

Evacuación de edificios Einstein y da Vinci de la Universidad de los Llanos, Sede Barcelona

Yojan Hernandez, Código 160003612, yojan.hernandez@unillanos.edu.co
Santiago Roncancio, Código 160003741, brayan.roncancio@unillanos.edu.co
Candido Moreno, Código 160003749, candido.moreno@unillanos.edu.co

Universidad de los Llanos

Resumen La infraestructura de la Universidad de los llanos obedece a un diseño estructural conformado por instalaciones con la capacidad de soportar la realización de diferentes actividades en diversas horas del día, dichas actividades involucran al personal administrativo, de investigación, docente, estudiantil y demás integrantes del plantel educativo. Para valorar la adecuación de los aspectos relacionados con la seguridad de las personas en las edificaciones y con el fin de proteger la vida humana en caso de sismos o incendios, es necesario hacer una estimación acertada del tiempo requerido por los ocupantes para desplazarse hacia un espacio seguro.

Los cálculos analíticos, en base a las prescripciones normativas, plantean una solución rápida al problema mediante el cálculo de los niveles de ocupación, distancia de recorrido y dimensiones de los medios de evacuación. Pero cuando se trata de una edificación singular, estas aproximaciones pueden resultar insuficientes. Es por ello que se realizarán estudios a 2 de los edificios que tienen mayor afluencia en la universidad, tal como lo son el edificio Albert Einstein y Leonardo Da Vinci.

Para llevar a cabo los estudios mencionados anteriormente será necesario tener en cuenta las condiciones y características de los edificios, así como las diferentes velocidades de las personas que circulan por los espacios disponibles de cada edificio en una situación de emergencia hasta el punto de encuentro, finalmente se analizarán los resultados obtenidos en la simulación, esto servirá para determinar el impacto de las diferentes condiciones de los edificios, características físicas y su incidencia en los tiempos requeridos por los ocupantes para acceder a un espacio seguro ante una situación de emergencia.

Paso 1. Formular el Problema

Definición del problema

En un edificio se pueden presentar situaciones de alto riesgo, que amenazan con el bienestar de sus ocupantes. En estas circunstancias la evacuación total o parcial del edificio se presenta como la decisión más asertiva. Por lo cual, es necesario minimizar las consecuencias de un incidente en el proceso de evacuación del edificio como son los medios de salida, escaleras y rutas de escape que conducen al exterior del edificio y comunican con los puntos de encuentro de acuerdo con el plan de emergencia de la institución. En el proceso hay muchos factores que pueden afectar la evacuación de los ocupantes de un edificio. Estos pueden resumirse en tres categorías principales: configuración del edificio (por ejemplo, tamaño y número de salidas, ancho y largo máximo de las rutas de escape a lo largo de los diferentes componentes de la estructura; como puertas, pasillos y escaleras), las condiciones ambientales a lo largo de la ruta de salida y comportamiento de ocupantes (con y sin guía del personal) o aptitudes que pueden tomar como ansiedad, pánico o miedo entre otros síntomas y su tiempo de respuesta ante una emergencia son problemáticas al tener en cuenta. Por tal motivo el control efectivo de la emergencia radica en la capacidad de anticipar los posibles escenarios de una crisis y poder encontrar la estrategia de evacuación óptima de los edificios.

Objetivos generales del estudio de simulación

Identificar los escenarios y/o cuellos de botella ante una emergencia propia u otras causas en la Universidad de los Llanos, determinando los factores que tienen mayor incidencia en los tiempos de evacuación, así como sus rutas de evacuación y puntos de encuentro.

Preguntas específicas a ser respondidas por el estudio de simulación.

1. ¿Cuáles son los puntos de encuentro donde el sistema se ve más afectado?
2. ¿Cuál es el tiempo de evacuación total?
3. ¿Cuál es el promedio de evacuación?
4. ¿Cuáles son las condiciones que hacen posible escenarios críticos?
5. ¿Cuáles son las rutas de evacuación más adecuadas?

Medidas de desempeño

- Tiempos de evacuación total
- Tiempo promedio de evacuación por persona
- Velocidad promedio
- Rutas de evacuación
- Puntos de encuentro

Alcance del modelo

Tipo persona	Velocidad horizontal	Porcentaje ocupación
Estudiante - masculino	1.25 ± 0.30	N/A
Estudiante - femenino	1.15 ± 0.20	
personas - limitación física	0.5 ± 0.20	N/A
Docentes	1.20 ± 0.30	N/A
Administrativos	1.20 ± 0.30	N/A

Tabla 1. Alcance del modelo

Fuente: “Capote, J. A., Alvear, D., Abreu, O. V., Lázaro, M., & Cuesta, A. (2009). Modelado y simulación computacional de evacuación en edificios singulares. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 25(3), 227–245”

Porcentaje total estimado de ocupación en las instalaciones:

20% - 40%

(porcentaje basado en contexto de pandemia)

Configuraciones del sistema

Escenario 1: Este primer escenario no toma en consideración aspectos de la conducta humana, sólo se centrará en el análisis del movimiento de los ocupantes desde un punto de origen en el edificio hacia las salidas.

Las características físicas estarán en igualdad para todas las personas como la velocidad variable, al igual que lo conductual para los ocupantes. Se debe asumir que los ocupantes vayan a la salida más cercana en este caso y que reaccionaron de manera inmediata en el instante que inició la emergencia.

Escenario 2: Este escenario determina otras circunstancias, como que algunas salidas del edificio puedan encontrarse bloqueadas por diferentes motivos, ya sea por algún objeto que no permita pasar o fuego o escombros, etc. Este escenario considera la simulación de eventos de bloqueo consecutivo en salidas. Debido a las implicaciones que tiene un bloqueo en una salida de los edificios, puede afectar de forma evidente la simulación.

Escenario 3: Este escenario asigna diferentes tiempos de respuesta de las personas en el edificio de forma individualizada. por lo tanto dependiendo de una variable aleatoria de entrenamiento para simulacro una persona puede reaccionar inmediatamente o tardar en dar una respuesta.

Escenario 4: Este escenario distingue las diferentes edades, donde sus capacidades físicas también entran en juego, donde la velocidad de cada individuo puede ser alta o lenta, dependiendo de sus capacidades físicas, además de que también se reproduce el parámetro de la conducta humana con el coeficiente de familiaridad, donde los individuos buscarán la salida más próxima, siendo esa con la que más se familiarizan.

Ventana de tiempo

Actividad	Tiempo Requerido Para Implementación	
Recolección de datos	Entrevistas	1 Día
	Documentos	1 Día
Determinar la ruta de evacuación más segura según la situación de riesgo		1 Día
Identificar los puntos de encuentro más seguros según el tipo de emergencia		1 Día
Analizar los puntos críticos en las rutas de evacuación		1 Día

Tabla 2. Ventana de tiempo

Paso 2. Recolectar Información/Datos y Construir un Modelo Conceptual

Diagrama general del diseño del sistema actual y/o diagrama de flujo de procesos

Para la ejecución del estudio, sobre las condiciones de evacuación de los usuarios de los edificios Einstein y da Vinci de la Universidad de los Llanos, Sede Barcelona, que tiene como propósito determinar los escenarios y/o cuellos de botella ante una emergencia propia u otras causas al interior de la Universidad, además de identificar los factores que tienen mayor incidencia en los tiempos de evacuación, así como sus rutas de evacuación y puntos de encuentro. Se establece un modelo, con una estructura fundamentada en etapas a raíz del plan de emergencias establecido por los organismos de socorro, por consiguiente, durante la simulación, los ocupantes de los edificios, van a transitar a través de las diferentes plantas según sea el edificio en donde se encuentren, con el objetivo de desplazarse hacia el punto seguro más cercano siguiendo las rutas de evacuación establecidas por la universidad. Por lo anterior se tienen en consideración las diferentes etapas planteadas en la figura 1, la infraestructura física de los edificios y sobre todo las rutas de evacuación establecidas en caso de situaciones de riesgo.

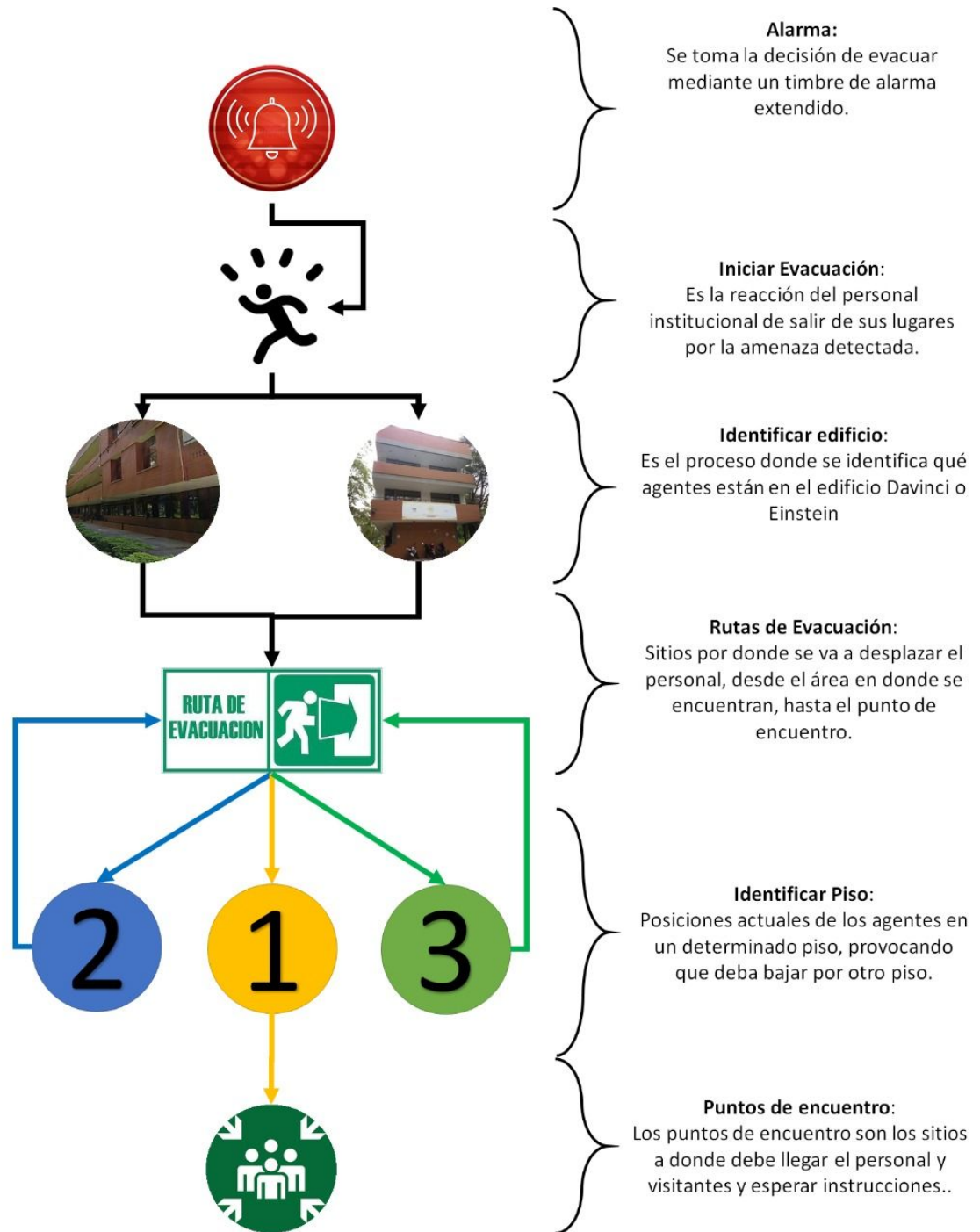


Figura 1. Etapas de evacuación según situación de riesgo.

ETAPAS

1. **Alarma:** Es el evento donde se toma la decisión de evacuar y se comunica esta decisión al personal mediante una alarma sonora extendida que significa la evacuación de todo el personal.

TIPOS DE ALARMA

TIPO	ACCIÓN
Pito continuo brigadista	Llamado a brigadistas área de emergencia.
Alarma sonora Timbre corto	Llamado a todos los brigadistas a evaluar situación.
Alarma sonora Timbre Extendido o continuo	Evacuación de todo el personal

Tabla 3. Tipos de alarma y acciones respectivas

2. **Iniciar evacuación:** La reacción de las personas ante la emergencia que proceden a moverse de sus posiciones actuales.
3. **Identificar edificio:** Es el momento en que los agentes son conscientes en cuál de los dos edificios se encuentran, si es el edificio Einstein o Davinci.
4. **Rutas de Evacuación:** Las rutas de evacuación son los sitios por donde se va a desplazar el personal, desde el área en donde se encuentran, hasta el punto de encuentro. Estas rutas de evacuación deben ser debidamente señalizadas, despejadas, y publicadas en los Mapas de Evacuación de cada piso.
5. **Identificar piso:** Dado a la dependencia que existe entre los pisos de un edificio, es necesario saber cuando los agentes se encuentran en diferentes pisos y deben proceder a ir al siguiente de abajo.
6. **Puntos de Encuentro:** Los puntos de encuentro son los sitios a donde debe llegar el personal y visitantes y esperar instrucciones. Dentro de los mapas o rutas de evacuación se encuentran ubicadas las rutas de evacuación y los puntos de encuentro.

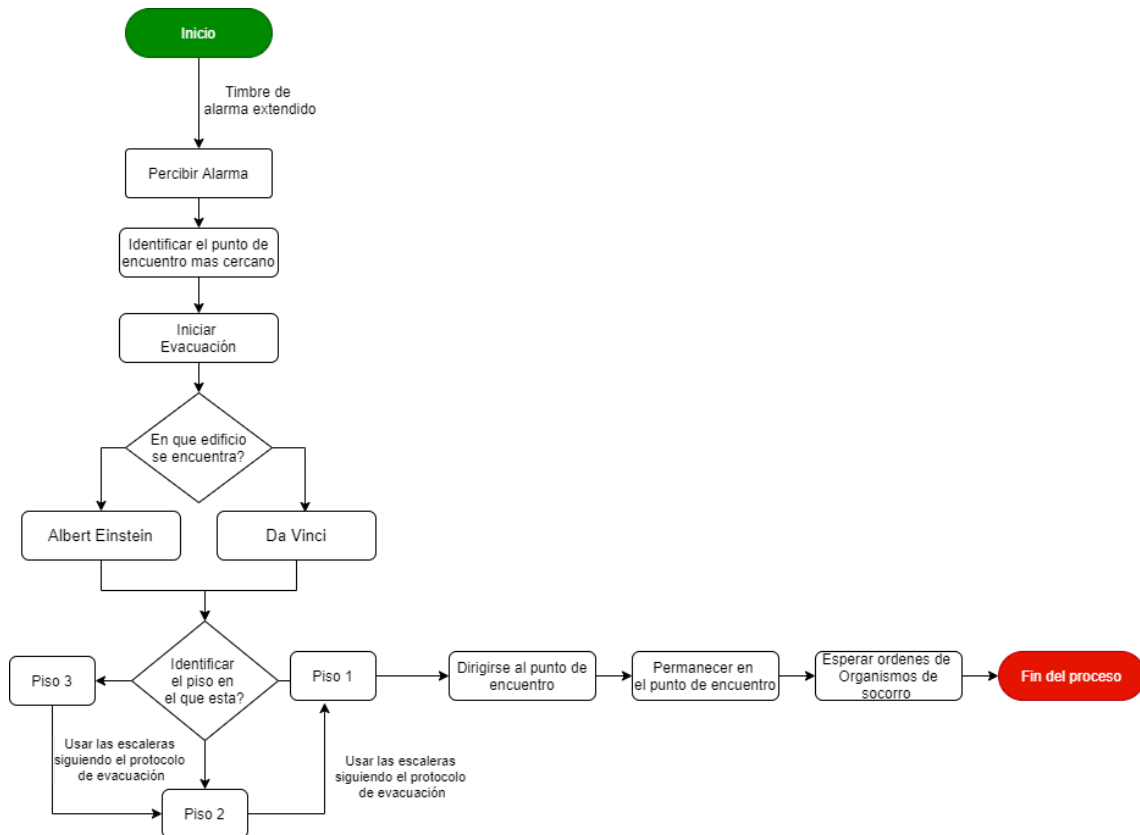


Figura 2. diagrama de flujo de procesos

Parámetros del modelo y posibles distribuciones de probabilidad

1. El artículo hace referencia a diferentes escenarios de incendio en un edificio histórico que consta de cinco niveles utilizado como museo. El edificio histórico investigado se conoce como Palacio de Fruscione . Está en el casco antiguo de la ciudad de Salerno (sur de Italia).

En la investigación se consideró que todas las personas eran adultos sanos no emparentados y que solo usaban la escalera para escapar.

En la simulación de la evacuación asumen que el sistema de alarma sonora se activará justo en los tiempos de detección previstos. Para el tiempo previo al movimiento y se consideran tres hipótesis donde la primera es que los ocupantes se mueven inmediatamente cuando se activa la alarma de incendio, es decir el tiempo previo al movimiento es igual a 0, la segunda es bajo una distribución uniforme en el rango de 5 a 10s y la tercera una distribución normal con $\mu = 120$ s, $\sigma = 40$ s, rango = 60–200 s.

La velocidad máxima horizontal fue de $\mu = 1,25$ m/s, $\sigma = 0,32$ m/s, rango = 0,82–1,77 m/s, la velocidad vertical en las escaleras se consideró en aproximadamente de 0.24 m/s y en promedio el tiempo medio de evacuación aumentó entre 20 y 25 s piso por piso para cada escenario.

Evacuation scenario	I-a	I-b	I-c	II-a	II-b	II-c	III-a	III-b	III-c	IV-a	IV-b	IV-c
Fire scenario	Attic level			2nd floor			1st floor			Ground floor		
Alarm time (s)	135			110			110			120		
Evacuation hypothesis	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
μ	191	197	304	166	173	276	166	173	277	176	183	298
σ	26	26	38	26	26	37	26	26	36	26	26	37
min	140	146	220	116	123	191	115	121	197	126	133	212
max	239	243	388	212	217	362	212	219	360	222	230	382

Tabla 4. Tiempo(s) de evacuación de personas para todos los escenarios de evacuación.

Fuente: Caliendo, C., Ciambelli, P., Del Regno, R., Meo, M. G., & Russo, P. (2020). Modelling and numerical simulation of pedestrian flow evacuation from a multi-storey historical building in the event of fire applying safety engineering tools. *Journal of Cultural Heritage*, 41, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.06.010>

	Evacuation hypothesis		
	a	b	c
Ground floor	2.2	2.3	4.2
1st floor	2.6	2.8	4.6
2nd floor	3.0	3.1	4.9
3rd floor	3.4	3.5	5.2

Tabla 5. Tiempos medios de evacuación (min) por piso para las tres hipótesis de evacuación.

Fuente: Caliendo, C., Ciambelli, P., Del Regno, R., Meo, M. G., & Russo, P. (2020). Modelling and numerical simulation of pedestrian flow evacuation from a multi-storey historical building in the event of fire applying safety engineering tools. *Journal of Cultural Heritage*, 41, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.06.010>

2. El artículo hace referencia a los desempeños generales de la evacuación donde el edificio seleccionado es el Edificio de Administración de la Universidad de El Cairo en la Facultad de Ingeniería (CUFE), Egipto. Para la simulación los supuestos generales sobre los escenarios de simulación realizados son: La evacuación comienza al inicio de la simulación, se considera que los ocupantes han evacuado de forma segura un determinado piso una vez que han llegado a la escalera o la salida designada de este piso. Todos los ocupantes están familiarizados con el edificio, excepto los nuevos estudiantes / solicitantes (licenciados y graduados) y los visitantes que normalmente se encuentran en la planta baja del edificio.

Los ocupantes del primer y segundo piso del edificio pueden buscar refugio en el edificio adyacente a través de los puentes que conectan los dos edificios. Son conscientes de esta posibilidad ya que la mayoría de ellos son empleados, a diferencia de la planta baja, cuyos ocupantes pueden incluir recién llegados al edificio que probablemente seguirán a las multitudes a su alrededor para llegar a lugares seguros. Esto se reflejó en los eventos "Evacuar" creados en Mass Motion.

Las variables de simulación incluyen lo siguiente:

- Radio corporal promedio para hombres (20-25 cm) y mujeres (19-23 cm) según el estudio realizado por Smith y Brokaw (2008)
- Velocidades de movimiento típicas para hombres (1.1-1.6 m / s) y para mujeres (1.05-1.45 m / s) según el estudio realizado por Smith y Brokaw (2008)
- Distribución predeterminada del tiempo previo al movimiento : mín. 16 s, máx. 63 s, media 35 s, desviación estándar 16 s según lo propuesto por la British Standards Institution (2004) .

3. Este artículo presenta una revisión sobre calcular dinámicamente con el algoritmo de Dijkstra en un modelo en tiempo real para la gestión de evacuación de edificios, en el artículo los datos usados son datos recopilados mediante cámaras de video en 3 edificios de oficinas en Canadá son los siguientes

Una distribución normal con una media de 1,35 m /s y una desviación estándar de 0,25 m/s representa la velocidad de los agentes. El máximo y mínimo de la velocidad son 2,05 m/s y 0,65 m/s y no es realista suponer que todos los evacuados seguirán las señales. Algunos de los evacuados pueden distraerse o elegir no seguir las señales. Por lo tanto, se supone que la obediencia de los evacuados a las señales es del 90%.

Especificaciones técnicas del computador

Requerimientos del software Anylogic:

Los requerimientos para ejecutar el entorno de desarrollo de AnyLogic Model es:

- Java 2 Standard Edition 9.0 o posterior para ejecutar aplicaciones de simulación.
- Sistema operativos permitidos
 - Microsoft Windows 10, x64, Internet Explorer 11
 - Microsoft Windows 8, x64, Internet Explorer 11
 - Microsoft Windows 7 SP1, x64, Internet Explorer 11
 - Apple Mac OS X 10.10 (Yosemite) o posterior, Universal, Safari 9+
 - SuSE Linux, x64 (con GTK + instalado, libwebkitgtk-1.0-0, libudev, libssl 0.9.8 y más reciente), Firefox 24+
 - Ubuntu Linux 10.04 o superior, x64 (con GTK + instalado,

libwebkitgtk-1.0-0, libudev, libssl 0.9.8 y más reciente), Firefox 24+

- Linux Mint 17 o superior, x64 (con GTK + instalado, libwebkitgtk-1.0-0, libudev, libssl 0.9.8 y más reciente), Firefox 24+

Nota: AnyLogic también puede instalarse en otras plataformas no incluidas en la lista (como otras distribuciones de Linux), pero no podemos garantizar su compatibilidad total con la plataforma.

Requerimientos del hardware para ejecutar Anylogic:

- La instalación de AnyLogic requiere 1,5 GB de espacio libre en disco.
- Recomendamos 4-8 GB de memoria y un procesador moderno con al menos 2 núcleos para un rendimiento óptimo (más núcleos benefician el modelado de peatones y los experimentos con múltiples ejecuciones).

Restricciones de tiempo y dinero

- Teniendo en cuenta la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19, la captura de datos reales se dificulta, por lo anterior la simulación se fundamenta a partir de datos teóricos que brindan una aproximación real, sin desentender que existe personal universitario que puede brindar información de lo que nos compete.
- Anylogic en su versión gratuita, permite realizar simulaciones basadas en agentes, además del uso de herramientas para el cálculo de variables del sistema. Por otra parte, haciendo uso de modelos en Java, se presta para realizar modificaciones a fines con objetivos particulares, por lo anterior para obtener el máximo potencial de dicha herramienta es necesario tener conocimientos previos en programación orientada a objetos, particularmente en el lenguaje de programación JAVA.
- Una vez estructurado el modelo conceptual, es imprescindible fundamentar el modelamiento del sistema en el software a partir de la información obtenida, en consecuencia de ello surge la restricción directa para el uso del software desconociendo algunas dimensiones de la simulación que se desea hacer.
- Para simular la evacuación de los edificios Einstein y Da Vinci de la Universidad de los Llanos, es necesario hacer uso del Software de simulación Anylogic en su versión gratis, debido a no tener un presupuesto asignado para el proyecto, se requiere el manejo de herramientas gratuitas y de software libre.

Paso 3. Validación del Modelo Conceptual

Para llevar a cabo el proceso de validación del modelo de simulación, se analizaron distintos sectores importantes que producen variaciones a los parámetros previamente establecidos en el sistema, por consiguiente fue necesario fundamentar el modelo basado en experiencias suministradas por organismos de socorro y otras siguiendo los lineamientos establecidos en el plan de riesgos de la universidad de los llanos.



Figura 3. Fachada Albert Einstein Principal con agentes en movimiento.

Referencias

- Aleksandrov, M., Cheng, C., Rajabifard, A., & Kalantari, M. (2019). Modelling and finding optimal evacuation strategy for tall buildings. *Safety Science*, 115(February 2018), 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.02.017>
- Caliendo, C., Ciambelli, P., Del Regno, R., Meo, M. G., & Russo, P. (2020). Modelling and numerical simulation of pedestrian flow evacuation from a multi-storey historical building in the event of fire applying safety engineering tools. *Journal of Cultural Heritage*, 41, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.06.010>
- Capote, J. A., Alvear, D., Abreu, O. V., Lázaro, M., & Cuesta, A. (2009). Modelado y simulación computacional de evacuación en edificios singulares. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 25(3), 227–245.
- Hamilton, G. N., Lennon, P. F., & O'Raw, J. (2017). Human behaviour during evacuation of primary schools: Investigations on pre-evacuation times, movement on stairways and movement on the horizontal plane. *Fire Safety Journal*, 91(April), 937–946. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.04.016>
- Jaramillo, J. (2016). *Plan de Emergencias Unillanos*.
- Marzouk, M., & Mohamed, B. (2019). Integrated agent-based simulation and multi-criteria decision making approach for buildings evacuation evaluation. *Safety Science*, 112(August 2018), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.10.010>
- Mirahadi, F., & McCabe, B. Y. (2020). EvacuSafe: A real-time model for building evacuation based on Dijkstra's algorithm. *Journal of Building Engineering*, November 2019, 101687. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101687>
- Poulos, A., Tocornal, F., de la Llera, J. C., & Mitrani-Reiser, J. (2018). Validation of an agent-based building evacuation model with a school drill. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 97(October), 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.10.010>
- Dulgeroglu, O. S. A. E. (s. f.). AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions for Business. Anylogic: Simulation Model. Recuperado 26 de octubre de 2020, de <https://www.anylogic.com/>