

Evacuación de edificio da Vinci de la Universidad de los Llanos, Sede Barcelona

Yojan Hernandez¹[160003612], Candido Moreno²[160003749], and Santiago Roncancio³[160003741]

¹ Universidad de los llanos, Departamento del meta , Colombia
yojan.hernandez@unillanos.edu.co

² Universidad de los llanos, Departamento del meta, Colombia
candido.moreno@unillanos.edu.co

³ Universidad de los llanos, Departamento del meta, Colombia
brayan.roncancio@unillanos.edu.co

Abstract. 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 obtenidos a través de simulaciones, 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[3]. Es por ello que se realiza el estudio a uno de los edificios que tiene mayor afluencia en la universidad, tal como lo es el edificio Leonardo Da Vinci.

Para llevar a cabo los estudios mencionados anteriormente será necesario tener en cuenta las condiciones y características del edificio, 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.

Keywords: Simulación computacional · Simulación basada en agentes · AnyLogic · Diagrama de procesos

1 Formular el Problema

1.1 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 consecuencia 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 del edificio.

El edificio Leonardo Da Vinci es uno de los focos a evaluar por su alto tráfico de estudiantes, profesores y administrativos. El edificio cuenta con una construcción firme con techos o cerchas con suficiente resistencia a los efectos del viento, la comunicación entre plantas se realiza únicamente mediante el uso de escaleras que presentan condiciones de solidez y estabilidad, El edificio cuentan con dos tipos de tamaños en los salones variando en pequeños y grandes, los salones pequeños cuentan únicamente con una salida y los salones grandes cuentan con dos salidas.

El edificio Leonardo Da Vinci cuenta con 2 plantas conformadas por 10 aulas que se encuentran repartidas 5 por cada planta, además posee 2 baños ubicados en el segundo nivel.

1.2 Objetivos generales del estudio de simulación

Evaluar la eficiencia de la evacuación 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.

Analizar si los cambios en la densidad de la población afectan el rendimiento de la evacuación hacia los puntos de encuentro en los escenarios planteados.

Determinar el tiempo de evacuación disponible para cada escenario planteado dado una evacuación para una emergencia.

1.3 Preguntas específicas a ser respondidas por el estudio de simulación.

1. ¿Cuál es el punto más crítico en la ruta de evacuación donde el sistema se ve afectado?
2. ¿Cuál es el tiempo de evacuación total, en una situación donde está obstaculizada la ruta de evacuación?
3. ¿Cuál es el promedio de evacuación de los estudiantes en una situación ideal?

1.4 Medidas de desempeño

- Tiempos total de evacuación (Desde que inicia la simulación hasta que llega el último individuo)
- Tiempo promedio de evacuación de todas las personas.
- Velocidad promedio
- Tiempo mínimo de evacuación.
- Tiempo máximo de evacuación.
- Tiempo central (Mediana) de evacuación de todas las personas.

1.5 Alcance del modelo

La simulación de la evacuación del edificio es con respecto al edificio Leonardo Da Vinci presenta un alcance con el modelo en el ámbito de que todas las personas, son personas sin limitaciones físicas o cognitivas.

Table 1. Variaciones de velocidad respecto al tipo de persona.

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

El Porcentaje total estimado de ocupación en las instalaciones es del 20% - 50% porcentaje basado en contexto de pandemia, es decir un total de alrededor 82 personas, con un cupo máximo de 8 personas en las aulas y 4 personas en los laboratorios, ocupando todos los espacios del edificio en una franja horaria diurna.

1.6 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 los puntos de encuentro.

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 del edificio, puede afectar de forma evidente la simulación.

Escenario 3 Este escenario distingue las personas que tardan en reaccionar según sus capacidades físicas, también entra en juego, conocer el protocolo de seguridad, lo que ocasiona una velocidad de reacción en cada individuo, esta puede ser alta o lenta, 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.

1.7 Ventana de tiempo

Las actividades de la tabla 2 son independientes una de la otra y no se realizan concurrentemente.

Table 2. 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

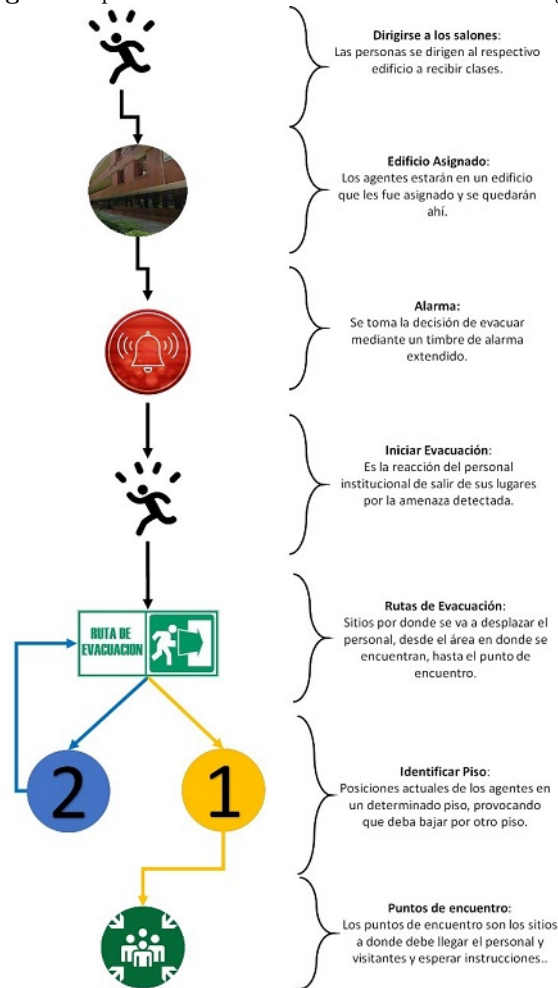
2 Recolectar Información/Datos y Construir un Modelo Conceptual

2.1 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 del edificio 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[4], por consiguiente, durante la simulación, los ocupantes del edificio, van a transitar a través de las diferentes plantas, con el objetivo de desplazarse hacia el punto seguro más cercano siguiendo la 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 del edificio y sobre todo la ruta de evacuación establecidas en caso de situaciones de riesgo.

Fig. 1. Etapas de evacuación en una situación de riesgo.



2.2 Etapas de simulación

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.

Table 3. Ventana de tiempo

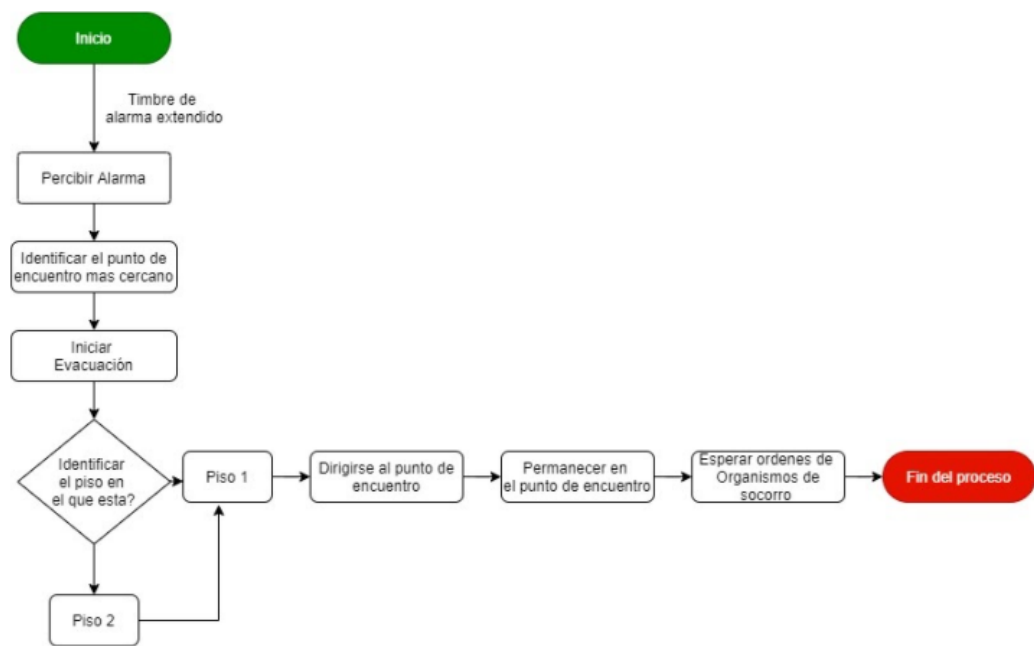
Tipo	Tiempo Requerido Para Implementación
Pito continuo brigadista	Llamado a brigadistas área de emergencia
Alarma sonora timbre corto	Llamado a todos los brigadistas a evaluar situación.
Alarma sonora timbre extendido	Evacuación de todo el personal

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.

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 $\mu =$

Fig. 2. diagrama de flujo de procesos



120s, $\sigma = 40$ s, rango = 60–200s. 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 25s piso por piso para cada escenario.

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

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

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

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

	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

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 los puntos de encuentro ubicados a las afueras del edificio. Son conscientes de esta posibilidad ya que la mayoría de ellos son estudiantes, 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 vídeo 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

2.3 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).

Características del computador donde se realizará el estudio de simulación

- Procesador Intel Core i7 de 4ta generación
- Memoria RAM de 8 GB
- Sistema operativo Windows 10
- Disco Mecánico de 500 GB

2.4 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 del edificio 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.

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.

Fig. 3. Fachada Principal Edif. Leonardo Da Vinci con agentes en movimiento.



Los mapas de evacuación se encuentra en diferentes puntos a saber:

- Sede Barcelona
 - Entrada edificio Administrativo
 - Entrada auditorio Eduardo Carranza
 - Entrada a biblioteca
 - En la granja
 - Detrás de decanatura de ciencias agropecuarias
 - Frente a la oficina de servicios administrativos/Personal
- Sede San Antonio
 - Salón 6 y7
 - Cafetería
 - Auditorio

Puntos de encuentro establecidos por los organismos de socorro (Jaramillo, J. 2016)

4 Programar el modelo

4.1 Descripción del lenguaje o software de simulación seleccionado

A fin de llevar a cabo la simulación de la evacuación de los ocupantes de uno de los edificios más concurridos, específicamente del edif. Leonardo Da Vinci, Usamos AnyLogic para modelar las aulas del edificio, esta herramienta admite la simulación de eventos discretos, basada en agentes y en la dinámica del sistema, combina múltiples bibliotecas fundamentadas en el lenguaje de programación JAVA, emplea técnicas de modelado de simulación de nivel bajo, medio y alto. AnyLogic como software de simulación, dispone de 3 licencias para su uso, la licencia de edición de aprendizaje personal, la licencia para investigador universitario y la licencia profesional, cada una cuenta con diferentes beneficios respectivamente, a raíz de no tener un presupuesto asignado para el proyecto, se utilizó la licencia para principiantes y estudiantes.

4.2 Implementación del modelo en el lenguaje o software de simulación

En concordancia con lo anterior, se presenta la implementación del modelo de simulación a través de diagramas de proceso, realizados con ayuda del software de simulación Anylogic y haciendo uso de la licencia de edición de aprendizaje personal, las figuras a continuación describen el flujo necesario para simular la evacuación de los ocupantes del edificio Leonardo Da Vinci.

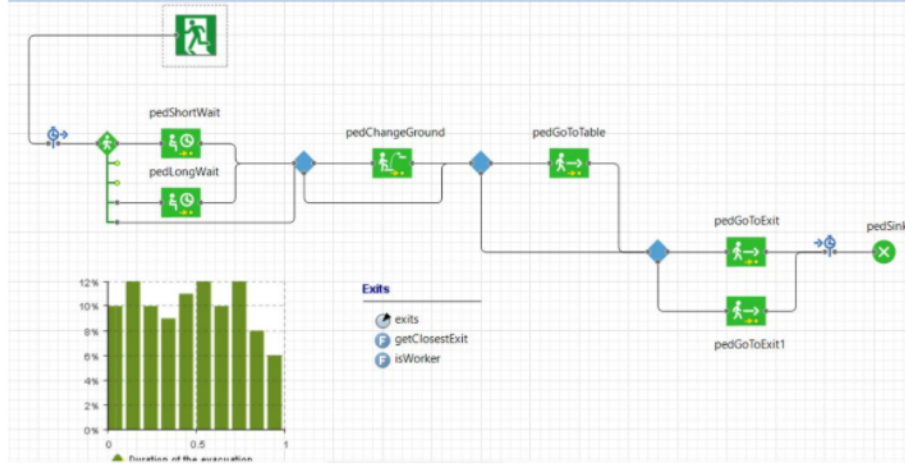
Fig. 4. Diagrama general de procesos de la ruta de evacuación.



La figura 5 describe el proceso general del comportamiento de los agentes en la simulación, por lo que existen dos procesos llamados StaffSource, es el origen de los agentes que representan los estudiantes y docentes, el staffSource es el origen de los agentes que van a ir a los salones del primer piso y el staffSource2 es el origen de los agentes que tomarán las escaleras (GoToStairs) e ir al segundo piso (GoToSecondFloor), por lo que al llegar a sus áreas de trabajo, procederán a entrar en espera “delay” (pedStudy) donde quedarán sentados tomando clases en sus respectivos salones. En caso de que la simulación transcurra sin disparar los eventos del botón de emergencia, los agentes pueden ir saliendo de la simulación

(pedExit), pero en caso de que ocurra la emergencia todos los procesos serán interrumpidos e irán a “Evacuation”.

Fig. 5. Diagrama de proceso que interrumpe cualquier actividad.



En el diagrama de la figura 6 se observa un subproceso que es el encargado de llevar a cabo la evacuación de todos los ocupantes del edificio. Cada uno de los agentes deberá pasar a través del componente Selected Output que tiene como función permitir a los agentes reaccionar de 3 formas distintas, con la ayuda de la probabilidad se especifica si un agente tiene una reacción inmediata cuando suene la alarma, o en caso contrario tendrá una reacción tardía corta o larga, El diagrama también le permite identificar al agente el piso en el que se encuentra, en caso de encontrarse en el piso 2, lo enviará al piso 1, finalmente todos los agentes se van dirigir a la salida del edificio y posteriormente desaparecen del sistema.

5 ¿Es el Modelo Programado Válido?

5.1 Comparación cualitativa del modelo simulado y el sistema existente

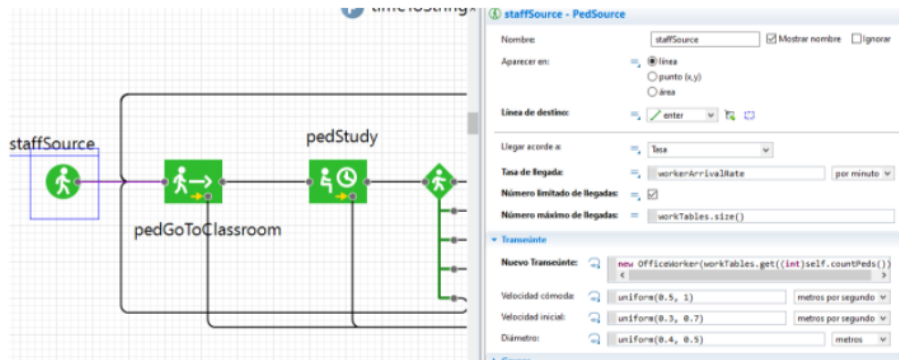
Teniendo en cuenta la situación de crisis sanitaria mundial ocasionada por el nuevo coronavirus COVID-19, llevar a cabo la actividad de captura datos reales no se puede ejecutar, por lo anterior a fin de realizar la simulación de la evacuación del edificio Da Vinci de la Universidad de los Llanos, fue necesario basarnos en datos obtenidos teóricamente, lo que brinda una aproximación real y un margen de error porcentual, sin desentender que existe personal universitario que puede brindar información útil para reducir dicho margen de error. Por estas

circunstancias el sistema simulado estará poco fundamentado en datos reales y se espera obtener un margen de error inferior al 10 por ciento según los datos teóricos obtenidos.

6 Diseñar, Realizar, y Analizar los Experimentos de Simulación

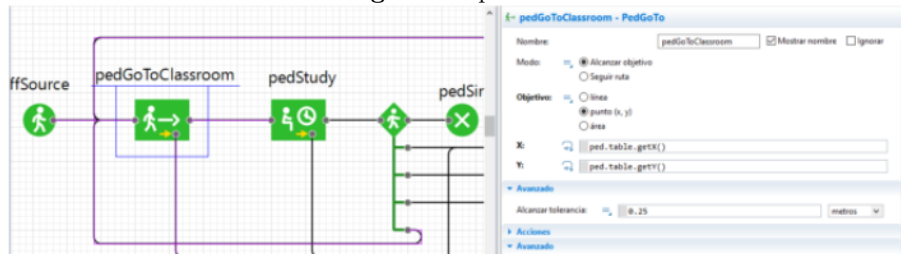
6.1 Modelo Lógico Implementado

Fig. 6. Componente 1



El componente que se muestra en la Figura 7 recibe el nombre “staffSource”, su función principal es dar origen a los agentes previamente configurados en el sistema, Una vez iniciada la simulación, los agentes van a ir apareciendo en el destino “entre”, la cantidad de personas en el primer piso se configura haciendo uso del método WorkTables.Size(), quien además permite configurar diferentes velocidades iniciales al interior del sistema.

Fig. 7. Componente 2



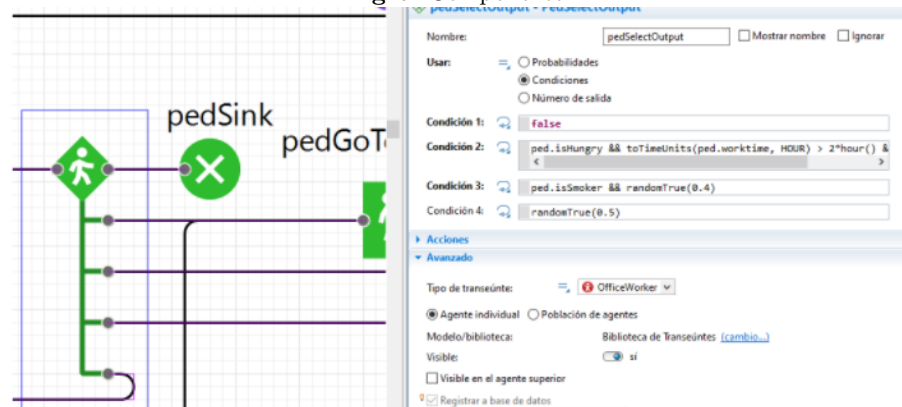
El componente que se presenta en la Figura 8 recibe el nombre “pedGoToClassroom”, Este componente dirige el comportamiento de los agentes en la simulación y es el responsable de hacer que los agentes ubicados en el primer piso se dirijan a sus respectivas aulas haciendo uso de las coordenadas establecidas en x, y.

Fig. 8. Componente 3



El componente que se presenta en la Figura 9 recibe el nombre “pedStudy” y es el encargado de mantener a los agentes inmóviles en un punto definido previamente, durante un periodo de tiempo establecido.

Fig. 9. Componente 4



El componente que se presenta en la Figura 10 recibe el nombre “pedSelectedOutput”, Este le permite al agente comportarse siguiendo unos lineamientos previamente definidos, la configuración se modela de tal forma que el agente

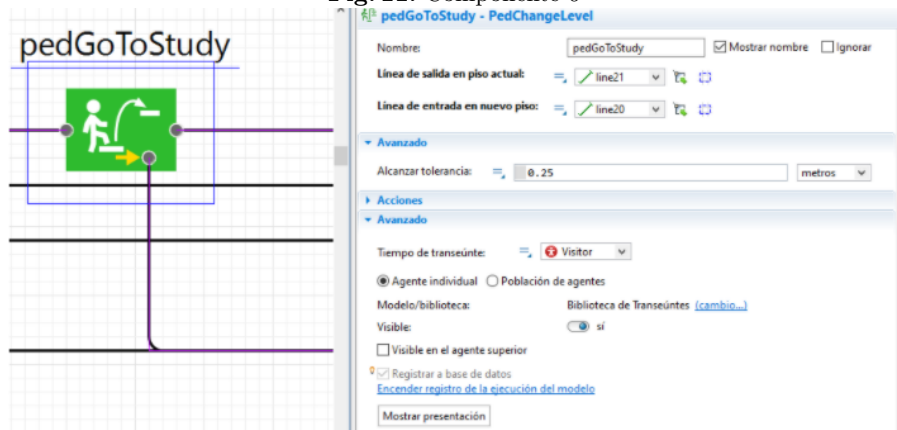
no permanece todo el tiempo en su sitio o lugar, si no que se toman en cuenta algunos comportamientos propios de las personas como ir a tomar aire fresco o tener un brake, ir al baño o ir a la cafetería, estos comportamientos suelen ocurrir cuando ha transcurrido un tiempo considerable en la simulación.

Fig. 10. Componente 5



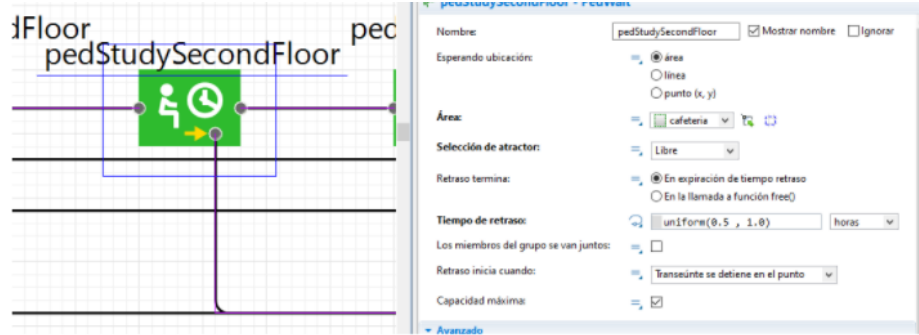
El componente que se presenta en la Figura 11 recibe el nombre “pedGoToStudy”, Este componente define un comportamiento en específico en algunos de los agentes, pues es el responsable de hacer que algunos de los ocupantes ubicados en el primer piso se dirijan al segundo, por lo tanto tiene entrada y salida al cruzar por las escaleras.

Fig. 11. Componente 6



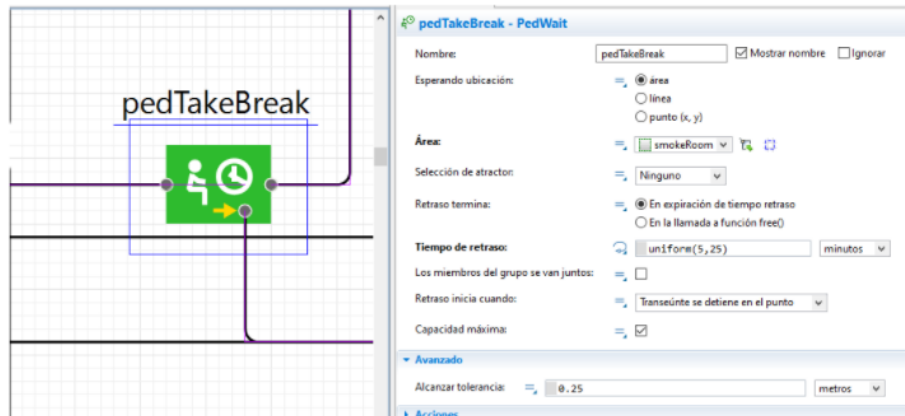
El componente que se presenta en la Figura 12 recibe el nombre “PedGoToStudy”, este componente al igual que el anterior permite ir del piso 2 al piso 1 en caso de que uno de los agentes quiera bajar.

Fig. 12. Componente 7



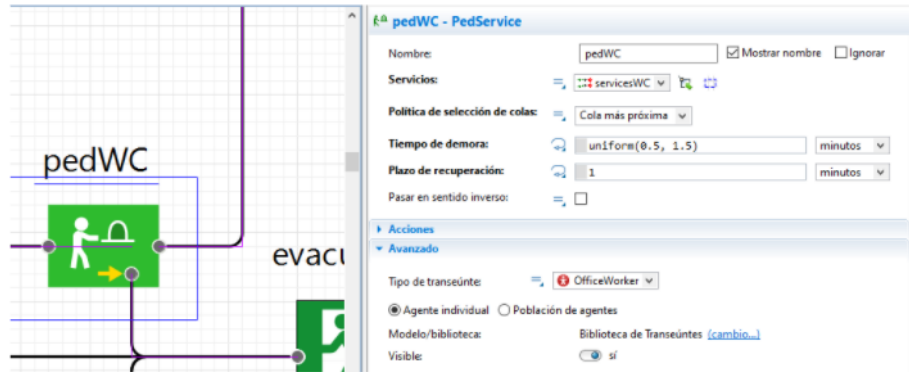
El componente que se presenta en la Figura 13 recibe el nombre “PedStudySecondFlor”, este genera un comportamiento en los agentes de estar en el área donde van a sentarse a sus respectivos lugares en cada salón, teniendo un tiempo de retraso en las sillas simulando estar en clases.

Fig. 13. Componente 8



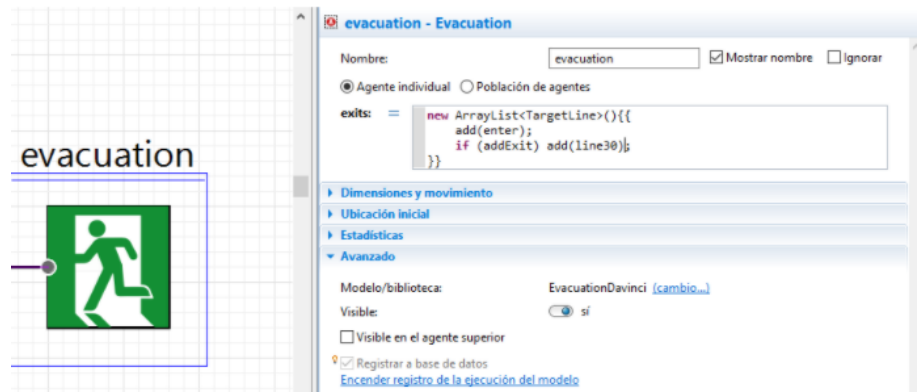
El componente que se presenta en la Figura 14 recibe el nombre “PedTakeBreak”, en este caso se simula el comportamiento de que un agente quiera tomar un descanso y salir un rato a las afueras de las instalaciones por unos minutos.

Fig. 14. Componente 9



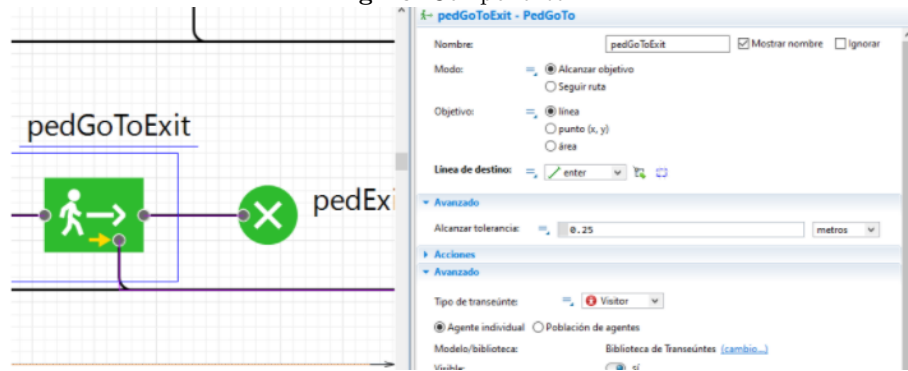
El componente que se presenta en la Figura 15 recibe el nombre “pedWC”, Su función principal es llevar a cabo el proceso que implica ir al baño, como se mencionaba anteriormente, para la simulación se tuvo en cuenta comportamientos del personal que permiten tener escenarios simulados más cercanos a la realidad.

Fig. 15. Componente 10



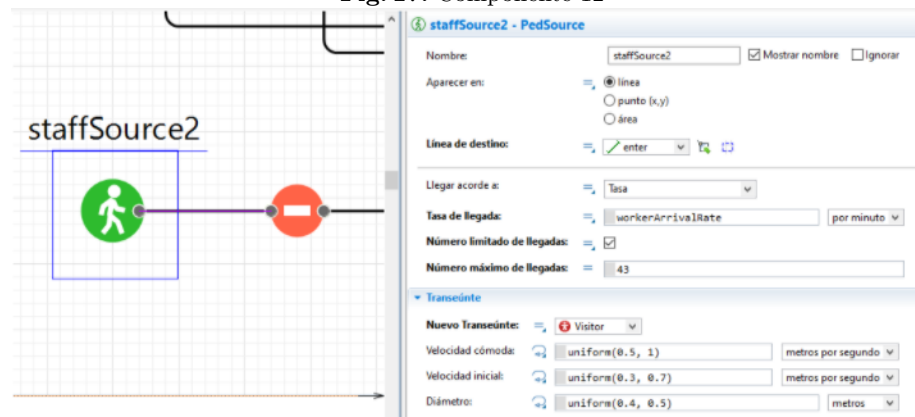
El componente que se presenta en la Figura 15 recibe el nombre “evacuation”, el caso es particular en términos que es otro subproceso que se encarga de toda la parte de evacuación, es el proceso llamado cuando ocurre la alarma y todas las actividades de la universidad son suspendidas unificando a todo el personal en el proceso de evacuación.

Fig. 16. Componente 11



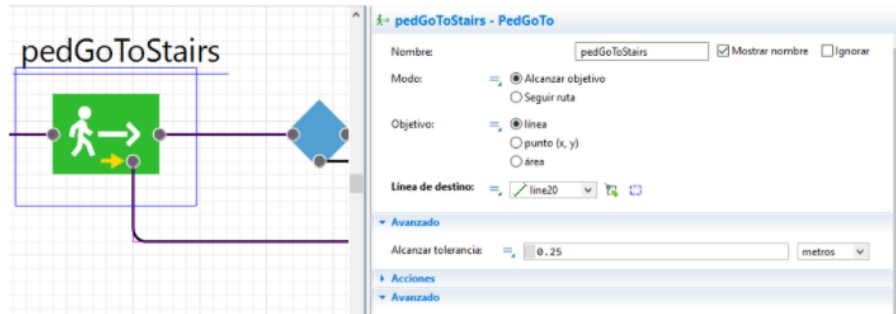
El componente que se presenta en la Figura 17 recibe el nombre “pedGoToExit”, representa dirigirse a la salida del sistema, suele ocurrir cuando ya ha pasado bastante tiempo el personal en el edificio y no ha ocurrido ninguna emergencia.

Fig. 17. Componente 12



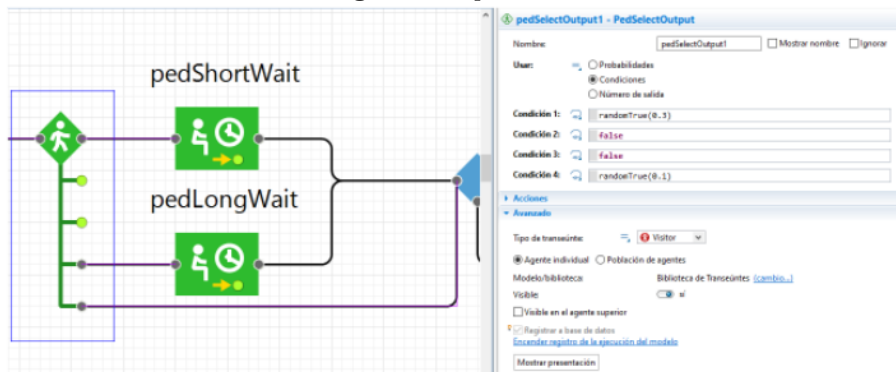
El componente que se presenta en la Figura 18 recibe el nombre “staffSource2”, este componente al igual que staffSource, da origen a un personal, ya sean estudiantes y/o docentes, los cuales son los designados para ir al segundo piso, pero este componente se encarga de hacer aparecer las personas.

Fig. 18. Componente 13



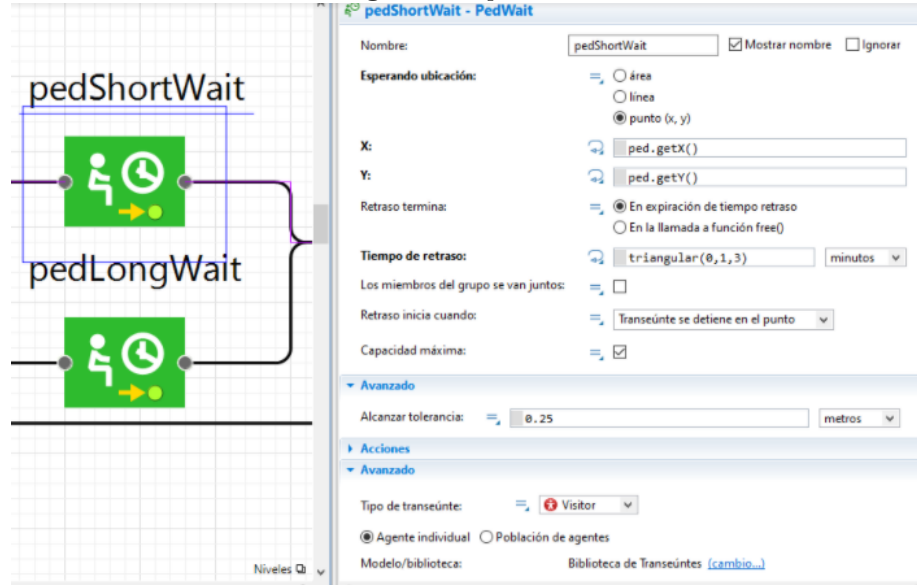
El componente que se presenta en la Figura 18 recibe el nombre “staffSource2”, este componente al igual que staffSource, da origen a un personal, ya sean estudiantes y/o docentes, los cuales son los designados para ir al segundo piso, pero este componente se encarga de hacer aparecer las personas.

Fig. 19. Componente 14



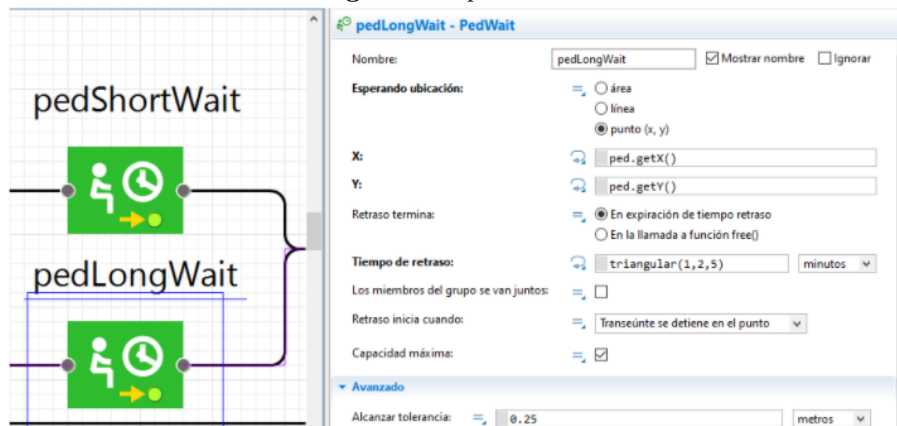
El componente que se presenta en la Figura 20 recibe el nombre “pedSelectedOutput1”, es un factor decisorio, donde de forma aleatoria se trata de simular la reacción de los agentes, para saber si tendrán reacción rápida o lenta.

Fig. 20. Componente 15



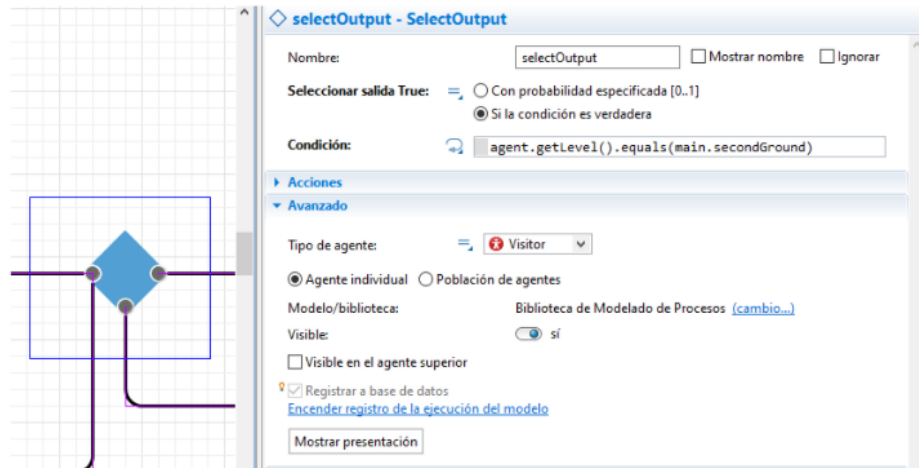
El componente que se presenta en la Figura 20 recibe el nombre “pedLongWait”, este componente dependiendo de las personas que entren aquí, se les dará un tiempo de reacción lenta ante una emergencia.

Fig. 21. Componente 16



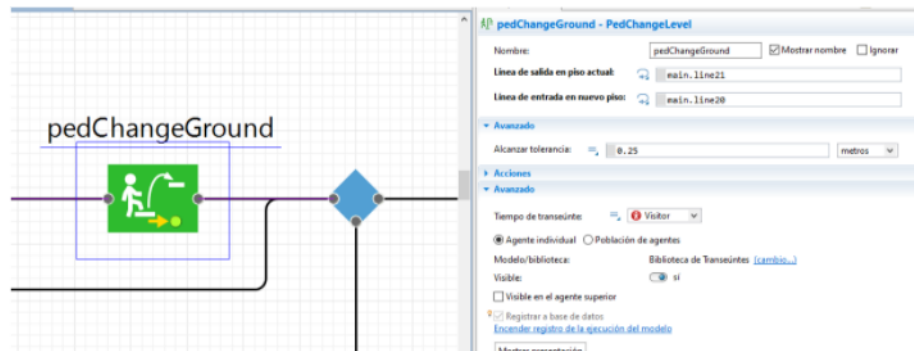
El componente que se presenta en la Figura 21 recibe el nombre “pedShortWait”, a diferencia del anterior componente mencionado, este se encarga de darle una reacción más rápida a los agentes, simulando que estas personas son más rápidas ante la situación de emergencia.

Fig. 22. Componente 17



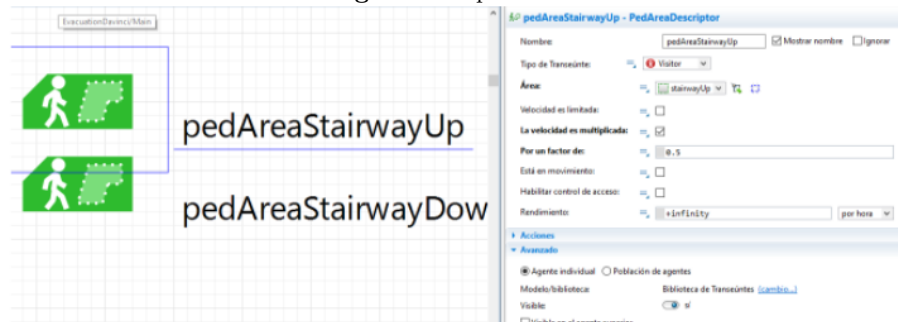
El componente que se presenta en la Figura 22 recibe el nombre “selectedOutput”, en este lugar se verifica el nivel en el que se encuentran las personas, identificando que si se encuentran en el piso 2, se haga otra acción, en caso contrario, que continúe en normalidad.

Fig. 23. Componente 18



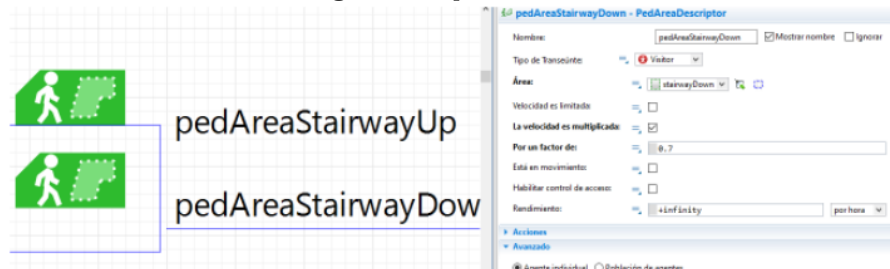
El componente que se presenta en la Figura 17 recibe el nombre “pedChangeGround”, los únicos que acceden a este componente son quienes están en el piso 2 y lo que se hace es hacer que las personas se dirijan a las escaleras para bajar al piso 1.

Fig. 24. Componente 19



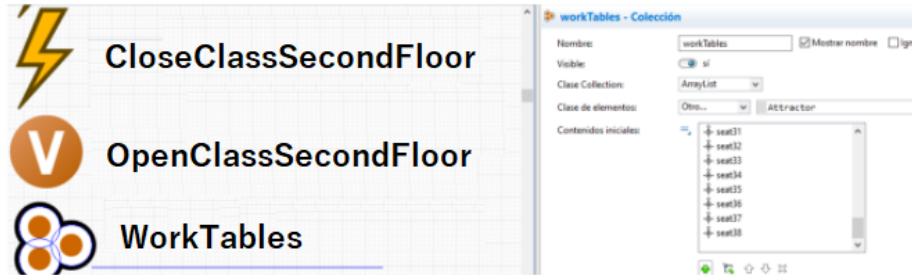
El componente que se presenta en la Figura 25 recibe el nombre “pedAreaStairwayUp”, este componente es identificado como un área, y hace referencia al área en el que las personas subirán por las escaleras.

Fig. 25. Componente 20



El componente que se presenta en la Figura 26 recibe el nombre “pedAreaStairway-Down”, este componente es identificado como un área, y hace referencia al área en el que las personas bajarán por las escaleras, lo que afecta considerablemente su velocidad al bajar.

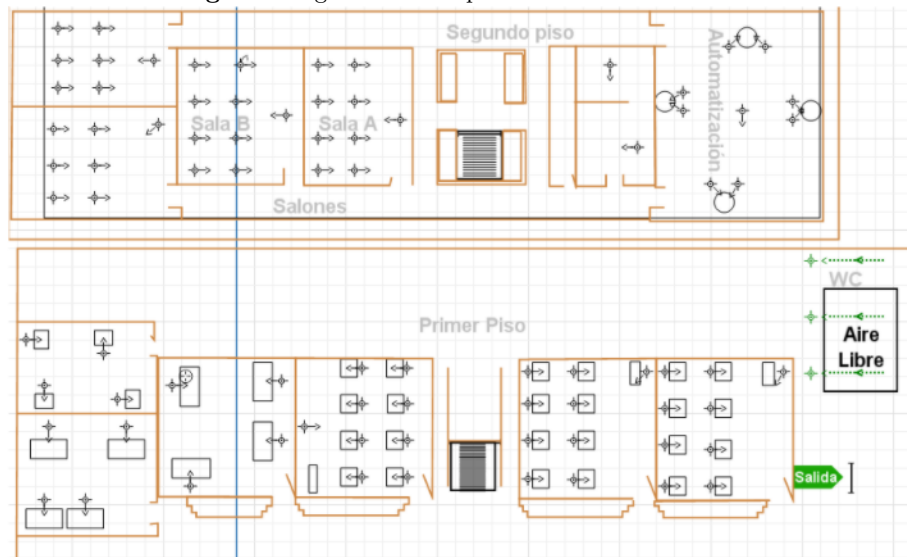
Fig. 26. Componente 21



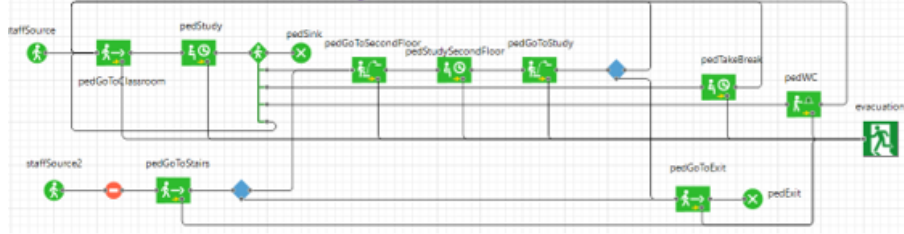
Este último componente que se presenta en la Figura 27 recibe el nombre “workTables”, esta variable hace posible contabilizar la cantidad de personas que pueden haber en el primer piso, dado que hace referencia a las mesas de trabajo, obteniendo la disponibilidad y agregando al arrayList, los objetos tipo “attractor” que simulan las sillas donde se sientan las personas.

Experimentación del Modelo Implementado

Fig. 27. Diagrama de componentes de la simulación.



Para llevar a cabo el estudio de simulación sobre la evacuación de los ocupantes del edificio Leonardo Da Vinci, se debe representar gráficamente la estructura haciendo uso de las diferentes herramientas que ofrece el software de simulación Anylogic. En la figura 27 se observa la representación de la estructura del edificio. Por otra parte el sistema de simulación presentado consta de dos plantas o pisos, los polígonos del piso 1, tendrán el nivel “FirstGround” y el segundo piso el nivel “SecondGround”, esto permitirá definir con qué se puede colisionar las personas de la simulación, quienes pueden tener contacto con muros. Adicionalmente se tienen las mesas de trabajo y/o estudio en donde el personal universitario se dirigirá.

Fig. 28. Diagrama de componentes de la simulación.

A continuación se describe el proceso general del comportamiento de los agentes en la simulación, para configurar cada uno de los escenarios planteados al inicio del documento, es necesario partir de los parámetros de configuración, las distribuciones triangulares y uniformes que se muestran en la figura 28 tienen como finalidad representar la estructura física del edificio Leonardo Da Vinci, Por otra parte algunos componentes le permiten al agente comportarse según unos lineamientos establecidos, la configuración se modela de tal forma que el agente no permanece todo el tiempo en su sitio o lugar, por otro lado para conocer los tiempos de evacuación se definió como unidad de tiempo los minutos, asumiendo que los tiempos de evacuación de un edificio por lo general deben hacerse durante el menor tiempo posible, posteriormente para llevar a cabo el estudio de evacuación se configuraron algunos componentes, tales como el componente “pedSource” que permite controlar las velocidades de los agentes, de igual forma sirve para obtener el tiempo de inicio de la evacuación. El diagrama que se muestra en la figura 29 básicamente permite que la simulación mantenga un orden, además de llevar a cabo el conteo de personas que siguen en el edificio durante la evacuación o definir algunos comportamientos propios de las personas como ir a tomar aire fresco, ir al baño o ir a la cafetería. Para obtener datos lo más real posible fue necesario realizar 10 repeticiones por cada configuración de velocidad y de reacción. finalmente es importante resaltar que estos comportamientos suelen ocurrir cuando ha transcurrido un tiempo considerable en la simulación.

7 Documentar y Presentar los Resultados de la Simulación

En concordancia con lo anterior, se presentan los resultados obtenidos en un cuadro comparativo que se muestra en la Tabla 6, los resultados para el escenario 1 fueron los que dieron un menor tiempo de evacuación, teniendo en cuenta que este escenario no toma en consideración aspectos de la conducta humana, sólo se centra en el análisis del movimiento de los ocupantes desde un lugar en el edificio hacia el punto de encuentro

Table 6. Cuadro comparativo de los diferentes escenarios según medidas de desempeño

Medida de desempeño	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Tiempo total de evacuación (Desde que inicia la simulación hasta que llega el último individuo)	3 minutos con 40 segundos	4 minutos con 39 segundos	5 minutos con 49 segundos
Tiempo promedio de evacuación de todas las personas.	3 minutos con 37 segundos	4 minutos con 30 segundos	5 minutos con 54 segundos
Velocidad promedio	1 metro por segundo	1 metro por segundo	0,75 metros por segundo
Tiempo mínimo de evacuación.	3 minutos con 9 segundos	3 minutos con 57 segundos	5 minutos con 6 segundos
Tiempo máximo de evacuación.	4 minutos con 4 segundos	5 minutos con 1 segundo	6 minutos con 30 segundos
Tiempo central (Mediana) de evacuación de todas las personas.	3 minutos con 36 segundos	4 minutos con 36 segundos	6 minutos

En el caso del escenario 2 los resultados mostraron un incremento como era de esperarse en los tiempos de evacuación obtenidos, teniendo en cuenta que algunas salidas del edificio estaban bloqueadas por diferentes motivos, finalmente para el Escenario 3 que distingue las personas que tardan en reaccionar según sus capacidades físicas y desconocer el protocolo de seguridad, se evidencia considerablemente un aumento en el tiempo de respuesta, en conclusión los tiempos de respuesta que se obtienen a partir de los escenarios establecidos

Descripción detallada de la implementación del modelo en el lenguaje o software de simulación Para la implementación del proceso de evacuación de los ocupantes del edificio Leonardo Da Vinci, es posible detallar que se realizó una simulación basada en agentes, donde se buscaba que los agentes tuvieran sus propios comportamientos en un ambiente en el que interactúan con otros ya sea de forma directa o indirecta, la librería que más se usó fue la de peatones (Pedestrian), permitiendo así la creación del modelo lógico y el físico, con la intención de suplir las necesidades de cumplir los objetivos de la simulación. Para ello el modelo lógico iba de la mano con el físico, posibilitando la asignación de lugares, objetos de interacción, variables y comportamientos que identifican al personal universitario. Anylogic por su parte permitía la diferenciación de niveles, haciendo posible la interacción de los agentes con los dos pisos del edificio Davinci. Los experimentos que se hicieron en el simulador eran los cambios de comportamientos, como las velocidades de las personas, así como sus reacciones lentas o largas en una emergencia y adicional la asignación de bloqueos en diferentes áreas.

Table 7. Tiempos de evacuación obtenidos

Escenario	Parámetro Introducido	Tiempos de Evacuación
Escenario 1	Caso Ideal	3 minutos con 37 segundos
Escenario 2	Bloqueo de una salida	4 minutos con 30 segundos
Escenario 3	Coefficiente de familiaridad con el protocolo de evacuación.	5 minutos con 54 segundos

8 Conclusiones

El objeto de estudio se centró en determinar el tiempo de evacuación teniendo en cuenta cada uno de los escenarios establecidos para el edificio Leonardo Da Vinci, donde efectivamente se evidenció como los tiempos se veían alterados ante estos diferentes escenarios, a sabiendas que el caso ideal siempre dará mejores tiempos, evidentemente al simular tiempos de reacción aleatorios y velocidades con distribución normal, el escenario normal tenía sus tiempos de demora en evacuación, donde las personas que tardaban en reaccionar acrecentaban el tiempo de la evacuación, así como los puntos más críticos que serían las escaleras del edificio Davinci por su gran concentración de personas al intentar bajar al primer piso, pero en condiciones óptimas con personal preparado para emergencias y previniendo bloqueas, se puede concluir que la simulación se acerca a la realidad.

References

1. 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>
2. 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>
3. 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.
4. 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>
5. 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>
6. 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>
7. 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>
8. 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/>