

Evaluación y Validación de Sistemas de Evacuación



¿Puede predecirse el comportamiento de una multitud ante un estímulo? ¿Qué valor tiene la respuesta generada? ¿Es aplicable en la práctica o solo se queda en teoría? Hoy, a través de un software de simulación es posible hallar respuestas a esos interrogantes y darles utilidad real, ya sea con fines comerciales como de seguridad, aplicables en cualquier ámbito.

Una de las definiciones que pueden encontrarse en un diccionario a la palabra simulación es la siguiente: "Simulación es la experimentación con un modelo de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo".

Thomas H. Naylor (economista, autor entre otros títulos de "Experimentos de simulación en computadoras con modelos de sistemas económicos") la define como "una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo".

Otra definición, más formal, es la siguiente: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema".

En el momento de "simular" comportamiento humano, principalmente cuando se trata de multitudes en situación

de pánico, la simulación por computadora de un acontecimiento puede contribuir a salvar vidas, mejorando el diseño de las instalaciones existentes para permitir una evacuación rápida y segura ante un evento de alarma.

Desarrollo nacional

Las soluciones de simulación de tráfico peatonal "permiten generar información inteligente capaz de aportar valor en entornos tan disímiles como estadios deportivos, paseos de compras, estaciones de subte o ferrocarril y la vía pública", explica Herman Moldovan, Presidente de Urbix Technologies, firma que desarrolló el software de simulación Smart Crowd, a través del cual y a partir de la información obtenida, pueden tomarse decisiones para la remodelación o construcción de un nuevo espacio, minimizando la inversión y el plazo de obra y verificando las condiciones de seguridad del lugar.

Este tipo de herramientas también puede ser de utilidad en la planificación urbana, ya que ayuda a predecir con exactitud el impacto del desarrollo de un gran emprendimiento como un shopping en el tráfico peatonal y vehicular de las calles cercanas. Asimismo, puede ser de utilidad para la distribución de stands o pequeños kioscos dentro del mismo pa-

seo, ya que a través de la simulación podrá señalarse con precisión qué lugar de emplazamiento podría entorpecer la circulación de personas y cual podría favorecerlo.

Otra de las aplicaciones de la simulación está en la seguridad, utilizándose para mejorar los sistemas de evacuación de emergencia de grandes inmuebles. Esto se realiza llevando a cabo simulacros virtuales de evacuación que permiten generar fácilmente gran cantidad de información imprescindible para la toma de decisión en cuestiones tan importantes como estas, evaluando la respuesta del sistema ante cualquiera de las catástrofes más probables y representativas como un incendio.

El valor de la prevención

Desde el incendio ocurrido en 2004 en Cromagnón se incrementó notablemente la preocupación de autoridades y ciudadanía en general por la seguridad ante una eventual catástrofe y qué medidas podrían tomarse para prevenir siniestros de tal magnitud. Para lograrlo, hay que plantear un interrogante básico: imaginemos un local cuadrado de 20 metros de lado. ¿Cuánto tiempo tarda, en pleno siniestro, una multitud de 200 personas en evacuar totalmente el recinto?.

Continúa en página 164

Viene de página 162

Según diversos estudios realizados, uno de ellos por investigadores de *Urbix* en colaboración con científicos del *Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA*, cuando la gente más rápido quiere escapar de un lugar, se producen embotellamientos y aglomeraciones que hacen la salida mucho más lenta. Entonces, y aunque parece carente de sentido, "cuanto más rápido más lento" sería la conclusión.

Esto se debe a que la gente en estado de pánico intenta moverse más rápido de lo normal, se producen roces y fricciones, el desplazamiento se hace caótico y se bloquean las salidas.

"Es imposible simular una situación de pánico con personas reales, dado que una persona puede actuar como si pero nunca tendrá la reacción que tendría ante una emergencia palpable. Si bien se conocen datos y estadísticas de simulaciones con animales, la respuesta tampoco es igual a la que tendría un grupo de humanos en la misma situación. Por eso es que la simulación computacional se convierte en una herramienta útil: a través de ella podemos aprender mediante la modelización el comportamiento de una multitud y aplicar lo observa-

jan y se chocan entre sí, intentando llegar rápidamente al andén. Sin embargo, esos choques y roces hacen que la velocidad a la que caminan sea más lenta. El denominado "índice de confort", en estos casos, es nulo o casi nulo.

Si la densidad de personas es muy alta, un individuo no podrá avanzar a la velocidad que quisiera, por lo que el índice de confort baja.

Se puede tomar el índice de cada una de las personas y promediarlo durante todo el recorrido para un determinado número total de individuos, lo cual dará un valor entre "0" y "1", determinando el índice de confort de las personas en el lugar.

Para una determinada geometría, como la de los ejemplos citados, tomando en cuenta la disposición de los molientes, cajas, expendedoras automáticas, kioscos y puertas puede obtenerse un coeficiente o índice y compararlo con otra geometría, con el objeto de evaluar cuál es la disposición de elementos más apropiada, favoreciendo el confort del peatón y ayudando a que una evacuación se lleve a cabo de manera más efectiva, rápida y menos caótica.

A través de un software de simulación, con los valores conocidos y pre-

dos deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo.

Es importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados.

Simulación por computadora

Es un intento de modelar situaciones de la vida real por medio de un programa de computadora, lo que requiere ser estudiado para ver cómo es que trabaja el sistema, ya sea por cambio de variables o predicciones hechas acerca de su comportamiento.

La simulación por computadora se ha convertido en una parte útil del modelado de muchos sistemas naturales en física, química y biología y sistemas humanos como la economía y las ciencias sociales (sociología computacional). Un buen ejemplo de esto es la utilidad del uso de computadoras que simulen encontrar campo en las redes de tránsito simuladas. En tales simulaciones el modo de comportamiento cambiará cada simulación según el



Realizando un Test de Evacuación basado en simulación, puede brindarse una respuesta trasladable a la práctica para casos de emergencia real, proporcionando información para una evacuación en el menor tiempo posible evitando situaciones que pongan en riesgo la vida de los individuos.

do en medidas que ayuden a evitar accidentes y salvar vidas en caso de siniestros", explica **Moldovan**.

Con este software de simulación pueden establecerse pautas del comportamiento de la multitud según la geometría del lugar y modificar en la realidad esa disposición física para mejorar sensiblemente una evacuación, decidiendo, por ejemplo, la ampliación de una puerta, la colocación de nuevas vías de emergencia, hacer más efectiva la señalización, etc.

Índice de confort

Por definición, el índice de confort se calcula dividiendo la velocidad a la que camina un peatón por la velocidad a la que desea marchar. Si el camino está libre, esa persona andará a la velocidad deseada, por lo que el índice será 1.

La estación 9 de Julio de la línea D de Subterráneos, en la que confluyen pasajeros de las líneas B y C o la estación Once del ferrocarril Sarmiento suele ser un caos en las horas pico: todos empu-

viamente ingresados, pueden probarse diferentes alternativas a la hora de agilizar la circulación de personas, reducir el tiempo de espera en una ventanilla evitando el consecuente amontonamiento, o -en una aplicación más comercial-, decidir un lugar para la apertura de un local o la colocación de gráfica publicitaria, por ejemplo.

Definición del modelo

Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular es necesario hacer un análisis preliminar con el fin de determinar la interacción con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del mismo y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio.

Una vez definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, se define y construye el modelo con el cual se obtendrán los resulta-

conjunto de parámetros iniciales su-puestos por el entorno.

Modelización y simulación

Un modelo es una representación simplificada de la realidad que toma la forma de relaciones lógicas y matemáticas utilizado para ganar comprensión sobre el comportamiento de un proceso. **La simulación**, en tanto, es la experimentación con el modelo a partir de la entrada de datos (inputs) que imitan distintos escenarios y su variabilidad con el objeto de evaluar las respuestas (outputs) que se obtendrían en la realidad.

Existen distintas maneras de simulación. Por ejemplo:

- **Simulaciones Continuas:** en este tipo de simulación las variables son continuas espacialmente y se realiza una discretización del tiempo. Por ejemplo cuando se quiere simular el flujo de agua en un canal, se lo representa en forma continua a diferencia de lo que ocurre cuando se trata de arena o granos de un silo.

Continúa en página 166

Viene de página 164

• **Simulación de Eventos discretos:** son aquellas simulaciones en las cuales las variables cambian a partir de la ocurrencia de eventos. Estos eventos pueden suceder temporalmente tan próximos entre sí como se desee, por lo cual genera una representación "continua" de la evolución temporal del fenómeno simulado.

Etapas

Para llevar a cabo una simulación computacional a través de un software, es necesario llevar a cabo una determinada secuencia de etapas:

1. Diseño conceptual: En esta etapa se define el alcance y los objetivos del modelo, determinado el nivel de detalle necesario. Deben puntualizarse las variables, alternativas y escenarios a simular a la par que se determina la metodología para obtener los resultados deseables.

2. Diseño físico: Aquí deben especificarse las formas geométricas necesarias (bidimensionales y tridimensionales) con relación a su funcionalidad (escaleras, pasillos, columnas, etc). Se plantean los requerimientos de visualización (formas, colores, texturas) y se definen los meca-

- Determinar la *distribución teórica* que mejor los represente.

5. Corrida de simulación: Consta de dos sub etapas:

a- Establecer las condiciones iniciales de la corrida: Duración del período de warm up, selección de semillas estadísticas y tiempo total a simular

b- Ejecutar la corrida (run): Visualización del funcionamiento, monitoreo dinámico de evoluciones y pruebas preliminares de validez

Antes de comenzar con los ejercicios de simulación de los que se sacarán conclusiones conviene efectuar corridas piloto para detectar errores y realizar los correspondientes ajustes. Un sano ejercicio es, cuando sea posible, refrendar las salidas del modelo contra los datos de la realidad. Y como validación fundamental, solicitar la revisión del funcionamiento del modelo a las personas que estén en contacto con los procesos reales.

6. Análisis de resultados: Una vez llevada a cabo la simulación y ya en la etapa de análisis, la pregunta a responder es cómo convertir la masa de datos obtenida en información útil para la toma de decisiones y qué indicadores definirían esos resultados. En base a las di-

que de manera simulada- el comportamiento de masas, es posible lograr el confort de las personas (según se describió anteriormente), lograr una optimización del flujo peatonal y mejorar sensiblemente las condiciones de seguridad de un lugar.

En ciudades de gran densidad poblacional los frecuentes congestionamientos influyen negativamente en las condiciones de vida. El crecimiento demográfico, asimismo, disminuye las condiciones de seguridad en lugares cerrados.

El movimiento peatonal es un problema sumamente complejo, sin solución analítica, que ofrece un gran número de variables acopladas y su respuesta depende del entorno y contexto. Por eso es que la simulación del tráfico peatonal puede brindar la posibilidad de testear situaciones peligrosas, validar la funcionalidad y seguridad de los proyectos de acuerdo a los resultados obtenidos y facilitar la adaptabilidad a los cambios físicos del entorno.

Aplicaciones

Como se describió a lo largo de este informe, la simulación computacional tiene una amplia gama de aplicaciones, tan-



Las soluciones de simulación en sistemas de evacuación permiten generar información inteligente capaz de aportar valor en entornos tan disímiles como estadios deportivos, ferias, museos, casinos, paseos de compras, estaciones de subte o ferrocarril y aeropuertos.

nismos de obtención de objetos (en este caso el origen de los peatones)

3. Construcción del modelo: Se arma la plantilla básica de disposición de objetos (layout), se incluyen los enlaces de flujo y se especifican los objetos a fluir (peatones). Finalmente se completan los parámetros funcionales para cada elemento del modelo: comportamiento, planes, velocidad, tiempos de proceso, fallas, etc.

4. Entrada de datos: Básicamente los datos son los reguladores de cada evento ocurrido y existen tres tipos de datos utilizables: Históricos (archivos disponibles), Supuestos (planteo de hipótesis y escenarios) y Teóricos (conceptualización matemático-estadística)

Los datos históricos constituyen un mecanismo simple para testear el comportamiento de un modelo y según el caso, existen varios modos de utilizarlos:

- Incluirlos en forma *directa* como inputs de la simulación
- Definir una *distribución empírica* a partir de los mismos

versas repuestas a esos interrogantes puede hallarse una aplicación práctica de la simulación o decidir la arquitectura de un lugar.

Además de las etapas descritas existen posteriores análisis de la simulación que determinan modificaciones, ya sean lógicas, físicas o específicamente de datos.

"*Todo este proceso no es útil solo por única vez*", aclara **Herman Moldovan** sino que "*todos los modelos pueden ser reutilizados. Es decir, el mayor costo o trabajo está en la construcción inicial del modelo ya que los layouts, procesos, librerías o desarrollos matemáticos pueden ser reutilizados en otros modelos*", concluye.

Tráfico peatonal

El estudio del comportamiento de las grandes masas de personas es una tendencia en alza en todo el mundo muy útil para tener en cuenta a la hora de un emprendimiento comercial o mejorar los ya existentes, ya que conociendo -aun-

to desde el aspecto comercial como de la seguridad. Realizando un Test de Evacuación basado en simulación, puede brindarse una respuesta trasladable a la práctica para casos de emergencia real, proporcionando información para una evacuación en el menor tiempo posible evitando situaciones que pongan en riesgo la vida de los individuos. También es factible garantizar las condiciones de seguridad durante el ingreso o egreso de espacios públicos multitudinarios, para lo cual es necesario minimizar las zonas densamente ocupadas.

Un test de evacuación como este también puede brindar alternativas ante distintos tipos de catástrofes: en caso de incendio puede determinarse el tiempo total de evacuación de un lugar, la exposición a gases tóxicos o proximidad al fuego. Ante un terremoto, para finalizar, se puede determinar tanto el tiempo de evacuación como la modificación de la geometría del lugar para favorecerla.

Continúa en página 170

Proceso de evacuación peatonal



Para entender de manera gráfica como funciona un software de simulación computacional ofrecemos a continuación el detalle paso por paso del proceso y las conclusiones a las que se puede arribar al llevar adelante un test virtual para evaluar la seguridad de un lugar.

El proceso completo de evacuación comprende dos grandes etapas:

Etapa 1. El tiempo de reacción que indica el período entre el inicio de una amenaza o siniestro y el instante donde los ocupantes comienzan a salir del edificio.

Etapa 2. El tiempo de evacuación propiamente dicho o tiempo de salida comprendido desde que comienza a salir la primera persona hasta que sale la última.

La **etapa 1** comprende a su vez otras *subetapas* relacionadas con los tiempos de detección del peligro e informe a las autoridades, toma de decisión de los responsables de iniciar la evacuación, el tiempo en que se activan las alarmas y los tiempos de reacción de las personas a estas alarmas.

Estos tiempos son de duración variable dependiendo del tipo de uso que se da al edificio, día y hora del evento, entrenamiento del personal y correcto funcionamiento del sistema de alarmas.

El presente *Test de Evacuación* basado en *simulaciones computacionales* del movimiento de personas y multitudes está focalizado en el proceso de evacuación propiamente dicho descrito en la **etapa 2**.

Inputs

El *Test de Evacuación* requiere los siguientes *inputs*:

- Plano Actualizado con Obstáculos
- Plan de evacuación
- Ocupación para la cual se desea realizar el test

Outputs

El *Test de Evacuación* consiste en determinar la siguiente información que permite evaluar y caracterizar el sistema de seguridad montado respecto al proceso de evacuación:

- **Evacuation Index (UEI)**: Índice que mide la seguridad ante una evacuación teniendo en cuenta tiempos de evacuación individuales y las densidades o aglomeraciones por las que deben atravesar las personas.

Este índice está comprendido entre 0 y 10, escala en la que un índice **UEI = 0**, significa sistema muy inseguro (salidas cerradas por ejemplo). Cuanto mayor sea el índice mayor seguridad para evacuar el inmueble.

El índice sirve para validar si determinado edificio tiene un plan de evacuación que sirve o no sirve para el número de personas que se consideraran.

Por otra parte, el **UEI** tiene un valor referencial y resulta de gran utilidad para comparar distintas opciones entre sí, distintos locales de una misma organización o distintos locales de un mismo rubro o zona geográfica.

- **Bottlenecks**: Durante el proceso de evacuación existen situaciones de mayores amontonamientos en lugares específicos. Los amontonamientos de personas son de alta peligrosidad pues pueden provocar caída o bloqueos que po-

drían alterar drásticamente el tiempo de evacuación con trágicas consecuencias.

La finalidad de este diagnóstico es mostrar cuales son esas zonas para que en caso de que se desee mejorar el sistema se haga foco sobre ellas y la manera de visualizar esta información es a través de mapas de densidad.

- **Evacuation Times**: Se informa el tiempo de evacuación total o de salida de todas las personas del edificio según las simulaciones computacionales. Estas simulaciones además permiten conocer el tiempo de cada una de las personas simuladas, a partir de lo cual se pueden realizar histogramas con las distribuciones de estos tiempos individuales de salida. En el caso de que una planta tenga habitantes propios y en tránsito (gente que viene de otras plantas como por ejemplo en la planta baja) se hace la distinción entre estos dos grupos y se define "*tiempo de tránsito*" por la planta determinada, como el tiempo que tardó en atravesar dicha planta. Para las personas que estaban originalmente (desde que se inicia la evacuación) en la planta en cuestión el tiempo que tardan en salir se denomina "*tiempo de residencia*".

- **Capacity (UC)**: Es la ocupación máxima recomendada para que la evacuación sea eficiente y el riesgo moderado. En ningún caso debe ser entendido como una autorización a infringir las capacidades para las cuales los locales fueron legalmente habilitados.

- **Snapshots**: Se muestran fotografías del sistema en distintos instantes para tener una idea de la evolución de la multitud durante la evacuación.

- **Population**: Se grafica la evolución temporal del número de personas en una determinada planta. Este gráfico indica para cada instante de tiempo cuantas personas hay en esa planta.

Sistema de seguridad evaluado

1. Plano y Plan de evacuación: En la *Fig. 1* se muestra el plano de la *Planta Baja de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Pabellón III, Ciudad Universitaria*. Este es el sistema cuya evacuación se va a simular utilizando el software "*Smartcrowd - Evacuation*".



Figura 1: Plano y plan de evacuación "Situación 1" (con mostrador)

Viene de página 170

Si bien este edificio tiene otras plantas además de la planta baja, se analiza la planta baja que es donde se encuentran las únicas salidas del edificio consideradas y por lo tanto conforma el factor limitante en cuanto a la evacuación. La influencia de las plantas superiores es parametrizada con el caudal de personas que llega a Planta Baja por escaleras.

El plano mostrado en la Fig. 1 corresponde a la situación actual que denominaremos *Situación 1*.

Se desea, además, estudiar el impacto de la variación geométrica que resulta de quitar el mostrador de informes y recepción ubicado frente al acceso principal -se muestra en rojo en la Fig. 1-. Llamaremos al layout resultante *Situación 2* el cual se puede ver en la Fig. 2.

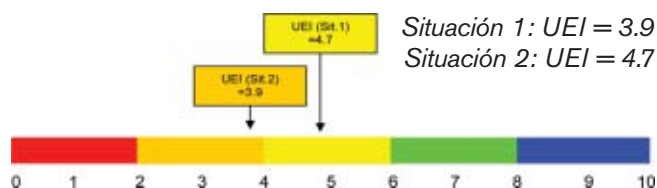


Figura 2: Plano y plan de evacuación "Situación 2" (sin mostrador)

2. Ocupación Inicial: Se desean testear las geometrías con el plan de evacuación actual para una ocupación de 16.400 personas distribuidas entre planta baja y las restantes plantas. Planta Baja tiene inicialmente 3.400 personas y por las escaleras llegan 13.000 personas más provenientes de los pisos restantes.

Resultados

1. Evacuation Index (UEI) Se hallaron los siguientes índices de evacuación UEI:



Se observa que para 16.400 personas, la evacuación tiene una performance regular. El caso en el que no está el escritorio de informes (*Situación 2*) resulta mejor, siendo esta mejora la que hace aumentar el UEI a una zona de aceptable mientras que la situación uno está en el límite de lo aceptable.

2. Bottlenecks: La Fig. 3 muestra la distribución de densidad en una grilla de 1m² integrada entre los 60 y 90 segundos del inicio de la evacuación, correspondiente al período de mayores aglomeraciones.

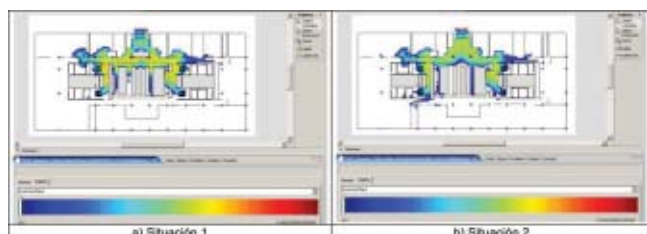


Figura 3: Densidad promediada entre los 60 y 90 seg. de la evacuación.

Puede apreciarse que la *Situación 2*, sin el mostrador obstaculizando la salida, genera densidades menores "aguas arriba" del mostrador en una amplia zona de pasillos, haciendo más riesgosa la evacuación en esa zona.

3. Evacuation Times: El tiempo de evacuación total en ambos casos es similar y de aproximadamente 20 minutos, debido a los caudales de llegada a la planta baja por escalera. Estos caudales son iguales en ambas situaciones y determinan el tiempo global de la evacuación.

Si se consideran los tiempos individuales se pueden construir los histogramas que se muestran en la Fig. 4 para las personas que estaban originalmente en la planta baja.

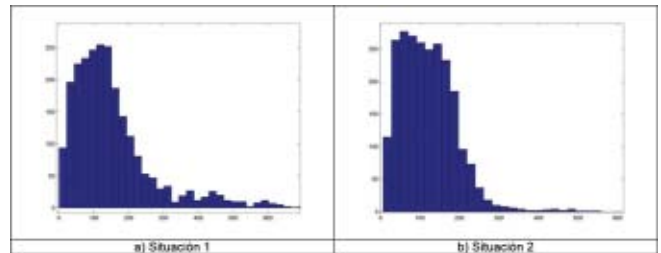


Figura 4: Histogramas de tiempo de residencia para personas que estaban originalmente en Planta Baja.

Análogamente, la Fig. 5 muestra los histogramas de tiempos de tránsito para las personas provenientes de las plantas restantes.

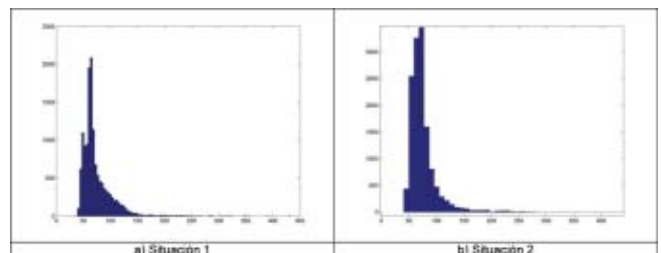


Figura 5: Histogramas de tiempo de tránsito para personas que provienen de plantas superiores.

En ambos casos puede observarse que la distribución presenta una cola mayor para la Situación 1 siendo este efecto más acentuado en la comparación de tiempos de residencia (Fig. 4).

4. Capacity (UC): Se hallaron los siguientes capacidades a partir de la cual el UEI > 5.

Situación 1: UC = 11000 personas

Situación 2: UC = 14000 personas

5. Urbix Snapshots: En las Fig. 6 y 7 se muestran dos instantáneas de la multitud simulada a los 80 segundos de comenzada la evacuación, correspondientes a las Situaciones 1 y 2 respectivamente. El instante de la imagen es en ambos casos aquel en el cual los amontonamientos de personas son mayores.

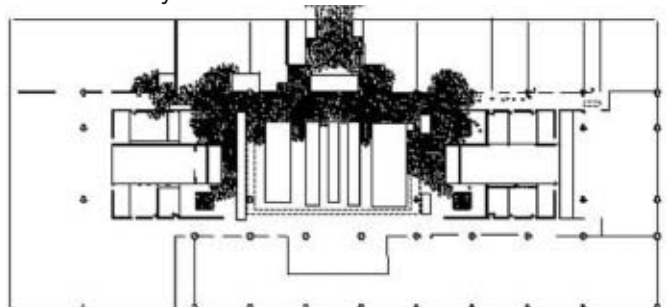


Figura 6: Visualización de la configuración del sistema a los 80 segundos de evacuación para la "Situación 1"

Viene de página 174

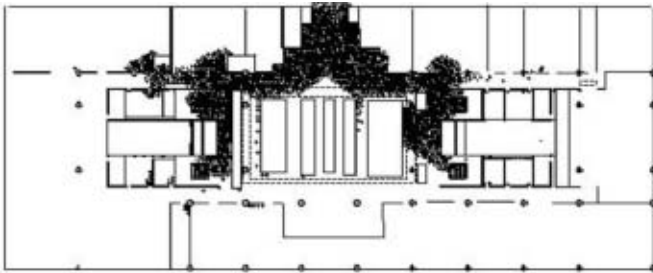


Figura 7: Visualización de la configuración del sistema a los 80 segundos de evacuación para la "Situación 2"

En las Fig. 8 y 9 se muestran dos instantáneas de la multitud simulada a los 800 segundos de comenzada la evacuación, correspondientes a las Situaciones 1 y 2 respectivamente. El instante elegido corresponde a tiempos grandes en el cual se alcanza un estado estacionario en la cantidad de gente que hay en la Planta Baja.

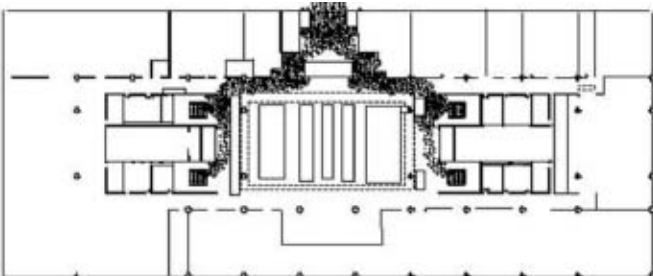


Figura 8: Visualización después de 800 segundos "Situación 1"

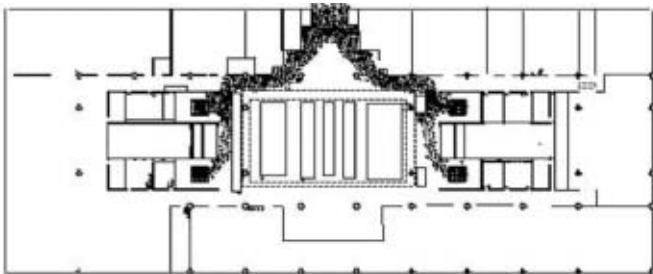


Figura 9: Visualización después de 800 segundos "Situación 2"

Se observa aquí como el obstáculo de la *Situación 1* genera aglomeraciones que podrían ser evitadas en su ausencia.

6. Population: La Fig. 10 muestra la evolución temporal del número de personas en la Planta Baja.

Se observa que la *Situación 1* tiene mayor número de personas debido a que el obstáculo cerca de la salida reduce el caudal en sus proximidades y por ende en la salida del edificio.

Otra consideración de importancia es que en la *Situación 1* el estado estacionario (cuando la población se estabiliza) se alcanza más allá de los 850 segundos mientras que en el caso de la *Situación 2* el estado estacionario se alcanza significativamente antes: a los 600 segundos aproximadamente.



Conclusiones

Se caracterizó el proceso de evacuación del inmueble haciendo foco en la Planta Baja del mismo, se determinaron tiempos de evacuación, zonas conflictivas o posibles cuellos de botella como así también el UEI.

También se evaluó y comparó el proceso de evacuación para dos variantes de layout, obteniendo los siguientes resultados:

- La variante propuesta en la Situación 2 es mejor que la Situación 1
- La Situación 1 *no es aceptable* con una ocupación de 16.400 personas.
- La Situación 2 *es regular* con una ocupación de 16.400 personas.

Disminuir la ocupación inicial es, en este caso, una forma de aumentar la performance del sistema ante una evacuación. Para que el UEI sea mayor a 5 (aceptable) se obtuvo:

- Situación 1: UC = 11.000 personas
- Situación 2: UC = 14.000 personas