

Aplicación de un estudio de simulación para la definición de políticas de evacuación

Alejo Cuello, Fabrizio Gilio, Camila Vives, y Guillermo Leale

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información
Zeballos 1341, S2000 Rosario, Santa Fe, Argentina
alejocuello.w@gmail.com, fabriziogilio@gmail.com, camvives@gmail.com,
gleale@frro.utn.edu.ar

Resumen La necesidad de las instituciones de evaluar políticas de seguridad y planes de evacuación precisa frecuentemente de simulaciones de evacuaciones, las cuales requieren recursos económicos, personal y tiempo. Este trabajo tiene como objetivo presentar un análisis acerca de la implementación de la simulación basada en agentes como herramienta para elaborar planes de acción efectivos, a través de la evaluación de la disponibilidad total o parcial de las salidas de emergencia, permitiendo además la comparación de resultados. Aplicaremos dicha metodología tomando como caso de estudio la modelización del estadio Luna Park, ubicado en Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Palabras Clave: Simulación · Simulacro · Evacuación · Plan de acción · AnyLogic

1. Introducción

En los espacios amplios públicos y privados, el hacer simulacros de evacuación periódicos es algo no solamente recomendable, sino también muy necesario. Los simulacros son imprescindibles para comprobar que las instalaciones y los recursos de las empresas son los adecuados en casos de emergencia, y que todo el personal está informado acerca del procedimiento que deben seguir en estos casos. Realizar simulaciones de evacuación en empresas e instituciones permitirá elaborar planes a seguir, para luego comprobar su eficacia en los simulacros mencionados, identificando además aspectos que deben cambiarse o mejorarse.

Es fundamental que cualquier establecimiento cuente con un plan de prevención de riesgos, y que éste a su vez cuente con una serie de pasos a seguir ante una situación de emergencia. El problema se encuentra en que muchas veces, incurrir en la preparación, ejecución y evaluación del plan cada cierto período de tiempo, es costoso. En consecuencia, muchas instituciones optan por no hacerlo, asumiendo los riesgos que esto conlleva.

En nuestro trabajo, proponemos una nueva alternativa que implica el ahorro de tiempo, personal y costos adicionales para las organizaciones, a través del

planteo de distintos escenarios en los cuales existen una o más puertas de emergencia deshabilitadas. En algunos casos la inhabilitación de las salidas puede ser producto de bloqueos causados por el mismo incidente, como por ejemplo el caso de incendios, siendo así imposibles de prevenir. Sin embargo, en otros casos tales como la denominada “Tragedia de Cromañón” [1,2], esta condición se da debido a que las salidas no cumplen con ciertas normas establecidas para facilitar su apertura, o se encuentran cerradas por disposición del personal o por objetos mal ubicados delante de ellas.

El objetivo general de este trabajo es, entonces, exponer el impacto del uso de la simulación como herramienta de apoyo en la definición y mejora de políticas de seguridad para el beneficio de la sociedad en espacios públicos y privados. De esta manera, proponemos la consideración de ciertos parámetros para realizar la simulación, y exponer las ventajas que presenta este método en comparación a los procedimientos utilizados actualmente. Finalmente, exhibiremos la comparación de los resultados de la implementación de distintas políticas de habilitación de salidas, mediante el desarrollo de un caso de estudio particular.

1.1. Marco Teórico

Aclaraciones pertinentes. En la Sección 1.1 utilizaremos el término simulación presencial para referirnos a la simulación definida por la Organización Panamericana de la Salud [3], el cual se refiere a la misma como la recreación de una situación hipotética de desastre frente al cual los participantes deberán tomar decisiones basadas en la información que reciben durante el ejercicio.

En el resto del documento, la palabra simulación refiere al estudio de simulación realizado con la herramienta computacional Anylogic, la cual ha sido utilizada para para modelizar y representar los distintos escenarios.

Plan de evacuación. Un plan de evacuación consiste en un documento que detalla la serie de pasos a seguir y las medidas a ejecutar en caso de que se manifieste un peligro en una instalación edilicia determinada. Estos riesgos pueden ser incendios, inundaciones, derrumbes u otros. En ocasiones, se elaboran planes de emergencia alternativos que responden a la variabilidad de los peligros inminentes. En dicho documento se describe qué comportamientos debe adoptar el personal, dónde están localizados los espacios seguros y cuáles son los caminos que se deben seguir para acceder a ellos. Como se mencionó anteriormente, es importante que las instituciones definan distintos planes de evacuación como alternativas, debido a que generalmente existe una gran variedad de contratiempos con distintas probabilidades de ocurrencia. Asimismo, el plan de acción conjunta debe detallar la ubicación exacta de los equipos de control de emergencias, tales como extintores, máscaras y martillos rompe cristales, entre otros.

Es fundamental que este manual esté a disposición del equipo directivo, los empleados y de las personas que visiten el espacio. Cada cierto período de tiempo, se realizará un simulacro para comprobar la efectividad de la evacuación. Por lo tanto, la finalidad del plan de evacuación será reducir al mínimo las posibles consecuencias que pudieran derivarse de una situación de riesgo.

Procedimientos actuales. Según una publicación realizada por la Organización Panamericana de la Salud [3], actualmente las herramientas más utilizadas para evaluar y poner a prueba los planes de evacuación son los ejercicios de simulaciones presenciales y los simulacros.

Los ejercicios de simulación se realizan como un juego de roles dentro de uno o más ambientes controlados, donde los participantes deben tomar decisiones basadas en la información que se les brinda sobre el contexto, los protocolos y la estrategia propuesta. Una simulación se desarrolla a partir de un guión que describe detalladamente los eventos que sucederían cronológicamente en una situación real. Este guión es dado a conocer a los participantes, los cuales deben cumplir con las acciones que se les asignan. Al mismo tiempo, existen grupos de evaluadores que toman nota tanto de las acciones seguidas como del desarrollo de la situación.

A diferencia de lo anterior, en un simulacro los participantes se enfrentan a la activación de un escenario planteado tal como si estuviera ocurriendo, en tiempo real. El grupo de emergencia en este caso debe tomar decisiones, movilizarse y actuar de la misma forma que lo haría si se encuentra en esa situación, siguiendo los protocolos y procedimientos establecidos para tal fin.

Es conveniente que antes de realizar un simulacro se desarrollen simulaciones, para así lograr un mejor desempeño en el proceso de toma de decisiones, en la delegación eficiente de funciones y en el seguimiento de tareas. [4]

Una vez ejecutados los ejercicios necesarios, se analizan las métricas obtenidas de forma que se puedan comparar los distintos escenarios planteados. A partir de esto, se elige el más adecuado para cada ambiente y cada situación, y con esa información es generado el plan de evacuación óptimo.

1.2. Estado del arte

Luego de consultar otros artículos referidos a aplicaciones de simulaciones para evacuaciones, notamos que estos hacen hincapié sobre diferentes aspectos. Algunos se enfocan principalmente en el efecto del fenómeno colectivo [5], dándole mayor importancia al aspecto psicológico, que, cabe destacar, no es un aspecto de poca importancia. Mientras que otros ensayos han hecho principal foco en cuestiones físicas de las personas [6], tales como la aceleración o desaceleración, fuerzas de rechazo o fricción con otros individuos. En otros estudios, se emplea un sistema multi-agente y reglas simples de interacción para guías y sus seguidores [7], combinando simulación numérica, que mide el tiempo de evacuación de los planes y un algoritmo genético (AG) para hallar el plan de evacuación óptimo. De esta forma, se evalúa la implementación de diferentes cantidades de guías y sus posiciones iniciales y asignaciones de salida para minimizar el tiempo de la evacuación de multitudes en una sola optimización. Por otro lado, ciertas investigaciones analizan, a través de procesos simulados, el diseño del espacio físico al que concurre un gran número de personas [8]. De esta forma es posible evidenciar que según cómo esté construido un espacio, se verán influenciados los tiempos de evacuación de un modelo por sobre otro. En cuanto a esto último, también se ha propuesto el desarrollo de un modelo de simulación para encontrar

el mejor diseño de área que facilite la evacuación teniendo en cuenta las medidas de seguridad, a través de la elección de la mejor posición de la puerta de salida dentro de una serie de lugares sugeridos. [9]

En general, ninguno de estos trabajos considera alternativas que difieran en la cantidad de salidas disponibles para una multitud en una instalación edilicia con sus puertas de emergencia ya establecidas. Para estudiar este escenario, en nuestro trabajo hemos utilizado un enfoque más bien macro-orientado, donde las personas adquieren un comportamiento grupal con cierto grado de aleatoriedad individual. Los individuos difieren de otros únicamente en los valores otorgados en parámetros como la velocidad. Es apropiado aclarar que, a partir del software aplicado en nuestro trabajo, también existiría la posibilidad de incluir aspectos del enfoque micro-orientado, con lo cual se podría otorgar un mayor grado de realismo a los resultados obtenidos.

Nuestro trabajo incluye un modelado 2D que permite observar todo el proceso de evacuación, dando una perspectiva simple a los interesados del negocio para que puedan tomar decisiones mediante este modelo y los resultados obtenidos. El estudio se basa en una simulación basada en agentes, donde cada uno de ellos representa un espectador que asiste al estadio. Para la obtención de parámetros utilizamos un enfoque teórico, elegido por sobre otras opciones como el enfoque empírico, en el cual se utilizan vídeos para poder observar los parámetros [6], o el experimental, es decir, simulaciones reales.

2. Método

Con este trabajo proponemos la implementación de una simulación desarrollada mediante el software Anylogic [10], utilizando la librería Pedestrian Library, embebida dentro del mismo. Dicho programa nos permitió crear un modelo en 2D del estadio Luna Park –ubicado en Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina– teniendo en cuenta las dimensiones físicas del espacio. Además, nos permitió incluir fórmulas matemáticas que describen el comportamiento de las personas dentro de las ejecuciones del modelo, ajustando parámetros como su velocidad en ciertos sectores. Es importante aclarar que estos valores no son estáticos, sino que son aleatorios dentro de un rango estudiado, siguiendo una distribución de probabilidad específica.

Para poder realizar este tipo de simulaciones, es necesario en primer lugar llevar a cabo un estudio en profundidad de los espacios físicos y del tipo de población que asiste al lugar. De este último se debe considerar en especial, su rango etario, dado que los parámetros en una evacuación no serán los mismos en caso de que los concurrentes sean niños, jóvenes, adultos o adultos mayores.

La medición y conocimiento de las variables en el contexto físico o real de cada caso de estudio particular es importante, ya que contar con la certeza de estos datos proporcionará resultados más precisos en la simulación.

Entre las ventajas que proporciona este método podemos mencionar las siguientes:

- Reducción de tiempos de ejecución en comparación con simulaciones presenciales.
- Reducción de costos.
- Reducción de personal y voluntarios necesarios.
- Reducción de tiempo de análisis de diferentes políticas.
- Facilidad de creación de diferentes escenarios (no requiere desplazamientos físicos de objetos, por ejemplo).
- Facilidad para capturar y comparar resultados de distintas alternativas.
- Los parámetros pueden reutilizarse en distintos casos de estudio.
- Teniendo en cuenta el contexto epidemiológico actual debido a la pandemia ocasionada por el virus COVID-19, se evita el inconveniente de reunir a un gran número de personas en un mismo espacio físico para llevar a cabo simulaciones presenciales.

Por otra parte, las desventajas consisten en que:

- Requiere un mayor tiempo de planificación para codificar y modelar correctamente el caso de estudio.
- Se necesitan conocimientos estadísticos para la interpretación de resultados.

2.1. Caso de estudio

Descripción del ambiente. El Luna Park [11] es un estadio cubierto, inaugurado en marzo de 1932 y ubicado en Buenos Aires, donde se realizan actividades religiosas, políticas, sociales, artísticas y deportivas. Este edificio tiene una dimensión de $7000 m^2$ y una capacidad total de 9290 espectadores.

Este estadio cuenta con 15 salidas de emergencia ubicadas en posiciones estratégicas para que los espectadores de todos los sectores las encuentren rápidamente. Además, todas estas salidas están debidamente señalizadas, indicando el camino más corto según el plan de evacuación definido. Es necesario aclarar que esta institución no tiene una distribución estática de sus elementos (layout), sino que la ubicación de las butacas y la definición de los sectores puede variar de acuerdo al evento que se realice.

Para este estudio se utilizó una de las distribuciones más comunes, que consiste en un sector central que contiene tanto a las plateas VIP, preferencial y elevada, como a las plateas laterales, ubicadas en diagonal al escenario. A los costados del estadio están situadas las butacas de la cabecera y detrás de ellas se encuentran los pullman laterales. Finalmente, se tiene un sector pullman central orientado de frente al escenario, detrás de las plateas y elevado en altura en forma de gradas. Esta descripción puede visualizarse en la Figura 1.



Figura 1. Plano de distribución de butacas

Parámetros de diseño Para interpretar a los espectadores, se creó un tipo de agente llamado *Pedestrian*, el cual cuenta con una velocidad correspondiente a una distribución triangular con un mínimo de 4km/h, un máximo de 6km/h, y una moda de 5km/h. El radio de ocupación del espacio de los agentes *Pedestrian* fue definido con un valor de 0.75 metros, valor pertinente a la medida promedio del paso de una persona.

Además, la velocidad de las personas varía de acuerdo al lugar del estadio en el que se encuentre. En el sector Super Pullman, la velocidad se ve afectada en un factor de 0.15 respecto a la predeterminada, teniendo en cuenta la velocidad promedio de subida y bajada de escaleras de una persona (aproximadamente 0.76 km/h). En los Pullman Laterales y Cabeceras, se ve afectada en un factor 0.5, debido a que los escalones son más bajos y amplios.

Las salidas fueron representadas por un conjunto de puntos de servicio, los cuales son “tomados” individualmente por cada espectador que sale del predio. El modelo de simulación está definido de tal forma que, al momento de abandonar el estadio los pedestrians no forman una fila lineal, sino que se aglomeran en una zona cercana a ella. De esta forma, la cantidad de puntos de servicio por salida, es proporcional al ancho de las mismas, teniendo aproximadamente un servicio por metro.

Descripción de escenarios. Para realizar las distintas corridas de la simulación y poder analizar los resultados que nos permitan elaborar conclusiones, se tuvieron en cuenta dos escenarios distintos. Si bien la distribución de los sectores es la misma, lo que cambia es la cantidad de salidas de emergencia habilitadas.

En el primer escenario (A), todas las salidas están habilitadas y los espectadores tienen la posibilidad de elegir entre las salidas más cercanas a sus sectores, siguiendo el plan de evacuación previsto.

En el segundo escenario (B) propusimos un caso hipotético, donde para un determinado show, la producción del mismo solicita que el escenario sea exten-

dido para mayor comodidad de sus artistas. A partir de esto, las 2 salidas a los costados del Backstage quedan bloqueadas debido a un cambio en la estructura necesaria. Además, se requiere que las consolas de sonido se ubiquen frente a la puerta de la salida para la platea que está sobre el SuperPullman, quedando así inhabilitada. Las indicación de las salidas de emergencia cerradas en este caso se puede apreciar en la Figura 2, marcadas con un rectángulo de color rojo.

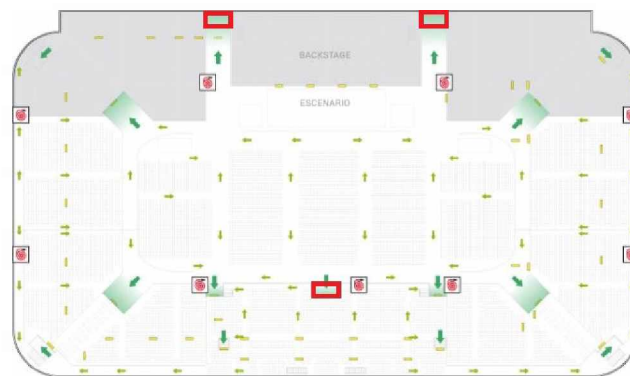


Figura 2. Salidas cerradas en el escenario B

Consideramos que las puertas están señalizadas e iluminadas para que las personas las identifiquen rápidamente, aún cuando éstas no estén habilitadas. Por lo cual, en el segundo escenario, algunas personas se dirigirán a las salidas inhabilitadas. A pesar de esto, algunas de estas personas luego de cierto tiempo entenderán que no es posible abrir esas puertas y buscarán otras alternativas posibles.

La diferenciación de estos escenarios nos permitirá analizar las desventajas de no contar con dichas salidas en una situación de evacuación real, dejando en evidencia el impacto generado por la falta de aplicación de las medidas de emergencia necesarias, que puede traducirse en un mayor riesgo para la vida de los concurrentes. Estas situaciones desfavorables se han manifestado en reiteradas ocasiones a lo largo de la historia, siendo una de ellas la antes mencionada "Tragedia de Cromañón" [1,2], la cuál es de gran relevancia para nuestro país. De esta forma y mediante este estudio quedarán demostradas estas diferencias desde un punto de vista cuantitativo, a partir de la medición de la cantidad de personas que han podido ser evacuadas, junto con su contrapuesto, la cantidad de personas que permanecen dentro del estadio durante la ejecución del plan de acción.

2.2. Medidas de rendimiento

Para poder realizar el análisis y la comparación de distintos escenarios de simulación, es necesario en primer lugar definir ciertas métricas que alojen los valores de las distintas corridas. Llamamos *corrida* a una ejecución de simulación que comprende desde el proceso de ubicación de los actores en sus lugares, pasando por la evacuación, hasta el momento en el que el 90 % (es decir, 5427 personas) ha salido del estadio. Asumimos que el estadio está lleno en su totalidad.

A partir del modelo en estudio, se definieron dos medidas de rendimiento, siendo estas:

- **Tiempo transcurrido hasta que se evacua al 90 % del público:**

Este porcentaje está relacionado con la simplificación de la modelización debido al comportamiento de los agentes dentro del modelo. De esta forma, aseguramos tener un margen de error para que no se desvirtúen las estadísticas obtenidas. Consideramos que el 90 % es una cifra significativa para la representación del total de los casos.

- **Cantidad de personas que logran salir del estadio al momento de la llegada de servicios de emergencia:**

Para poder determinar la eficacia del plan de evacuación a partir de su comparación con distintos escenarios, es necesario conocer la cantidad de personas que salieron del estadio en un determinado tiempo crítico. En este caso, el tiempo crítico elegido es la llegada de los servicios de emergencia, que serán los encargados de asistir tanto a los agentes que lograron salir del estadio, como los que no lo hicieron. Adicionalmente a este dato se proporciona su complemento, entendido como la cantidad de personas en promedio que quedan dentro del estadio en el mismo tiempo crítico.

A partir de esta información los servicios de emergencia contarían con información adecuada para tomar medidas de acción tanto para las personas que lograron salir del estadio como para aquellas que quedaron dentro del mismo.

Este parámetro fue determinado considerando que la ayuda necesaria provendría de la estación de bomberos más cercana al estadio. A través de la herramienta Google Maps [12], se obtuvo que el cuartel de menor distancia es el de Bomberos Voluntarios de San Telmo, ubicado en Balcarce 1234 a 3.3 km del Luna Park, y que su recorrido hasta el mismo duraría aproximadamente 8 minutos.

3. Resultados

En ambos escenarios establecimos que las medias muestrales de las medidas de rendimiento no difieran de sus correspondientes medias poblacionales ($\alpha = 0,05$) por más de los siguientes valores:

- $l_1 = 20$ segundos, referente a la medida que define el tiempo de evacuación del 90% del público.
- $l_2 = 10$ personas, asociado a la cantidad de personas que logran salir del estadio al momento de llegada de los servicios de emergencia.

Para garantizar estas condiciones se hizo uso de la siguiente inecuación, a partir de la cual se define una estimación del intervalo de confianza de la media poblacional [13]:

$$\frac{2Sz_{\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{k}} < l$$

Donde k es la cantidad de corridas ejecutadas, S es el desvío estándar muestral basado en esos k valores, y l es el desvío máximo admitido entre la media muestral y la media poblacional, con una certeza de $100(1 - \alpha) \%$.

Entonces, luego de definir el intervalo de confianza para la media poblacional, hemos observado a través de la ejecución reiterada del modelo, que la inecuación que cumple con los postulados anteriores se cumple si se realiza un número de corridas $k = 202$.

Escenario A. Mediante la información obtenida luego de realizar las 202 corridas del escenario A, calculamos que el estimador para la media correspondiente a la medida de rendimiento referida al tiempo de salida es de $E_1(X) = 665,24$ segundos y su desvío es $S_1(X) = 33,83$. En el caso de la cantidad de personas que salieron a la llegada de emergencias, se tiene que el estimador para la media es $E_2(X) = 5293,46$ personas y el desvío correspondiente es de $S_2(X) = 24,53$. De acuerdo a esta medida, quedarían en promedio 134 personas dentro del estadio en el momento de la llegada del primer servicio de emergencia.

Por lo tanto, con una confianza del 95%, podemos asegurar que en la primer medida de rendimiento nombrada, $l_1 = 9,33$ y en la segunda $l_2 = 6,76$. En consecuencia, pueden definirse los siguientes datos poblacionales:

$$\mu_1 = 665,24 \pm 9,33$$

$$\mu_2 = 5293,46 \pm 6,76$$

Escenario B. Para este escenario alternativo, obtuvimos un estimador para la media de $E_1(X) = 821,39$ segundos y un desvío de $S_1 = 72,26$ segundos, referentes a la cantidad de tiempo de evacuación. Con un intervalo de confianza del 95% podemos asegurar que la media poblacional correspondiente a esta medida de rendimiento, no difiere en más de 19,98 segundos. Su media poblacional entonces es

$$\mu_1 = 821,39 \pm 19,98$$

Con respecto a la cantidad de personas, los datos estadísticos fueron $E_2(X) = 5222,33$ y $S_2(X) = 28,14$. Este número corresponde a un promedio de 205

personas dentro del estadio para este escenario. Con un intervalo de confianza del 95 % podemos asegurar que la media poblacional correspondiente a esta medida de rendimiento, no difiere en más de 7,79 personas. Se obtiene así el siguiente dato poblacional:

$$\mu_2 = 5222,33 \pm 7,79$$

Test de medias. Al realizar este análisis se tomaron las 202 corridas de cada uno de los escenarios. Luego de ejecutar el test de medias, llegamos a un intervalo para cada medida de rendimiento, que asegura que la diferencia entre las medias poblacionales de los distintos escenarios no excede los valores indicados con un 95 % de confianza.

Para el tiempo de evacuación, el intervalo es de $I_1 = [-23, 68; -288, 54]$. Para la cantidad de personas, el intervalo obtenido es de $I_2 = [9; 133]$.

Un gráfico comparativo para la cantidad de corridas sobre los dos parámetros en ambos escenarios está representado en la Figura 3.

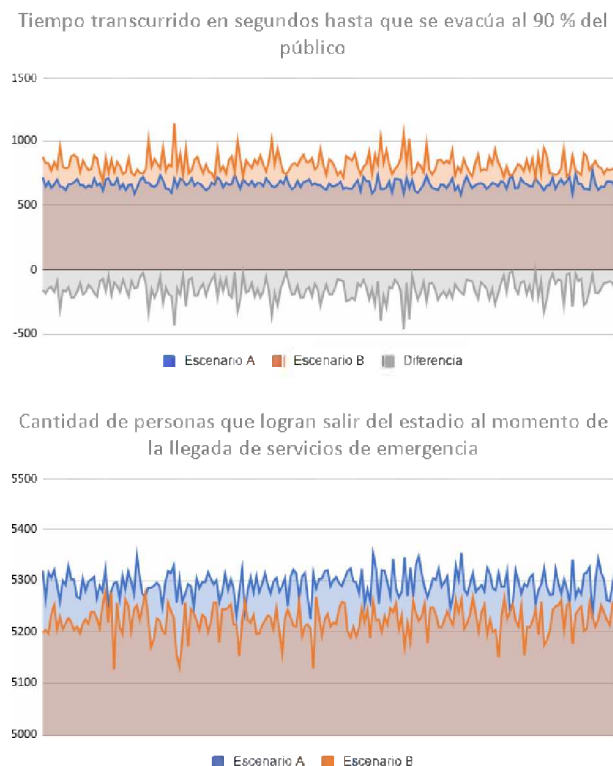


Figura 3. Comparación de medias para los escenarios A y B

Observando los intervalos para las mismas medidas de ambos escenarios, se pudo notar que sus diferencias son significativas, por lo tanto es posible realizar una comparación fiable para los mismos. Al interpretar estos intervalos obtenidos, se aprecia que la diferencia de tiempo en el que se evacua al 90% del público en el escenario B, con respecto al A, conlleva un tiempo superior entre 23 y 289 segundos más (es decir, casi 5 minutos más).

De igual forma, en el escenario B, al momento de la llegada de los servicios de emergencia, existe la posibilidad de que se encuentren entre 9 y 133 personas más dentro del estadio si se compara con el escenario A.

Como consecuencia, queda expuesto que el escenario A resulta notoriamente favorable con respecto al escenario B, considerando ambas medidas de rendimiento. Esto es, los tiempos de evacuación del 90% de los espectadores son menores y una mayor cantidad de personas logra salir a los 8 minutos después de comenzada la operación.

4. Discusión

El estudio de la simulación nos permite plantear múltiples escenarios, a través de la evaluación de la disponibilidad total o parcial de las salidas de emergencia, y analizar sus métricas, de forma que se pueda realizar una comparación entre ellos. A partir de esto, se puede elegir el más adecuado para cada situación y, con esa información, establecer los protocolos y procedimientos necesarios para generar un plan de evacuación óptimo.

Es necesario aclarar que una vez determinado este último, los simulacros presenciales son necesarios para que el personal asignado pueda conocer su rol dentro del plan, tomar decisiones, movilizarse y actuar de la misma forma que lo haría si se encontrara en una situación de emergencia. Es decir, la simulación mediante herramientas de software no reemplaza a los simulacros, pero sí a las simulaciones presenciales previas al mismo.

Si bien se requiere de un análisis y modelado detallado, una vez construida la base consistente en las características edilicias y comportamientos de las personas, podrá analizarse una amplia variedad de alternativas mediante una simple parametrización. Por consiguiente, la implementación de esta tecnología logrará un comportamiento muy similar a la realidad si se realiza un buen estudio previo.

Este tipo de metodología resulta un beneficio para las instituciones públicas y privadas, permitiendo el ahorro de tiempo y costos para generar un plan de evacuación óptimo. Por lo tanto, queda demostrada la utilidad de implementar la simulación para elaborar políticas de seguridad.

Un plan de acción efectivo no sólo salva vidas, sino también reduce la incertidumbre y permite actuar con mayor eficiencia ante la materialización de un riesgo, contribuyendo a la seguridad de cada uno de los integrantes de la sociedad en los lugares que asisten, ya sean públicos o privados.

Referencias

1. Tragedia de Cromañón. (2020, 4 de noviembre). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 21:15, noviembre 5, 2020 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tragedia_de_Croma%C3%B1%C3%B3n&oldid=130650271
2. Ratti, E., Tosato, F. (2006). Cromañón: la tragedia contada por 19 sobrevivientes. Planeta.
3. Organización Panamericana de la Salud: Guía para el Desarrollo de Simulaciones y Simulacros de Emergencias y Desastres. Washington, D.C.: OPS, (2010) ISBN: 978-92-75-33127-9
4. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres . Guía metodológica de simulaciones y simulacros. Bogotá, D.C. : UNGRD, (2016) ISBN: 978-958-59531-1-6
5. Helbing, Dirk & Farkas, Illés & Molnar, Peter & Vicsek, Tamás. (2002). Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations.
6. I.M. Sticcoa, G.A. Frankb, C.O. Dorso (2020). Social Force Model parameter testing and optimization using a high stress real-life situation.
7. Anton von Schantz, & Harri Ehtamo. (2021). Minimizing the evacuation time of a crowd from a complex building using rescue guides.
8. Julia Gebauer, & Justus Benad. (2021). Flying V and Reference Aircraft Evacuation Simulation and Comparison.
9. Muhammed, D., Rashid, T., Alsadoon, A., Bacanin, N., Fattah, P., Mohammadi, M., & Banerjee, I. (2020). An Improved Simulation Model for Pedestrian Crowd Evacuation. Mathematics, 8(12), 2171.
10. Simulation Modeling Software Tools & Solutions for Business. AnyLogic. (n.d.). <https://www.anylogic.com/>.
11. Página principal Estadio Luna Park, <https://www.lunapark.com.ar/>. Último acceso Abril 2021
12. Google. (s.f.). [Bomberos Voluntarios de San Telmo en Google maps]. Recuperado el 5 de Noviembre, 2020, de: <https://goo.gl/maps/bCpVraqcWFhJUvpB7>
13. Sheldon M. Ross (1999). Simulación. Segunda edición, Department of Industrial Engineering and Operations Research, University of California.