

CONCIENCIA Y PREPARACIÓN ANTE EMERGENCIAS: SIMULACIÓN DE EVACUACIÓN EN LA UNIVERSIDAD EAFIT

Samuel Enrique Villada

Estudiante de Ingeniería Matemática
Universidad EAFIT
Carrera 49 N° 7 Sur - 50
Medellín, Antioquia, Colombia

Oscar Andres Diaz Gonzalez

Estudiante de Ingeniería Matemática
Universidad EAFIT
Carrera 49 N° 7 Sur - 50
Medellín, Antioquia, Colombia

ABSTRACT

La simulación de evacuación de escenarios catastróficos es de gran importancia para entidades educativas, con el enfoque de optimizar tiempos y estrategias para salidas y planes de emergencia. Este artículo presenta una modelación basada en agentes (ABM) de la evacuación de bloques (edificios) de la Universidad EAFIT, adecuando un modelo existente al reglamento actual de la universidad y teniendo en cuenta los aspectos físicos y característicos de los bloques de la institución educativa, con enfoques en modelos específicos de comportamiento en la comunidad. Los resultados de estas simulaciones prueban que el modelo presenta tiempos de salida cercanos a la realidad, resaltando ideas para mejorar los reglamentos universitarios de evacuación. Se espera que esta simulación permita a esta y/o a otras instituciones educativas revisar sus planes de evacuación y sus implicaciones en catástrofes de emergencia.

1 INTRODUCTION

Los edificios universitarios son frecuentados diariamente por cientos de personas, quienes pueden verse en riesgo debido a emergencias inesperadas, como sismos, terremotos o inundaciones, que amenazan su seguridad. Estas situaciones pueden afectar a cualquier comunidad en cualquier momento, como lo demostró recientemente la DANA en Valencia, España, que causó graves pérdidas humanas y miles de damnificados.

Investigaciones recientes han explorado estrategias de evacuación en instituciones educativas, resaltando la importancia de rutas alternativas ante posibles bloqueos. Rendón et al. (2019) estudiaron los planes de evacuación en una universidad en Barranquilla, Colombia. Liu et al. (2016), por su parte, desarrollaron un modelo de evacuación para un aula en China. A partir de lo investigado anteriormente, esta investigación se interesa en validar el protocolo de evacuación actual de la Universidad en un edificio (bloque) en particular, buscando modelar este bloque a una escala 2D y realizando varios escenarios posibles de evacuación.

Esta simulación busca que los resultados sean tomados en cuenta para alertar a los organismos pertinentes de evacuación en la universidad, con el fin de conocer, mediante una simulación que se asemeje a la realidad, qué pasaría si las instalaciones universitarias fueran afectadas por una emergencia. El objetivo principal es mostrar a la organización EAFIT y a sus allegados cómo una catástrofe natural e impredecible puede afectar la integridad de la comunidad universitaria.

El trabajo de esta investigación se ha plasmado en este artículo en orden de secciones. Tras la introducción, se presenta una revisión de investigaciones previas que sirven de base para el análisis. A continuación, se describe el modelamiento conceptual utilizando el protocolo ODD, seguido de una explicación detallada de los datos de entrada y de la implementación en la plataforma de simulación. Posteriormente, se expone el análisis del modelo y los resultados de la experimentación en diversos escenarios de evacuación. Finalmente, el artículo concluye con recomendaciones para mejorar el protocolo de evacuación en la Universidad EAFIT y resalta los hallazgos clave de esta investigación.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

Como bien se mencionó anteriormente, el objetivo de esta investigación está enfocado en mostrar los diferentes escenarios a los cuales la universidad se puede enfrentar al momento de un sismo y poder verificar la eficacia del sistema de evacuación establecido por la misma. Es, por tanto, importante conocer los diferentes enfoques que le han dado otras investigaciones en esta misma área; este sería principalmente el de la investigación realizada por Rendón et al. (2019), quienes abordaron, de manera similar, la necesidad de mejorar los planes de evacuación en caso de que alguna de las vías propuestas se encontrara bloqueada en una universidad de Barranquilla (Colombia). Asimismo, Liu et al. (2016) propusieron un modelo de evacuación para un salón de clases modelo en China, el cual fue usado como referencia para modelar el comportamiento de los estudiantes al momento de evacuar el edificio.

Usando dichos artículos como referencia para los propósitos del modelo, consideramos que era necesario realizar una investigación más profunda en este tema para poder ser de verdadera utilidad a la universidad EAFIT y que pueda usar esta investigación para reafirmar o (en caso de necesitarse) modificar los protocolos de evacuación establecidos previamente y así lograr un mayor grado de seguridad para todos los usuarios de la universidad en caso de presentarse un sismo.

3 MODELAMIENTO CONCEPTUAL: PROTOCOLO ODD

3.1 Generalidades

El propósito de este modelo es mostrar cómo un desastre natural puede afectar a la comunidad universitaria para poder desarrollar medidas de implementación que prevengan la mayor cantidad de daños posibles a los usuarios que se encuentren dentro de la institución en dicho momento. Las entidades que se modelaron fueron estudiantes con y sin discapacidades de movilidad y profesores de la universidad. Las variables de estado del modelo serían: el número total de estudiantes, el porcentaje de estudiantes que han visto un curso de evacuación y el porcentaje de estudiantes con discapacidades de movilidad. Para tener un modelo a escala en cuanto a distancias y tiempos que se acomodaran lo mejor posible a la realidad de los edificios de la universidad, se tomó que cada casilla del *grid* tuviera una medida de 9 m² y cada *tick* representara 0,36 segundos.

3.2 Conceptos de diseño

El modelo representa uno de los bloques de la universidad EAFIT, el cual cuenta con dos pisos y tres salones en cada uno de ellos. Los pisos están unidos por unas escaleras, a través de las cuales deben pasar los individuos que quieran evacuar y se encuentren en el segundo piso. Dicho esto, el modelo es bastante flexible al momento de adaptarlo para modelar otro bloque o espacio de la universidad con más salones o pisos, lo cual facilita lograr el objetivo de mostrar los diferentes escenarios a los cuales se puede enfrentar la universidad en caso de sismo en cualquiera de los espacios de la misma.

Asimismo, el modelo también cuenta con cierto grado de estocasticidad, el cual ayuda en gran medida a simular el comportamiento estocástico de los estudiantes y profesores al momento de evacuar y las interacciones entre ellos y su entorno. Además, el modelo muestra el comportamiento tanto individual como colectivo al momento de evacuar, evidenciando las conductas de los grupos en estas situaciones.

3.3 Representación conceptual del proceso usando un diagrama de proceso

Se presentan los diagramas de flujo pensados en las Figuras 1, 2 y 3.

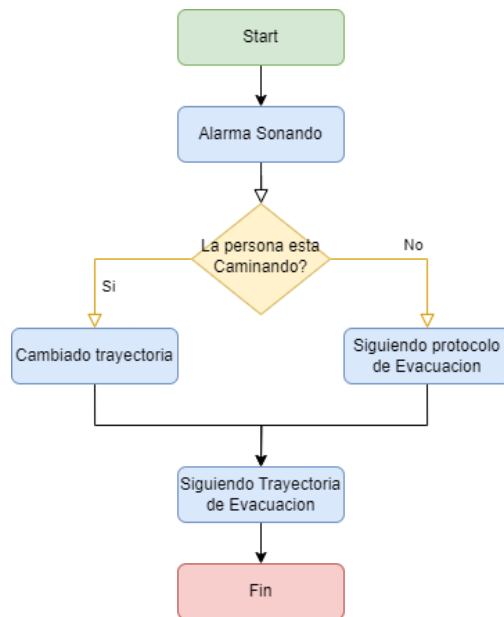


Figure 1: Función Principal

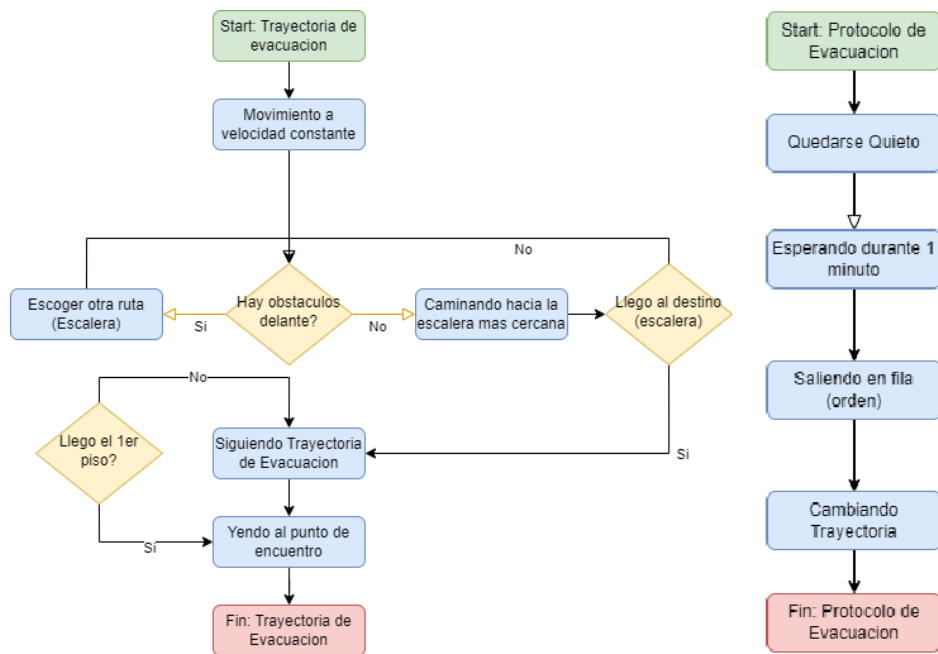


Figure 2: Funciones Alternas

3.4 Detalles

Para la inicialización del modelo, se crea el espacio físico como bien se mencionó al inicio de la Sección 3.2. Luego, se miden las distancias de evacuación que permiten establecer la mejor ruta que los individuos deben

tomar para evacuar en el menor tiempo posible; finalmente, se crean las tortugas, las cuales representan a los individuos que van a evacuar y se ubican en los espacios correspondientes.

En cuanto a los datos de entrada (véase la Figura 3), se deben ingresar el número de estudiantes que se deseen incluir en la simulación, el porcentaje de estudiantes que se deseen simular que hayan tomado algún curso de evacuación y el porcentaje de estudiantes que se deseen simular que tengan alguna discapacidad de movilidad. Finalmente, es importante aclarar que el modelo no cuenta con ningún tipo de submodelo, ya que se prefirió tener un modelo simple pero fácil de adaptar a cualquier espacio de la universidad para poder cumplir con mayor efectividad nuestro objetivo.

4 IMPLEMENTACIÓN EN PLATAFORMA DE SIMULACIÓN

El modelo conceptual descrito fue implementado utilizando la plataforma NetLogo, un entorno especializado para simulaciones orientadas a agentes (Agent-Based Modeling, ABM). La implementación traduce las generalidades, conceptos de diseño y detalles del modelo conceptual (desarrolladas en el ODD) a un sistema computacional que permite simular escenarios de evacuación en uno de los bloques de la Universidad EAFIT.

4.1 Representación del Espacio Físico

El entorno simulado se diseñó como un grid de patches donde cada casilla representa un área de $9m^2$, de acuerdo con las especificaciones anteriormente mencionadas. Los patches se configuraron para representar elementos clave del espacio (véase la Figura 3), tales como:



Figure 3: Representacion Fisica del Bloque en la plataforma Netlogo

```
8 turtles-own [  
9   myteammateID  
10  category  
11  speed  
12  current-speed  
13  travelled-distance  
14  canJumpOverObstacles  
15  willDie  
16  isPanicked  
17  
18  first-criterion  
19  second-criterion  
20 ]
```

Figure 4: Variables de los Agentes

- **Puertas de evacuación:** Puntos finales que determinan el éxito de la evacuación de un individuo.
- **Zona de escaleras:** Conexiones entre los dos pisos del edificio, utilizadas por los agentes ubicados en el segundo piso para evacuar exitosamente.
- **Obstáculos:** Barreras que simulan elementos estructurales o temporales, afectando la movilidad de los agentes.
- **Pisos transitables:** Áreas específicas que permiten el movimiento libre de los agentes.

4.2 Agentes y Variables de Estado

Los agentes (turtles en NetLogo) representan a los estudiantes y profesores, con características diferenciadas según el rol y las condiciones asignadas (véase la Figura 5). Las variables de estado incluyen:

- **Velocidad de movimiento:** Diferenciada para estudiantes con y sin discapacidades de movilidad.
- **Nivel de conocimiento de evacuación:** Los agentes que han tomado un curso de evacuación tienen mayor capacidad para encontrar rutas óptimas y evacuar eficientemente.
- **Pánico:** Una variable que se activa cuando los agentes recorren largas distancias o enfrentan barreras constantes, incorporando un componente de realismo en el modelo.

4.3 Comportamiento e Interacciones

El comportamiento de los agentes se rige por un conjunto de reglas que simulan una “realidad” en su reacción frente a la emergencia:

1. **Decisiones de movimiento:** Los agentes evalúan las energías de los patches vecinos para seleccionar la ruta más adecuada hacia la salida. Esta energía puede estar influenciada por factores como la presencia de obstáculos o zonas de alta congestión.
2. **Colaboración:** Estudiantes sin discapacidades pueden identificar a compañeros con movilidad reducida y ajustar su velocidad para ayudarlos a evacuar.
3. **Influencia de profesores:** Los profesores actúan como agentes inspiradores, reduciendo el nivel de pánico y mejorando la eficiencia del movimiento de los estudiantes cercanos. Basándonos en el protocolo de evacuación de la universidad, estos colaboradores son quienes guían a los estudiantes en estos casos.

4.4 Estocasticidad y Dinámica del Modelo:

La implementación incluye elementos estocásticos para reflejar la naturaleza impredecible de una evacuación en condiciones reales. Por ejemplo:

- **Distribución inicial de agentes:** Los estudiantes y profesores se ubican aleatoriamente en los salones del bloque.
- **Variabilidad en las decisiones de movimiento:** La selección de rutas incluye un grado de aleatoriedad para modelar la variabilidad en las reacciones humanas, reducida si los agentes han tomado un curso de evacuación previamente.

4.5 Medición de Resultados

Durante la simulación, se registran datos clave, como las distancias recorridas y los tiempos de evacuación, los cuales son almacenados para su análisis posterior. Estos resultados se utilizan para calcular métricas como:

- **Distancia promedio de evacuación:** Basada en la medición de los patches, se estima la distancia real que recorren los estudiantes en el bloque simulado.
- **Duración promedio de evacuación:** Registrada en ticks de NetLogo, donde cada tick representa 0,36 segundos, según el supuesto previamente establecido.
- **Cantidad de evacuados exitosamente:** Visualizada mediante un gráfico que refleja el flujo, dentro del modelo, de estudiantes durante la simulación.

4.6 Flexibilidad y Adaptabilidad

El modelo fue diseñado para ser flexible, permitiendo ajustar parámetros como el número de estudiantes, el porcentaje de estudiantes con discapacidades y la distribución de obstáculos. Esto facilita su adaptación para evaluar diferentes escenarios y su aplicación en otros bloques de la universidad.

***Nota:** Vale la pena aclarar que, en este artículo, solo se han evaluado simulaciones sin tener en consideración los obstáculos y su impacto en la evacuación. Aunque estos elementos están implementados en el modelo, los resultados presentados se centran en el impacto de los parámetros de cursos de evacuación y discapacidades.*

5 ANÁLISIS DEL MODELO Y EXPERIMENTACIÓN

Para obtener los resultados de este estudio, se llevaron a cabo simulaciones en las que se variaron distintos parámetros con el objetivo de simular diversas configuraciones de evacuación y aproximarse a escenarios "reales" en situaciones de emergencia.

Los parámetros evaluados fueron el nivel de capacitación en cursos de evacuación y el porcentaje de estudiantes con discapacidades. Al ajustar estos parámetros, se observaron variaciones en los tiempos de evacuación, lo que proporcionó una representación que se aproxima a situaciones reales.

Las configuraciones exploradas fueron las siguientes:

1. Constante porcentaje de personas con discapacidades al 0%: Se varió el nivel de capacitación en cursos de evacuación entre el 0%, 50% y 75%
2. Constante capacitación en cursos de evacuación al 0% :Se varió el porcentaje de estudiantes con discapacidades entre el 5%, 10% y 15%
3. Constante capacitación en cursos de evacuación al 50%: Se varió el porcentaje de estudiantes con discapacidades entre el 5%, 10% y 15%.
4. Constante capacitación en cursos de evacuación al 75%: Se varió el porcentaje de estudiantes con discapacidades entre el 5%, 10% y 15%

5.1 Obtención de los resultados

La primera de estas configuraciones se utilizó como la simulación principal de estudio, modelando los resultados en un escenario "ideal" sin personas discapacitadas. En este caso, se analiza únicamente el impacto del nivel de concientización y capacitación en evacuación, proporcionando un punto de referencia para evaluar cómo este factor influye en los tiempos de evacuación en condiciones óptimas. Luego las configuraciones posteriores (2, 3 y 4) se tomaron en cuenta como escenarios de experimentación, los cuales nos permiten observar datos interesantes acerca de nuestro modelo.

Los resultados de cada configuración son presentados en las siguientes tablas (Figuras 5, 6, 7, 8) mostrando como valores de interés el tiempo promedio de evacuación en cada una de ellas, la cantidad de datos tipo error aceptados tomados, así como la media de los mismos. En cada paquete de simulación se realizaron 85 simulaciones buscando una aproximación de la realidad.

Nota: Con este error aceptado nos referimos a la cantidad de valores que fueron encontrados en un rango excedido fuera de la media de tiempos de evacuación promedio en cada configuración.

Valores	% estudiantes		
Discapacitados	0%	0%	0%
Curso Evacuacion	0%	50%	75%
Media Resultados	120.3	118.2	116.1
[Error Aceptado]	0	0	2
Media Error Aceptado	0.0	0.0	296.0

Figure 5: Configuración 1

Valores	% estudiantes		
Discapacitados	5%	10%	15%
Curso Evacuacion	0%	0%	0%
Media Resultados	271.9	371.7	467.0
[Error Aceptado]	7	14	11
Media Error Aceptado	676.4	777.4	794.4

Figure 6: Configuración 2

Valores	% estudiantes		
Discapacitados	5%	10%	15%
Curso Evacuacion	50%	50%	50%
Media Resultados	265.4	346.9	424.8
[Error Aceptado]	7	18	12
Media Error Aceptado	689.1	695.2	780.4

Figure 7: Configuración 3

Valores	% estudiantes		
Discapacitados	5%	10%	15%
Curso Evacuacion	75%	75%	75%
Media Resultados	271.0	342.4	381.0
[Error Aceptado]	11	16	10
Media Error Aceptado	779.0	736.4	750.6

Figure 8: Configuración 4

5.2 Análisis de sensibilidad e incertidumbre

A partir de la recolección de datos, se identificó la sensibilidad del modelo y su susceptibilidad a fallas o errores a lo largo de las simulaciones. Por ello, se consideraron ciertos errores aceptables: valores de tiempo de simulación inesperados, pero dentro de un rango "posible".

Sin embargo, como se explicó en la sección del código, el modelo se detiene automáticamente después de 1000 ticks (360 segundos), lo cual ocurrió en varias ocasiones durante la obtención de resultados, más aproximadamente en una proporción de estos errores (por detención automática) frente a los errores aceptados fue de 85 por cada 100 errores aceptados, observándose principalmente en simulaciones con altos porcentajes de estudiantes discapacitados (configuraciones 2, 3 y 4).

Este análisis sugiere que el modelo es particularmente sensible a la variación en el porcentaje de personas discapacitadas, ya que en estas configuraciones se encontraron la mayoría de los valores atípicos o fallos. En cambio, en la configuración 1, donde el porcentaje de estudiantes discapacitados se mantuvo en 0%, no se presentaron este tipo de errores.

6 EXPERIMENTACIÓN

6.1 Interpretación con la realidad

Tomando en cuenta la simulación principal se registró un tiempo promedio de evacuación de 116 a 120 ticks, que equivalen a aproximadamente 45 segundos para la evacuación en estos casos, donde solo se tuvo en cuenta la mejoría de los tiempos con los cursos de evacuación.

Las tablas anteriores resumen el impacto de la variación de parámetros en los tiempos de evacuación. En particular, podemos observar cómo la capacitación, representada por el nivel de cursos de evacuación previos, influye en los estudiantes. Al comparar las configuraciones 2, 3 y 4, se evidencia que, aunque el porcentaje de estudiantes discapacitados varíe y los tiempos de evacuación tiendan a incrementarse, una mayor capacitación resulta en tiempos de evacuación menores. Este comportamiento es coherente con lo que se esperaría en escenarios reales de emergencia.

Por último, como se dijo anteriormente, el modelo se realizó pensando en más configuraciones, tomando en cuenta la apertura de las puertas, el obstaculamiento provocado por la evacuación. Parámetros que se pueden tener en cuenta si se quiere formular estudios diferentes a nuestro enfoque principal, por tanto queda para futuras investigaciones si se quiere abundar en la manipulación de estos parámetros.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Nuestra conclusión principal es que se puede observar que en la simulación principal arroja datos estrechamente relacionados con la realidad, tomando en cuenta las limitaciones físicas del recinto y/o bloque en específico que se modeló, así como apreciando los estudios anteriormente trabajados (en la sección 2) donde se requerían tiempos de evacuación inferiores a los 3 minutos para edificios con mayor número de plantas.
2. Pensamos que este modelo funciona también para que el lector y/o ente universitario no solamente le interese modelar sus edificios y tiempos de evacuación de los mismos, sino también a la hora de tomar decisiones acerca de cómo es mejor distribuir a los estudiantes a lo largo de los salones, tomando en cuenta la sensibilidad que presentó el parámetro de discapacidad. Se invita a quien le interese aplicar este modelo, que partiendo de este impacto tome adecuadas decisiones en la realidad.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Liu, R., D. Jiang, and L. Shi. 2016. "Agent-based simulation of alternative classroom evacuation scenarios". *Frontiers of Architectural Research* 5:111-125.

Rendón, R., J. Arellana, A. Santander, and M. Jubiz. 2019. "Modelling building emergency evacuation plans considering the dynamic behaviour of pedestrians using agent-based simulation". *Safety Science* 113:276-284