

Simulación de desalojos efectuados por Agentes en la Ciudad Universitaria de Caracas. Aportes para el desarrollo de aplicaciones específicas para mitigar desastres en centros urbanos estratégicos.

Área académica

K. Laffaille¹, K. Tucci^{1,2}, M. Uzcátegui^{1,2}, J. Dávila¹, M. Nava³
{klaudia,kay,maye,jacinto}@ula.ve; mjnavah@intercable.net.ve

¹ CeSiMO. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela

² SUMA. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

³ COPRED. Universidad Central de Venezuela, Caracas Venezuela.

Un contexto multidisciplinario y un problema compartido.

El presente trabajo es una muestra de como, gracias al ambiente interdisciplinario de las universidades, actualmente potenciado por el aumento de las actividades de los postgrados y los grupos de investigación es posible desarrollar herramientas de software que responden a necesidades desarrolladas en otras disciplinas como es en este caso particular la mitigación de desastres. En la Universidad de los Andes, Mérida Venezuela, en la Facultad de Ingeniería junto con el centro de Simulación y Modelado CeSiMO [CeSiMO] se desarrolla un postgrado de Modelado y Simulación que gracias a que posee múltiples aplicaciones en diferentes ramas del conocimiento se matriculan estudiantes de diferentes disciplinas y puede decirse que es de carácter multidisciplinario. Esta cualidad permite que se estudie la aplicabilidad de modelos de simulación en disciplinas diferentes a la ingeniería de sistemas. De esta manera se propone como motivación para una investigación la necesidad de proporcionar a las personas responsables de proyectar y planificar edificaciones y ciudades una herramienta de simulación que les permita estudiar el comportamiento de agentes móviles durante un desalojo. Es así como el tema se desarrolla como una tesis de maestría y se construye un software que sirve como herramienta de investigación y que puede tener un gran número de aplicaciones. El software permite conocer el comportamiento posible de las personas que desalojarán una edificación o espacio urbano ya sea existente o un proyecto de diseño. Es en este momento cuando comienza a rendir frutos la multidisciplinariedad del postgrado, la motivación que genera la creación del software es compartida por las personas que pertenecen a otras disciplinas y poseen los mismos intereses como es el caso de COPRED en la Universidad Central de Venezuela, UCV.

COPRED ha venido impulsando hace poco menos de dos años, el Programa 3, cuya misión fundamental es construir un conocimiento pertinente al objetivo de reducir la vulnerabilidad ante los riesgos que amenazan potencialmente al conjunto urbano Ciudad Universitaria de Caracas, que fue reconocido como Patrimonio Mundial a partir del año 2000¹. El Programa está constituido por tres subprogramas: el de Soporte Físico, en el que evaluamos las condiciones potenciales del suelo en el contexto de la CUC e identificar las zonas de riesgo del conjunto; el Subprograma de Edificaciones, en el que se evalúa la capacidad de respuesta de las edificaciones ante contingencias y el Subprograma de Manejo de Contingencias, que es el que arropa esta tesis. Este último subprograma tiene por objeto definir los lineamientos generales para manejarse en el campus de la manera mas adecuada durante un evento de riesgo determinado (sismo, inundación, incendios, etc). Es un programa de apoyo a las instancias operativas como bomberos.

El desarrollo de un simulador de comportamiento de autómatas celulares aplicado a eventos específicos, es una alternativa que ha venido desarrollándose exitosamente desde mediados de los años 80, aunque hay referencias de antecedentes de fines de los años 80 [Batty et al, 1987], [Itami, 1988]. Estos estudios han sido aplicados particularmente al campo de la planificación urbana, transporte y ecología urbana. Particularmente en cuanto a mitigación de riesgos se tiene referencias de modelos de desalojos realizados en los últimos años como son el elaborado con autómatas celulares de Ansgar, K.y Andreas, S. [Ansgar, Andreas, 2002], otros realizados con modelos continuos de ecuaciones diferenciales como el publicado por Helbing et al. En el año 2000 [Helbing et al, 2000]. Revisando los antecedentes en la utilización de modelos de simulación para la gestión de riesgos puede decirse que uno de los aportes de la herramienta utilizada en este trabajo es la posibilidad de diferenciar entre agentes, lo posibilidad de variar su comportamiento y modificar las cualidades de los espacios que conforman el sistema durante la simulación.

¹ Conjunto arquitectónico declarado monumento histórico nacional por la Junta Nacional de Patrimonio Artístico y Cultural (Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 35.441. 15 de Abril, 1994) y reconocido como Patrimonio Mundial en la 24va sesión del Comité de Patrimonio Mundial, celebrada en el marco de la Conferencia Mundial de la UNESCO en Cairns, Australia (27/11/2000 - 02/12/2000)

Riesgos y vulnerabilidad y la necesidad de unir esfuerzos para lograr una mitigación efectiva.

Vivimos en tiempos en los que contemplamos cada vez con mayor frecuencia que grandes desastres son ocasionados por la superposición de circunstancias inadecuadamente o poco consideradas en la planificación y manejo de los espacios habitados o asentamientos humanos. Esta situación ha comenzado a colapsar algunos sistemas urbanos, y debemos generar herramientas que permitan mejorar los estudios en el espacio físico y resolver de manera más eficiente las políticas que en ellos se desarrollan. Este panorama obliga al desarrollo de una visión auténticamente sustentable, donde los proyectos demuestren su efectividad y su contenido responsable con respecto al medio ambiente en el que se deben desenvolver, de manera de garantizar algún factor de seguridad a los ciudadanos contemporáneos. Este es el reto de esta generación.

Esta es la principal motivación para el desarrollo de este trabajo, el cual ha permitido probar la aplicabilidad de una herramienta de simulación aplicada a la evaluación de agentes dinámicos dentro de un espacio de características predeterminadas. El resultado, aplicado específicamente al caso de desalojos de espacios habitados, puede ser de gran interés para la arquitectura en general, debido a su versatilidad y a las múltiples combinaciones que permite en su programación básica.

Arquitectos y urbanistas conocen la dificultad de evaluar que tan adecuado es un diseño urbano o arquitectónico para ser ubicado en un sector vulnerable. Sin embargo es muy necesario poder realizar dicha evaluación debido a que gran parte de las ciudades a nivel mundial están ubicadas en zonas vulnerables. Como consecuencia de esta preocupación arquitectos y urbanistas están manejando conceptos como urbanismo preventivo [Figuroa, 2003], vulnerabilidad [SIGA, 2005], incluyéndolos como condicionantes de sus diseños para ajustarlos a eventos que puedan requerir el desalojo de sectores urbanos o edificaciones. Hoy en día, es posible desarrollar modelos computacionales usando y técnicas de la simulación que permitan demostrar y comparar la viabilidad y efectividad de diseños para la evacuación de las personas en caso de eventos que la requieran.

Para este trabajo hemos utilizado una herramienta denominada gSpaces, cuya principal función es proporcionar a las personas responsables de proyectar y planificar edificaciones y ciudades la posibilidad de simular el comportamiento de las personas que habitan estos espacios. gSpaces brinda una gran ventaja como herramienta de investigación que puede tener un gran número de aplicaciones. En este trabajo nuestro interés se ha centrado en los aspectos vinculados con desalojos de personas de espacios sobre los que actúa una condición de riesgo (en nuestro caso, el sismo), al respecto hemos encontrado que gSpaces nos permite:

1. conocer el comportamiento posible de las personas en un espacio determinado, sea real o un proyecto de diseño.
2. predecir la cantidad de personas que desalojan la edificación en condiciones más o menos adecuadas.
3. caracterizar comportamientos posibles en un grupo de personas de perfiles predefinidos.

Dicha cualidad puede ser aprovechada de dos importantes maneras según el objetivo trazado en este artículo: para planificar los desalojos de edificaciones y espacios urbanos existentes realizando modificaciones de ser necesarias basando las decisiones en los resultados arrojados por gSpaces como herramienta de simulación y para utilizar los resultados obtenidos en la simulación para planificar y diseñar la configuración formal de los espacios habitados, optimizando su desempeño desde todo punto de vista. Copred/UCV se ha interesado en aplicar la herramienta para probar de manera preliminar su aplicabilidad en el comportamiento de usuarios en espacios del Campus universitario de Caracas, el cual es Patrimonio Mundial a partir del año 2000. Conocer este comportamiento se considera un gran aporte para el diseño de políticas de intervención, preservación y seguridad en Patrimonio construido.

gSpaces un meta-modelo para la investigación en mitigación de riesgos.

Un modelo computacional es una descripción de un sistema que puede ser usada en un computador para simular la conducta de ese sistema. Al simular el computador cuenta la historia de cómo cada estado del sistema se transforma en el siguiente estado como consecuencia de los eventos, acciones, dinámicas y procesos que ocurren en el sistema. Así que es posible ver la simulación como un ejercicio muy preciso de cálculo de la evolución de un sistema a través del tiempo. Cuando el sistema a simular consiste en un espacio arquitectónico habitado la caracterización de sus estados y de cómo se transforman no es simple pues requiere modelos integrados tanto de los espacios como de los agentes habitantes. Esa dificultad, no obstante, se

exacerba cuando esas mismas estructuras pueden cambiar durante la historia que se quiere simular. Este es el caso de la simulación de eventos desastrosos en espacios urbanos o arquitectónicos. gSpaces [Laffaille, 2005] ha sido diseñada como una respuesta a esta necesidad creando un meta-modelo que facilita el modelado de espacios arquitectónicos y urbanos que requieren desalojos y cambian sus características mientras se construyen sus historias. gSpaces nace como una respuesta a la dificultad y la necesidad de proporcionar a las personas responsables de proyectar y planificar edificaciones y ciudades una herramienta de simulación que les permita estudiar el comportamiento de agentes móviles durante un desalojo. Un meta-modelo "es un modelo de cómo hacer un modelo. Es una descripción del cómo hacer una descripción. En los lenguajes computacionales como Java y Galatea, un meta-modelo puede adoptar la forma de una plantilla de texto que se completa con estructuras lingüísticas particulares para producir cierto modelo. Antes de completarla, esa plantilla es un meta-modelo. La plantilla también puede ser vista como un patrón para una familia de modelos, por exactamente las mismas razones" [Uzcategui et al, 2004]. GSpaces es una librería del simulador GALATEA. "GALATEA es una plataforma de simulación de sistemas multi-agentes. Es una colección de software para simular, sobre modelos escritos en lenguajes de diversa naturaleza: procedimental, orientada a los objetos, dinámica de sistemas y orientación a los agentes. Galatea es descendiente de GLIDER, un simulador de eventos discretos (DEVS) [Banks J et al, 2001] desarrollado en la Universidad de Los Andes, Venezuela, a finales del siglo XX. GALATEA extiende a GLIDER incluyendo en la semántica DEVS las abstracciones necesarias para describir agentes: entidades que perciben un ambiente, razonan sobre lo que ven y actúan sobre el ambiente, tratando de cumplir sus propios objetivos" [GALATEA]. GALATEA es un ambiente de simulación orientado a objetos que soporta simulación DEVS que puede ser usada para modelar sistemas continuos reduciendo la simulación continua a un discreto por medio de un paso de simulación muy 'pequeño'.

La diferencia fundamental entre GALATEA y GLIDER es la incorporación de los agentes a la semántica del lenguaje de simulación. Esto tiene varias implicaciones:

- 1) Con los agentes podemos tener un modelo de computación concurrente (los agentes corren concurrentemente que el simulador),
- 2) Tenemos que definir nuestros agentes tanto a nivel abstracto (para los modelistas), como a nivel concreto (para que el simulista sepa programarlos).
- 3) Tenemos que proveer lenguajes adicionales para PROGRAMAR los agentes. La teoría de simulación que explica como combinamos el simulador con los agentes se presenta en [Dávila,Tucci:2000].

La librería gSpaces está basada en el formalismo de simulación de eventos discretos DEVs y combina una descripción completa del espacio con un tratamiento discreto de la interacción agente-agente y agente-ambiente. gSpaces es un módulo de la plataforma de la simulación GALATEA y puede usarse como una plantilla que debe ser completada con estructuras lingüísticas específicas para producir un modelo en particular.

En gSpaces, los agentes móviles se modelan usando los mensajes de GALATEA, por consiguiente cada persona es una entidad completamente diferenciable con las características particulares que pueden cambiar durante la ejecución. La conducta de una persona puede asociarse a sus características, permitiendo de esta manera que existan diferentes tipos de personas con diferentes conductas en un mismo modelo. Además de las características propias de los mensajes GALATEA las personas en el gSpaces poseen los campos x y y en que representan sus coordenadas el espacio; la velocidad instantánea V_x y V_y ; la visibilidad que representa la distancia a que la persona puede ver una puerta; y la dirección hacia la que se dirige, que puede usar para dirigirse a una de las puertas que componen el espacio. Los modelos de diseños arquitectónicos o urbanos son divididos en el Spaces. Cada Space contiene: una lista de mensajes que se encuentran dentro de él, una lista de segmentos que representan sus paredes, una lista de segmentos que representan sus puertas y un punto en el interior del espacio que permite definir si cualquier otro punto esta dentro o fuera de del espacio. Un Space es modelado como un plano continuo que es dividido en unidades espaciales llamadas celdas. Las celdas son cuadradas y la longitud del lado es seleccionada por el modelista. Las células tienen un conjunto de variables que pueden ser necesarias para actualizar la posición de los mensajes que están dentro de ellas, por ejemplo la lista de las paredes, ordenada en función de la distancia al centro de la celda, la lista de puertas, ordenada de acuerdo a la probabilidad de ser seleccionada de cada puerta, la cantidad de las personas dentro de la celda, el índice de obstáculos, y la dirección preferencial que seguirán los mensajes dentro de la celda. Una de las principales suposiciones hechas al modelar con gSpaces consiste en que todos los mensajes que se encuentran dentro de a una celda son influenciados por el ambiente de la misma manera, es decir, la influencia del ambiente no hace diferencia entre mensajes que están dentro de una misma celda aunque sus posiciones

sean diferentes. No obstante, cada mensaje pueden comportarse de manera diferente porque tiene una serie campos que lo diferencian de otros mensajes. Esta abstracción permite ahorrar gran cantidad de cálculos necesarios en los modelos de dinámica molecular como el propuesto por Helbing et al [Helbing et al, 2000]. Las paredes son segmentos rectos impenetrables definidos las coordenadas extremas de los puntos que los definen. Cada Space tiene una lista de paredes que restringen el movimiento de las personas dentro de él. Se pueden agregar paredes o eliminarlas durante la ejecución del modelo, permitiendo simular eventos que pueden cambiar las características de los espacios arquitectónicos o urbanos como terremotos, tsumanis, etc.

Los Spaces también poseen una lista de puertas. Una puerta es un segmento que permite a las personas salir de un espacio y dirigirse a otro o a la salida general del modelo. Como las paredes, se agregan puertas o eliminan a un Space durante la ejecución del modelo. Las puertas se caracterizan por: la cantidad de las personas que pueden atravesarla en un mismo instante de tiempo; el tiempo que una persona necesita para cruzarla; y una bandera que indica si la puerta es bidireccional o no. Una puerta bidireccional está conformada por dos nodos, uno en cada Space que es conectado a través de ella. Las puertas son herederas de los nodos recurso, *resource* de GALATEA y poseen todas las cualidades de los mismos. El movimiento de las personas se modela por medio de un método llamado *move*. Un Space tiene algunos métodos de movimiento simples, pero es posible crear nuevos. El método calcula la nueva posición para cada persona dentro de la celda. Para hacer el cálculo, el método *move* puede usar los atributos de la persona como su posición anterior y la velocidad así como toda la información proporcionada por la celda. Para que sea efectuado el movimiento de las personas que se encuentran dentro de un espacio se debe generar su activación por un evento GALATEA. Cuando un espacio es activado sus celdas son recorridas de manera aleatoria y el método *move* es invocado por cada persona que se encuentra dentro de la celda. Si el movimiento ocurre de manera normal, es decir, si el agente al moverse no intercepta paredes o puertas su nueva posición vendrá dada por:

$$\begin{aligned}x_0 &= x + V_x \Delta t, \\y_0 &= y + V_y \Delta t,\end{aligned}$$

donde (x_0, y_0) será la posición final de los agentes; (x, y) es la posición actual; Δt es el intervalo de tiempo entre activaciones del espacio y (V_x, V_y) es la velocidad lineal calculada por el método *move*. Para verificar si el desplazamiento de la persona es normal o no, los Spaces verifican si existe cualquier intersección entre el segmento $((x_0, y_0);(x,y))$ y cada pared y puerta. Si existen una o más intersecciones más cercanas que la posición final (x_0, y_0) , la persona se mueve a la intersección mas cercana a la posición original (x, y) . Si la intersección ocurre con una puerta y la puerta posee capacidad para recibir a dicho mensaje, la persona le es enviada y un evento de activación de puerta es programado en la lista de eventos futuros de GALATEA según el retraso de la puerta. Cuando la puerta es activada, todas las personas en la puerta que hayan cumplido su tiempo de retraso son enviadas envía a otro Space o a una salida según el modelo. Como un módulo de GALATEA, los componentes del gSpaces pueden ser usados con otros los componentes de GALATEA para desarrollar modelos más complejos y sofisticados.

Aplicación en el ejemplo de la Ciudad Universitaria de Caracas.

La aplicación de este modelo en la CUC/UCV ha resultado adecuada por la escala, densidad, condiciones y características del sujeto de estudio. También porque se encuentra ubicada en una de las zonas mas sísmicas de Venezuela y el interés que reviste como conjunto arquitectónico de gran valor a nivel internacional, lo cual conjuga la posibilidad de pérdidas en ámbitos muy sensibles: humano, económico y cultural. Una de las acciones que podría generar una reducción real del impacto de un desastre natural o socio-natural, es la posibilidad de simular sus efectos, de manera de prever y planificar las estrategias y las acciones mas adecuadas para reducir el impacto del mismo. Este ejercicio ha sido desarrollado a modo de prueba con la finalidad de estudiar la aplicabilidad de este tipo de herramientas en contextos como la CUC.

La herramienta fue aplicada en uno de los accesos de mayor tránsito de la Ciudad Universitaria de Caracas (puerta 3), en dos edificaciones que están ubicadas junto a la entrada. Dichas edificaciones se encuentran a la derecha del acceso vehicular del llamado 'Paseo los Ilustres', el edificio de Ingeniería Sanitaria y el correspondiente a el Postgrado de Ciencias Jurídicas. Una vez seleccionado el sector de estudio se realizan un conjunto de abstracciones que permiten definir los espacios que pertenecerán al modelo y la manera como serán modelados. Un modelo de desalojos es definido en función de las áreas que deben ser transitadas por las

personas para dirigirse a un sector que puede considerarse seguro en función del evento que requiere dicho desalojo.

Los individuos o agentes móviles que se encuentran en un determinado espacio deberán efectuar un recorrido atravesando un número definido de espacios para acceder a un sector que puede considerarse seguro. Para realizar el modelado de espacios arquitectónicos o urbanos es necesario definir cada uno de los espacios pertenecientes al modelo en función de un concepto general de espacio utilizado por gSpaces que dice lo siguiente: *“tanto los espacios urbanos como arquitectónicos tienen como características comunes el ser volúmenes contenidos dentro de límites ‘tangibles’ o perceptibles para los individuos que los habitan y desarrollan sus dinámicas dentro de ellos.”* [Laffaille, 2005]. En función de esta definición los espacios que son modelados con la herramienta gSpaces están definidos por sus límites espaciales, las características de los mismos y el área que contienen.

Para este sector de la CUC cada una de las edificaciones es modelada de manera particular. Fueron separadas básicamente en cuatro espacios en función de las cualidades de cada una de las edificaciones y los datos que se poseían de las mismas como se observa en la figura 1. En la figura 1 puede observarse el área correspondiente a cada uno de los espacios del modelo.

Edificio1 que es una de las edificaciones, el área segura a la que se dirigen finalmente los agentes móviles y la edificación 2 que es modelada como dos espacios separados Edificio2 y el patio que contiene llamado PatioE2. En la edificación 2 sólo los individuos que han accedido al el patio pueden dirigirse a la salida. Para crear espacios gSpaces es necesario definir sus límites con respecto a los otros espacios. Para el modelado con gSpaces son considerados límites las paredes que limitan el movimiento de los agentes, las puertas que permiten la comunicación entre espacios y cuando dentro de un mismo espacio se produce un cambio cualitativo relevante para el modelo.

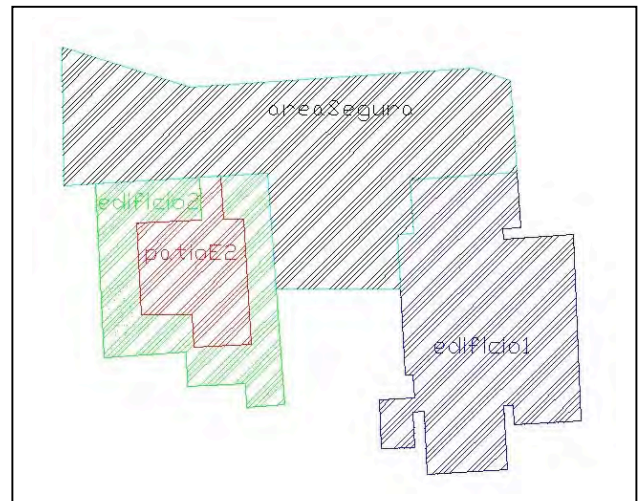


Figura 1, área correspondiente a cada una de las edificaciones modeladas

gSpaces posee una aplicación llamada dxf2g que puede generar las características generales del modelo y sus espacios a partir de un archivo de intercambio propio del software AutoCad el .dxf. Este archivo debe ser elaborado con unas características particulares para que la aplicación o compilador genere el código correspondiente al modelo. El dxf2g facilita la interacción con el modelado en gSpaces. Dxf2g arroja un código que funciona como una plantilla que el modelista debe rellenar seleccionando los valores correspondientes a las variables generales de la simulación como el tiempo de simulación, la cantidad de personas que se encontrarán en el sistema al inicio de la simulación, la resolución de las celdas que conforman el espacio, hacia que espacio se dirigen las puertas unidireccionales, etc. En dicho código están todas las sentencias necesarias para crear el modelo que fue construido previamente en el archivo dxf. Sin embargo el modelado de un sistema puede ser creado utilizando directamente las sentencias correspondientes. Siguiendo el orden en que deben ser creados los espacios, por ejemplo un espacio es creado de manera sencilla utilizando la sentencia o método `public static Space Edificio2 = new Space("Edificio2",10,9.0,38.0,1.0,0.1,"MyRule");` donde los parámetros del método Space son: nombre del espacio, número de agentes móviles al inicio de la simulación, coordenadas del punto interno, resolución y paso de simulación. En la declaración de Edificio2 hay un argumento más usado para seleccionar la función de movimiento para este espacio. Las paredes son creadas con una sentencia sencilla que recibe las coordenadas de los puntos que componen al segmento que define la pared de la siguiente manera: `Edificio2.addWall(31.0,32.0,31.0,21.0);` Luego le deben ser agregadas las puertas a cada uno de los espacios utilizando: `Edificio2.addDoor(19.0, 27.0, 15.0, 27.0, PatioE2,'U',1,0.0, 1);` donde el primero de los cuatro parámetros correspondientes al método addDoor son las coordenadas de los extremos del segmento que define la puerta; luego vienen el espacio hacia el que serán enviados los mensajes al cruzar la puerta, la capacidad de la puerta, el tiempo necesario para cruzar la puerta u un coeficiente que puede ser usado por la función de movimiento para seleccionar entre un conjunto de puertas. Una vez que se han agregado todas las paredes y puertas correspondientes a un espacio se procede a ejecutar el método `Edificio2.build();` que se encarga de construir el

espacio con las características necesarias para ser modelado por la librería. Dicho procedimiento se sigue con cada uno de los espacios y posteriormente se definen los valores generales para la ejecución del simulador.

Cada una de estas sentencias son sencillas de utilizar y permiten al usuario o modelista adecuar de manera precisa el modelado al sistema que se desea describir. Por otra parte gSpaces permite asignar funciones de movimiento diferentes para cada uno de los espacios y hacer diferencias con respecto al comportamiento de los agentes móviles de acuerdo a sus características individuales. Por ejemplo en la elaboración del modelo del sistema correspondiente a la CUC se utilizó una función de movimiento que distingue entre diferentes tipos de usuarios asignando un comportamiento diferente a cada uno de ellos ante la necesidad de desalojar. Sin embargo la programación de esta función se realiza de manera sencilla y el modelista puede crear una función tan adaptada como lo desee a sus necesidades. Otra de las ventajas que brinda la herramienta es la posibilidad de cambiar las cualidades de los agentes y de los espacios que pertenecen al sistema durante la simulación. Dicha cualidad permite simular eventos que puedan causar cambios como disminución de la velocidad de los agentes, modificaciones formales de los espacios, bloqueo de algunas salidas, etc. Para efectuar cambios durante la simulación se deben planificar y generar los eventos que los causarán. La herramienta dispone de un elemento o nodo en particular llamado "sismo" que ofrece un conjunto de sentencias para modificar las cualidades de los espacios y de los agentes que conforman el sistema. Luego de haber establecido estas cualidades particulares se procedió a simular el sistema con un número de personas aleatorio que al inicio de la simulación se encuentran distribuidas aleatoriamente dentro de edificio1 y edificio2 como puede observarse en la figura 3. Los diferentes colores determinan tres tipos de usuarios que tendrán un comportamiento diferente según el espacio donde se encuentren.

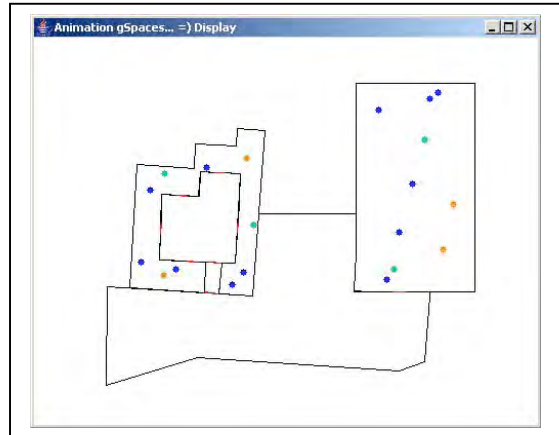


Figura 3, inicio de la simulación.

Las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 muestran como es la evacuación de los agentes móviles. El desalojo de Edificio2 ocurre de manera efectiva dejándolo completamente vacío pero en edificación1 y patioE2 algunos individuos no llegan a área segura debido a que no toman decisiones certeras para hacerlo. También puede observarse en la figura 5 como se produce un embotellamiento en la salida correspondiente a patioE2 retrasando el proceso de salida de los agentes hacia el área segura. Luego de un minuto de simulación en tiempo real puede observarse que aun hay individuos que permanecen en las edificaciones por no poder dirigirse de manera certera hacia las salidas. Los resultados de la simulación tendrán mucho que ver con la manera como sea modelado el sistema, por ejemplo, el tiempo que tardarán los agentes en desalojar las edificaciones será inversamente proporcional a la velocidad promedio que les sea establecida, los agentes que posean una regla de movimiento efectiva desalojarán en menor tiempo que los que posean una regla de movimiento menos efectiva, etc; sin embargo hay factores que no dependerán solo de la manera como es modelado el sistema, por ejemplo, en embotellamiento que se observa en la figura 5 es producto de la configuración formal de la edificación modelada.

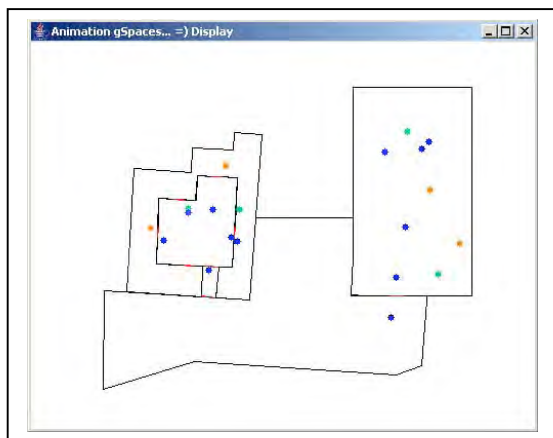


Figura 4, simulación en avance 1.

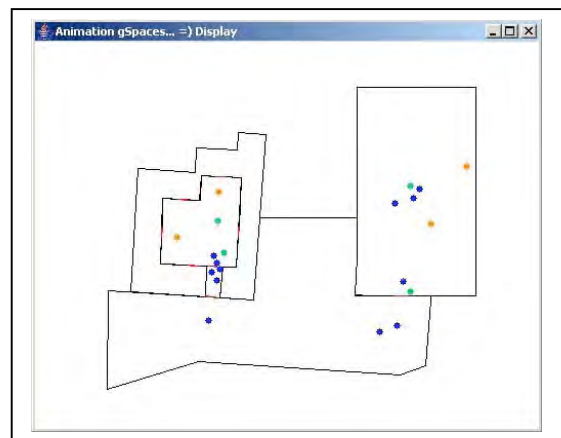


Figura 5, simulación en avance 2.

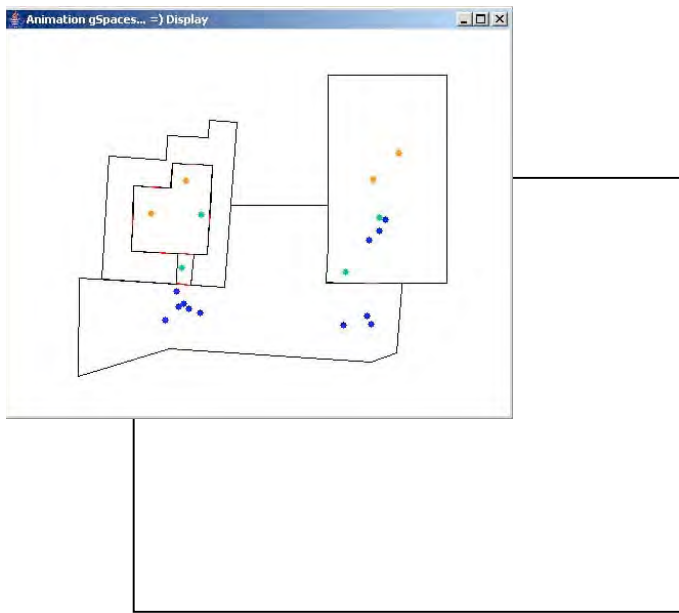


Figura 4, simulación en avance 3.

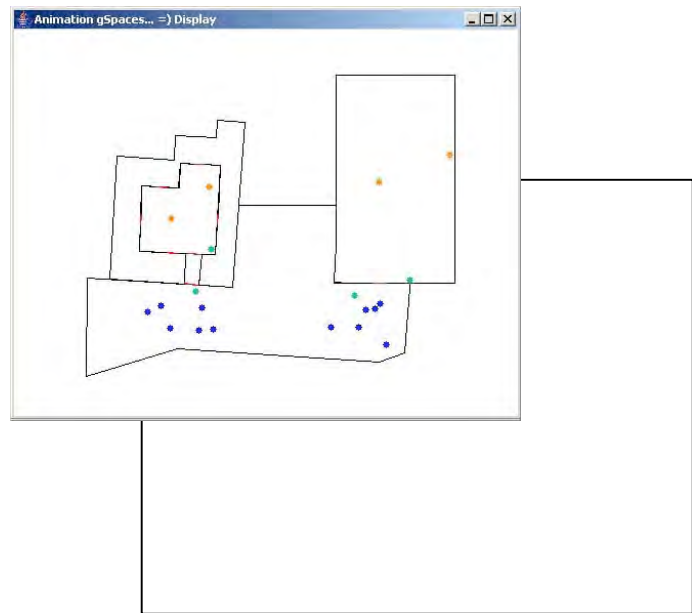


Figura 5, simulación en avance 4.

Dicho comportamiento puede deberse a que el tamaño de la salida es menor al que se requeriría para que un número de personas como el presentado en el modelo pueda abandonar la edificación en un menor tiempo de manera más efectiva. Las ventajas de la herramienta que fue evaluada en nuestra investigación radican en la posibilidad de poder modelar diferentes escenarios en un determinado sistema permitiendo simular diferentes comportamientos, diferentes eventos, e incluso modificar la configuración formal de los espacios en busca de nuevos resultados y mayor efectividad por parte de los agentes al efectuar el desalojo. Se puede variar la cantidad de personas que se comportan de un modo o de otro y se pueden utilizar diferentes funciones de movimiento para cada uno de los espacios que es modelado que a su vez puede contemplar diferencias para cada tipo de usuario.



Figura 6, simulación en avance 5.

Por otra parte gSpaces brinda las estadísticas propias de la plataforma de simulación que lo soporta, GALATEA [Uzcategui, et al., 2001] ofrece datos como el tiempo entre salidas de cada uno de los individuos en cada una de las puertas, el tiempo que permanecen en los espacios, el tiempo promedio entre salidas, el tiempo que permanecen en las puertas, etc brindando la posibilidad de realizar modelos tan ajustados a la realidad como sea necesario y permitiendo que se realicen estudios estadísticos posteriores para determinar la relevancia estadística de los datos obtenidos. Además, gSpaces además brinda la posibilidad de generar eventos en tiempo de ejecución del modelo permitiendo simular las consecuencias que puede tener el evento que haya requerido el desalojo, por ejemplo en un tiempo particular de la corrida se puede disminuir la velocidad promedio de un conjunto de individuos que gracias al evento ocurrido pueden haber sido heridos o, es posible bloquear un sector de un espacio particular, se pueden bloquear puertas, eliminar paredes, etc. Finalmente gSpaces es una herramienta elaborada en el lenguaje de programación orientado a objetos, JAVA y es posible programar en este lenguaje los detalles particulares que pueda requerir un determinado modelo.

Mas adelante, en próximos estudios se aplicará gSpaces a sistemas arquitectónicos y urbanos con datos estadísticos reales y se podrá estudiar la relevancia estadística de los datos arrojados por el simulador permitiendo realizar estudios particulares de simulación en sectores vulnerables a eventos que puedan requerir desalojos.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado en gran medida por el CDCHT-ULA bajo los proyectos I-666-99-02-E y C-283-04-E.

Referencias

[Banks, et al, 2001] **Banks J, Carson J, Nelson B, Nicol D.** (2001) "Discrete-Event System Simulation." Prentice Hall New Jersey 07458 Tercera edición 594 p.

[Batty et al, 1987] **Batty, Michael, Helen Couclelis, and Marc Eichen** (1997). Urban systems as cellular automata. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24, no. 2: 159-64.

[CeSiMO] Centro de Simulación y Modelos (CESIMO). Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida Venezuela. <http://cesimo.ing.ula.ve/>

[GALATEA] Multi-Agent Systems Simulation Platform.2003 Cesimo-Suma. Grupo GALATEA. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Av. Tulio Febres Cordero. Mérida 5101 - Venezuela. Telf. +58-274-2402879. Fax: +58-274-2402872. Contacto: jacinto@ula.ve. <http://cesimo.ing.ula.ve/INVESTIGACION/PROYECTOS/GALATEA/GALWEB/>

[Helbing et al, 2000] Helbing, Farkas y Vicsek, (2000). "Simulating dynamical features of escape panic." Colegium Budapest, Hungary, Institute of Economics and Traffic, Dresden University of technology Dresden Germany. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0009448>

[Holden and Connelly, 2005] Holden, M, Connell, S. The Learning City: "Urban Sustainability Education and Building Toward WUF Legacy". A Discussion Paper in Preparation for the WORLD URBAN FORUM 2006. Simon Fraser University. <http://www.sfu.ca/urban/documents/TheLearningCity.pdf>

[Itami, 1988] **Itami, Robert M.** 1988. "Cellular worlds. Models for dynamic conceptions of landscape." *Landscape Architecture*, 78 (5) pp. 52-57.

[Laffaille, 2005] **Laffaille, K.** "gSpaces, Meta-Modelo para Simular Desalojos de Espacios Urbanos y Arquitectónicos basado en GALATEA". Tesis de Maestría, Maestría en Modelado y Simulación de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. 2005

[SIGA,] **SIGA** "Amenazas" Secretariado de Manejo del Medio Ambiente para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay. <http://www.ems-sema.org/siga/siga/html/conceptos/a.html>

[Uzcátegui, 2002] **Uzcátegui, M.** Diseño de la plataforma de simulación de GALATEA"., Tesis de Maestría, Maestría en Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.

[Uzcátegui et al, 2004] **Uzcátegui M, Dávila J, Tucci K.** "Simulación Multi-Agente con GALATEA", Centro de Simulación y Modelos (CESIMO). Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida Venezuela.2004 <http://cesimo.ing.ula.ve/>