RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Yeison Manuel Mestra Mestra y Gabriela Alejandra Carrascal Franco
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería de Sistemas
DIRECTOR	Alexander Guerrero Avedaño
CODIRECTOR (si aplica)	Anton García Barreto
TÍTULO DE LA TESIS	Modelo de simulador de evacuación mediante Netlogo con la metodología basada en agentes en el segundo piso de ingenierías de la UFPSO seccional Ocaña
TITULO EN INGLES	Evacuation simulator model using Netlogo with agent-based methodology on the second floor of the engineering department of the Ocaña branch of the UFPSO

RESUMEN

Este proyecto diseña un modelo de evacuación para el segundo piso del edificio de Ingenierías de la UFPSO, utilizando simulación basada en agentes. Se analizan variables como comportamiento humano, iluminación y flujo de personas en escenarios de emergencia. El modelo, implementado en NetLogo, busca optimizar protocolos existentes, mejorar la seguridad y apoyar la toma de decisiones ante situaciones críticas mediante simulaciones realistas y datos empíricos.

RESUMEN EN INGLES

This project designs an evacuation model for the second floor of the UFPSO Engineering building using agent-based simulation. Variables such as human behavior, lighting, and people flow are analyzed in emergency scenarios. The model, implemented in NetLogo, seeks to optimize existing protocols, improve safety, and support decision-making in critical situations through realistic simulations and empirical data.

PALABRAS CLAVES	Evacuación, simulación basada en agentes, NetLogo, comportamiento humano, emergencias sísmicas
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Evacuation, agent-based simulation, NetLogo, human behavior, seismic emergencies

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 132	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 29	CD-ROM:

Diseño de un modelo de evacuación del segundo piso del edificio de Ingenierías de la UFPSO Ocaña, mediante la metodología de simulación basada en agentes

Gabriela Alejandra Carrascal Franco

Yeison Manuel Mestra Mestra

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería de Sistemas

Dr. Alexander Guerrero Avendaño

Mg. Antón García Barreto

27 de marzo del 2025

Índice

Capítulo 1. Diseño de un modelo de evacuación del segundo piso del edificio de Ingenierías de la UFPSO Ocaña, mediante la metodología de simulación basada en agentes 10

1.1 Planteamiento del Problema 10

1.2 Identificación del problema 14

1.3 Formulación del Problema 18

1.4 Objetivos 18

1.4.1 Objetivo general 19

1.4.2 Objetivos específicos 19

1.5 Justificación 19

1.6 Delimitaciones 21

1.6.1 Delimitaciones Operativas 21

1.6.2 Delimitaciones Conceptuales 21

1.6.3 Delimitaciones Geográficas 22

1.6.4 Delimitaciones Temporales 22

Capítulo 2. Marco Referencial 23

2.1 Marco histórico 23

2.2 Marco contextual 24

2.3 Marco conceptual 24

2.3.1 Alarma 24
2.3.2 Netlogo 25
2.3.3 Alerta 26
2.3.4 Agentes 26
2.3.5 Sismo 27
2.3.6 Sistemas de alerta temprana (SAT) 28
2.3.7 Evacuación 29
2.3.8 Modelado basado en agentes 30
2.4 Marco teórico 30
2.4.1 Conceptos claves 30
2.4.2 Metodología 41
2.5 Marco legal 44
2.5.1 Normativa sobre Seguridad y Gestión del Riesgo en Colombia 44
2.5.2 Regulaciones sobre Planes de Evacuación en Edificios y Espacios Públicos 45
2.5.3 Leyes y Normativas sobre Simulación y Modelado Basado en Agentes 45
2.5.4 Normativa Académica y su Aplicación en Instituciones Educativas 46
Capítulo 3. Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos 47
3.1 Preguntas de investigación 47
3.1.1 Definición de los criterios de búsqueda 48

3.1.2 Definición de los criterios de inclusión y exclusión 49

3.1.3 Extracción y mapeo de los artículos 50

Capítulo 4. Desarrollo del modelo 59

4.1 Diseño del Modelo 59

4.1.1 Los agentes.....62

4.1.2 Estudiantes 63

4.1.3 Docentes.....63

4.1.4 Variables de estado.....64

4.1.5 Nombre/Identificador 69

4.1.6 Ubicación 70

4.1.7 Acción 70

4.1.8 Condición física 71

4.1.9 Conducta individual 72

4.2 Construcción del Modelo 73

4.3 Diagramas relacionados con las variables de estado 77

4.3.1 Diagrama de clases UML.....77

4.3.2 Diagrama de estados 78

4.3.3 Diagrama causal.....79

4.3.4 Diagrama de Forrester.....83

4.4 Diseño del modelo.....84

4.4.1 Entradas 84
4.4.2 Salidas 85
4.4.3 Representación individual de las entradas 85
4.4.4 El entorno 86
4.4.5 Punto de encuentro 87
Capítulo 5. Implementación del modelo 89
5.1 Interfaz del modelo 89
5.1.1 Interfaz de visualización de la estructura y agentes 89
5.1.2 Interfaz de entrada de datos 90
5.1.3 Interfaz de salida de datos 92
5.1.4 Ejecución del Modelo de Simulación de Evacuación en NetLogo 93
5.2 Simulaciones 96
5.2.1 Valores de entrada del modelo 96
5.2.2 Definición de los escenarios 100
5.2.3 Escenario 1: Ideal 102
5.2.4 Escenario 2: Sin iluminación 106
5.2.5 Escenario 3: Hora pico 109
5.2.6 Efectos de la hora pico 111
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones 114
6.1 Conclusiones 114

6.2 Recomendaciones 117

6.3 Trabajos futuros 118

Capítulo 7. Referencias 121

Listado de Figuras

Figura 1. Tolerancia a la frustración....12
Figura 2. Diagrama de proceso de subducción plaza Nazca y placa Sudamericana 15
Figura 3. Sismos históricos en Colombia. 16
Figura 4. Niveles de amenaza sísmica 17
Figura 5. Árbol de problemas. 18
Figura 6 Interfaz gráfica de netlogo 34
Figura 7 Interfaz de Repast 35
Figura 8. Interfaz de AnyLogic 36
Figura 9. Componentes de un SAT 37
Figura 10. Proceso a seguir en caso de sismo 40
Figura 11. Visión general del proceso de filtrado de artículos. 51
Figura 12. Modelo de proceso de generación de excitación emocional. 73
Figura 13. Notación de una clase 77
Figura 14. Diagrama de clases UML 78
Figura 15. Diagrama Estudiante 79
Figura 16. Diagrama Docente. 79
Figura 17. Diagrama causal. 81
Figura 18. Diagrama de Forrester 84
Figura 19. Plano del segundo piso del edificio de ingenierías de la UFPSO 87
Figura 20. Plano que indica el punto de encuentro más cercano al edificio 88
Figura 21. Interfaz de visualización del modelo 90
Figura 22. Interfaz de entrada de datos del modelo 92

Figura 23. Interfaz de salida de datos del modelo.....93

Figura 24. Interfaz inicial del escenario 1.....102

Figura 25. Gráfico de comparación de resultados del escenario 1: Ideal.....105

Figura 26. Interfaz inicial del escenario 2.....106

Figura 27. Comparación de resultados del escenario 2: Sin iluminación.....108

Figura 28. Interfaz inicial del escenario 3.....109

Figura 29. Comparación de resultados del escenario 2: Sin iluminación 112

Listado de Tablas

Tabla 1. Cadena de búsqueda 49

Tabla 2. Número de estudios primarios obtenidos 49

Tabla 3. Conceptos de diseño 59

Tabla 4. Nombre/Identificador 69

Tabla 5. Construcción del Modelo. 73

Tabla 6. Tabla de pruebas escenario 1 103

Tabla 7. Tabla de pruebas escenario 2 107

Tabla 8. Tabla de pruebas escenario 3 110

Capítulo 1. Diseño de un modelo de evacuación del segundo piso del edificio de Ingenierías de la UFPSO Ocaña, mediante la metodología de simulación basada en agentes

En ambientes académicos, la gestión de emergencias es un desafío, sobre todo en estructuras de varios pisos y en áreas con alta probabilidad sísmica. Este documento presenta un modelado de evacuación del segundo piso del edificio de ingenieras de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña UFPSO. Esta propuesta se diseñó empleando la metodología de simulación basada en agentes, una técnica novedosa que nos permitir modelar y examinar la conducta humana en situaciones de emergencia.

Este proyecto no solo aborda una necesidad crítica de seguridad en la UFPSO, sino que también contribuye al campo de la gestión de riesgos, ofreciendo una herramienta adaptable a diversos contextos y tipos de emergencia. A lo largo de este documento, se detallan los fundamentos teóricos, el diseño del modelo, la implementación técnica y los resultados obtenidos en simulaciones específicas, proporcionando una base sólida para la planificación y mejora de los protocolos de evacuación.

1.1 Planteamiento del Problema

La evacuación de un edificio es una tarea vital que puede salvar vidas y minimizar los daños, pero también puede ser muy difícil y peligrosa si no se planifica y ejecuta correctamente. Muchas agencias y organizaciones con edificios de gran altura no cuentan con planes de prevención y evacuación en caso de eventos que amenacen la vida (José & Rondón, 2010). La falta de un plan integral de evacuación puede afectar a un gran número de personas. Las personas

no están preparadas para tomar buenas decisiones al momento de evacuar, especialmente en situaciones de emergencia (Abdelghany et al., 2014)

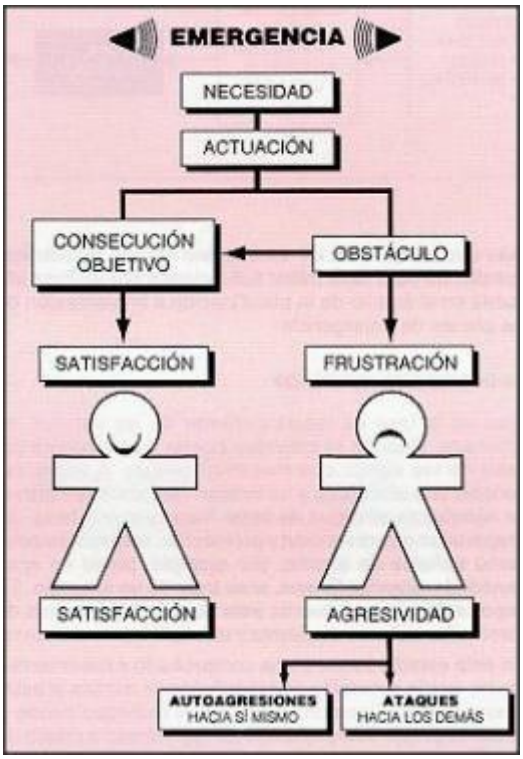
Dentro de los aspectos más fundamentales que influyen en el momento de llevar a cabo una situación de emergencia es el previo conocimiento de las rutas de evacuación y los planes de respuesta ante emergencias los cuales son desconocidos por la mayoría de las personas que se encuentran dentro de las instalaciones de segundo piso del edificio de ingenierías, dado que si a la hora de llevar a cabo una situación de emergencia no se toman en cuenta estos factores pueden presentarse muchos accidentes en incluso muertes por no actuar de la manera correcta.

Cuando ocurre una catástrofe, es común que las personas no respondan de la manera adecuada, lo que puede resultar en situaciones de alto riesgo. Si se analizan las respuestas más comunes, se puede observar que al momento de iniciar una catástrofe:

> "En un porcentaje correspondiente a 10-25 %, las personas permanecen juntas y en calma, revisan un plan de acción y las posibilidades que se tienen.
>
> Un 75 % de la población muestra conducta desordenada y confusión.
>
> Y el 10-25 % evidencian desconcierto, ansiedad, paralización, nerviosismo y miedo" (Fidalgo Vega, 1993)

Figura 1.

Tolerancia a la frustración.



Nota. Tomado de (Fidalgo Vega, 1993).

Se puede evidenciar (figura 1) cuán importante es para las personas que al inicio de las fases de una emergencia poseer una idea clara de que existe una salida. De lo contrario, se puede desencadenar la impotencia emocional, lo que lleva a un comportamiento autoagresivo y debilitante, y agresión hacia otros que buscan una salida y tratan de alcanzarla. Ver figura 1:

En general, ante una emergencia, las personas tienen miedo de tomar la responsabilidad de sus acciones y tomar decisiones, e instintivamente tienden a agruparse. Cuanto mayor sea el peligro, mayor será la necesidad de tantos grupos como sea posible. Esta es la base de las

reacciones de pánico que llevan a las masas a estados masivos altamente sugestivos y crean contagio.

El objetivo principal es crear un simulador el cual nos permita observar cómo podría ser el comportamiento de las personas en diferentes escenarios y poder brindar posibles mejoras a la seguridad de los estudiantes, profesores y personal administrativo en caso de una emergencia en el edificio. Esto se logrará a través de la caracterización y solución de dificultades potenciales en la evacuación, así como la validación y optimización de los protocolos de evacuación existentes.

Para ello, se utilizará la metodología de multiagentes, que permitirá simular el comportamiento de múltiples individuos (agentes) en un entorno determinado (el edificio) y modelar cómo se comportan y reaccionan en diferentes situaciones de emergencia. Además, se utilizará Net Logo, un software de modelado basado en agentes, para construir el modelo de simulación (Aguilera Ontiveros & Posada Calvo, 2017)

Según (DONG et al., 2008), (Lo, 2012) y (Innocenti et al., 2007) los cuales presentan algunos ejemplos de sistemas de agentes, donde se enfocan principalmente en examinar las interacciones y, en muchas ocasiones, la coordinación entre los agentes, que logran variar desde robots simples hasta componentes sistematizados dentro de un procedimiento de control.

Una revisión y análisis detallado de la información disponible sobre el terremoto de Kobe (1995), junto con nuevos datos no revelados previamente acerca de la emergencia y los esfuerzos de reconstrucción en esa región, nos brinda la oportunidad de reevaluar un desastre del cual no se

pueden extraer únicamente dos o tres lecciones comunes. El arquitecto peruano José Sato, actualmente en la Universidad de Tsukuba en Japón, junto con el profesor Yoshio Kumagai, experto de la JICA en Perú, nos brindan esta valiosa contribución. (Desastres y sociedad, 1996)

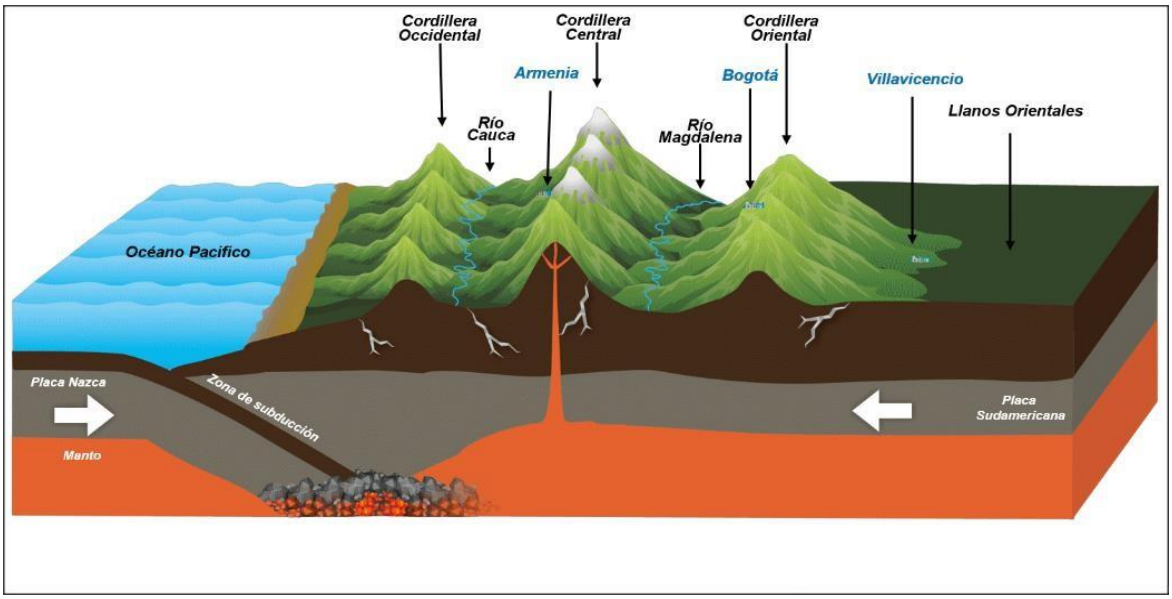
1.2 Identificación del problema

El IDIGER (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático), nos proporciona información sobre lo que se conoce como un escenario de riesgo sísmico; donde propone los criterios de evaluación de las consecuencias que deben tenerse en cuenta cuando se manifiesta una dinámica terrestre natural como por ejemplo un terremoto. “El riesgo sísmico se presenta cuando existen circunstancias de debilidad en las personas, las pertenencias, la infraestructura o los niveles de vida” (IDIGER, 2024)

En el caso de Colombia debe considerarse su ubicación en un sitio altamente sísmica a casusa de la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y del Caribe con la placa sudamericana en la región. El constante desplazamiento y colisión por la interacción de dichas placas provoca la formación de montañas, cadenas montañosas y fallas geológicas. Esto se visualiza claramente en el siguiente diagrama. ver figura 2.

Figura 2.

Diagrama de proceso de subducción plaza Nazca y placa Sudamericana.



Nota. Tomado de: (IDIGER, 2024)

Para evaluar las amenazas sísmicas, también conocidas por la posibilidad de acontecimiento de eventos sísmicos y actividad de movimiento del suelo que estos pueden provocar en lugares determinados, momentos determinados y lugares determinados, es fundamental conocer dónde pueden ocurrir los terremotos, de acuerdo a: aspectos geológicos, fallas, activos identificados y datos sísmicos registrados en suelos históricos e instrumentales.

El Servicio Geológico Colombiano como organismo nacional, tienen la tarea fundamental de realizar la evaluación y seguimiento de la actividad sísmica.

A continuación, presentamos una figura obtenida del SGC donde nos arroja datos históricos de sismos importantes ocurridos en Colombia durante los años, donde podemos observar que norte de Santander es una de las zonas con gran presencia en estas cifras históricas.

Figura 3.

Sismos históricos en Colombia.

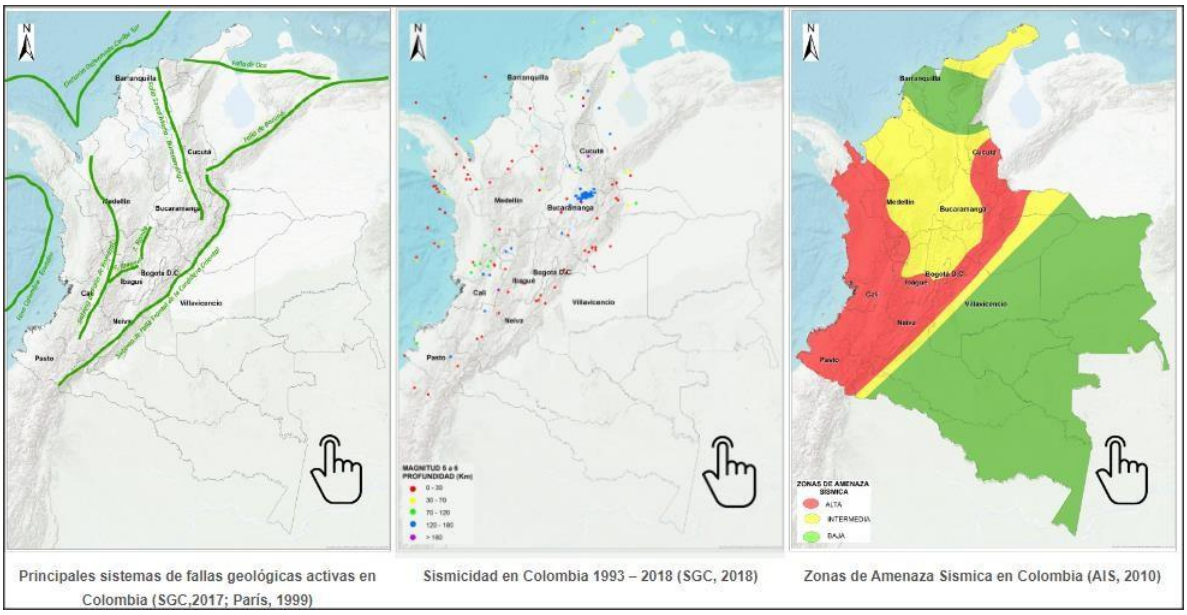
Área epicentral	Fecha del sismo	Magnitud	Intensidad máxima EMS-98
Pamplona – Norte de Santander	16 de enero de 1644	6.5 (Mw)	9
Honda – Tolima	16 de junio de 1805	6.1 (Mw)	9
Altamira – Huila	16 de noviembre de 1827	7.1 (Mw)	10
Santiago – Putumayo	20 de enero de 1834	6.7 (Mw)	9
Cúcuta – Norte de Santander	18 de mayo de 1875	6.8 (Mw)	10
Costa Pacífica – Pacífico	31 de enero de 1906	8.8 (Mw)	10
Villavicencio – Meta	31 de agosto de 1917	6.7 (Mw)	9
Cumbal – Nariño	14 de diciembre de 1923	6.2 (Mw)	9
Arboledas – Norte de Santander	8 de julio de 1950	6.1 (Mw)	9
Colombia – Huila	9 de febrero de 1967	7.0 (Mw)	10
Costa Pacífica – Pacífico	12 de diciembre de 1979	8.1 (Mw)	10
Popayán – Cauca	31 de marzo de 1983	5.6 (Mw)	9
Murindó – Antioquia	18 de octubre de 1992	7.1 (Mw)	10
Eje cafetero	25 de enero de 1999	6.1 (Mw)	9

Nota. Tomado de Eventos sísmicos históricos de Colombia, del Servicio Geológico Colombiano SGC (IDIGER, 2024)

En Colombia se presentan diversos grados de amenaza sísmica (Alta, Media, Baja). Alrededor del 83% del territorio del país habita áreas de amenaza de eventos sísmicos de media y alta. Como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 4.

Niveles de amenaza sísmica.

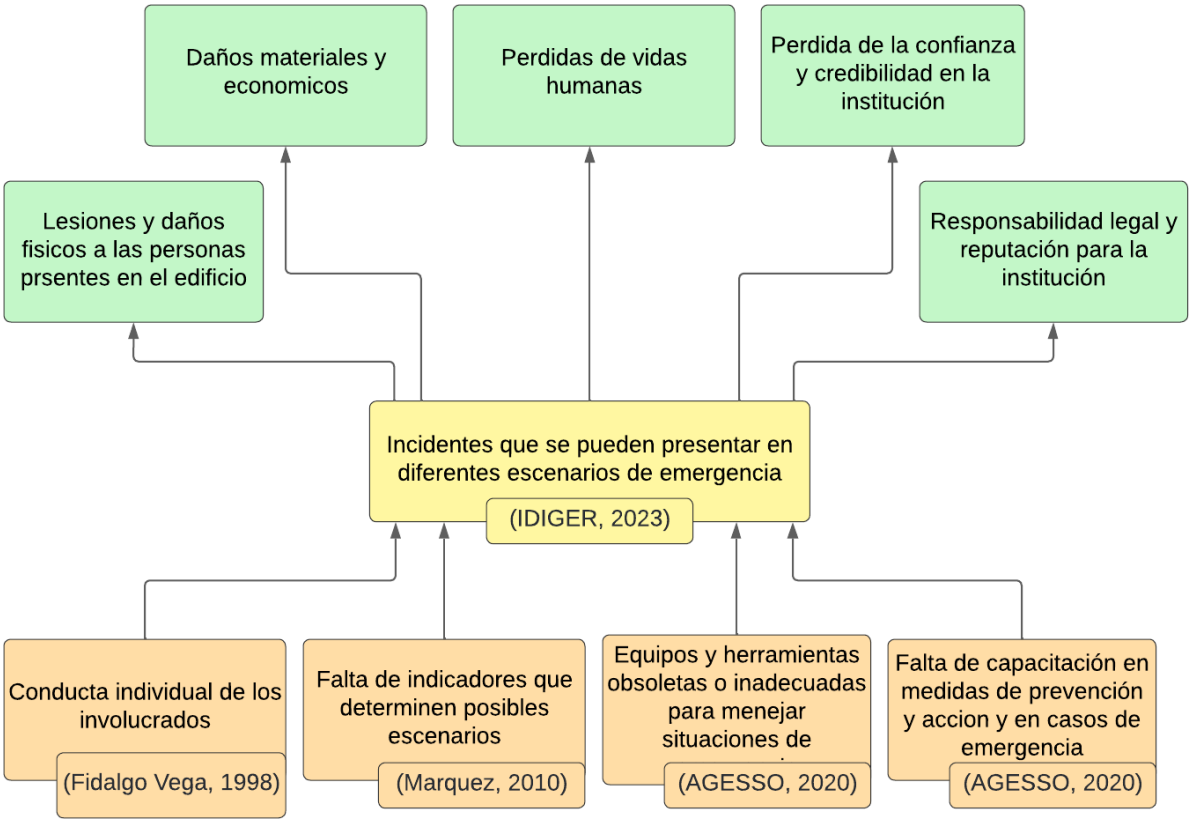


Nota. Tomado de Sismicidad histórica de Colombia, Servicio Geológico Colombiano SGC (IDIGER, 2024).

No es posible eliminar por completo el riesgo sísmico, pero sí se puede alterar o disminuir tomando medidas preventivas y mitigadoras para los elementos expuestos, ya que no se puede interferir con la amenaza, además, se están considerando otras opciones como la protección financiera. Por otro lado, mientras se implementan las acciones de mitigación, existe la necesidad de mecanismos de gestión de desastres, los cuales deben estar listos con premura antes de cualquier riesgo del mismo.

Figura 5.

Árbol de problemas.



1.3 Formulación del Problema

¿Cómo puede un sistema ayudar a simular los distintos escenarios que se presentan a la hora de llevar a cabo una evacuación de emergencia en el 2 piso del edificio de ingenierías?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un modelo de evacuación del segundo piso del edificio de ingenierías de la UFPSO para mejorar la capacidad de respuesta en situaciones de emergencia mediante el diseño de un modelo de simulación basado en agentes.

1.4.2 Objetivos específicos

Identificar las principales variables y parámetros que influyen en situaciones de evacuación para determinar su importancia en la simulación, mediante una revisión sistemática de literatura.

Desarrollar el modelo de simulación para la evacuación del edificio de ingenierías de la UFPSO, mediante la metodología basada en agentes.

Evaluar el desempeño del modelo de simulación de la evacuación realizando una comparación de los resultados mediante tres escenarios, utilizando la herramienta Netlogo.

1.5 Justificación

La gestión del riesgo de desastres implica comprender los peligros y las vulnerabilidades de los desastres, crear planes para disminuir sus efectos y manejar eficazmente las emergencias (Hernández, 2020)

La evaluación de riesgos brinda conciencia del estado de riesgo de una comunidad, lo que permite a las personas tomar medidas o implementar medidas de mitigación para reducir la pérdida prevista (Alam et al., 2020) Un estudio realizado por Joel Medina y Carmen Flores encontró que la confianza en los planes de evacuación aumenta la capacidad de respuesta de las personas ante emergencias. (Joel Medina y Carmen Flores, 2019)

Investigaciones hechas recientemente, como la llevada a cabo por Kim y Lee (2021), denotan la importancia de obtener datos empíricos que nos den otra perspectiva más clara acerca del comportamiento humano en situaciones de evacuación para obtener un mejor resultado a la hora de mejorar las prácticas de seguridad y gestión de riesgos (Lee et al., 2021).Ante una catástrofe, la reacción de las personas pueden no ser las adecuada, lo que puede resultar en pérdida de vidas. Es crucial abordar este problema mediante la preparación y la simulación de diferentes escenarios de emergencia.

La utilización de la metodología de modelado de agentes, y herramientas como Net Logo, permite simular el comportamiento de múltiples individuos en un entorno determinado. Esto ayuda a entender el comportamiento de las personas ante situaciones de emergencia, lo que a su vez facilita la planificación de evacuaciones más efectivas.

El proyecto del desarrollo de un modelo para simular una evacuación se basa en la necesidad de evaluar la efectividad de los planes de prevención y evacuación para proteger vidas y reducir los impactos negativos de eventos catastróficos. La implementación de herramientas de

simulación y la preparación adecuada pueden contribuir significativamente a mejorar la seguridad y la capacidad de respuesta ante emergencias en entornos edificados.

1.6 Delimitaciones

1.6.1 Delimitaciones Operativas

Desarrollar un modelo de simulación mediante la herramienta Net Logo.

Recopilación de datos específicos sobre el edificio de ingenierías de la UFPSO como medidas estructurales y variables como la resistencia sísmica.

Ejecutar las simulaciones para diferentes escenarios de evacuación logrando así poder realizar más comparaciones y obtener mejores resultados.

1.6.2 Delimitaciones Conceptuales

Conceptos relacionados con la evacuación de emergencia y el comportamiento humano durante situaciones de crítica el cual es muy variable e indeterminado.

Considerar todos aquellos factores que influyen en la eficacia de la evacuación.

1.6.3 Delimitaciones Geográficas

Se encuentra limitado al segundo piso del edificio de ingenierías de la UFPSO en Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

1.6.4 Delimitaciones Temporales

Aproximadamente 4 meses desde el inicio de la toma de información hasta el desarrollo del modelo de simulación y la evaluación de los resultados obtenidos, realizando una comparación con los datos reales tomados.

Adquisición de Datos:

Para plantear un modelo de simulación que sustente la problemática planteada anteriormente, es necesario conocer conceptos básicos referentes a la temática de modelado, simulación, evacuaciones, y cómo son aplicadas en casos de emergencia reales y previamente estudiados.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco histórico

La Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO), ubicada en una región con alta actividad sísmica, ha enfrentado riesgos significativos debido a eventos naturales y causados por el hombre. Colombia, al ser propensa a fenómenos como terremotos y desastres asociados, ha implementado estrategias de mitigación y prevención para garantizar la seguridad en instalaciones educativas y comunitarias. Esto ha llevado al desarrollo de planes de emergencia que incluyen simulaciones de evacuación y análisis de riesgos para mejorar la respuesta ante eventos adversos.

El proyecto se centra en diseñar un modelo de evacuación para el segundo piso del edificio de ingenierías de la UFPSO, ubicado en una región con alta actividad sísmica debido a la interacción de placas tectónicas (Nazca y Caribe con la Sudamericana). Colombia ha registrado importantes sismos históricos, como el de Tumaco-Esmeraldas en 1906 (magnitud 8,8) y otros eventos devastadores en el siglo XX y XXI, resaltando la vulnerabilidad del país a estos fenómenos naturales.(IDIGER, 2024).

Este contexto histórico subraya la necesidad de contar con planes de evacuación eficaces y simulaciones basadas en agentes para optimizar la respuesta ante emergencias. Ejemplos internacionales, como el análisis del terremoto de Kobe en Japón, han demostrado que estas herramientas son clave para mejorar la planificación y mitigar riesgos.(Desastres y sociedad, 1996)

2.2 Marco contextual

Este proyecto se llevará a cabo en el segundo piso del edificio de ingenierías de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ubicada en la vía Acolsure, sede el Algodonal.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Alarma

Una alerta o señal utilizada para indicar la necesidad de seguir instrucciones específicas ante la presencia real o inminente de un evento peligroso. Estas señales, ya sean sonoras o luminosas, se emiten con el fin de que se sigan procedimientos de emergencia predefinidos o para señalar la evacuación inmediata de una zona en peligro (Desastres y sociedad 1996).

Una alerta o señal utilizada para indicar la necesidad de seguir instrucciones específicas ante la presencia real o inminente de un evento peligroso. Estas señales, ya sean sonoras o luminosas, se emiten con el fin de que se sigan procedimientos de emergencia predefinidos o para señalar la evacuación inmediata de una zona en peligro. (Desastres y sociedad 1996).

El sistema de alarma es un elemento de seguridad pasivo, es decir, no previene un incidente (robo, incendio, fuga de gas, etc.) pero puede advertir del mismo y permitir tomar

medidas rápidamente para eliminar el problema y minimizar el daño causado(Daniel & Salazar, 2015).

2.3.2 Netlogo

Según, Wilensky (1999): Es un instrumento diseñado para facilitar la creación de sistemas multiagente (SMA) con un gran sin número de agentes que pueden ejecutarse simultáneamente. Desarrollada en Java, representa la última generación en una serie de lenguajes de modelado multiagente. (Tisue & Wilensky, 2004)

NetLogo fue creado en 1999 por Uri Vilensky y actualmente se encuentra en continuo desarrollo en el Centro de Aprendizaje Conectado y Modelado Computacional. Es un entorno que permite implementar IBM y simular el comportamiento de sistemas complejos en el tiempo y el espacio (dos o tres dimensiones). Está diseñado para manejar agentes o individuos que actúan simultáneamente en el espacio y comportamientos dominados por interacciones locales durante un período de tiempo determinado.

El lenguaje de programación de NetLogo es más sencillo que los lenguajes utilizados por este tipo de programación (Objective-C o Java), con una animación automática
ligada al modelo y controles gráficos (opcionales) (Ginovart et al., 2011).

En proyectos como “simulación del Modelo de Calentamiento Global en Cartagena” Se realizó un estudio estadístico sobre las variables a considerar en la simulación de la ciudad, como

temperaturas medias, máximas y mínimas, intensidad solar máxima y mínima y concentraciones de gases de efecto invernadero. Se creó un modelo de simulación en la plataforma NetLogo en el que se puede representar el comportamiento de la temperatura en un mundo formado por el cielo y las capas superior e inferior de la Tierra, con presencia de luz solar, dióxido de carbono atmosférico, nubes y albedos variables. (ANGÉLICA MARÍA SUÁREZ VARGAS Y YEIMY TATIANA ROZO PINTO, 2015)

2.3.3 Alerta

Una alerta se define como el estado previo a un desastre, declarado para que los organismos de emergencia pongan en marcha los procedimientos previamente establecidos y que la población adopte las precauciones específicas necesarias ante la inminente ocurrencia de un evento previsible. Es crucial destacar que, además de informar sobre el grado de peligro, las alertas se emiten para que tanto la población como las instituciones acojan ejercicios específicos frente a la situación presente.(Desastres y sociedad, 1996).

2.3.4 Agentes

Los agentes son la parte fundamental del modelo, representando cada unidad del edificio de ingenierías que puede actuar de manera activa o pasiva. Los agentes activos son aquellos individuos que actúan de forma proactiva, incluyendo estudiantes, docentes, administrativos y visitantes (José & Rondón, 2010). Según Russell y Norvig, un agente es cualquier entidad capacitada para percibir su entorno mediante sensores y proceder en él esgrimiendo actuadores

(Sprock & Hernández Bieliukas, 2014). Un sistema multiagente como un grupo de entidades inteligentes, conocidas como agentes, que colaboran y coordinan sus habilidades para abordar y resolver problemas tanto a nivel individual como colectivo.(V. Julián V. Botti, 2000)

2.3.5 Sismo

Según Villegas, un sismo se origina en un punto conocido como hipocentro, que se encuentra en la superficie de ruptura de una falla y se determina por su latitud, longitud y profundidad. Este punto se proyecta en la superficie terrestre como el epicentro, que se identifica por su latitud y longitud. El movimiento que experimentamos durante un sismo es el resultado de la energía acumulada en áreas de debilidad, principalmente en la litosfera terrestre, que supera la resistencia de la roca, provocando una ruptura repentina. Parte de la energía liberada en el hipocentro se propaga en forma de ondas sísmicas, mientras que otra se disipa como calor.(Raquel Villegas, 2018)

En la historia de Colombia podemos conocer los sismos más significativos del siglo XX, en el catálogo colombiano registra 16 sismos de magnitud mayor que 7,0. Sin embargo, bien por su profundidad o por tener epicentro en zonas relativamente poco pobladas, sólo algunos causaron grandes daños. Entre los sismos destructores de magnitud mayor que 7,0 en este siglo se resaltan el de Tumaco-Esmeraldas (costa Pacífica) en 1906 (M~,=8,8), uno de los sismos más grandes de subducción en el mundo con una longitud de ruptura estimada en base a reportes de intensidad de unos 500 km (Kelleher, 1972). El tsunami provocado por el terremoto causó daños en las costas de Ecuador y Colombia, siendo las que más víctimas causaron, con un estimado de

400 muertos. Medellín y la cuenca del río Atrato en Colombia. El segundo terremoto más grande de este siglo fue un terremoto de magnitud 7,1 ocurrido en 1967 al sur de la frontera llanera que destruyó por completo la ciudad de Paraíso, matando a casi un centenar de personas y provocando numerosas víctimas. El último terremoto devastador (41=7,3) ocurrió en 1992 en la provincia de Chocó. Si bien los efectos sobre la infraestructura fueron menores, por estar el epicentro en una zona poco poblada, el impacto sobre el medio ambiente fue severo. (Juliette Beltrán, 2006)

2.3.6 Sistemas de alerta temprana (SAT)

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) consisten en un conjunto de dispositivos que identifican la alta probabilidad de una amenaza para una o muchas poblaciones. Esta anticipación se logra mediante el monitoreo de diferentes señales físicas relacionadas con la amenaza, como la detección de una potencial inundación por el aumento que se evidencia en los diferentes afluentes (Heriberto Fernando Vargas Losada, 2016)

Se entiende como un sistema de alerta temprana al conjunto de herramientas, dispositivos de control, capacidades de gestión e instrumentos tecnológicos que las instituciones claves identifican como difundir la información de manera oportuna a las comunidades expuestas a un riesgo, y cuyo resultado son medidas de mitigación orientadas a reducir los efectos de los desastres naturales y las pérdidas económicas y de vidas, así como las lesiones (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014).

2.3.7 Evacuación

Es un grupo general de acciones destinadas a trasladar personas de una franja de mayor riesgo a otra más segura. Consiste en un grupo de entidades, ocupadas por personas con particularidades específicas, que buscan moverse desde áreas ocupadas hacia lugares designados como destino de la evacuación, generalmente una zona próxima al edificio con cabida suficiente para alojar a todos los ocupantes (José & Rondón, 2010).

Los sistemas de evacuación son muy importantes en el diseño de estructuras físicas que albergan personas, ya que permiten una evacuación más sistemática, eficiente y segura de los edificios, salvando así más vidas en menos tiempo. Los sistemas de evacuación generalmente se dividen en dos categorías: sistemas de evacuación estáticos (SES) y sistemas de evacuación dinámicos (DES).

El ESS es el sistema de evacuación más antiguo y más utilizado del mundo. Estos sistemas consisten en un conjunto de signos que representan información que no cambia con el tiempo.

Los SED son un conjunto de tecnologías e implementaciones tanto a nivel de hardware como de software ya que su característica es determinar la mejor ruta de escape e indicarlo mediante señales dinámicas. (Santos Navarrete, 2015)

2.3.8 Modelado basado en agentes

Los modelos de simulación multiagente empezaron a captar popularidad en la década de 1990, representando una desviación de la simulación clásica (Kelly Andrea Rendón Rozo, 2017)

Birlare, Antonini y Weber desarrollaron un instrumento de simulación de peatones, modelando la conducta individual afectado por elementos como la velocidad, la edad, y la existencia de líderes y obstáculos(caso de Lima et al., 2019)

MBA es un enfoque de trabajo que combina métodos tradicionales de investigación social con herramientas modernas, como la simulación computacional, para descubrir nuevas formas de generar y ampliar el conocimiento. Los MBA no sustituyen en ningún caso las teorías y métodos existentes, pero permiten claramente integrarlos en una nueva lógica cognitiva, ampliando así los límites metodológicos de las ciencias sociales. El MBA ayuda a integrar diferentes tipos de evidencia empírica cualitativa, cuantitativa e incluso experimental (Leonardo Gabriel Rodríguez Zoya, 2015).

2.4 Marco teórico

2.4.1 Conceptos claves

2.4.1.1 Simulación basada en agentes (ABS). La simulación basada en agentes (ABS) surgió en la década de 1990 como un enfoque académico, pero entre 2000 y 2003 comenzó a aplicarse en simulaciones (Sumari, Ibrahim, Zacaria y Ab Hamid, 2013) citado por (Sarmiento Vásquez & Sandoval, 2017).

Desde lo formal se puede indicar que la ABS es un método informático que da paso a la creación de modelos, que se componen por diferentes tipos de agentes los cuales se relacionan entre sí en un entorno que nos permite realizar experimentos de manera virtual (Gilbert, 2008: 2) citado por (Valdecasas Medina & José Ignacio García, 2011)

Para entender la definición anteriormente dada debemos conocer que son experimentos virtuales y los agentes.

Un experimento virtual es un entorno en el cual podemos explorar y tratar de manera separada y controlada una situación real, lo que nos permite observar cómo los diferentes tratamientos que se le añaden a dicha situación pueden alterar su resultado (Valdecasas Medina & José Ignacio García, 2011).

Gracias a lo mencionado anteriormente un ABS puede evidenciar patrones a partir de la interacción resultante entre los múltiples agentes, que pueden ser influenciados o influir para adaptarse a los cambios en las condiciones del entorno que los rodea.

Los agentes son elementos computacionales con propósito de personificar diversos actores de la sociedad con múltiples características que se adaptan en consecuencia de las reglas que los rigen.(Sarmiento Vásquez & Sandoval, 2017)

Existe una paridad entre agentes virtuales y agentes reales lo que facilita en gran manera la interpretación de los experimentos, algunos diseños consideran a los agentes como iguales, lo que conlleva a que sus reglas de comportamiento sean similares, pero en la realidad estos agentes tienen consigo diferentes deseos, oportunidades y perspectiva de aquello que los rodea.(Valdecasas Medina & José Ignacio García, 2011).

Existen diversas herramientas que nos permiten simular agentes, a continuación, veremos algunas de las más conocidas.

2.4.1.2 NetLogo. Es un software de modelado basado en múltiples agentes que permite la programación de simulaciones. Es ampliamente utilizado por estudiantes, docentes e investigadores a nivel mundial. Además, es la base de las simulaciones interactivas de HubNet. Fue creado por Uri Wilensky y desarrollado en el CCL (The Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling).(Uri Wilensky, 1999)

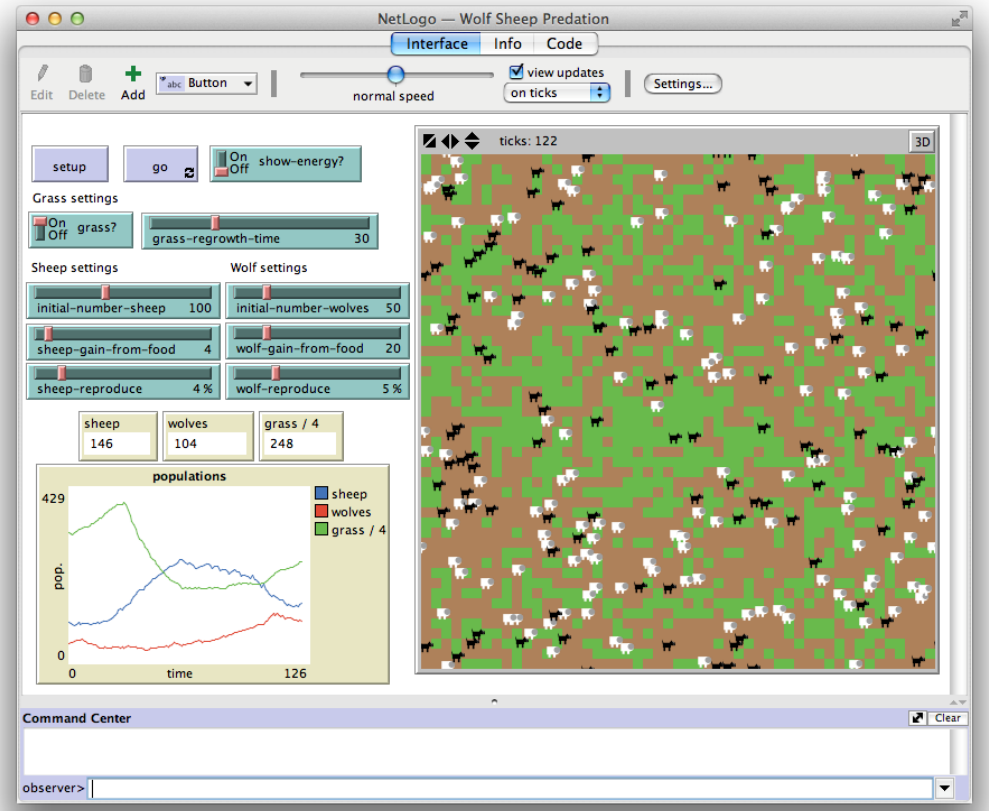
Netlogo nos permite simular sistemas complejos, dando instrucciones a cientos o miles de agentes que actúan de manera independiente obteniendo resultado tanto para pequeños grupos de actores como para grupos masivos. Desarrolladores, estudiantes y docentes exploran un gran número de simulaciones con las que pueden interactuar y auditar diferentes escenarios. Aunque

es una herramienta simple y fácil de usar, puede ser un instrumento poderoso que sirve de apoyo para investigaciones en diferentes áreas. Es un software gratis y de código abierto, se puede ejecutar en diferentes sistemas operativos, que además se enlaza con tu consola de comandos lo que hace totalmente programable.(Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, 2018)

La interfaz de netlogo es muy intuitiva y fácil de manejar a la cual le podemos agregar diversas entradas de datos y herramientas de visualización gráficas que permiten ver de manera detallada el comportamiento del modelo y ejecuta de manera controlada la simulación deseada (ver figura 6).

Figura 6

Interfaz gráfica de netlogo

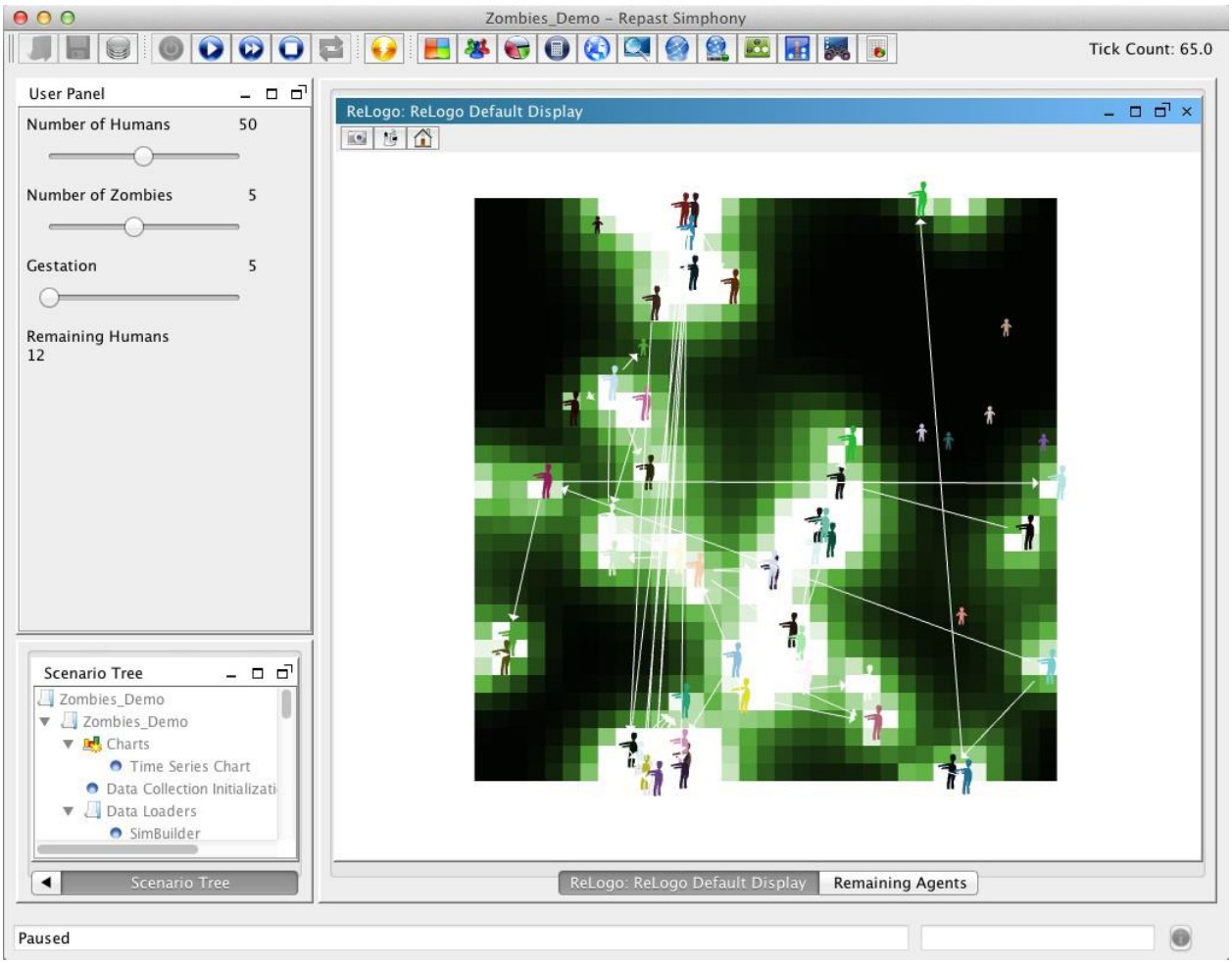


Nota. Tomado de la página web de la Universidad de los andes (Universidad de los andes, 2024)

2.4.1.2.1 Repast. Plataforma de simulación avanzada de modelos, lanzada el 21 de octubre de 2021, basado en C++ y centrado en grandes clústeres de información. Otorga un conjunto de bibliotecas y herramientas que nos permite crear modelos basados en agentes para datos masivos, especialmente utilizado en el ámbito académico.

Figura 7

Interfaz de Repast



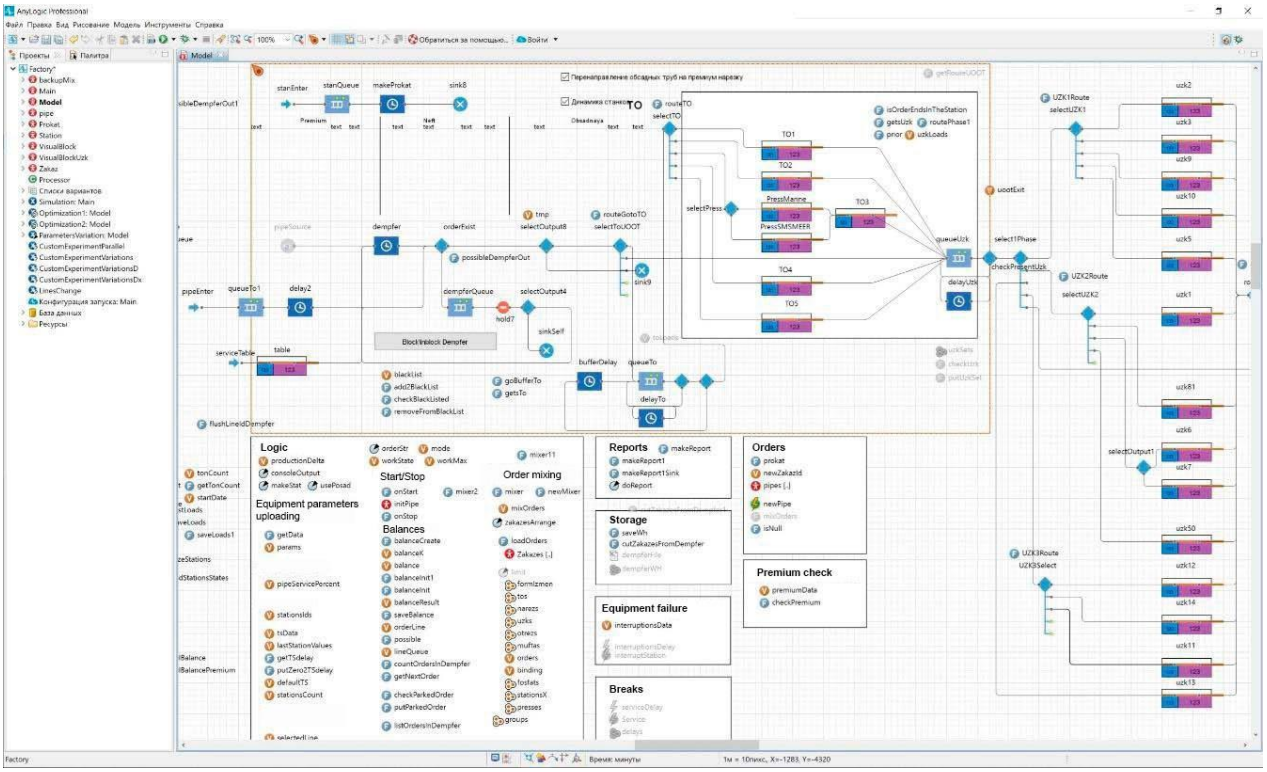
Nota. Tomado desde la página oficial de Repast

2.4.1.2.2 AnyLogic. Es una plataforma de modelado de simulación de propósito general que admite múltiples enfoques. Su versión gratuita, AnyLogic PLE, está diseñada para educación y autoaprendizaje, siendo utilizada por académicos, estudiantes y profesionales de diversas industrias para explorar y enseñar conceptos de simulación.(PARAGON, 2023)

AnyLogic Simulation Software permite desarrollar modelos utilizando tres metodologías modernas de simulación, las cuales pueden combinarse dentro de una misma herramienta para representar sistemas empresariales e industriales de cualquier nivel de complejidad. AnyLogic fue pionero en la introducción del modelado de simulación multimodo y sigue siendo el único software en el mercado con esta capacidad.(ENG, 2024)

Figura 8.

Interfaz de AnyLogic



Nota. Programación de manufactura de tubería de acero con AnyLogic Simulation Software. (ENG, 2024)

2.4.1.3 Sistemas de Alerta Temprana (SAT). Conjunto de dispositivos y herramientas diseñadas para detectar amenazas y activar protocolos de emergencia de manera oportuna.

Los SAT se definen como el conjunto de herramientas y habilidades requeridas para crear y propagar una alerta precisa, que notifique sobre la eventualidad de un evento de origen natural o humano, que puede provocar un desastre, con el objetivo de prevenir o disminuir sus efectos. Según la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2009).

Un SAT incluye cuatro componentes esenciales (Figura 9). 1 entendimiento del riesgo; 2 la supervisión, análisis y predicción de la amenaza; 3 difusión o transmisión de alertas y avisos; y 4 habilidades locales para reaccionar ante la alerta recibida. (López-García et al., 2017)

Figura 9.

Componentes de un SAT



Nota: Adaptado de (NOAA, 2010)

2.4.1.4 Evacuación. Proceso de traslado de personas desde áreas de riesgo a zonas seguras, influenciado por factores como rutas, señalización, comportamiento humano y densidad de población.(José & Rondón, 2010)

2.4.1.4.1 Tipos de evacuación. Existen 4 tipos de evacuación, la persona encargada de liderar el proceso es quien decide cual es el indicado para el evento que se esté presentando.

Evacuación lenta: Es una situación en la que una evacuación apresurada podría representar un peligro mayor que la propia emergencia, como en el caso de una inundación o una amenaza de bomba. En estos casos, las personas deben seguir las rutas de evacuación de manera controlada y organizada para prevenir el pánico y reducir el riesgo de lesiones.

Evacuación acelerada: Cuando la seguridad de la población esté en riesgo, la evacuación deberá realizarse sin correr, pero a un ritmo ágil, siguiendo la ruta más segura. Este tipo de evacuación es aplicable en situaciones como incendios o derrames de materiales peligrosos.

Evacuación intermitente: Es un tipo de evacuación que se lleva a cabo de manera escalonada, priorizando las áreas más cercanas a las salidas de emergencia para evitar la congestión en las rutas de evacuación. Se recomienda especialmente después de un sismo.

Evacuación forzada: Es aquella en la que se requiere la intervención de equipos de rescate y se lleva a cabo mediante métodos no convencionales.

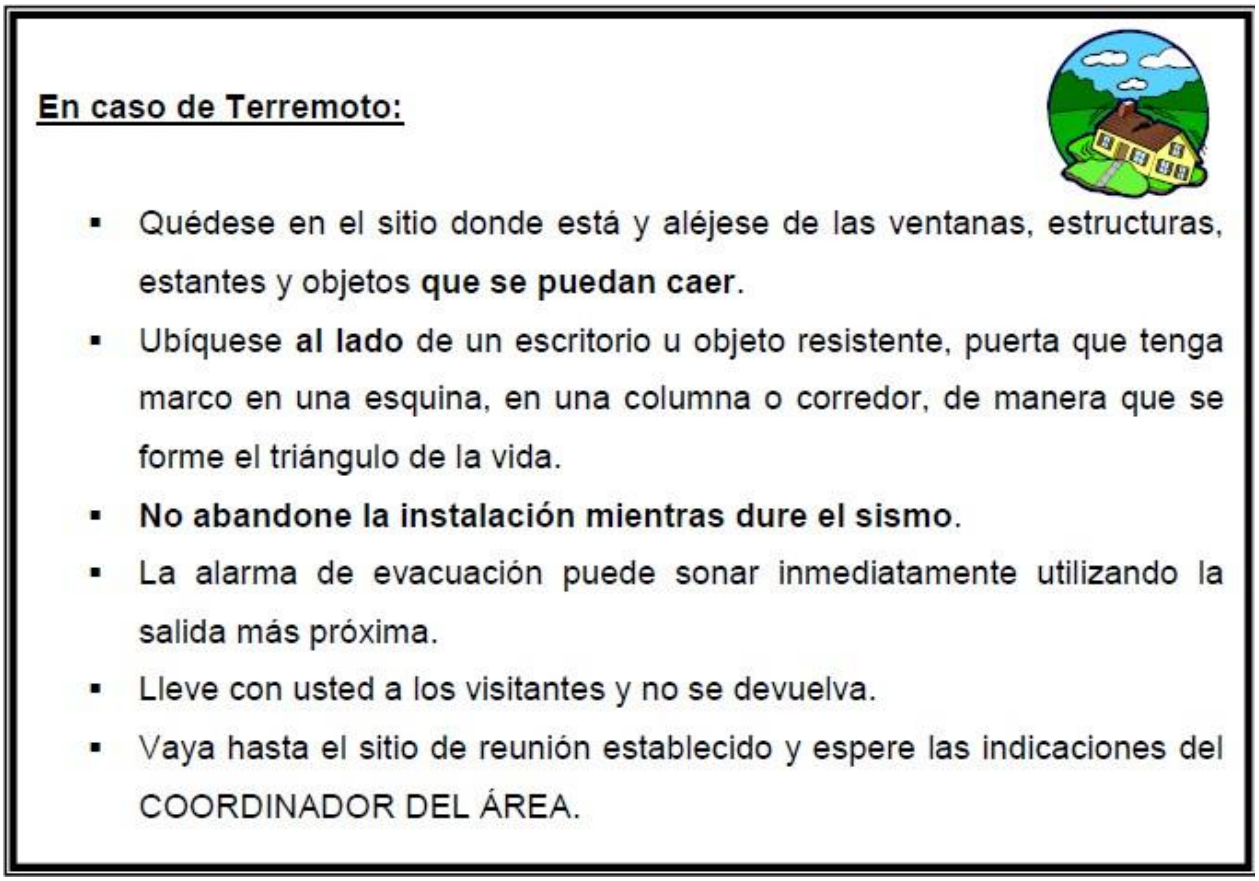
Según la cantidad de personas evacuadas, se puede clasificar en Evacuación Parcial y Evacuación Total. En la evacuación parcial, solo se desaloja el área específica en riesgo sin afectar a toda la población. En la evacuación total, se evacúa completamente el inmueble debido a una amenaza que representa un peligro para todos.(Guillermo Aguilera de la Rosa, 2005)

Existen diferentes sistemas de evacuación que son utilizados por las empresas, indicados en sus planes de emergencias, estos sistemas puedes ser manuales o sistematizados, se caracterizan especialmente por su fase visual y/o audible que le permite a los involucrados poder determinar de manera rápida que se encuentran bajo una situación de riesgo.

La Universidad Francisco de Paula Santander para su sede algodonal establece en su plan de emergencia el protocolo a seguir en caso de emergencia dentro de sus instalaciones, para nuestro caso, en el que se está evaluando en caso de un sismo se establece lo siguiente figura 10.

Figura 10.

Proceso a seguir en caso de sismo



Nota. Elaborado en el plan de emergencia de la Universidad Francisco de Paula Santander (Universidad Francisco de Paula Santander, 2021)

El comité de emergencias, en coordinación con los Organismos de Seguridad y Socorro, evaluará la situación para determinar si la emergencia ha sido controlada (“TODO BAJO CONTROL”). Con base en esta evaluación, decidirán si es seguro que el personal regrese a las instalaciones o si, por el contrario, debe permanecer fuera.

2.4.2 Metodología

Este estudio se enmarca dentro de una investigación aplicada y descriptiva, ya que busca diseñar un modelo de evacuación basado en simulaciones para mejorar la seguridad en situaciones de emergencia dentro del edificio de ingenierías de la UFPSO.

Investigación aplicada: Se enfoca en utilizar conocimientos previos para desarrollar una solución práctica y funcional en la gestión de evacuaciones.

Investigación descriptiva: Permite caracterizar las variables y los comportamientos de los individuos dentro del proceso de evacuación.

Adicionalmente, se emplea una metodología cuantitativa debido a la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos de las simulaciones.

El modelo se construye bajo la SBA (Simulación Basada en Agentes), definiendo agentes (estudiantes, docentes, visitantes) y simulando su comportamiento en distintos escenarios (ideal, sin iluminación, hora pico). Las variables clave incluyen nivel de pánico, flujo de personas y condiciones del entorno.

Para la ejecución de este proyecto, se propone el anterior método con las siguientes fases:

2.4.2.1 Revisión de literatura. En esta fase se realizará una búsqueda exhaustiva de literatura científica, artículos, estudios de caso y proyectos relacionados con modelos de simulación basados en agentes, dinámicas de evacuación y comportamiento humano en emergencias. Esto permitirá formar un marco teórico sólido y determinar las mejores prácticas para llevar a cabo este proyecto.

2.4.2.2 Definición del modelo conceptual. Durante este periodo, se establecerán los objetivos del modelo, los agentes involucrados como estudiantes, profesores y personal administrativo, las reglas de conducta y las interacciones entre los mismos. Además, se definen las variables clave del modelo, como la distribución espacial del edificio, las rutas de evacuación y los tiempos de respuesta.

2.4.2.3 Recolección y preparación de datos. En esta fase, se seleccionarán la información pertinente, como planos del edificio, ocupación de edificio, flujos de personas y tiempos de evacuación. Estos datos se procesan y organizan para ser utilizados como parámetros de entrada para el modelo de simulación.

2.4.2.4 Desarrollo del modelo de simulación. En esta fase, vamos a poner en marcha un modelo usando programas de simulación con agentes. Decidiremos qué reglas tienen los agentes para actuar, las condiciones iniciales para el modelo y los escenarios a simular (por ejemplo, evacuación en condiciones normales o con alguna dificultad).

2.4.2.5 Validación y calibración del modelo. Una vez desarrollado, el modelo se realiza la respectiva validación del modelo, comparando con datos reales y ejercicios de validación. Se ajustan los parámetros del modelo para que nos brinden una representación clara de las dinámicas de evacuación observadas en un ejercicio de evacuación real.

2.4.2.6 Pruebas y análisis de escenarios. En este punto, se harán pruebas bajo diferentes condiciones y en los escenarios seleccionados, como variaciones en la cantidad de personas presentes en el edificio. Se analizarán los resultados para identificar posibles cuellos de botella, rutas críticas y tiempos de evacuación.

2.4.2.7 Evaluación y propuestas de mejora. Finalmente, evaluamos el desempeño del modelo y su beneficio para ayudar a mejorar los protocolos de evacuación. Con base en los resultados, se plantearán recomendaciones para optimizar las rutas de evacuación, la señalización y la capacitación del personal, con el fin de aumentar la seguridad y eficiencia en situaciones de emergencia.

2.4.2.8 Socialización del modelo con dependencias de la UFPSO. En esta etapa, se realizará una presentación inicial del modelo de simulación a las dependencias relevantes de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO), como la oficina de Seguridad y Salud en el trabajo. Se explicará el funcionamiento del modelo, sus resultados y el cómo se podrían aplicar en la mejora de los planes de evacuación.

2.4.2.9 Elaboración de políticas o planes de mejora. Con base en los resultados del modelo y la retroalimentación obtenida, se desarrollarán políticas y planes de mejora para los protocolos de evacuación. Esto incluirá la actualización de rutas de evacuación, la implementación de señalización más efectiva, la capacitación del personal y la realización de simulacros periódicos. Estas propuestas se formalizarán en documentos que serán presentados a las autoridades universitarias para su implementación.

2.5 Marco legal

En Colombia, el marco legal que abarca las normativas de seguridad, regulaciones sobre evacuación, leyes relacionadas con simulaciones o software, y su aplicación en el ámbito académico, se sustenta en diversas leyes y decretos. A continuación, se destacan los más relevantes:

2.5.1 Normativa sobre Seguridad y Gestión del Riesgo en Colombia

Decreto 2157 de 2017: Este decreto instaura la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, definiendo compromisos para entidades públicas y privadas en la implementación de medidas de reducción del riesgo, así como en la elaboración de planes de emergencia y contingencia de ineludible cumplimiento. (DAFP 2157, 2017)

Decreto 4674 de 2010: Este decreto establece a las jurisdicciones territoriales y de policía la responsabilidad de velar por la seguridad y protección de las personas en zonas de alto riesgo,

autorizándolas a impartir órdenes de evacuación cuando la vida de las personas esté en peligro debido a emergencias, como las producidas por fenómenos naturales. (DAFP 4674, 2017)

2.5.2 Regulaciones sobre Planes de Evacuación en Edificios y Espacios Públicos

Norma Técnica Colombiana NTC 1700: Esta norma establece las exigencias mínimas que deben cumplir los medios de salida en inmuebles para facilitar la evacuación de los ocupantes en caso de situación de emergencia. Define términos como "rutas de evacuación" y "acceso de salida", y proveerá directrices sobre la señalización y diseño de rutas de evacuación. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2008)

Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencias (PPRE): Este plan, elaborado por la Función Pública, detalla los recursos técnicos y humanos precisos para la atención de emergencias, incluyendo la capacitación de brigadas y la implementación de equipos como detectores de humo y sillas de ruedas para facilitar la evacuación de personal con movilidad reducida.

2.5.3 Leyes y Normativas sobre Simulación y Modelado Basado en Agentes

En Colombia que regulen el uso de simulaciones y modelado basado en agentes, pero diversas instituciones académicas han desarrollado metodologías y estudios que aplican estas herramientas en contextos como la salud pública y la innovación social:(Departamento Administrativo de la Función Pública, 2023)

2.5.3.1 Diseño de Modelos de Simulación Basada en Agentes para la Innovación Social

Social: Este proyecto propone un método para emplear modelos de simulación basados en agentes en sistemas locales de innovación, facilitando la comprensión de cómo ciertas capacidades afectan la innovación social. (Javier Andrés Loaiza Monsalve, 2016)

2.5.4 Normativa Académica y su Aplicación en Instituciones Educativas

Las entidades educativas en Colombia están regidas por regulaciones que pretenden asegurar la protección de alumnos y personal docente:

Reglamento de la Brigada de Emergencias: Este reglamento establece las funciones de las brigadas de evacuación y rescate en instituciones públicas, enfocándose en coordinar y asegurar la salida de ocupantes hacia sitios de menor riesgo durante una emergencia.(SECRETARÍA DISTRITAL DE SEGURIDAD, 2022)

Capítulo 3. Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos

3.1 Preguntas de investigación

El objetivo principal de este estudio es implementar un modelo de simulación de evacuación utilizando la herramienta NetLogo para mejorar la capacidad de respuesta en situaciones de emergencia en el segundo piso del edificio de ingenierías de la UFPSO. En búsqueda de estudios primarios relacionados, se definieron las siguientes preguntas de investigación.

RQ1. ¿Cuál es el nivel de preparación y conciencia de las personas dentro de edificios de gran altura, especialmente en lo referente a la evacuación durante situaciones de emergencia?

RQ2. ¿Cómo puede influir la falta de un plan integral de evacuación en la seguridad y supervivencia de las personas en caso de un evento catastrófico, como un terremoto?

RQ3. ¿Cuál es la importancia del conocimiento previo de las rutas de evacuación y los planos de respuesta ante emergencias para reducir la confusión y el pánico durante una situación de crisis?

RQ4. ¿Qué impacto tienen las reacciones emocionales, como el desconcierto y el pánico, en la efectividad de las acciones tomadas durante una evacuación en situaciones de emergencia?

RQ5. ¿De qué manera los modelos de simulación basados en agentes pueden optimizar la planificación y ejecución de respuestas ante emergencias, especialmente en edificios altos ubicados en regiones de alto riesgo sísmico?

3.1.1 Definición de los criterios de búsqueda

Para plantear un modelo de simulación que sustente la problemática planteada, es necesario conocer conceptos básicos sobre el modelado, simulación, evacuaciones, y cómo se aplican en casos de emergencia reales y estudiados.

Los criterios de búsqueda principales se establecen en la preguntas de investigación y se relacionan entre sí, estas cuatro palabras claves principales son “evacuation”, “agents”, “simulatión”, “modeling”. Para la creación de la cadena de búsqueda final, se unieron cuatro palabras con el operador lógico “AND” como se evidencia a continuación:

(“evacuation AND agents AND simulatión AND modeling”)

Para elegir las bases de datos relevantes para hacer la búsqueda, se consideró un listado de bases de datos destacadas en el ámbito de las Ciencias de la Computación y la Ingeniería. Luego, para enfocar la búsqueda, se redujo esta lista seleccionando las bases de datos que incluyen las conferencias y revistas más relevantes en el campo de la tecnología educativa, y se ajustó la cadena de búsqueda según se muestra en la tabla I. Se eligieron las siguientes bases de datos bibliográficas y gestor de referencia en el cual se obtuvieron diversos documentos:

- Mendeley
- ScienceDirect

- Scopus

Tabla 1.

Cadena de búsqueda.

Base de datos y/o Gestor bibliográfico	Cadena de búsqueda
Mendeley	evacuation AND agents AND simulatión AND modeling
ScienceDirect	(“evacuation AND agents AND simulatión AND modeling”)
Scopus	TITIEL-ABS-KEY (“evacuation AND agents AND simulatión AND modeling”)

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2:

Tabla 2.

Número de estudios primarios obtenidos.

Base de datos y/o Gestor bibliográfico	Cantidad
Mendeley	93
ScienceDirect	89
Scopus	67
Total	249

3.1.2 Definición de los criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios de inclusión (I) y exclusión (E) para agregar o eliminar artículos del análisis, como se detalla a continuación:

Criterios de inclusión:

I1: Artículos publicados en los últimos cinco años (2015-2020) y algunos anteriores si son muy relevantes para las preguntas de investigación.

I2: Si varios artículos tratan la misma temática, se seleccionará el más reciente.

I3: Si un artículo aborda diferentes temáticas, cada una se evaluará por separado.

I4: Si existen versiones corta y completa de un estudio, se incluirá la versión completa.

Criterios de exclusión:

E1: Reportes técnicos y documentos accesibles únicamente en forma de resúmenes o presentaciones (literatura gris), así como estudios secundarios que incluyen revisiones y mapeos sistemáticos.

E2: Artículos en lenguaje distintos al inglés o español.

E3: Artículos que no tengan conexión con la temática educativa.

E4: Artículos que no están vinculados a las ciencias de la computación ni a disciplinas relacionadas.

3.1.3 Extracción y mapeo de los artículos

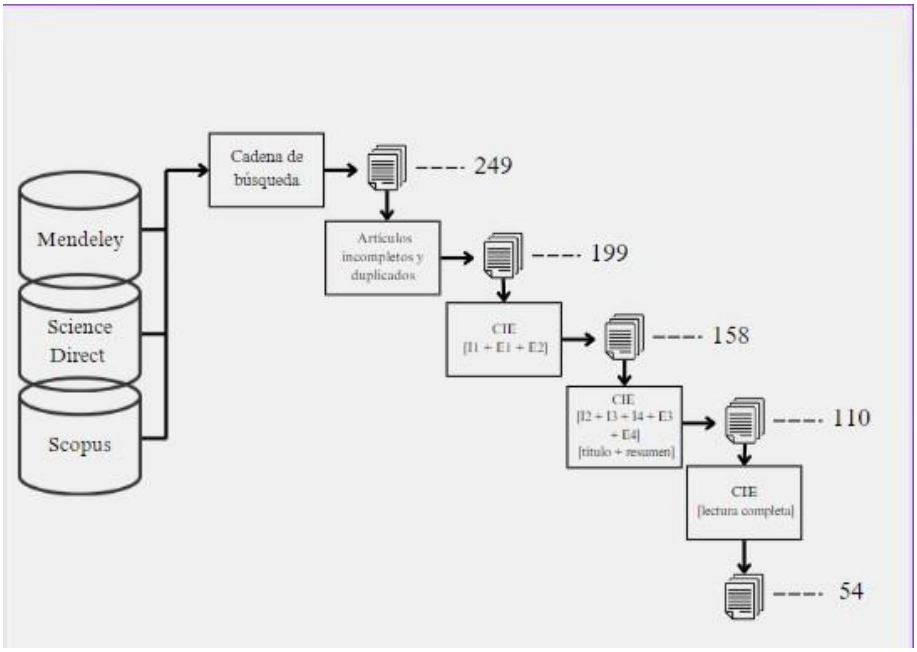
Los artículos fueron procesados y analizados para dar respuesta a la pregunta de investigación. La Fig. 1 ilustra los pasos descritos en las secciones 2.1, 2.2 y 2.3. De las bases de datos escogidas, se consiguieron 149 artículos, eliminando 50 registros fragmentados o extraños, subsistiendo 199 artículos. De estos, 41 estaban duplicados en varias bases de datos, por lo que se eliminaron los facsímiles, dejando 158 artículos para el análisis. Luego, se aplicaron las

exigencias de inclusión y exclusión (I1 + E1 + E2) a los 158 artículos, acogiendo aquellos publicados en los últimos cinco años y exceptuando los que no eran artículos publicados, de conferencia o capítulos de libro, y los escritos en idiomas distintos al inglés o español, permaneciendo 158 artículos.

Aplicamos los términos de inclusión y exclusión (I2 + I3 + I4 + E3 + E4) a los 158 artículos, revisando sus títulos y resúmenes, y seleccionamos 48 trabajos inicialmente relevantes para la temática. En la última etapa, estudiamos detenidamente los 110 artículos restantes y volvimos a aplicar los términos de inclusión y exclusión, eliminando 54 trabajos. Finalmente, quedaron 54 artículos que se utilizaron como base para responder cada una de las preguntas de investigación.

Figura 11.

Visión general del proceso de filtrado de artículos.



Para responder a RQ1 (¿Cuál es el nivel de preparación y conciencia de las personas dentro de edificios de gran altura, especialmente en lo referente a la evacuación durante situaciones de emergencia?), podemos notar que en muchas ocasiones las personas no reaccionan de manera correcta ante situaciones de emergencia, situación que los puede llevar a no actuar como lo indican los planes de evacuación establecidos, factores como la ruta de evacuación, orden y nivel de pánico son determinantes. Investigaciones indican que el 70 % de las personas presentan conducta desordenada o desconcierto en situaciones de emergencia (Fidalgo Vega, 1993)

Las personas optan por tomar la ruta más corta cuando existe buena visibilidad. Otras personas compiten entre sí por obtener la mejor ruta disponible, lo que lleva a que existan muchos ajustes en la dirección del movimiento y por consiguiente mayor tiempo de evacuación. Pero cuando no se tiene conocimiento de dónde está la salida más cercana las personas suelen seguir a los demás peatones, ya que los pueden guiar hacia la salida (Zhiming et al., 2020).

En general, ante una emergencia, las personas sienten temor de admitir la responsabilidad de su actuar y tomar decisiones, e instintivamente tienden a agruparse. Cuanto mayor sea el peligro, mayor será la necesidad de tantos grupos como sea posible. Esta es la base de las reacciones de pánico que lleva a la población a estados masivos altamente sugestivos y crean contagio.

Para ello, se utilizará la metodología de modelado de agentes, que permitirá simular el comportamiento de múltiples individuos (agentes) en un entorno determinado (el edificio) y modelar cómo se comportan y reaccionan en diferentes situaciones de emergencia. Además, se utilizará Net Logo, un software de modelado basado en agentes, para construir el modelo de simulación (Aguilera Ontiveros & Posada Calvo, 2017).

El objetivo principal es mejorar la seguridad de estudiantes, docentes y el personal administrativo en caso de una emergencia en el edificio. Esto se logrará a través de la caracterización y solución de problemas potenciales en la evacuación, así como la validación y optimización de los protocolos de evacuación existentes.

Lo que nos lleva a la pregunta RQ2. (¿Cómo puede influir la falta de un plan integral de evacuación en la seguridad y supervivencia de las personas en caso de un evento catastrófico, como un terremoto?).

La evacuación de un edificio es una tarea vital que puede salvar vidas y minimizar los daños, pero también puede ser muy difícil y peligrosa si no se planifica y ejecuta correctamente. Muchas agencias y organizaciones en edificios altos carecen de planes de prevención y evacuación para eventos que pongan en peligro la vida (José & Rondón, 2010). La falta de un plan integral de evacuación puede perturbar a muchas personas con distintos niveles de gravedad (Abdelghany et al., 2014)

Cuando hablamos de planes de evacuación es de vital importancia tener en cuenta las rutas de evacuación lo que nos lleva a la pregunta RQ3(¿Cuál es la importancia del conocimiento previo de las rutas de evacuación y los planos de respuesta ante emergencias para reducir la confusión y el pánico durante una situación de crisis?).

Dentro de las causas principales que influyen en el momento de llevar a cabo una situación de emergencia es el conocimiento correcto de las posibles rutas de evacuación existentes y los planes de respuesta ante emergencias los cuales son desconocidos por la mayor cantidad personas que se localizan en los establecimientos de segundo piso del edificio de ingenierías, ya que si a la hora de llevar a cabo una situación de emergencia no se toman en cuenta estos factores pueden presentarse muchos accidentes en incluso muertes por no actuar de la manera correcta.

Investigaciones hechas por Rostami,Reza, Alaghmandan y Matin, en las que se simula computacionalmente modelos de salidas en base a procesos de diseños, especialmente para edificaciones que están destinadas a mantener un flujo constante de personas. Los arquitectos deberían tomar en cuenta los resultados de estas simulaciones para ayudar a reducir tiempos de evacuación (Rostami & Alaghmandan, 2021).

Por otro lado, la parte emocional es un factor imprescindible, lo que nos lleva a la pregunta RQ4. ¿Qué impacto tienen las reacciones emocionales, como el desconcierto y el pánico, en la efectividad de las acciones tomadas durante una evacuación en situaciones de emergencia?

Es fácil ver cuán importante es para las personas, que al inicio de las fases de un contratiempo, tener una idea precisa de que existe una salida. De lo contrario, se puede desencadenar la impotencia emocional, lo que lleva a un comportamiento autoagresivo y debilitante, y agresión hacia otros que buscan una salida y tratan de alcanzarla.

Un artículo presentado llevado a cabo por Yumeng Zhao y otros autores importantes y patrocinado por la Fundación de Ciencias Naturales de la provincia de Zhejiang de China, en el cual se simula a través de realidad virtual un movimiento telúrico o terremoto en el cual la persona se me inmersa en la situación y puede visualizar como todo a su alrededor se mueve, utilizando un modelo propuesto por estos autores el cual se le denomino ECM (emotional cognitive model), el cual deja al descubierto como afecta directamente el contagio emocional a las personas (Zhao et al., 2024).

La mayoría de los modelos de evacuación actuales basados en agentes incluyen interacciones entre los evacuados. Sin embargo, las suposiciones sobre las razones de estas interacciones y su descripción pueden ser demasiado simplificadas. Estudios en psicología social indican que las personas se comunican e interactúan durante una evacuación, y que la manera en que se transmite la información influye en la respuesta de los evacuados (Templeton et al., 2024).

Todo esto hace querer saber cómo se puede buscar una solución por lo cual se plantea la siguiente pregunta RQ5. ¿De qué manera los modelos de simulación basados en agentes pueden

optimizar la planificación y ejecución de respuestas ante emergencias, especialmente en edificios altos ubicados en regiones de alto riesgo sísmico?

Estos modelos permiten simular el comportamiento de múltiples individuos en situaciones de emergencia, como evacuaciones, dentro del entorno específico del edificio. Al modelar cómo se comportan y reaccionan las personas en diferentes escenarios de emergencia, estos modelos pueden identificar problemas potenciales en la evacuación y validar y optimizar los protocolos existentes para aumentar la seguridad de los integrantes del edificio. Además, al analizar las interacciones y sincronización de los agentes, se pueden diseñar protocolos de respuesta más eficientes y coordinados, lo que es crucial para salvar vidas en un evento sísmico de gran magnitud (Aguilera Ontiveros & Posada Calvo, 2017)

El modelado a través de agentes permite obtener resultados a nivel individual y a nivel grupal simultáneamente. Como este tipo de modelo funciona simulando a cada agente (individuo) y sus decisiones, se puede analizar el historial y el comportamiento de cada persona dentro del modelo.

Algunos autores nos dicen que también un modelado basado en agentes puede considerar muchos aspectos importantes de la evacuación, como el cambio en la velocidad de movimiento dependiendo de la densidad de la multitud, el cambio de destino dependiendo de la capacidad de un refugio y diferentes horas de inicio de la evacuación (Takabatake et al., 2017)

De igual manera, los modelos basados en agentes son valiosos cuando las interacciones entre los agentes no son sencillas de simular, ya sea por su naturaleza o porque incluyen agentes

heterogéneos. Por ejemplo, se pueden definir unas pocas reglas simples para describir una amplia variedad de interacciones entre diferentes tipos de agentes. Además, en estos modelos, los agentes individuales pueden mantener un registro de sus interacciones pasadas, lo que les permite cambiar sus comportamientos e incluso sus estrategias basándose en eventos anteriores (Aguilera Ontiveros & Posada Calvo, 2017)

Una respuesta oportuna y eficaz a los eventos naturales o incitados por el hombre puede reducir las víctimas, reducir o prevenir desastres secundarios y minimizar las pérdidas económicas y los consiguientes trastornos sociales. El modelado basado en agentes tiene un enfoque aproximadamente nuevo para desarrollar herramientas de simulación de fenómenos complejos en diferentes campos (por ejemplo, desastres naturales). Como método ascendente, este modelo puede simular eficazmente el comportamiento de diferentes grupos de agentes y representar la tendencia general de los fenómenos sociales.

Los eventos negativos pueden ocurrir sin previo aviso, dejando a las víctimas desprevenidas y causando daños a la gente, el medio ambiente y la economía. Ejemplos incluyen desastres naturales como huracanes e incendios forestales, así como eventos humanos como derrumbes de minas y ataques terroristas. El principal objetivo es minimizar las víctimas, con la prioridad de salvar vidas. Esto requiere planes de evacuación bien preparados que guíen a las personas hacia rutas seguras fuera de las zonas peligrosas, como edificios, áreas de conflicto, bosques en llamas o regiones afectadas por desastres naturales. El éxito de estos planes depende de factores como el comportamiento humano, modelar el comportamiento humano es crucial para la planificación efectiva en situaciones de emergencia (Şahin et al., 2019)

Responder de manera rápida y eficiente a los eventos, ya sean naturales o provocados por el hombre, puede disminuir el número de víctimas, evitar desastres secundarios y reducir tanto las pérdidas económicas como los trastornos sociales. El modelo basado en agentes es un método relativamente reciente que nos permite simular fenómenos complejos en diversas áreas, como los desastres naturales. Este método, que utiliza un enfoque ascendente, permite simular de manera efectiva el comportamiento de distintos grupos de agentes y capturar las tendencias generales de los fenómenos sociales (Keykhaei et al., 2024)

Capítulo 4. Desarrollo del modelo

4.1 Diseño del Modelo

Este capítulo se centra en describir el desarrollo de un modelo del primer piso del edificio de ingenierías de la UFPSO utilizando técnicas de modelado basado en agentes.

Este edificio es uno de las zonas más concurridas de la universidad debido a que cuenta con tres pisos, los dos primeros con salones de clases y el último con la parte administrativa de las facultades de ingeniería, lo que genera una gran movilidad por las escaleras principales y los pasillos del primer y segundo piso, siendo la entrada del segundo piso la más concurrida ya que es considerada la entrada principal.

Se ha optado por un modelo basado en agentes para personificar este sistema complejo. Un modelo de este tipo consta de dos componentes principales: los agentes y su entorno. Además, se examina el papel de la comunicación entre agentes y cómo se personifica en el modelo.

Tabla 3.

Conceptos de diseño.

Conceptos de diseño (Design Concepts)	**Principios básicos:** El modelo descrito tiene una complejidad que puede ser bastante elevada ya que contamos con agentes como personas, variables y parámetros que se generarán de manera aleatoria, esto nos

podría generar una situación en los resultados de la simulación, puesto que pasarían cosas que no ocurren en el mundo real. Para esto utilizamos una complejidad mínima y así podremos validar para que el modelo pueda acercarse bastante a la realidad para tener utilidad.

Emergencia: Los resultados modelados como emergentes serán la velocidad de evacuación, la eficiencia en las salidas de emergencia, la seguridad y la comodidad de los evacuados. Se espera que los resultados sean altamente complejos ya que estarán determinados por el comportamiento individual de los agentes (los evacuados) que interactúan entre sí y con su entorno en tiempo real, por esto debemos tener en cuenta las diferentes variables como la velocidad, la percepción de los evacuados, la dirección, las obstrucciones en el camino y las posibles alternativas de rutas de escape.

Adaptación: Los rasgos de adaptación de los individuos se ajustan al comportamiento que puedan tener cuando las condiciones del entorno cambien durante la evacuación, como la presencia de obstáculos o congestión en la salida de emergencia.

En las reglas para la toma de decisiones o el cambio de comportamiento pueden incluir la capacidad de los individuos para detectar y responder a señales de peligro como alarmas, incendios o humo y también para coordinar su comportamiento con otros evacuados para evitar

atascos y garantizar una salida segura. además, podrían influenciar los factores emocionales como el miedo o el pánico lo que podría afectar la capacidad de los evacuados para tomar decisiones lógicas o razonables.

Detección: Las variables de estados que son asumidas para la detección y consideración en las decisiones de los individuos podrían incluir la presencia de obstáculos, la congestión en la salida, el humo, la temperatura y la ubicación de las señales de salida. La detección de todas estas variables podría permitir a los evacuados tomar decisiones sobre cómo proceder en la evacuación.

Las variables de estados que pueden ser percibidas por otros individuos pueden incluir la dirección y la velocidad de movimiento, la presencia de obstáculos y el lugar de las salidas de emergencia. La percepción de estas variables por lo otro evacuado podría influir en la toma de decisiones de los individuos y afectar la eficiencia de la evacuación.

Interacción: Los tipos de interacciones entre agentes pueden incluir interacciones físicas, como el contacto físico o la obstrucción en la trayectoria de los otros evacuados, la comunicación verbal entre los diferentes tipos de agentes durante la ejecución del simulador, teniendo en cuenta de que pueden existir barreras de

comunicación como el ruido evitando así la eficiencia de la evacuación.

Aleatoriedad: Algunos procesos pueden ser modelados partiendo del supuesto que son al azar, como la ubicación inicial de los agentes, el momento en que los agentes toman decisiones de evacuación, la velocidad y la dirección en que se muevan los agentes y otras causas que pueden intervenir en el comportamiento de los agentes.

Observación: Es necesario observar los resultados de la evaluación en términos de tiempo de salida, número de personas evacuadas y eficacia en la prevención de situaciones de peligro.

Se recopilan datos sobre la velocidad y dirección del movimiento de los agentes, la congestión en las rutas de evacuación y la presencia de obstáculos que dificultan la evacuación.

4.1.1 Los agentes

Los agentes son la parte esencial del modelo, representando cada unidad del edificio de ingenierías que puede actuar de manera activa o pasiva. Los agentes activos incluyen a todos los individuos que intervienen proactivamente, como estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes.

Las personas pasivas no actúan solas, reaccionan a las acciones de otras personas activas, para este caso en específico existe un agente pasivo el cual es la alarma para este tipo de emergencias el cual fue denominado por la universidad con un silbato.

4.1.2 Estudiantes

Los estudiantes son los individuos trascendentales del sistema y su razón de ser. Aunque un edificio de este tipo no marcharía sin cada una de los tipos de individuos, perdería su propósito sin los estudiantes.

Dado el enfoque del modelo en los estudiantes, estos están involucrados con casi todos los otros agentes del sistema, aunque no todos los estudiantes interactúan con cada tipo de agente en cada visita. Latentemente, los estudiantes pueden interactuar con todos los otros tipos de agentes.

4.1.3 Docentes

Los docentes son unos de los agentes más importantes en este sistema debido a que son los encargados de llevar a cabo la orientación y organización de los estudiantes en el salón de clases y quienes en caso de alguna emergencia deben convertirse en coordinadores de evacuación de área encargado de cada uno de sus estudiantes.

4.1.4 Variables de estado

Los agentes se personifican mediante una máquina de estados, donde cada estado se distingue por el grupo de valores de las variables de estado.

Una máquina de estados modela un sistema con distintos estados separados, representados por variables de estado que pueden tomar diferentes valores en cada momento. Cada grupo de valores disímiles figura un estado distinto. Existe una única máquina de estados para todos los tipos de agentes existentes en el modelo, por lo que algunas composiciones de valores no poseen sentido y es casi improbable que ocurran durante la manipulación del modelo.

4.1.4.1 Iluminación. La iluminación desempeña una función esencial en la protección de los habitantes de un edificio durante una evacuación de urgencia. En circunstancias críticas como incendios, terremotos o interrupciones en el suministro eléctrico, la carencia de visibilidad puede provocar confusión, incrementar el grado de miedo y complicar la localización de las salidas. Diversas investigaciones han evidenciado que un sistema apropiado de iluminación de emergencia optimiza los tiempos de evacuación y disminuye los peligros relacionados con la desorientación y los accidentes durante el procedimiento de salida

Conforme a Zemper (2024), la iluminación de emergencia facilita que los individuos reconozcan de manera expedita las rutas de evacuación y los lugares donde deben resguardarse, previniendo choques y tropiezos. Adicionalmente, con el avance de los sistemas inteligentes, es posible incorporar detectores y automatización en tiempo real para optimizar la reacción ante circunstancias críticas. (Jorge Prado, 2022)

Por otro lado, Okatek (2024) enfatiza que la iluminación es esencial en instalaciones contra incendios, ya que permite la localización rápida de extintores y alarmas, facilitando la acción del personal encargado de la emergencia. Sin una iluminación apropiada, los individuos pueden perderse, lo que incrementa la duración de la evacuación y el peligro de lesiones. (Okatek Organismo de Control Autorizado (OCA), 2024)

Un estudio realizado en la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESFOT) concluyó que la falta de iluminación de emergencia en espacios universitarios afecta la seguridad de estudiantes y docentes. En su investigación, la Biblioteca Digital EPN (2018) demostró que la implementación de sistemas de alumbrado en zonas clave del campus mejora la organización de las evacuaciones y reduce la posibilidad de accidentes (Biblioteca Digital EPN , 2018)

Desde una perspectiva normativa, la regulación colombiana también resalta la importancia de este factor. El Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) establecen los requisitos para garantizar niveles adecuados de iluminación en edificaciones, asegurando que los ocupantes puedan evacuar de manera segura en caso de emergencia (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, 2024), (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, 2024)

Dentro del modelo de evacuación del segundo piso del edificio de Ingenierías de la UFPSO, la iluminación será considerada como una variable de entorno. Se llevarán a cabo simulaciones de diversos escenarios, abarcando condiciones de iluminación óptimas y fallos en

el sistema de iluminación, con el fin de analizar su repercusión en el tiempo de evacuación y la conducta de los involucrados.

El Escenario 2: Sin iluminación, incluido en el capítulo 5 de simulaciones, se examinaran en contraste con el Escenario 1: Condiciones ideales. Se anticipa que la carencia de visibilidad incrementará el tiempo de evacuación y el grado de alarma entre los agentes, lo que posibilitará detectar áreas de optimización en la seguridad del edificio.

Fundamentado en los resultados alcanzados, se podrán establecer sugerencias para optimizar la iluminación de emergencia en la universidad, conforme a los parámetros fijados en RETILAP y RETIE. De este modo, la simulación no únicamente funcionará como un instrumento de análisis, sino también como un fundamento para la ejecución de mejoras en la infraestructura del campus.

4.1.4.2 Alto flujo. La concentración de ocupantes en un edificio es un elemento crucial en la efectividad de una evacuación durante circunstancias de emergencia. Un aflujo significativo de individuos puede ocasionar obstrucciones en las salidas, aumentando el tiempo requerido para evacuar y elevando el riesgo de incidentes debido a concentraciones. Investigaciones especializadas señalan que, en pasillos con densidades reducidas de 1 a 2 personas por metro cuadrado, se alcanzan flujos óptimos de 1,3 a 1,5 personas por metro segundo y velocidades de movimiento entre 0,6 y 0,7 metros por segundo. Sin embargo, al aumentar la densidad de ocupación, estos valores pueden disminuir significativamente, afectando la eficiencia de la evacuación(Angel Diaz Caro, 2020)

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 1700 establece requisitos mínimos para los medios de salida en edificaciones, con el objetivo de facilitar la evacuación segura de los ocupantes en casos de incendio u otras emergencias. Esta normativa define los medios de evacuación como vías libres y continuas desde cualquier punto de una edificación que conducen a un lugar seguro.(ICONTEC, 2008)

Además, la NTC 4145 especifica las dimensiones mínimas y características generales que deben cumplir las escaleras principales en edificios y espacios urbanos y rurales, garantizando que las rutas de evacuación sean adecuadas para manejar un flujo elevado de personas(ICONTEC, 2012)

En el contexto del modelo de evacuación del segundo piso del edificio de Ingenierías de la UFPSO, se incorporará el flujo de personas como una variable crítica. Se simularan diversos

contextos que consideren alteraciones en la densidad de ocupación, posibilitando examinar cómo afecta un elevado tránsito de personas en los tiempos de evacuación y en la conducta grupal durante una emergencia.

Finalmente, el Escenario 3: Alta Densidad de Ocupación será comparado con el Escenario 1: Condiciones Ideales, que también fue analizado anteriormente. Se espera que el segundo escenario permita a las personas evacuar el edificio en un período más corto. Inversamente, los supuestos del tercer escenario se distinguen por la alta densidad de personas en un tiempo limitado, lo que puede provocar la congestión y zonas de asistencia. En su mayor parte, este enfoque permitirá a los investigadores identificar los cuellos de botella que necesitan mejoras en las rutas de escape.

4.1.4.3 Hora pico. Durante los cambios de clase en las instituciones educativas, se aprecia un aumento notable en la cantidad de alumnos transitando por los pasillos. Este incremento se debe a que, mientras algunos estudiantes esperan para ingresar a sus aulas, otros están saliendo de sus sesiones previas. Generalmente, las clases poseen una duración de entre 2 y 4 horas, siendo las de 2 horas las más habituales.

Este flujo elevado de individuos durante las transiciones de clase puede provocar congestión en las rutas de evacuación, incidiendo negativamente en los tiempos de salida en situaciones de emergencia. La acumulación de estudiantes en áreas comunes puede obstruir los caminos de escape y aumentar el riesgo de accidentes.

Para evaluar el impacto de las horas pico en la evacuación del segundo piso del edificio de Ingenierías de la UFPSO, se considerará el escenario 3: Hora pico en el capítulo de simulaciones. Este escenario tomará en cuenta una alta densidad de estudiantes en los pasillos durante los períodos de transición entre clases.

Se prevé que este escenario desvele desafíos adicionales en comparación con los escenarios de ocupación habitual, permitiendo identificar áreas críticas que requieren mejoras en las rutas de evacuación y en la gestión de flujos durante emergencias.

Los resultados obtenidos servirán para desarrollar estrategias que optimicen la seguridad durante las horas pico, asegurando una evacuación eficiente y segura para todos los ocupantes del edificio.

4.1.5 Nombre/Identificador

Cada agente tiene un identificador único, importante para cada clase de agente, que ayuda a detallar las variables de estado de cada agente en un momento determinado.

Tabla 4.

Nombre/Identificador.

Variable	Valor
Nombre/Identificador	Único por agente
Ubicación	Salón de clases o salas de conferencias, pasillo, entrada del edificio, baños
Acción	Moviéndose en los pasillos, sentado en el salón de clases, o de pie en las zonas de interés

Condición física	Peso, energía, velocidad de movimiento
Conducta individual	Nivel de pánico
Sismo	Nivel del sismo
Infraestructura	Puertas y paredes

4.1.6 Ubicación

Cada agente tiene una locación, un aspecto esencial en cualquier modelo basado en agentes. La localización de un agente indica dónde se encuentra en cada instante y cambia físicamente al actuar bajo ciertas condiciones.

En este caso en específico el movimiento efectuado por cada agente es teóricamente hacia la misma dirección y tienen el mismo punto de encuentro en común.

4.1.7 Acción

Los agentes se desplazan de una ubicación a otra y también modifican su accionar. La acción de un agente indica loque puede estar desarrollando en ese momento. Todos los diferentes tipos de agentes tienen un accionar especifico, que generalmente diferencian los estados de un agente de un momento a otro.

Las acciones son las variables más dinámicas durante una etapa de modelado, cambiando frecuentemente con cada lapso de tiempo. Algunas acciones poseen duraciones, como el desplazamiento, que mantienen al agente en el mismo estado hasta que la acción se completa (por ejemplo, llegar a otro lugar).

En este contexto, una de las acciones más cruciales, y en la que se fundamenta el sistema, es la evacuación del personal. Esta se mide desde el momento en que la primera persona comienza a salir hasta que la última llega a un lugar seguro. Este tiempo depende de:

Distancia a recorrer.

Número de personas a evacuar.

Capacidad de las vías.

Limitaciones de riesgos.

Y se calcula de la siguiente manera:

$$TS = \frac{N}{(A * K)} + \frac{D}{V}$$

Fuente. (AGESO, 2022).

TS: Duración de la evacuación.

N: Número de individuos.

A: Medida del ancho de la salida indicada en metros.

K: Constante experimental el cual se establece en 1,3 Personas / m * seg.

D: Longitud total del trayecto indicado en metros.

V: Velocidad de avance: 0,6 m / seg.

4.1.8 Condición física

La condición física refleja el estado actual de un individuo. A menudo, esta condición no es seguidamente evidente, y algunas de sus variables dependen directa o indirectamente de otras variables.

Durante un lapso de tiempo simulado, el estado físico de un agente puede variar debido a las diversas acciones que realizan los agentes presentes en el sistema.

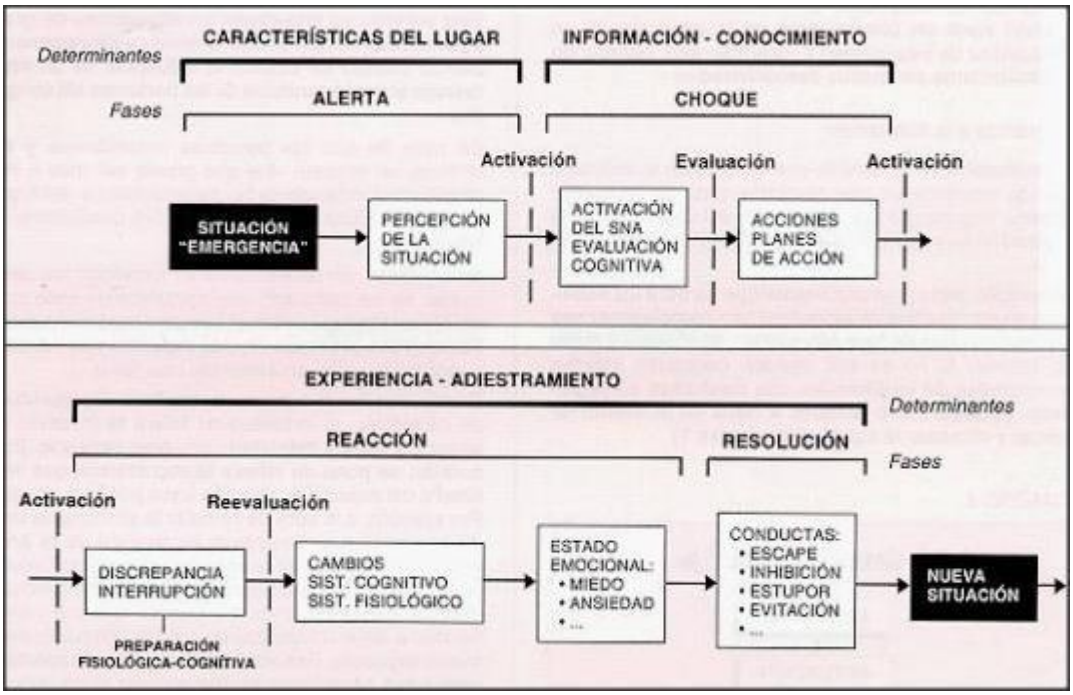
4.1.9 Conducta individual

Es fácil comprender la importancia de que los individuos, en el inicio de las fases de una emergencia, tengan un discernimiento claro de que existe una salida, dónde se encuentra y quién los guiará. De lo contrario, pueden surgir estados emocionales de indecisión, con comportamientos autoagresivos, paralizantes o incluso acometidas a otros en el intento de encontrar y conseguir la salida.

Se presenta un modelo del proceso de generación de excitación emocional, que se manifestará en una conducta específica. Al comprender este proceso, podremos intervenir en la conducta para prevenir la aparición de comportamientos desordenados o caóticos.

Figura 12.

Modelo de proceso de generación de excitación emocional.



Nota. Tomado de: (NTP, 1999).

4.2 Construcción del Modelo

Tabla 5

Construcción del Modelo.

Parámetro	Información del modelo
Tamaño de la población	Carga Ocupacional total del Edificio de Ingenierías = 700. Edificio de ingenierías primer piso en flujo alto = 400-600 aleatorio. Edificio de ingenierías primer piso en flujo bajo = 300-500 aleatorio.
Unidad mínima de tiempo	Tiempo (En segundos)

Variables globales	**cxy_lugar** = coordenadas del lugar **luz_color** = color del lugar cuando el lugar tiene o no luz **luz_speed** = velocidad cuando el lugar tiene o no luz **pro_speed sum_speed** = promedio de la velocidad de evacuación de personas vivas **niv_sismo** = Nivel del sismo **pánico** = Aumento de pánico debido a nivel del sismo **nivel_panico** = Aumento controlado del nivel de pánico **per_salon** = personas por salón **per_pasillo** = personas por pasillo **per_segundo** = personas provenientes del segundo piso **total_salon** = total de personas en los salones **total_person** = total de personas en todos los lugares **sum_panico** = suma del nivel de pánico **person_as** = Personas a que ya están en el punto de encuentro **total_personas** = cantidad de personas alrededor **distancia** = distancia a una personas alrededor **tiempo** = tiempo de ejecución **x0 y0** = coordenadas de la persona **tp** = total personas para la parada **choques** = total personas que chocan
Medida de desempeño	Comprender el comportamiento de las personas a la hora en que ocurra un sismo o un caso de emergencia en la

	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña más específicamente en el primer piso del edificio de ingeniería teniendo en cuenta un determinado porcentaje de mortalidad, número de agentes, alto-bajo flujo de personas, personas lesionadas, personas vivas, personas muertas, dadas por la duración sísmica.
Supuestos	**Estudiantes** Identificar la salida más cercana En el momento en que suene la alarma debe empezar a moverse hacia la salida previamente identificada. Tomar la ruta de evacuación más corta teniendo en cuenta la señalización establecida en el pasillo. En caso de ser personal discapacitado encontrar un punto seguro o pedir ayuda al personal calificado. Al salir del edificio, dirigirse al punto de encuentro más cercano. **Docentes**

Confirmar (únicamente si resulta viable y en las situaciones previamente pactadas) la veracidad de la alarma.

Informar a todos sobre la salida e indicarles las principales rutas y alternativas en situaciones donde haya obstrucciones.

Recordar a los individuos el lugar de reunión establecido.

Asegurarse de que el área esté completamente evacuada.

Impedir que las personas regresen al edificio.

Comprobar si están todos los individuos a cargo en el lugar de reunión.

Supuestos adicionales

En caso de que ocurra en horario nocturno y ocurra un corte de energía acatar las instrucciones del personal responsable de la coordinación de las evacuaciones.

Si el pasillo se encuentra mojado tratar de disminuir la velocidad para evitar accidentes. En caso de no estar con un responsable de evacuación dentro del aula unirse al grupo del responsable más cercano.

4.3 Diagramas relacionados con las variables de estado

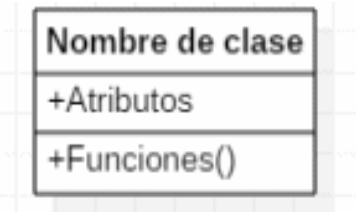
4.3.1 Diagrama de clases UML

El diagrama de clases, incluido en UML 2.5 y clasificado como un diagrama de estructura, se emplea para representar los componentes de un sistema de información desde una perspectiva estática.(HELLEN CUBERO, 2020)

Las clases se representan de la siguiente forma:

Figura 13.

Notación de una clase

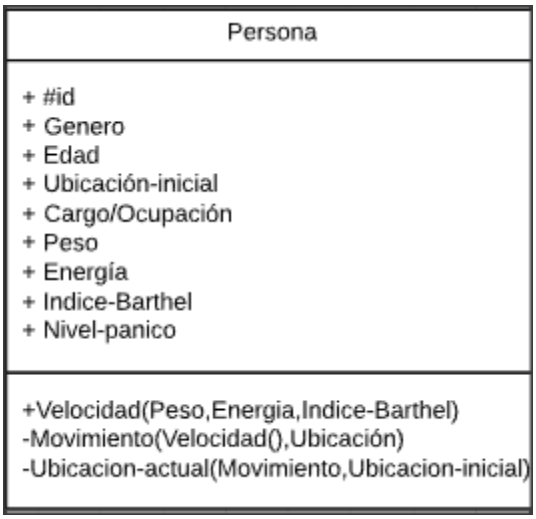


Nota. Adaptado de Lenguaje unificado de modelado (HELLEN CUBERO, 2020)

Donde los atributos son aquellas propiedades o parámetros de la clase que la definen, y las funciones son aquellos valores o acciones que puede retornar la clase en función de sus atributos, siguiendo este modelo podemos diseñar nuestro propio diagrama para las personas, figura 14.

Figura 14.

Diagrama de clases UML.



4.3.2 Diagrama de estados

Un diagrama de estado UML, igualmente conocido como gráfico de cambios de estados o esquema de máquina de estados, ilustra las diferentes fases que atraviesa una máquina de estados finitos. Este modelo de conducta se compone de acciones y estados, así como de transformaciones entre estos estados. Se definen las diferentes situaciones en las que el comportamiento o la respuesta del sistema varían de manera significativa, así como los eventos o condiciones que determinan el cambio de una situación a otra, conocidas como transiciones de estado.(Drake, 2009)

A continuación, se representa en la figura 15 y 16 el diagrama para los estudiantes y docentes respectivamente los cuales son los agentes principales del modelo, en las figuras se puede evidenciar el flujo que eventualmente deben seguir en caso de activada la alarma para una situación de emergencia.

Figura 15.

Diagrama Estudiante.

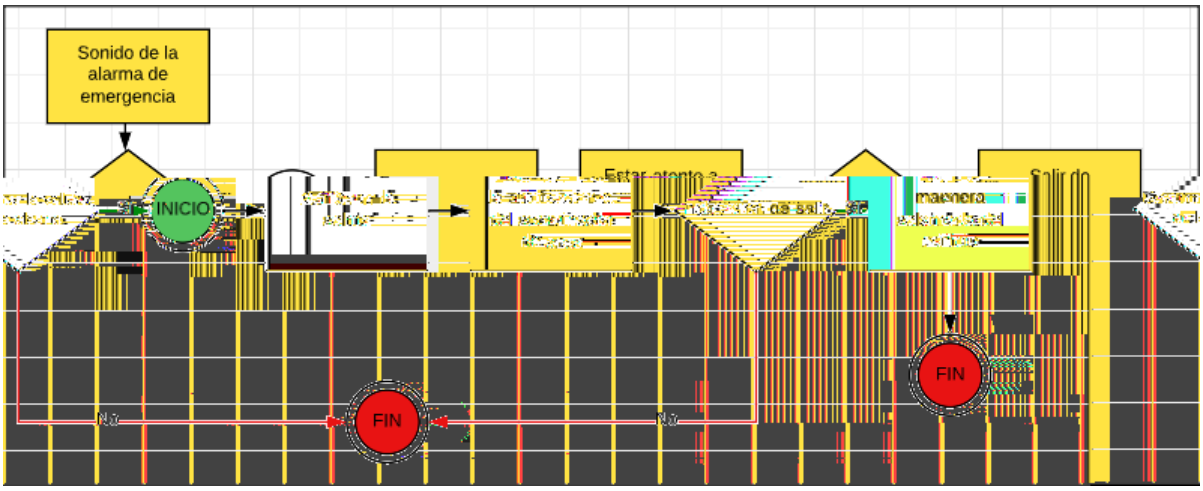
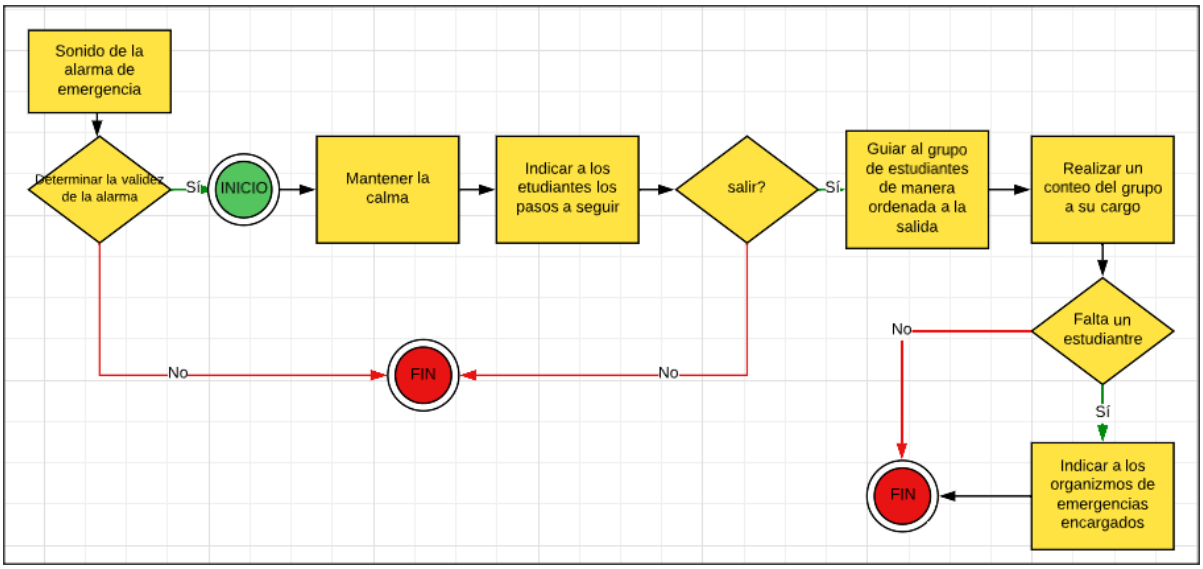


Figura 16.

Diagrama Docente.



4.3.3 Diagrama causal

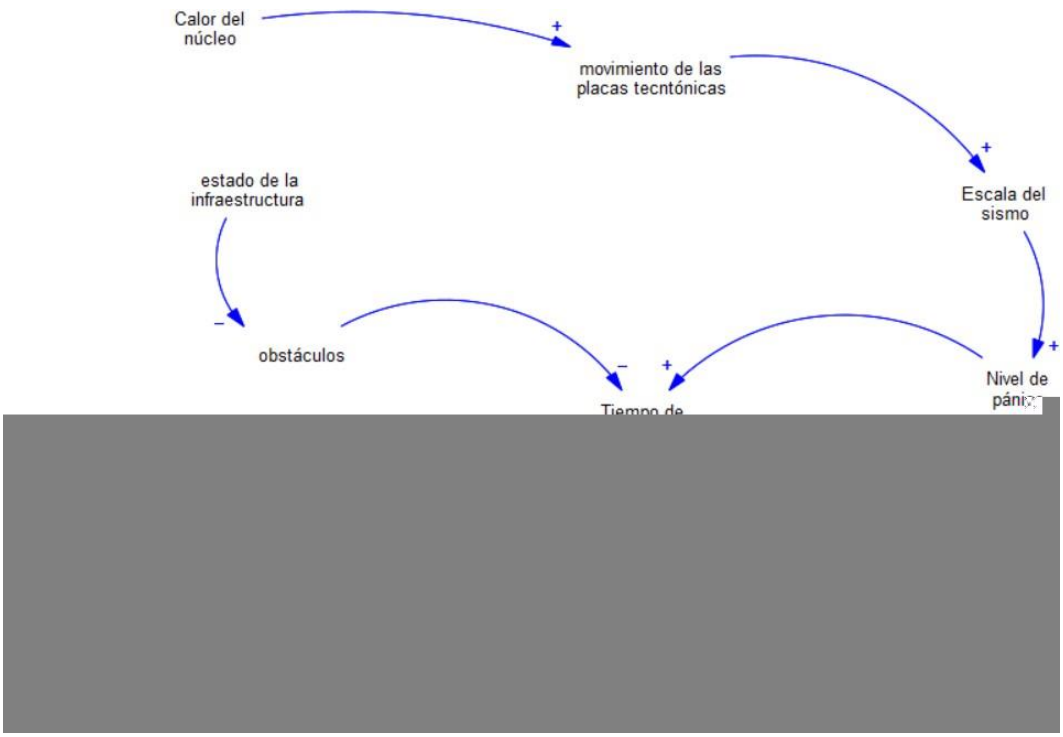
El diagrama causal es una herramienta gráfica utilizada para representar el comportamiento de las variables dentro de un sistema.

Una vez que se han identificado globalmente las variables del sistema y las posibles relaciones causales entre ellas, se procede a su representación gráfica. En este diagrama, las conexiones entre las variables están simbolizadas mediante flechas que indican su influencia. Cada flecha lleva un signo (+ o -) para especificar el tipo de impacto que una variable ejerce sobre otra. Un signo "+" señala que un cambio en la variable de origen generará una variación en la misma dirección en la variable de destino. En cambio, un signo "-" indica que el efecto será opuesto. Así, si un aumento en la variable A provoca un incremento en la variable B, o si una disminución en A genera una reducción en B, se establece una relación positiva. Por otro lado, si un incremento en A causa una disminución en B, o si una reducción en A da lugar a un aumento en B, la relación será negativa.(Juan Martín García, 2023)

El siguiente diagrama figura 17 representa un modelo de relaciones causales que influyen en la evacuación y la respuesta de las personas ante un sismo. A través de la representación gráfica, se establecen las conexiones entre diferentes variables, indicando cómo unas afectan a otras mediante relaciones positivas (+) o negativas (-).

Figura 17.

Diagrama causal.



4.3.3.1 Generación del Sismo. El fenómeno sísmico tiene su origen en procesos geológicos. En el modelo, se representa cómo el calor del núcleo terrestre influye en el movimiento de las placas tectónicas de manera positiva. Es decir, un aumento en la temperatura interna de la Tierra contribuye a un mayor desplazamiento de las placas. A su vez, este movimiento impacta la escala del sismo, indicando que una mayor actividad tectónica puede generar sismos de mayor magnitud.

4.3.3.2 Reacción de las Personas. El grado de impacto del sismo influye directamente en la reacción de la población. Cuando la escala del sismo aumenta, el nivel de pánico en las personas también incrementa. Este nivel de pánico tiene una relación positiva con la cantidad de personas que intentan evacuar simultáneamente, lo que puede generar aglomeraciones y dificultades en la salida.

4.3.3.3 Factores que Afectan el Tiempo de Salida. El tiempo requerido para evacuar es una variable clave dentro del modelo. Existen múltiples factores que influyen en este parámetro:

4.3.3.3.1 Cantidad de personas. A medida que aumenta el número de individuos tratando de evacuar, el tiempo de salida también se incrementa.

4.3.3.3.2 Obstáculos. La presencia de obstáculos dificulta el desplazamiento y prolonga el tiempo de salida. Estos obstáculos están influenciados negativamente por el estado de la infraestructura, lo que significa que, si la infraestructura se encuentra deteriorada, habrá má0 0 1 150.02 459.91 T

El modelo presentado permite comprender cómo diferentes factores interactúan en una situación de evacuación durante un sismo. Desde la generación del evento hasta la respuesta de las personas, variables como la magnitud del sismo, el nivel de pánico, la cantidad de personas, los obstáculos y la condición física influyen directamente en la rapidez y efectividad del proceso de evacuación.

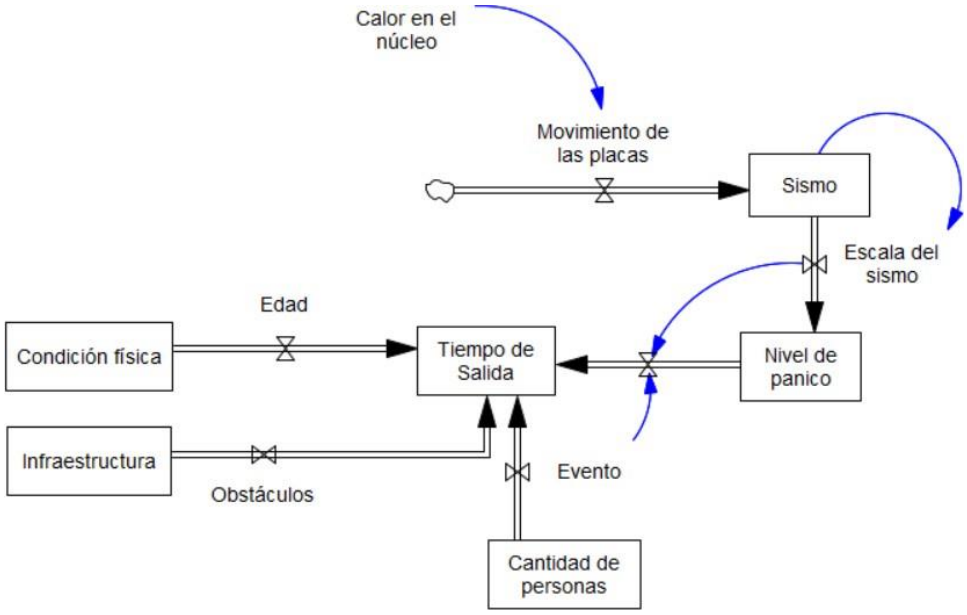
4.3.4 Diagrama de Forrester

Es una representación gráfica que ilustra las variables de nivel, flujo y auxiliares de un diagrama causal después de haber sido definidas. Este esquema actúa como un enlace intermedio entre el diagrama causal y el conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden asociado(Juan Martín García, 2023)

El siguiente diagrama, figura 18 representa la compleja interacción de factores que contribuyen al riesgo sísmico y sus consecuencias. Se consideran variables que van desde el origen del sismo (calor en el núcleo y movimiento de placas) hasta las características de la población e infraestructura que determinan su vulnerabilidad.

Figura 18.

Diagrama de Forrester.



4.4 Diseño del modelo

4.4.1 Entradas

Las entradas abarcan todas las formas en que un agente puede recopilar información. En el caso de un individuo, esto incluye todo lo que este mismo pueda ver, escuchar, oler, saborear y sentir, no obstante, gran cantidad de las entradas suelen ser visuales o auditivas, ya que representan la forma en la que el agente recibe la comunicación.

4.4.2 Salidas

Las salidas de una máquina de estados representan todas las maneras en que un agente puede interactuar con otros agentes. En una máquina de Moore, cada estado solo produce una salida específica; además, es posible que un agente no genere ninguna salida en un estado determinado, lo que corresponde a una situación en la que una persona no transmite información relevante para el modelo. Las salidas de los agentes no se limitan a la comunicación verbal; un agente puede transmitir información sin pronunciar una sola palabra. Por ejemplo, cuando un agente entra en un nuevo entorno, su presencia es percibida por los demás, incluso sin haber hablado, ya que los otros agentes detectan el cambio de estado.

Para este caso en específico cada agente nos brindara distintas salidas de acuerdo a las variables de estado establecidas para los mismos de la cuales podremos calcular algunas variables y dar respuesta a los objetivos planteados para este sistema.

4.4.3 Representación individual de las entradas

Las personas no suelen actuar de la misma manera bajo las mismas condiciones. Cada individuo tiene tendencias de comportamiento particulares, pero pueden desviarse de estas por diversas razones.

Como se ha mencionado, modelar el comportamiento humano es muy complejo, aunque en algunas condiciones esta complejidad disminuye. En este caso, no se modelan personas individuales, sino estudiantes, docentes, administrativos y visitantes. Cada uno es un individuo,

que interactúa dentro de un rol específico, lo que reduce significativamente la cantidad de acciones relevantes.

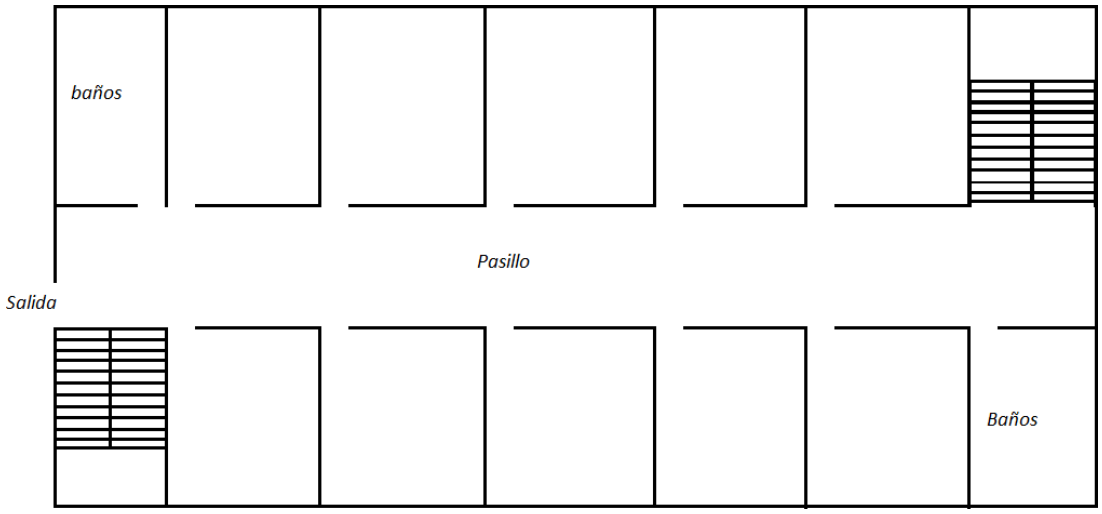
Por ejemplo, un docente al escuchar una alarma puede optar por salir del aula o quedarse para orientar a los estudiantes. La probabilidad de cada opción varía según el individuo.

4.4.4 El entorno

El entorno es un factor crucial en el diseño de un modelo de simulación de evacuación. Esto abarca tanto las características físicas del espacio, como la distribución de salidas de emergencia y posibles obstáculos, así como las características sociales y psicológicas de las personas presentes durante la evacuación. Un buen modelo de simulación debe considerar tanto la estructura física como las características humanas para predecir con precisión el comportamiento en una situación de emergencia. En este caso específico, nos centramos en el primer piso del edificio de ingenierías, excluyendo todas las acciones fuera de este espacio.

Figura 19.

Plano del segundo piso del edificio de ingenierías de la UFPSO.



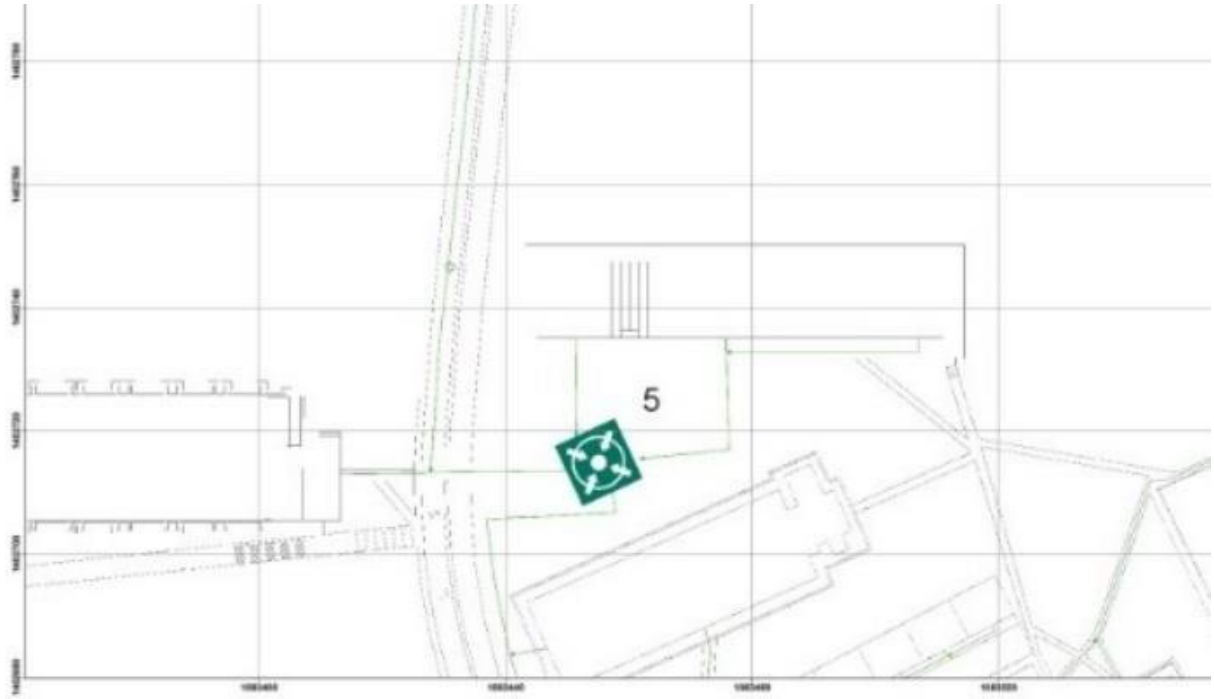
4.4.5 Punto de encuentro

Un punto de encuentro es el lugar indicado por las autoridades encargadas, donde se verán reunidas las personas en caso de cualquier emergencia que amerite una evacuación de las edificaciones, es crucial para las personas conocer estos puntos de encuentro para así poder saber a dónde dirigirse en caso emergencia.

En la siguiente imagen (Figura 20) podemos evidenciar el punto de encuentro más cercano al edificio de ingenierías que está indicado por el número 5, el cual tiene un área de 400.98 m2 lo que conlleva a una capacidad de 400 personas.

Figura 20.

Plano que indica el punto de encuentro más cercano al edificio



Nota. (AGESO, 2022).

Capítulo 5. Implementación del modelo

5.1 Interfaz del modelo

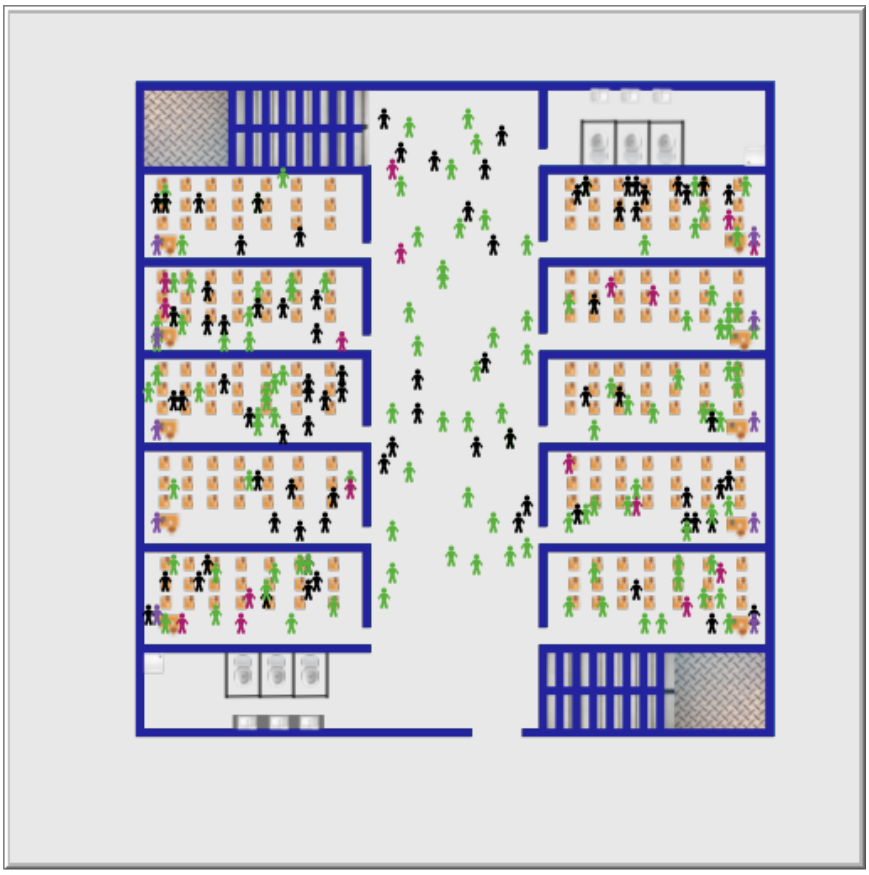
Se diseño la interfaz del modelo tomando en cuenta los diseños anteriormente descritos, principalmente la figura 19, de la cual tomamos como base para diseñar una interfaz en la cual pudiéramos evidenciar los diferentes lugares dentro de las instalaciones del edificio.

5.1.1 Interfaz de visualización de la estructura y agentes

En esta interfaz podemos evidenciar los diferentes tipos de agentes presentes en el modelo los cuales están compuestos por estudiantes y docentes que se encuentran dentro del edificio al momento de la emergencia, se pueden evidenciar los diferentes lugares como lo son salones, escaleras, salidas y baños.

Figura 21.

Interfaz de visualización del modelo.



Colores de los agentes:

Verde: Agente para el cual su peso oscila entre 60kg y 100kg
Morado: Agente para el cual su peso es mayor a 100kg
Negro: Agente para ela cual su peso es menor a 60kg
Violeta: Docente encargado por salon de clases
Naranja: Agente que sufren algun tipo de lesion
Rojo: Agentes fallecidos
Azul: Agentes que se encuentran a salvo

5.1.2 Interfaz de entrada de datos

En esta interfaz podremos indicar los diferentes valores de entrada antes y durante la ejecución del modelo, podemos establecer los valores de las siguientes variables:

5.1.2.1 Alto-flujo. Indica el flujo de personas dentro del edificio lo que aumenta la cantidad agentes presentes en el modelo.

5.1.2.2 Nivel_sismo. Esta determina el nivel del sismo antes y durante la ejecución de la simulación.

5.1.2.3 Iluminación. Determina si el edificio queda o no sin ningún tipo de iluminación.

5.1.2.4 Ident. Nos da una visualización numérica de cada persona para poder identificarlas individualmente.

5.1.2.5 Hora pico. Representa horarios de cambios de clases los cuales se consideran horas picos ya que se encuentran gran cantidad de estudiantes principalmente en los pasillos.

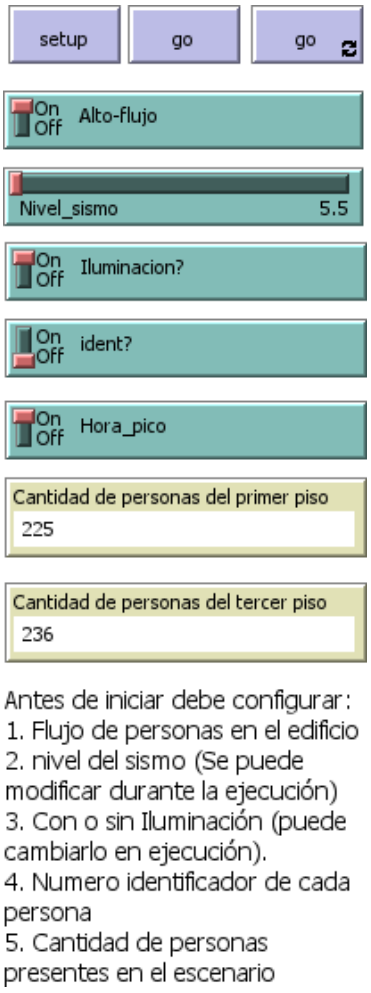
5.1.2.6 Cantidad de personas. Estas dos casillas nos dan el valor presente de las personas en los pisos indicados.

5.1.2.7 Setup. Inicia y reinicia el modelo cuando lo requiramos.

5.1.2.8 Go. El go de la izquierda nos permite realizar una ejecución paso a paso de la simulación mientras que el de la derecha no permite una ejecución continua.

Figura 22.

Interfaz de entrada de datos del modelo

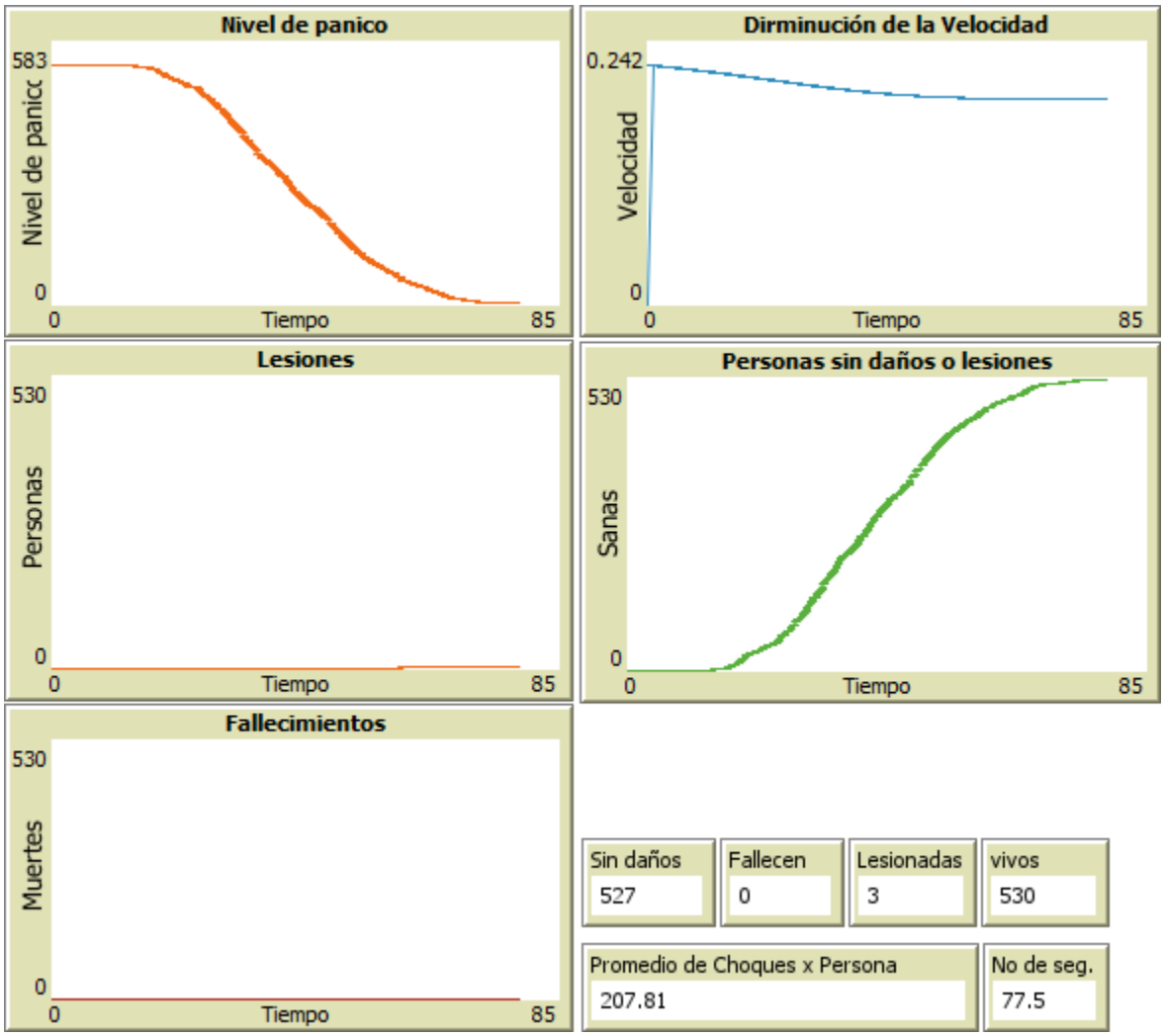


5.1.3 Interfaz de salida de datos

Este apartado de la interfaz nos da una visualización en tiempo de ejecución de los datos obtenidos del modelo de manera gráfica, en estas podemos evidenciar el nivel de pánico conjunto, la velocidad, personas lesionadas y no lesionadas, fallecimientos, promedio de choques por persona y el tiempo que dura la ejecución de la simulación.

Figura 23.

Interfaz de salida de datos del modelo



5.1.4 Ejecución del Modelo de Simulación de Evacuación en NetLogo

El modelo de simulación de evacuación fue desarrollado en NetLogo y se encuentra disponible en una carpeta compartida de Google Drive, junto con la imagen de la interfaz. Los archivos necesarios para ejecutar el modelo son, **Sismo.nlogo** y **interfaz2.png** los cuales podrás encontrar en el siguiente enlace

https://drive.google.com/drive/folders/1pTanYBCSlkXS3rERU1SPB5OeLBr92a-J?usp=drive_link

Para ejecutar el modelo de simulación de evacuación en NetLogo, siga estos pasos: Una vez halla descargados los archivos necesarios para ejecutar el modelo procedemos a la instalación de NetLogo si es necesario

Si aún no tiene NetLogo instalado en su computadora, visite el sitio web oficial de NetLogo (https://ccl.northwestern.edu/netlogo/) y descargue la versión más reciente para su sistema operativo y siga las instrucciones de instalación proporcionadas en el sitio web.

Apertura del modelo en NetLogo:

- Abra la aplicación NetLogo en su computadora.
- Vaya al menú "Archivo" y seleccione "Abrir".
- Navegue hasta la carpeta compartida en Drive y seleccione el archivo **Sismo.nlogo**

NetLogo cargará el modelo y mostrará la interfaz en la vista principal. La imagen interfaz2.png debe aparecer como fondo.

Importante: Asegúrese de que la imagen se encuentre en la misma carpeta que el archivo .nlogo. NetLogo buscará automáticamente la imagen en la misma ubicación.

Antes de iniciar la simulación, ajuste los parámetros según sus necesidades. Estos parámetros se encuentran en la pestaña "**Interfaz**" y pueden incluir:

5.1.4.1 Flujo de personas. Determina cómo se distribuyen las personas en el edificio al inicio de la simulación (Alto-flujo, etc.).

5.1.4.2 Nivel del sismo. Seleccione la magnitud del sismo que se simulará (Nivel Sismo).

5.1.4.3 Iluminación. Active o desactive la iluminación en el edificio (Iluminación).

5.1.4.4 Cantidad de personas del primer piso. Especifique el número de agentes (personas) en el primer piso.

5.1.4.5 Cantidad de personas del segundo piso. Especifique el número de agentes (personas) en el segundo piso.

Una vez configurados los parámetros, haga clic en el botón "**setup**" para inicializar la simulación. Esto creará los agentes y los ubicará en el edificio según la configuración inicial.

Haga clic en el botón "**go**" para iniciar la simulación. Los agentes comenzarán a moverse y reaccionar al sismo según la lógica del modelo. De igual manera se puede pausar y reanudar la simulación en cualquier momento con el botón "**go**".

Observe el comportamiento de los agentes en la vista principal. Preste atención a cómo se mueven, si entran en pánico, si se lesionan o fallecen.

Utilice los monitores y gráficos disponibles en la interfaz para recopilar datos numéricos sobre el progreso de la evacuación, como el número de personas a salvo ("**Sanas**"), lesionadas ("**Lesiones**"), fallecidas ("**Muertes**"), el nivel de pánico promedio ("**Nivel de panico**") y la velocidad promedio de los agentes ("**Velocidad**").

Nota: Recuerde que este modelo utiliza colores para representar diferentes tipos de agentes:

Verde: Agentes con peso entre 60 kg y 100 kg.

Morado: Agentes con peso mayor a 100 kg.

Negro: Agentes con peso menor a 60 kg.

Violeta: Docentes encargados del salón de clases.

Naranja: Agentes que sufren algún tipo de lesión.

Rojo: Agentes fallecidos.

Azul: Agentes que se encuentran a salvo.

5.2 Simulaciones

5.2.1 Valores de entrada del modelo

Los valores de entrada del modelo afectan directamente el resultado que obtendremos durante y al final de la ejecución de la simulación.

Como primera opción tenemos la determinación del flujo de personas que se pueden encontrar dentro del edificio la cual está determinada por horas picos como lo son cambio de clases o eventos que se estén llevando a cabo dentro de la estructura esto influye de manera directa en los tiempos de evacuación y la cantidad de choques.

Según lo establecido en el plan de emergencias de la universidad la carga ocupacional flotante para el edificio de ingenierías es de 700 personas, partiendo de esta base se establece la cantidad de personas que pueden estar presentes, estableciendo valores random a ciertos valores base para determinar esta cantidad. (AGESO, 2022)

El gran mérito del Dr. Charles F. Richter (del California Institute for Technology, 1935) Se trata de relacionar la magnitud del terremoto con la "amplitud" de la onda sísmica, lo que determina cómo se extiende el movimiento en una región específica. El estudio de esta onda, conocida como "S", durante un periodo de 20 segundos registrado en un sismógrafo, fue utilizado como base para calibrar la escala de medición.(Hanks, 2007)

3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
5.5 - 6.0	Puede ocasionar ligeros daños a edificaciones.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto que puede causar graves daños.
8 o mayor	Destrucción total las estructuras y lugares cercanos.

De acuerdo a esta escala en la segunda opción podemos determinar la escala del sismo que modifica el nivel de pánico de las personas lo que disminuye su velocidad de movimiento y su energía, e igualmente la iluminación influye en los factores indicados anteriormente.

Fórmulas

Velocidad:

$$V = D * T$$

De esta misma ecuación podemos calcular la distancia y el tiempo haciendo despejes en la ecuación, también podemos utilizar la fórmula anteriormente mencionada para el cálculo del tiempo de salida del edificio

$$TS = N(A * K) + DV$$

Esta ecuación de igual forma a la anterior nos permitirá conocer los diferentes valores presentados en ella realizando respectivos despejes.

Para calcular el peso y la velocidad que se le establece a cada persona presente en el modelo se realiza con la siguiente fórmula

```
kg int(size * 30 + random 15)
if (kg >= 60 and kg <= 100) [ ;;persona promedio
    set speed 0.92 / 4 ;0.20
    set color green
  ]
  if kg > 100 [  ;;persona pesada
    set speed 0.80 / 4 ;0.15
```

```
    set color magenta
  ]
  if kg < 60  [ ;;persona liviana
    set speed 0.85 / 4; 0.17
    set color black
  ]
```

Para determinar el nivel de pánico de cada persona por individual dentro de las características de cada persona en el modelo se establece la siguiente condición.

```
 if(niv_sismo >= 5.5 and niv_sismo <= 6)[
   set niv_panico niv_panico + random-float 1
   ]
   if(niv_sismo > 6 and niv_sismo < 7)[
   set niv_panico niv_panico + random-float 1
   ]
  if(niv_sismo >= 7 and niv_sismo <= 8)[
   set niv_panico niv_panico + 1 + random-float 1
   ]
```

Si existe otra persona y está disputando su lugar, disminuye la energía en 0.1% sumándole a ésta el nivel de pánico de la persona. Igualmente, la velocidad disminuye en un 0.01% sumándole de igual manera el nivel de pánico

```
if distance distancia < 0.5 [
        set energy energy - (0.001 * niv_panico)
        set speed (speed - (0.0001 * niv_panico))
        set choques choques + 1]
    ]
```

Igualmente, dentro de esta fórmula vamos almacenando la variable choques la cual representamos en el modelo estableciendo un promedio de choques.

Las variables de estado como iluminación, alto flujo y hora pico son explicadas en capítulo 4 en el apartado variables de estado.

5.2.2 Definición de los escenarios

Los escenarios son aquellos instantes o momentos a los cuales se les establecen diversas características que determinan los valores que tomaran las variables de entrada del modelo, por ejemplo, podemos indicar que un escenario ideal sería aquel donde los datos de entrada no se modifiquen ya que inicialmente están predefinidos con los niveles más bajos y aspectos más favorables para la evacuación.

Se establecerán 3 escenarios cada uno con características diferentes, los datos que se indican como variables son los únicos que se modificaran para ese escenario en específico lo que nos permite obtener diferentes pruebas, a continuación, definimos los escenarios a simular:

5.2.2.1 Escenario 1: Ideal. Los datos de entrada inicial serán los siguientes

Alto-flujo: off -(variable)

Nivel_sismo: 5.5-(variable)

Iluminación: on

Ident: off -(opcional)

Hora_pico: off

5.2.2.2 Escenario 2: Sin iluminación. Los datos de entrada inicial serán los siguientes

Alto-flujo: off - (variable)

Nivel_sismo: 5.5-(variable)

Iluminación: off

Ident: off (opcional)

Hora_pico: off

5.2.2.3 Escenario 3: Hora pico. Los datos de entrada inicial serán los siguientes

Alto-flujo: off (variable)

Nivel_sismo: 5.5 (variable)

Iluminación: on (variable)

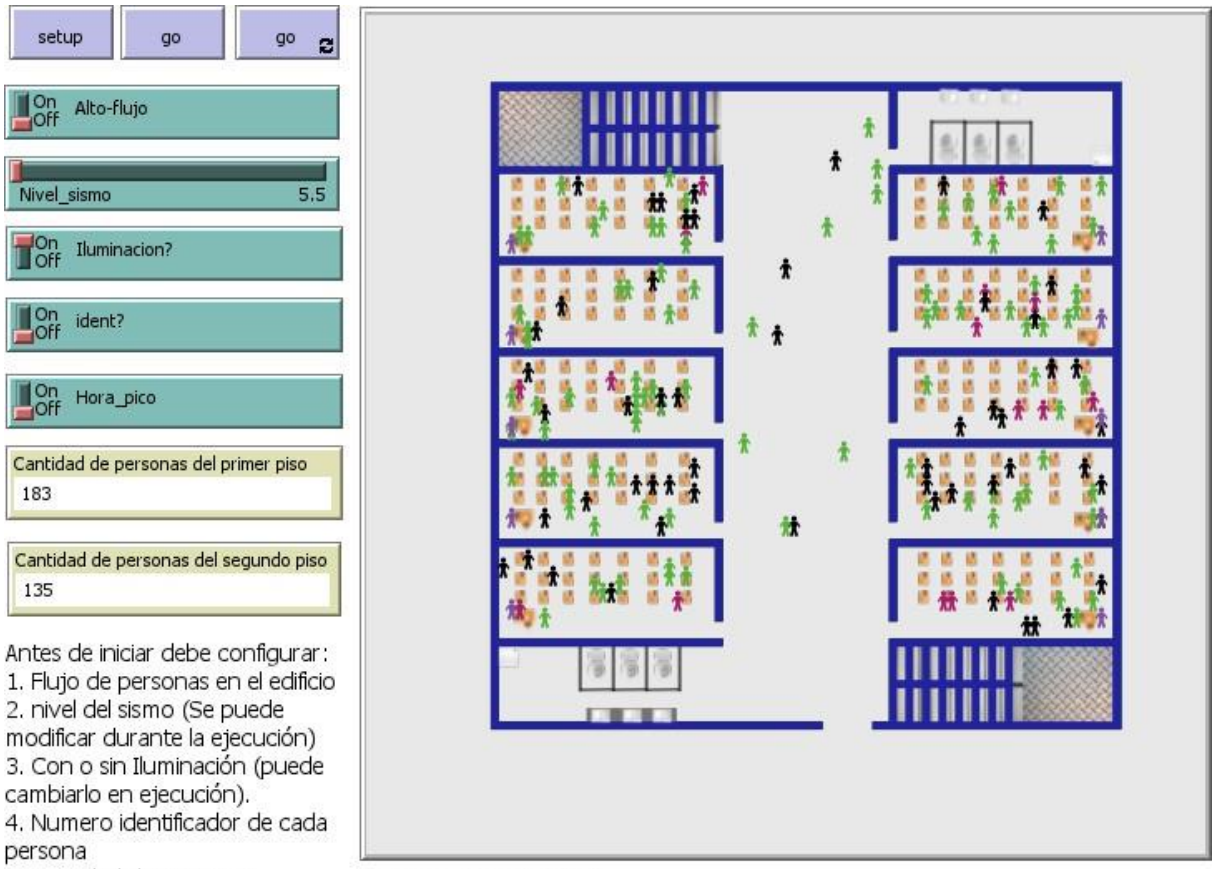
Ident: off (opcional)

Hora_pico: on

5.2.3 Escenario 1: Ideal

Figura 24.

Interfaz inicial del escenario 1



5.2.3.1 Verificación del escenario 1. Se realiza la verificación aplicando las fórmulas anteriormente mencionadas para determinar los valores de las variables de acuerdo a valores reales los cuales fueron tomados por los autores y se expresan de la siguiente manera:

Tiempo desde la puerta ultimo salón del segundo piso y llegando hasta el punto de encuentro.

$$t = 70 \text{ s}$$

Esto a una velocidad promedio de 0.83m/s que equivale a 3km/h, con lo que podemos determinar la distancia del desplazamiento.

$$d = v * t$$

$$d = 0.83 \text{ m/s} * 70\text{s} = 91.67 \text{ m}$$

Ahora ya conociendo cómo se realizan los cálculos vamos a comparar este escenario con diferentes valores de sismo y flujo de personas.

Tabla 6.

Tabla de pruebas escenario 1

nº de prueba	Flujo	Iluminación	Nivel de sismo	Hora pico	Cantidad de personas	Vivos	Lesiones	Muertes	Tiempo del modelo	Tiempo real (s)	Promedio de choques
1	Off	On	5.5	Off	318	318	0	0	67.75	70	147.80
2	On	On	5.5	Off	392	392	0	0	67.87	70	153.40
3	Off	On	6.5	Off	320	320	0	0	69	70	148.10
4	On	On	6.5	Off	554	554	7	0	71.20	70	202.50
5	Off	On	7.5	Off	321	321	22	0	77.12	70	149.15
6	On	On	7.5	Off	416	413	60	3	83.12	70	167.12
7	On	On	8.0	Off	512	499	110	13	96.25	70	205.04

A partir de la tabla de pruebas generamos un análisis detallado de los resultados obtenidos.

5.2.3.1.1 Impacto del flujo de personas. En condiciones de flujo bajo (Off), no se registran muertes hasta un nivel de sismo de 7.5, aunque comenzaron a aparecer lesionados (22).

En flujo alto (On), aumentan tanto los lesionados como las muertes conforme el nivel de sismo incrementa.

5.2.3.1.2 Nivel de sismo y lesiones/muertes. Sismos bajos/moderados (5.5 y 6.5): No se reportaron muertes; el sistema parece eficaz para evacuar personas en condiciones controladas.

Sismos altos (7.5 y 8.0): Las lesiones y muertes aumentaron considerablemente, especialmente con un flujo alto de personas. Por ejemplo, en el nivel 8.0, hubo 13 muertes y 110 lesionados.

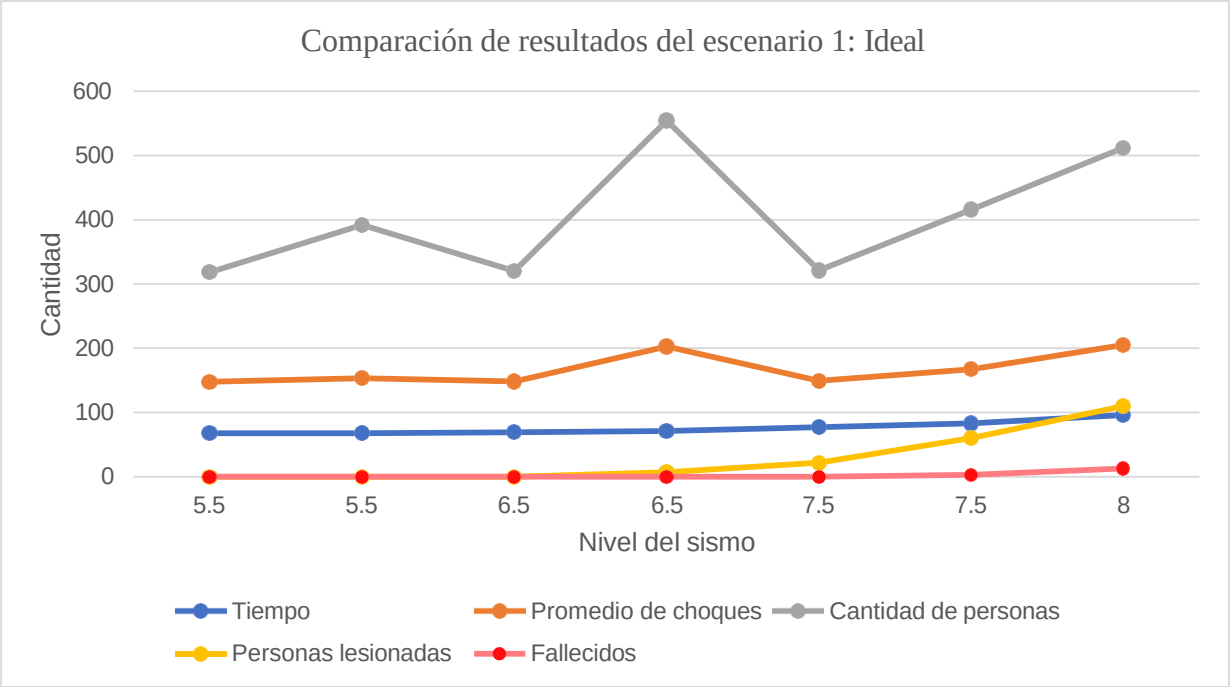
5.2.3.1.3 Promedio de choques. El promedio de choques aumenta con el flujo alto y con niveles de sismo más elevados. Por ejemplo, en flujo bajo (prueba 1), el promedio fue de 147.8, mientras que en flujo alto con sismo de 8.0 (prueba 7), subió a 205.04. Esto sugiere un mayor nivel de caos en condiciones de alta densidad de personas.

5.2.3.1.4 Tiempos del modelo. El tiempo de evacuación en el modelo incrementa con el nivel de sismo y la cantidad de personas presentes. Por ejemplo, con 554 personas y sismo 6.5 (prueba 4), el tiempo fue de 71.20; con 512 personas y sismo 8.0 (prueba 7), subió a 96.25.

5.2.3.1.5 Conclusión.

Figura 25.

Gráfico de comparación de resultados del escenario 1: Ideal



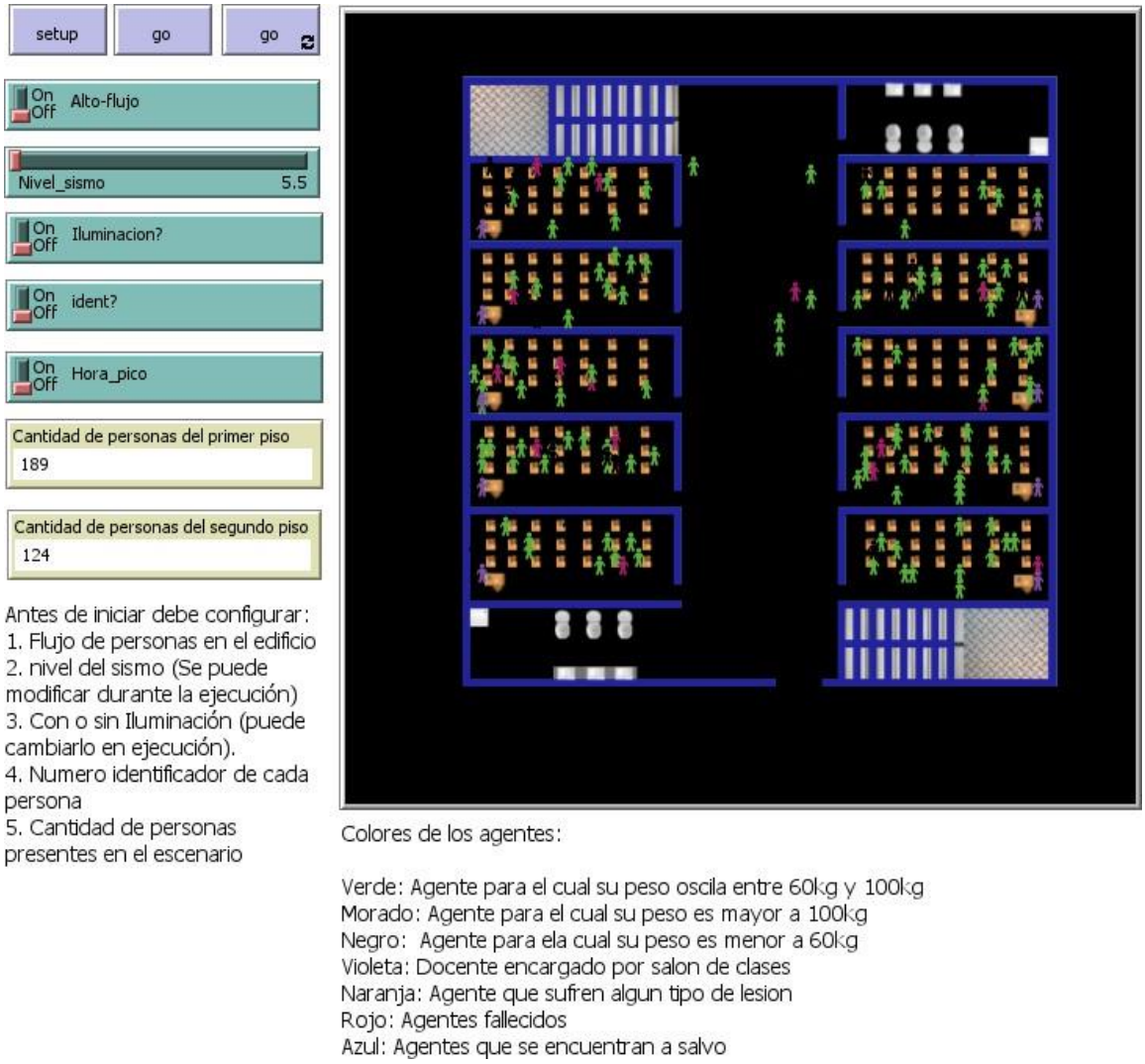
En la figura anterior podemos evidenciar como se relacionan cada una de las variables presentes en el modelo, para este escenario lo que más influye en el comportamiento del mismo es la cantidad de personas que estén dentro del edificio ya que esto aumenta tiempo de evacuación, promedio de choques lo que genera lesionados y en algunos casos fallecimiento.

Bajo condiciones ideales, la evacuación es considerablemente segura, eficiente y libre de una alta tasa de fatalidad, resaltando la importancia de mantener un flujo controlado y una iluminación adecuada para reducir el pánico y los accidentes en situaciones de emergencia.

5.2.4 Escenario 2: Sin iluminación

Figura 26.

Interfaz inicial del escenario 2



5.2.4.1 Verificación del escenario 2. Para este escenario como se indicó anteriormente se mantendrá la iluminación apagada y la hora pico inactiva, los demás parámetros podrán ser alterados con el objetivo de obtener un análisis más extenso de este escenario.

Tabla 7.

Tabla de pruebas escenario 2

nº de prueba	Flujo	Iluminación	Nivel de sismo	Hora pico	Cantidad de personas	Vivos	Lesiones	Muertes	Tiempo del modelo	Tiempo real (s)	Promedio de choques
1	Off	Off	5.5	Off	313	313	10	0	117.25	70	206.18
2	On	Off	5.5	Off	466	462	31	4	158.62	70	248.05
3	Off	Off	6.5	Off	331	331	17	0	112.75	70	223.61
4	On	Off	6.5	Off	531	528	45	3	130.25	70	249.27
5	Off	Off	7.5	Off	318	300	67	18	149.62	70	221.15
6	On	Off	7.5	Off	403	362	60	41	164.75	70	215.47
7	On	Off	8.0	Off	435	375	60	60	221.37	70	229.83

Análisis preliminar del escenario 2

5.2.4.1.1 Impacto del flujo en la evacuación. El flujo "On" (alto flujo) tiende a incrementar el número de lesiones, muertes y el tiempo del modelo, especialmente con niveles de sismo más altos (ej., prueba 7: 60 muertes y 60 lesiones en nivel 8.0).

En comparación, el flujo "Off" resulta en menos lesiones y muertes, aunque el tiempo del modelo sigue siendo afectado por el nivel del sismo.

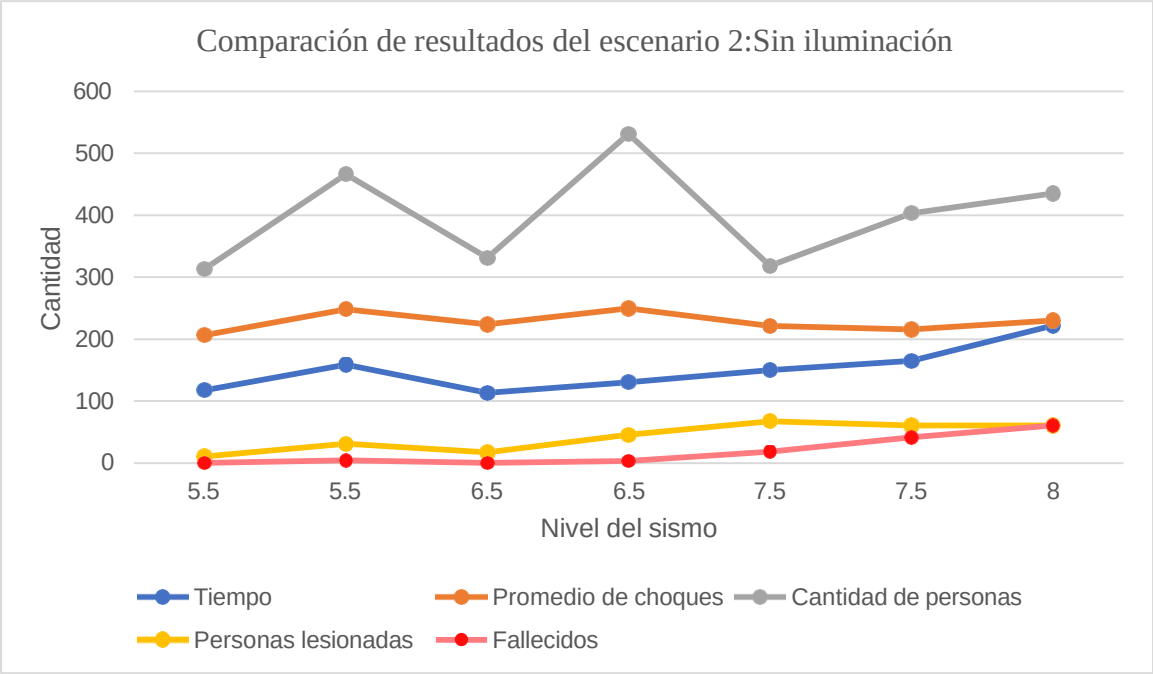
5.2.4.1.2 Promedio de choques. Los choques son más altos en el flujo "On" (ej., prueba 4 y 6) en comparación con el flujo "Off" al mismo nivel de sismo, mostrando que un mayor flujo aumenta la congestión y los accidentes.

5.2.4.1.3 Tiempo del modelo. El tiempo del modelo aumenta drásticamente a medida que el nivel de sismo incrementa y cuando el flujo está "On" (ej., prueba 7 con nivel 8.0 y tiempo de 221.37).

5.2.4.1.4 Conclusiones.

Figura 27.

Comparación de resultados del escenario 2: Sin iluminación



La ausencia de iluminación incrementa el promedio de choques significativamente, especialmente en niveles de sismo más altos. Esto indica que la visibilidad juega un papel crucial para reducir conflictos durante la evacuación.

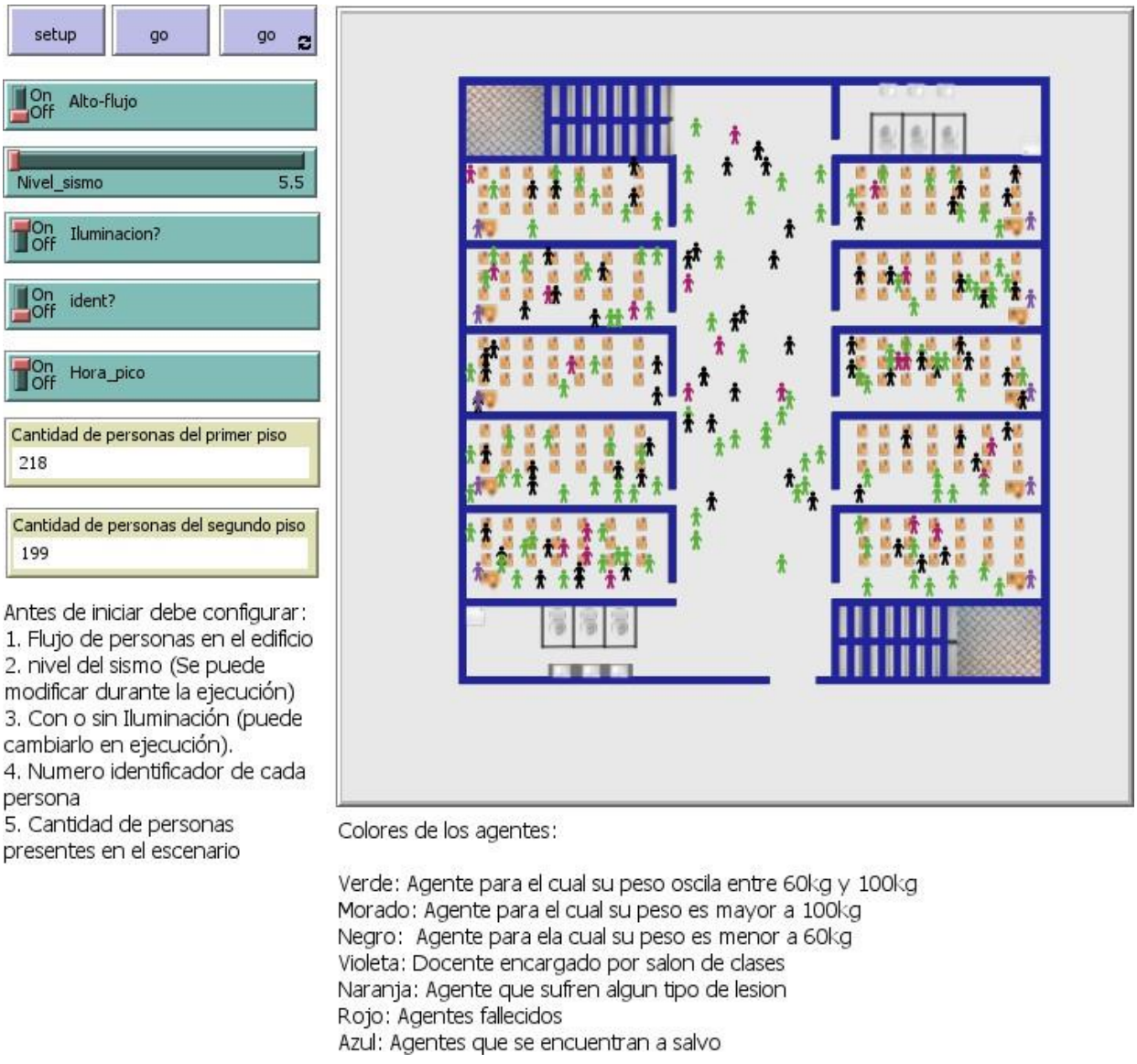
Este escenario resalta la necesidad de implementar sistemas de respaldo de iluminación en rutas de evacuación para mitigar los impactos negativos y mejorar la seguridad durante

eventos sísmicos. Además, es crucial diseñar estrategias para manejar el flujo de personas, priorizando condiciones seguras y controladas para reducir el número de choques y lesiones.

5.2.5 Escenario 3: Hora pico

Figura 28.

Interfaz inicial del escenario 3



5.2.5.1 Verificación del escenario 3 -Hora pico. Para este escenario se mantendrá activada la hora pico, la cual está determinada por aquellas horas en las que hay que terminación e inicio de clases en los salones lo cual genera un gran flujo de personas especialmente en el pasillo donde se encuentran los estudiantes entrando y saliendo de los salones.

Tabla 8.

Tabla de pruebas escenario 3

nº de prueba	Flujo	Iluminación	Nivel de sismo	Hora pico	Cantidad de personas	Vivos	Lesiones		Tiempo del modelo	Tiempo real (s)	Promedio de choques
1	Off	On	5.5	On	417	417	0		69.8	70	187.67
2	On	Off	5.5	On	463	463	33	0	113	70	223.1
3	Off	Off	5.5	On	401	401	28	0	114.62	70	229.43
4	On	On	5.5	On	504	504	26	0	74.37	70	236.73
5	Off	On	6.5	On	389	389	0	0	70.87	70	145.06
6	On	Off	6.5	On	428	428	66	0	142.12	70	306.14
7	Off	Off	6.5	On	392	392	2	0	108.62	70	156.56
8	On	On	6.5	On	522	522	10	0	83.62	70	232.6
9	Off	On	7.5	On	438	434	48	4	85	70	166.25
10	On	Off	7.5	On	525	418	105	107	208.25	70	289.39
11	Off	Off	7.5	On	472	414	50	50	205.62	70	225.8
12	On	On	7.5	On	448	430	89	18	96.75	70	205.71
13	On	Off	8.0	On	520	384	136	76	227.87	70	305.7

Análisis del Escenario 3: Hora Pico

5.2.5.1.1 Impacto del Flujo Alto. En situaciones de "Flujo On", la cantidad de personas involucradas en la evacuación es mayor, pero esto incrementa significativamente el promedio de choques, lesiones y muertes, especialmente a niveles de sismo más altos.

Por ejemplo, en la prueba 10 (Flujo On, Sismo 7.5), se observa el peor resultado con 105 lesiones y 107 muertes.

5.2.5.1.2 Eficiencia de la iluminación. La presencia de iluminación ayuda a reducir los tiempos del modelo y el promedio de choques en todos los niveles de sismo. Comparando las pruebas con "Iluminación Off" y "Iluminación On" dentro del mismo nivel de sismo, la diferencia en la eficiencia es evidente.

5.2.6 Efectos de la hora pico

La hora pico crea una saturación de personas que agrava el caos, especialmente cuando se combina con condiciones adversas como la falta de iluminación o niveles de sismo más altos.

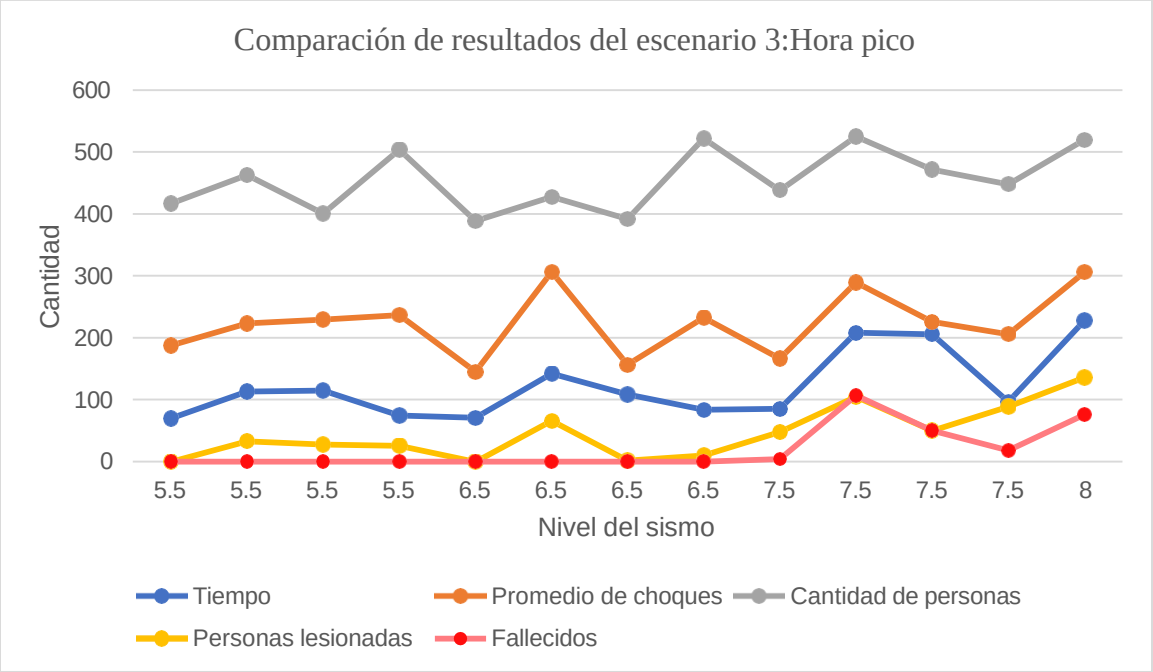
En la prueba 13 (Sismo 8.0, Flujo On, Iluminación Off), se alcanzaron los peores tiempos de evacuación (227.87 s) y un número elevado de lesiones y muertes (136 lesiones y 76 muertes).

5.2.6.1 Niveles de Sismo Bajos. En niveles de sismo bajos (5.5), los resultados son significativamente mejores, con cero muertes en la mayoría de las pruebas. Esto evidencia que la gravedad del sismo influye más que cualquier otra variable.

5.2.6.2 Conclusión. La hora pico, deteriora notablemente las condiciones de evacuación debido al elevado tránsito de individuos en áreas limitadas. La iluminación constituye un elemento esencial para atenuar el efecto adverso, pero resulta insuficiente para prevenir lesiones y decesos en magnitudes sísmicas elevadas. Se sugiere analizar tácticas de manejo de flujo, como salidas suplementarias o la distribución controlada de evacuaciones, para optimizar la seguridad en este tipo de circunstancias críticas.

Figura 29.

Comparación de resultados del escenario 2: Sin iluminación



La gráfica resalta que el escenario de hora pico es sumamente delicada en circunstancias de sismo elevado. Las estrategias de mitigación deberían enfocarse en:

Disminuir la concentración de individuos durante la hora de mayor densidad mediante horarios escalonados.

Optimizar la administración del flujo y la iluminación para prevenir colisiones.

Crear simulaciones de evacuación específicas para niveles de sismo alto.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

La elaboración de este estudio ha facilitado el examen exhaustivo del problema de investigación y proporcionar soluciones específicas a las interrogantes planteadas. A continuación, se exponen las respuestas a las preguntas de investigación formuladas:

1. **¿Cómo influye la intensidad del sismo en la evacuación de un edificio académico?**

   Se demostró que, a mayor magnitud del terremoto, el peligro de lesiones y decesos aumenta de manera notable. En las simulaciones realizadas, se constató que los temblores de menor intensidad (5. 5) mostraban un impacto limitado en la evacuación, mientras que los de mayor intensidad (7. 5 y 8. 0) provocaban caos, angustia y choques entre las personas. Adicionalmente, en los terremotos de elevada intensidad, las edificaciones sufrían daños significativos, complicando el traslado seguro de los ocupantes.

2. **¿De qué manera influye el flujo de personas en la seguridad y eficiencia de la evacuación?**

   Se verificó que los entornos con elevado tránsito de individuos, particularmente en horas críticas, exhiben mayores periodos de evacuación y un aumento en la cantidad de incidentes. En las situaciones donde la concentración de ocupantes era alta, se produjeron congestiones en las salidas y escaleras, obstaculizando el movimiento y elevando el peligro de lesiones. En cambio, en los contextos con flujo reducido, la evacuación fue más organizada y veloz, disminuyendo la posibilidad de accidentes.

3. **¿Cuál es la influencia de la iluminación en el proceso de evacuación?**

   La iluminación demostró ser un elemento crucial en la seguridad de la evacuación. Se notó que en situaciones donde la iluminación permanecía activa, los periodos de evacuación eran reducidos y se documentaban menos colisiones. Por el contrario, cuando la iluminación fallaba o resultaba inadecuada, las personas enfrentaban dificultades para identificar las rutas de salida, causando desorden y elevando la cantidad de incidentes. Esto subraya la relevancia de disponer de sistemas de iluminación de emergencia en edificaciones académicas.

4. **¿Cómo afecta la infraestructura del edificio en la evacuación?**

   Se determinó que la infraestructura desempeña una función fundamental en la eficacia de la evacuación. En áreas de dimensiones limitadas, como escaleras y pasillos estrechos, se observaron mayores periodos de evacuación y un aumento en el número de colisiones y caídas. Asimismo, la disposición y cantidad de salidas de emergencia impactó de manera considerable en la capacidad de evacuación del inmueble, ya que una distribución inapropiada de estas provocó congestiones.

Es relevante señalar que un modelo de simulación puede ser una herramienta esencial para mejorar la seguridad y la eficiencia en la evacuación de un inmueble académico, contribuyendo directamente a preservar vidas. Este tipo de modelo permite examinar y perfeccionar las rutas de evacuación, identificar posibles cuellos de botella y evaluar el tiempo requerido para evacuar el edificio en diversas situaciones. Al disminuir la incertidumbre y anticipar posibles peligros, se facilita la toma de decisiones informadas y la ejecución de

protocolos de emergencia más eficaces, lo que no solo incrementa la seguridad de los ocupantes, sino que también refuerza la confianza en la capacidad de respuesta ante circunstancias críticas.

Durante el desarrollo de un modelo de simulación para la evacuación de un edificio académico, se integraron y estandarizaron diferentes componentes, como el análisis de flujos de personas, la identificación de rutas críticas y la evaluación de tiempos de respuesta, con el objetivo de lograr una mayor eficiencia y seguridad en los protocolos de evacuación. Este enfoque permite una mejor adaptación a los cambios y desafíos del entorno, como variaciones en la ocupación del edificio o situaciones imprevistas durante una emergencia. Al alinear estos componentes con herramientas tecnológicas avanzadas, como la simulación dinámica y el análisis de datos en tiempo real, se optimiza la capacidad de respuesta, se reduce el riesgo de incidentes y se garantiza una evacuación más rápida y ordenada, lo que contribuye directamente a salvar vidas y mejorar la preparación ante situaciones críticas.

Finalmente, se han detectado ciertas restricciones en el estudio. La exactitud del modelo depende de la calidad de los datos de entrada, lo que puede impactar la precisión de los resultados. Igualmente, la representación del comportamiento humano en situaciones de emergencia sigue siendo un reto, ya que el pánico y las decisiones irracionales son difíciles de representar con exactitud. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, la presente investigación establece las bases para futuras mejoras en el diseño y utilización de modelos de simulación en contextos académicos.

6.2 Recomendaciones

Con base en los hallazgos obtenidos en esta investigación, se aconseja que las entidades académicas implementen de manera gradual modelos de simulación para optimizar sus protocolos de evacuación. Estos modelos deben ser empleados no solo como instrumentos de análisis, sino también como un componente esencial de la formación del personal y la comunidad educativa en lo concerniente a la seguridad. La realización de simulacros regulares fundamentados en los datos recabados a través de simulaciones puede contribuir de manera significativa a una respuesta más eficiente ante situaciones de emergencia.

De igual manera, es crucial que las investigaciones futuras en esta área tomen en cuenta la inclusión de nuevas variables que reflejen de forma más realista el comportamiento humano en situaciones de crisis. La incorporación de factores psicológicos y sociales, como la reacción ante el pánico o la influencia del liderazgo en la evacuación, permitirá mejorar la precisión de los modelos y generar estrategias más efectivas para minimizar el riesgo durante una emergencia.

Por otro lado, se sugiere la integración de tecnologías emergentes, como sensores IoT y sistemas de monitoreo en tiempo real, para complementar los modelos de simulación. Estas tecnologías pueden ofrecer datos actualizados sobre la ocupación del edificio, la detección temprana de peligros y la optimización de rutas de evacuación en función de las condiciones del

momento. De esta manera, se podrá mejorar la capacidad de adaptación de los planes de emergencia ante eventos imprevistos.

Por último, se propone que las investigaciones futuras amplíen la aplicación de estos modelos a otros entornos, como hospitales, centros comerciales y estaciones de transporte, para evaluar su eficacia en contextos con características y dinámicas diferentes. La validación del modelo en diversos escenarios permitirá establecer parámetros más generales y mejorar la aplicabilidad de los hallazgos en la planificación de evacuaciones a mayor escala.

6.3 Trabajos futuros

Para fortalecer el análisis y la efectividad del modelo de evacuación, se aconseja incorporar nuevas variables y criterios que permitan evaluar con mayor precisión los elementos que inciden en la seguridad y rapidez de la evacuación en el inmueble académico.

En primer lugar, es esencial incluir una variable que examine el grado de cumplimiento del edificio con la norma de resistencia sísmica establecida en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Esta variable permitirá analizar cómo la resistencia estructural y la integridad del edificio impactan los tiempos de evacuación y la seguridad de los ocupantes durante un sismo. Además, posibilitará identificar puntos críticos que requieran refuerzos estructurales o modificaciones en la infraestructura para asegurar una evacuación más eficiente y segura.

Otro aspecto clave a considerar es el grado de preparación del personal y de los ocupantes del edificio para afrontar una evacuación. La formación en protocolos de emergencia y la realización de simulacros periódicos son fundamentales para mejorar la respuesta ante desastres. Se recomienda que la institución implemente simulacros al menos una vez por semestre, lo que permitiría evaluar el grado de conocimiento de los ocupantes sobre las rutas de escape y mejorar su tiempo de reacción en situaciones de emergencia.

Asimismo, se sugiere incluir en futuros estudios una evaluación minuciosa de la disponibilidad y funcionalidad de los dispositivos de detección de peligro, tales como alarmas visuales y auditivas. La existencia de sistemas de alerta temprana adecuados puede marcar una gran diferencia en la celeridad con la que los ocupantes inician el proceso de evacuación. También sería pertinente analizar la ubicación estratégica de estos dispositivos y su efectividad en condiciones adversas, como fallos eléctricos o ruido ambiental elevado.

Otro punto importante es la revisión de la señalización y visibilidad de las rutas de escape. Una señalización clara y adecuadamente iluminada puede reducir significativamente la confusión y el tiempo de evacuación, especialmente en escenarios con humo, escasa iluminación o aglomeraciones. Se recomienda realizar pruebas en distintos escenarios para verificar la efectividad de la señalización existente y proponer mejoras si es necesario.

Asimismo, se debe considerar la presencia de personas con movilidad reducida, ya que su evacuación puede requerir asistencia adicional o la implementación de rutas de evacuación especiales. Incluir esta variable en el modelo permitiría evaluar la accesibilidad de las rutas y la

disponibilidad de medidas de apoyo, como puntos de reunión seguros para evacuaciones asistidas.

Otros factores que podrían incorporarse en futuras simulaciones incluyen:

Distribución espacial del edificio y su impacto en la evacuación.

Capacidad máxima de ocupación y su relación con los tiempos de respuesta.

Flujos de movimiento y posibles cuellos de botella en distintos escenarios.

Condiciones ambientales (humo, obstáculos inesperados).

Tiempo de evacuación según diferentes densidades de ocupación.

Al integrar estas variables en futuros estudios, el modelo de simulación basado en agentes podrá ofrecer una evaluación más completa y realista de los escenarios de evacuación, permitiendo no solo analizar el comportamiento humano y las rutas de escape, sino también la vulnerabilidad del edificio y la eficiencia de los protocolos de emergencia. Esto contribuiría a mejorar la seguridad y la capacidad de respuesta de la comunidad académica ante situaciones de riesgo.

Capítulo 7. Referencias

Abdelghany, A., Abdelghany, K., Mahmassani, H., & Alhalabi, W. (2014). Modeling framework for optimal evacuation of large-scale crowded pedestrian facilities. *European Journal of Operational Research*, *237*(3), 1105–1118. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.054

Aguilera Ontiveros, A., & Posada Calvo, M. (2017). *Introducción al modelado basado en agentes una aproximación desde NetLogo*. El Colegio de San Luis.

Alam, A., Sammonds, P., & Ahmed, B. (2020). Cyclone risk assessment of the Cox's Bazar district and Rohingya refugee camps in southeast Bangladesh. *Science of The Total Environment*, *704*, 135360. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135360 Alexander Quizhpe Díaz, M., & Alexander Hidalgo Rodríguez, C. (2018). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DIRECTOR: ING. ADRIÁN FABRICIO LLUMIQUINGA SORIA*. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20549

Angel Diaz Caro. (2020, November 28). *Flujos de evacuación*. DIAZCARO. https://www.diazcaro.com/flujos-de-evacuacion/?utm_source

ANGÉLICA MARÍA SUÁREZ VARGAS YEIMY TATIANA ROZO PINTO. (2015). *MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL PROCESO DE CALENTAMIENTO GLOBAL. APLICACIÓN CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA ANGÉLICA MARÍA SUÁREZ VARGAS YEIMY TATIANA ROZO PINTO UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL MODALIDAD TRABAJO DE GRADO BOGOTÁ 2015*.

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstreams/12ad51dd-ab2d-46fb-82dc-1ef11c535686/download

Carlos Eduardo Maldonado, Adriana Lucía Acevedo-Supelano, Maximiliano Bustacara, Camilo José González-Martínez, James Frank Trujillo Perdomo, Edwin Mauricio Millán-Hernández, Erika Marcela Quintero Hernández, Rosalía Olaya Zúñiga, Patricia Arias Muñoz, Carel Elizabeth Carvajal Arias, Karina Susana Pastor-Sierra, & Sandy Liliana Silva González. (2021). Modelamiento basado en agentes (MBA) en estudios de la salud publica. *Universidad Del Bosque*, *11*. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/5896/9789587392265.pdf?sequence

Caso de Lima, E., Israel Cabrera Vega, F., & Cebollada Frontera, Á. (2019). *Tesis doctoral MOVILIDAD URBANA, ESPACIO PÚBLICO Y CIUDADANOS SIN AUTONOMÍA*.

Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. (2018). *Que es NetLogo*. Que es NetLogo Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling Daniel, A., & Salazar, A. (2015). *FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA: INGENIERIA ELECTRÓNICA TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO EN ELECTRÓNICA TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD A TRAVÉS DE CÁMARAS, SENSORES Y ALARMA, MONITORIZADO Y CONTROLADO TELEMÉTRICAMENTE PARA EL CENTRO DE ACOGIDA “PATIO MI PANA” PERTENECIENTE A LA FUNDACIÓN PROYECTO SALESIANO AUTORES*. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10401

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2017a). *DECRETO 2157 DE 2017*.

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2017b). *DECRETO 2157 DE 2017*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=199583

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2023). *Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencias (PPRE)*. www.funcionpublica.gov.co

Domínguez-Calle, E., & Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *38*(148), 321. https://doi.org/10.18257/raccefyn.132

DONG, J., YIN, Y., & PENG, K. (2008). Industrial Process Coordinated and Controlled Based on Multi-Agent Technology. *Systems Engineering - Theory & Practice*, *28*(10), 119–124. https://doi.org/10.1016/S1874-8651(10)60004-X

Drake, J. M. (2009). *Diagramas de actividad y diagramas de estados*. https://diazsasite.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/01/diagrmas-de-actividad- y-estado.pdf

ENG. (2024). *Software de simulación AnyLogic*. https://www.indx.com/es/product/anylogic-simulation-software

Fidalgo Vega, M. (1993). NTP 390: La conducta humana ante situaciones de emergencia: análisis de proceso en la conducta individual. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*, 1–11. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_390.pdf

Ginovart, M., Portell, X., Ferrer-Closas, P., & Blanco, M. (2011). *Modelos basados en el individuo y la plataforma NetLogo*. *27*, 131–150. https://core.ac.uk/download/pdf/328833665.pdf

Guillermo Aguilera de la Rosa. (2005). manual _evacuacion. *1a Edición.*, 13–16. https://www.enixton.com/fire/manual%20_evac.pdf

Hanks, T. C. , & K. H. (2007). *RICHTER SCALE Richter's Scale: Measure of an Earthquake, Measure of a Man*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rvmDeAxEiO8C&oi=fnd&pg=PA317&dq=Dr.+Charles+F.+Richter+(del+California+Institute+for+Technology,+1935)&ots=9fA1PMAqUV&sig=I6IEVsb4V3GpjhmckO4UBPmnwDY#v=onepage&q=317&f=fals e

HELLEN CUBERO. (2020). *Lenguaje unificado de modelado (UML).* 6–7. http://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/handle/11506/2184

Heriberto Fernando Vargas Losada, M. F. T. R. J. C. V. M. (2016). Los SAT (Sistemas De Alertas Tempranas). *Revista Científica de La Universidad Distrital*, 22.

Hernández, J. E. R. (2020). De Los Sistemas De Gestión Al Modelo Integrado De Planeación Y Gestión En El Sector Público: Una Revisión Del Caso Colombiano. *REAd. Revista Eletrônica de Administração (Porto Alegre)*, *26*(1), 137–175. https://doi.org/10.1590/1413-2311.281.97181

IDIGER. (2024). *Riesgo Sísmico - IDIGER*. https://www.idiger.gov.co/rsismico?p_p_auth=mn5tzr4S&p_p_id=49&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_49_struts_action=%2Fmy_sites%2Fview&_49_groupId=20182&_49_privateLayout=false

Innocenti, B., López, B., & Salvi, J. (2007). A multi-agent architecture with cooperative fuzzy control for a mobile robot. *Robotics and Autonomous Systems*, *55*(12), 881–891. https://doi.org/10.1016/J.ROBOT.2007.07.007

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificació. (2012). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 4145*. https://www.curaduria1santamarta.com/files/NTC-4145.pdf?utm_source

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2008). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 1700*. https://planesdeemergencia.weebly.com/uploads/4/0/5/4/40542785/ntc1700.pdf?utm_s ource

Javier Andrés Loaiza Monsalve. (2016). *Diseño y estructuración de un modelo de simulación basada en agentes para el análisis y compresión de capacidades de innovación social y su incidencia en el éxito innovador*. https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/62/LoaizaMonsalveJavier Andres2017.pdf?sequence

Joel Medina y Carmen Flores. (2019). CONOCIMIENTOS, ACTITUDES Y PRÁCTICAS QUE DETERMINAN LA CAPACIDAD DE RESPUESTA EN DESASTRES. *REVISTA ENFOQUE , 26*, 47.

Jorge Prado. (2022). *La importancia de la Iluminación de emergencia en la evacuación. Iluminación de emergencia 4.0*. ELECTROZEMPER S.A. https://zemper.com/la-importancia-de-la-iluminacion-de-emergencia-en-la-evacuacion-iluminacion-de-emergencia-4-0/?utm_source

José, P. B., & Rondón, M. M. (2010). *Modelado y simulación mediante sistemas multiagente de la evacuación de personas de edificaciones de varios pisos en presencia de obstáculos*.

Juan Martín García. (2023). *Modelos de simulación de Dinámica de Sistemas con Vensim*. Diagrama Causal. https://www.dinamica-de-sistemas.com/libros/diagrama_causal.htm

Juliette Beltrán, W. C. y A. A. (2006). *Evaluación de Zonas con posible amplificación topográfica y susceptibles a deslizamientos debido a un sismo en Ibagué-Colombia*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Kelleher, J. A. (1972). Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions. *Journal of Geophysical Research, 77*(11), 2087–2103. https://doi.org/10.1029/JB077i011p02087

Kelly Andrea Rendón Rozo. (2017). *Diseño de planes de evacuación ante emergencias considerando el comportamiento dinámico de peatones basado en simulación microscópica*. https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/8966

Keykhaei, M., Samany, N. N., Jelokhani-Niaraki, M., & Zlatanova, S. (2024). Multi-agent- based human cognition simulation of Situation-aware earthquake emergency evacuation. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 100*, 104183. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104183

Lee, J. J., Choe, Y. J., Jeong, H., Kim, M., Kim, S., Yoo, H., Park, K., Kim, C., Choi, S., Sim, J., Park, Y., Huh, I. S., Hong, G., Kim, M. Y., Song, J. S., Lee, J., Kim, E.-J., Rhee, J. E., Kim, I.-H., … Park, Y.-J. (2021). Importation and Transmission of SARS- CoV-2 B.1.1.529 (Omicron) Variant of Concern in Korea, November 2021. *Journal of Korean Medical Science, 36*(50). https://doi.org/10.3346/jkms.2021.36.e346

Leonardo Gabriel Rodríguez Zoya. (2015). Modelos basados en agentes: aportes epistemológicos y teóricos para la investigación social. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales, 60*(225).

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185- 19182015000300227

Lo, S. K. C. (2012). A collaborative multi-agent message transmission mechanism in intelligent transportation system – A smart freeway example. *Information Sciences, 184*(1), 246–265. https://doi.org/10.1016/J.INS.2011.08.024

López-García, J.-D., Carvajal-Escobar, Y., & Enciso-Arango, A.-M. (2017). Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: un desafío para la gestión del riesgo en Colombia. *Luna Azul*, *44*, 231–246. https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.14

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2024). *REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS-RETIE*. https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/?utm_source

NOAA. (2010). *GUÍA DE REFERENCIA PARA SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA DE CRECIDAS REPENTINAS 2012* (National Oceanic and Atmospheric Administration, Ed.). http://www.meted.ucar.edu/hazwarnsys/haz_fflood_es.php.

Okatek Organismo de Control Autorizado (OCA). (2024). *ALUMBRADO DE EMERGENCIA EN INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS* [Escuela Politécnica Nacional]. https://blog.okatek.es/alumbrado-de-emergencia-en-instalaciones-contra-incendios/?utm_source=chatgpt.com

PARAGON. (2023). *Acerca de anylogic*. https://paragon.com.br/anylogic/?lang=es

Raquel Villegas. (2018). *SISMOS Y TERREMOTOS CUANDO SE NOS MUEVE EL PISO*. http://contenidos.inpres.gov.ar/alumnos/fotos_terr

Revista semestral de la red de estudios sociales en prevención de desastres en America latina. (1996). *DESASTRES Y SOCIEDAD*. https://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys06/dys6-1.0-todo.pdf#page=187

Rostami, R., & Alaghmandan, M. (2021). Performance-based design in emergency evacuation: From maneuver to simulation in school design. *Journal of Building Engineering*, *33*, 101598. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101598

Şahin, C., Rokne, J., & Alhajj, R. (2019). Human behavior modeling for simulating evacuation of buildings during emergencies. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *528*, 121432. https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121432

Santos Navarrete, M. E. (2015). *Estudio y simulación de algoritmos para la evacuación de personas en situaciones de emergencia sobre una estructura similar al Rectorado de la ESPOL*.

Sarmiento Vásquez, A., & Sandoval, E. L. (2017). *Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes* (Vol. 35). https://www.redalyc.org/pdf/3374/337453922002.pdf

SECRETARÍA DISTRITAL DE SEGURIDAD, C. Y. J. (2022). *REGLAMENTO DE LA BRIGADA DE EMERGENCIAS*. https://portalmipg.scj.gov.co/files/mod_documentos/documentos/RG-GH-1/RG-GH-1_V2_copia_controlada.pdf?utm

Sprock, A. S., & Hernández Bieliukas, Y. C. (2014). *Agentes Inteligentes en las Comunidades Virtuales de Aprendizaje*. http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/17469/1/9_revista_humanidades_sadpro_C1%20%283%29.pdf

Takabatake, T., Shibayama, T., Esteban, M., Ishii, H., & Hamano, G. (2017). Simulated tsunami evacuation behavior of local residents and visitors in Kamakura, Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 23,* 1–14. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.04.003

Templeton, A., Xie, H., Gwynne, S., Hunt, A., Thompson, P., & Köster, G. (2024). Agent- based models of social behaviour and communication in evacuations: A systematic review. *Safety Science, 176,* 106520. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106520

Tisue, S., & Wilensky, U. (2004). *NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity*.

UNISDR. (2009). Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres. *UNISDR*. http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Universidad de los andes. (2024). *Netlogo 6.1.1*. https://tecnologia.uniandes.edu.co/netlogo- 6-1-1/

Universidad Francisco de Paula Santander. (2021). *PLAN DE PREPARACIÓN Y PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS UFPS OCAÑA SEDE ALGODONAL*.

Uri Wilensky. (1999). *Netlogo*. http://ccl.northwestern.edu/netlogo/

V. Julián V. Botti. (2000). Agentes Inteligentes el siguiente paso en la Inteligencia Artificial. *Novatica*, 3. https://www.researchgate.net/publication/230819368_Agentes_Inteligentes_el_siguiente_paso_en_la_Inteligencia_Artificial_el_siguiente_paso_en_la_Inteligencia_Artificial

Valdecasas Medina, & José Ignacio García. (2011). La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, *136*, 91–110. https://doi.org/10.5477/cis/reis.136.91

Zhao, Y., Liu, Z., Xiao, J., Liu, T., Xu, G., & Wang, Y. (2024). Research on emotion modeling of intelligent agents in earthquake evacuation simulation. *Cognitive Systems Research*, 101242. https://doi.org/10.1016/J.COGSYS.2024.101242

Zhiming, F., Huisheng, G., Lixue, J., Xiaolian, L., & Wei, L. (2020). Human movement characteristics during emergency evacuations in a virtual environment. *Fire Safety Journal*, *115*, 103147. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103147