidad de los Andes.
- Dávila, J. 1997 (June). *Agents in logic programming*. Phd. thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK.
- Dávila, J. 2009. *Lógica práctica y aprendizaje computacional*. Tech. rept. Universidad de los Andes. Centro de Simulación y Modelos. Facultad de Ingeniería.
- Dávila, J., & Tucci, K. 2002. Towards a logic-based,

- multi-agent simulation theory. *Amse special issue 2000. association for the advancement of modelling & simulation techniques in enterprises*, pp. 37–51.
- Dávila, J., & Uzcátegui, M. 2000. Galatea: A multi-agent simulation platform. *In: Proceedings of msnn2000: International conference on modeling, simulation and neural networks. mérida. venezuela.*
- Dávila, J., & Uzcátegui, M. 2002. Galatea: A multi-agent simulation platform. *Amse special issue 2000. association for the advancement of modelling & simulation techniques in enterprises*, pp. 52–67.
- Dávila, J., & Uzcátegui, M. 2005. Agents that learn to behave in multi-agent simulations. *The fifth iasted international conference on modelling, simulation and optimization (mso 2005), oranjestad, aruba.*, August, pp. 51–55.
- Dávila, J., Gómez, E., Laffaille, K., Tucci, K.y, & Uzcátegui, M. 2005a. Multi-agent distributed simulations with galatea. *Ds-rt'2005. the 9-th ieee international symposium on distributed simulation and real time applications*, October, pp. 165–170. ISBN 0-7695-2462-1.
- Dávila, J., Uzcátegui, M., & Tucci, K. 2005b. A multi-agent theory for simulation. *The fifth iasted international conference on modelling, simulation and optimization (mso 2005), oranjestad, aruba.*, August, pp. 285–290.
- Dávila, J., Uzcátegui, M., & Tucci, K. 2007. From a multi-agent simulation theory to galatea. *In: Proceedings of 2007 summer computer simulation conference (scsc07). the society for modelling and simulation international.*
- Drogoul, A., Vanbergue, D., & Meurisse, T. 2003. Multi-agent based simulation: where are the agents?. pp. 1–15.
- Ferber, J., & Müller, J-P. 1996. Influences and reaction: a model of situated multiagent systems. pp. 72–79.
- García-Ojeda, J C., DeLoach, S.A., Robby, Oyenán, W.H., & Valenzuela, J. 2007 (May). O-mase: A customizable approach to developing multiagent development processes. *In: Proceedings of the 8th international workshop on agent oriented software engineering.*
- Gómez-Sanz, J J., & Pavón, J. 2003. Agent oriented software engineering with ingenias. **Vol. 2691 of LNCS**, pp. 394–403.
- Guada, C. 2000-2007. *Datos estación climatológica mucujún*. Tech. rept. Laboratorio de Geofísica de la Universidad de Los Andes (LAGULA)., Se encuentra en: <http://www.cecalc.ula.ve/redbc/colecciones>. Fecha de consulta: 15 de octubre 2010.
- gvSIG. 2004. *Portal gvsig*. Se encuentra en www.gvsig.org. Fecha de consulta: 15 de octubre 2010.
- Iglesias, C., Garijo, M., Gonzalez, J., & Velasco, J. 1997. Analysis and design of multiagent system using mas-commonkads. *In: Singh, M.P., Rao, A., & Wooldridge, M.J. (eds), Intelligent agent iv: Agent theories, architectures and language*, vol. Vol. 1365 LNCS.
- Kinny, D., Georgeff, M., & Rao, A. 1996. A methodology and modelling technique for systems of BDI agents. *In: van Hoe, Rudy (ed), Seventh european workshop on modelling autonomous agents in a multi-agent world.* LNIA, vol. Vol. 1038.
- Kowalski, R.t, & Sadri, F. 1997. An agent architecture that unifies rationality with reactivity. *Department of computing, imperial college.*
- Kraak, M-J. 2004. The role of the map in a web-gis environment. *Journal of geographical systems, springer-verlag*, **Vol. 6**(No. 3), pp. 83–93.
- 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. 2000-2007. *Metadatos estación climatológica mucujún*. Tech. rept. Centro de Cálculo Científico de la ULA (CECALCULA)., Se encuentra en: <http://www.cecalc.ula/redbc>. Fecha de consulta: 15 octubre de 2010.
- Padgham, L., & Winikoff, M. 2002. Prometheus: A pragmatic methodology for engineering intelligent agents. *Pages pp. 97–108 of: In proceedings of the oopsla 2002 workshop on agent-oriented methodologies.*
- Ramírez, M. 2005. *Diagnóstico y reacondicionamiento del acueducto "la ceibita, buena vista"*. Tech. rept. Universidad de los Andes.
- Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., & Lorenzen, W. 1991. *Object-oriented modeling and design*. Prentice Hall.
- Russell, S., & Norvig, P. 2004. *Inteligencia artificial: Un enfoque moderno. 7ma edición*. España: Pearson.
- Shoham, Y. 1991. Agent0: A simple agent language and its interpreter. *Aaai-91 proceedings.*, pp. 704–709.
- Simon, H.A. 1955. A behavioral model of rational choice. *Quarterly journal of economics*, pp. 99–118.
- Valdés, H.M. 1999. Reducción de desastres como un derecho humanos. *Sistemas de naciones unidas*. Se encuentra en: <http://www.radixonline.org/humanrights.htm>. Fecha de consulta: 04 de octubre de 2010.
- Wainer, G. 2009. *Discrete-event modeling and simulation*. Boca Ratón, London, New York: CRC Press.
- Zambonelli, F., Jennings, N., & Wooldridge, M. 2003. Developing multiagent systems: the gaia methodology. *In: Acm transactions on software engineering and methodology*, vol. Vol. 12.
- Zeigler, B., Praehofer, H., & Kim, T. Gon. 2000. *Theory of modelling and simulation*. San Diego: Academic Press.