FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

"Desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación para el edificio de Postgrado de una universidad privada, en Venezuela."

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR:	Machado A., Ma. Alexandra. Salazar H., Marialcira.
PROFESOR GUÍA:	Ing. Alirio Villanueva.
FECHA:	Octubre 2014.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

"Desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación para el edificio de Postgrado de una universidad privada, en Venezuela."

Este jurado, una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: _____

JURADO EXAMINADOR

Firma: _____ Firma: _____ Firma: _____

Nombre: _____ Nombre: _____ Nombre: _____

REALIZADO POR: Machado A., Ma. Alexandra.
Salazar H., Marialcira.

PROFESOR GUÍA: Ing. Alirio Villanueva.

FECHA: Octubre 2014.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y mi hermana por siempre apoyarme.

A Marialcira Salazar, al Ing. Alirio Villanueva y al Equipo de Soporte de Anylogic ®.

A Dios por todo lo que me ha dado y permitirme llegar a donde estoy.

Gracias.

Ma. Alexandra Machado

A mis padres por todo su apoyo.

A mis tíos por su compresión y dedicación.

A Ma. Alexandra Machado por compartir conmigo este proyecto.

A nuestro tutor Alirio Villanueva por darnos su apoyo para lograr los objetivos de nuestra tesis.

A la Universidad Católica Andrés Bello por darme las herramientas necesarias para convertirme en ingeniero.

A todas las personas que de alguna forma fueron partícipes de esta etapa que pronto culmina.

A Dios por darme salud y acompañarme en el camino.

Gracias.

Marialcira Salazar

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL i
ÍNDICE DE TABLAS vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS vii
ÍNDICE DE FIGURAS viii
SINOPSIS ix
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I 3
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 3
1.1 Descripción de la empresa. 3
1.1.1 Objetivos de la UCAB 4
1.1.2 Estructura Organizativa 4
1.2 Planteamiento del problema 5
1.3 Objetivos de la Investigación 6
1.3.1 Objetivo General 6
1.3.2 Objetivos Específicos 6
1.4 Alcance de la investigación 7
1.5 Limitaciones de la investigación 7
CAPÍTULO II 9
MARCO TEORICO 9
2.1 Antecedentes 9
2.2 Bases teóricas 10
2.2.1 Emergencia 10
2.2.2 Estado de Emergencia 10
2.2.3 Señal de Emergencia y/o Evacuación 10
2.2.4 Prevención 10
2.2.5 Plan para el Control de Emergencias 10
2.2.6 Evacuación 11

2.2.7 Tiempo de Desalojo *11*
2.2.8 Medio de Escape *11*
2.2.9 Lugar Seguro *11*
2.2.10 Riesgo *11*
2.2.11 Simulacro *11*
2.2.12 Modelos de Simulación *12*
2.2.13 Entidades *12*
2.2.14 Modelos Basados en Agentes *12*
2.2.15 Agentes *12*
2.3 Herramientas Utilizadas 12
2.3.1 Software Anylogic. *12*
2.3.2 Biblioteca de Anylogic *13*
2.4 Determinación del número de replicaciones o corridas óptimas de la simulación. 13
CAPÍTULO III 14
MARCO METODOLÓGICO 14
3.1 Tipo de investigación 14
3.2 Diseño de la investigación 14
3.3 Herramientas utilizadas para el desarrollo del modelo 14
3.4 Descripción de pasos de desarrollo del modelo 15
3.4.1 Análisis del problema y colección de la información *15*
3.4.2 Recolección de datos *16*
3.4.3 Construcción del modelo *16*
3.4.4 Verificación del modelo *16*
3.4.5 Validación del modelo *16*
3.4.6 Diseño y realización de experimentos de simulación *16*
3.4.7 Análisis de salida *17*
3.4.8 Recomendaciones finales *17*
CAPÍTULO IV 18
DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL 18

4.1 Planos actuales del edificio de postgrado 18
4.2 Recolección de información referente a la cantidad de personas que laboran en el edificio de postgrado. 20
4.3 Número de visitantes que transitan por el edificio 22
CAPÍTULO V 25
REPRESENTACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL 25
5.1 Actualización de los planos estructurales del edificio de postgrado 25
5.2 Elaboración de las rutas de evacuación 27
5.3 Descripción funcional del modelo de simulación 29
5.4 Tiempo de simulación 29
5.5 Parámetros que influyen en el modelado del plan de evacuación contemplado. 29
5.5.1 Diámetro del peatón. 29
5.5.2 Velocidad de marcha del peatón 30
5.5.3 Velocidad de marcha en escaleras del peatón 30
5.6 Consideraciones preliminares en el modelo 30
5.6.1 Generales 30
5.6.2 Planta baja 31
5.6.3 Piso 1 31
5.6.4 Piso 2 32
5.7 Representación del modelo de simulación 32
5.7.1 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de Postgrado. 33
5.7.2 Diagrama de flujo del comportamiento de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de Postgrado. 34
5.8 Número de replicaciones 34
5.9 Verificación del modelo de simulación 38
5.10 Validación del modelo de simulación 38
CAPÍTULO VI 40
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL 40
6.1 Escenario 1. Simulación sin visitantes. 41
6.1.1 Resultados de la evacuación del edificio a máxima capacidad 41

6.1.1.1 Planta Baja *42*
6.1.1.2 Piso 1 ..... *43*
6.1.1.3 Piso 2 ..... *45*
6.1.2 Resultados de la evacuación del edificio a media capacidad *46*
6.1.2.1 Planta Baja *47*
6.1.2.2 Piso 1 ..... *49*
6.1.2.3 Piso 2 ..... *50*
6.2 Escenario 2. Simulación con visitantes. 51
6.2.1 Resultados de la evacuación del edificio a máxima capacidad *51*
6.2.1.1 Planta Baja *53*
6.2.1.2 Piso 2 ..... *54*
6.2.2 Resultados de la evacuación del edificio a capacidad parcial *54*
6.2.2.1 Planta Baja *56*
6.2.2.2 Piso 1 ..... *56*
6.2.2.3 Piso 2 ..... *57*
CAPÍTULO VII 58
PROPUESTAS DE MEJORA 58
7.1 Despejar el pasillo de la salida de emergencia de planta baja (Propuesta 1) 58
7.1.1 Situación actual *59*
7.1.2 Propuesta 1 ..... *60*
7.1.3 Comparación de la situación actual y Propuesta 1 ..... *62*
7.2 Colocar una escalera de escape para piso 2 (propuesta 2) 62
7.2.1 Situación actual *63*
7.2.2 Propuesta 2 ..... *64*
7.2.3 Comparación de la situación actual y Propuesta 2 ..... *65*
7.3 Implementación de la Propuesta 1 y la Propuesta 2 65
7.3.1 Situación actual *65*
7.3.2 Propuesta 1 y Propuesta 2 ..... *65*
7.3.3 Comparación de la situación actual y Propuesta 3 ..... *68*
CAPÍTULO VIII 69

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 69
8.1 Conclusiones 69
8.2 Recomendaciones 70
BIBLIOGRAFÍA 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Antecedentes de investigación 9
Tabla N° 2. Fases para el desarrollo del modelo 15
Tabla N° 3. Información acerca de números de empleados y horarios. 20
Tabla N° 4. Capacidad de aulas 21
Tabla N° 5.Número de visitantes por área 22
Tabla N° 6. Número de visitantes observados el día 28/09/2014. 23
Tabla N° 7. Número de visitantes observados el día 08/10/2014. 24
Tabla N° 8. Dimensiones del cuerpo de los trabajadores varones en el rango de edad de 18 a 45. 30
Tabla N° 9. Tiempo de Evacuación por Replicación. 35
Tabla N° 10. Tiempo de Evacuación por número de visitantes. 52
Tabla N° 11. Tiempo de Evacuación por Propuesta Vs situación actual. 68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Cantidad de Personas Vs.Tiempo de simulación. 35
Gráfico N° 2. Cantidad de Personas Vs.Tiempo de simulación. 36
Gráfico N° 3. Cantidad de Personas Vs.Tiempo desimulación. 36
Gráfico N° 4. Cantidad de Personas Vs.Tiempo de simulación. 37
Gráfico N° 5. Cantidad de Personas Vs.Tiempo de simulación. 37
Gráfico N° 6. Tiempo de evacuación Vs. Nº de replicaciones 39
Gráfico N° 7. Tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad..... 41
Gráfico N° 8. Frecuencia del tiempo de evacuación de planta baja a máxima capacidad 42
Gráfico N° 9. Frecuencia de tiempo de Piso 1 a máxima capacidad 44
Gráfico N° 10. Frecuencia de tiempo de Piso 2 a máxima capacidad 45
Gráfico N° 11. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a capacidad parcial..... 47
Gráfico N° 12. Frecuencia del tiempo de evacuación de Planta Baja a media capacidad 48
Gráfico N° 13. Frecuencia de tiempo de evacuación de Piso 1 a media capacidad 49
Gráfico N° 14. Frecuencia de tiempo de Piso 2 a capacidad parcial 50
Gráfico N° 15. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad... 52
Gráfico N° 16. Frecuencia del tiempo de evacuación de Planta Baja a máxima capacidad 53
Gráfico N° 17. Frecuencia de tiempo de Piso 1 a máxima capacidad 53
Gráfico N° 18. Frecuencia de tiempo de Piso 2 a máxima capacidad 54
Gráfico N° 19. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a capacidad parcial..... 55
Gráfico N° 20. Frecuencia del tiempo de evacuación de planta baja a capacidad parcial 56
Gráfico N° 21. Frecuencia de tiempo de piso 1 a capacidad parcial..... 56
Gráfico N° 22. Frecuencia de tiempo de piso 2 a capacidad parcial..... 57
Gráfico N° 23. Tiempo de evacuación de Planta Baja sin la propuesta 1 59
Gráfico N° 24. Tiempo de evacuación de Planta Baja con la propuesta 1 60
Gráfico N° 25. Tiempo de evacuación total con la propuesta 1 61
Gráfico N° 26. Tiempo de evacuación sin la propuesta 2 de Piso 2 63
Gráfico N° 27. Frecuencia del Tiempo de Evacuación – Piso 2 Propuesta 2. 64
Gráfico N° 28. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad... 65
Gráfico N° 29. Frecuencia del Tiempo de Evacuación – Piso 2 Propuesta 3. 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Estructura organizativa de la Facultad de Ingeniería de la UCAB. 5
Figura N° 2. Imagen del plano de Piso 1 del edificio de Postgrado. 19
Figura N° 3. Imagen del plano actualizado de Piso 1 del edificio de Postgrado..... 26
Figura N° 4. Imagen de ruta de evacuación de Planta Baja del edificio de Postgrado..... 28
Figura N° 5. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de Postgrado. 33
Figura N° 6. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de Postgrado. 34
Figura N° 7. Escala de colores para la densidad de peatones. 40
Figura N° 8. Densidad peatonal de planta baja 43
Figura N° 9. Densidad peatonal de Piso 1..... 44
Figura N° 10. Densidad peatonal de Piso 2..... 46
Figura N° 11. Densidad peatonal de Planta Baja 48
Figura N° 12. Densidad peatonal de Piso 1..... 49
Figura N° 13. Densidad peatonal de Piso 2..... 51
Figura N° 14. Puerta en el pasillo de Planta Baja. 58
Figura N° 15. Densidad peatonal de Planta Baja sin la propuesta 1..... 60
Figura N° 16. Densidad peatonal de Planta Baja con la propuesta 1 61
Figura N° 17. Densidad peatonal de Piso 2 sin la propuesta 2..... 63
Figura N° 18. Densidad peatonal de Piso 2 con la propuesta 2..... 64
Figura N° 19. Densidad peatonal de piso Planta Baja con la propuesta 3..... 67
Figura N° 20. Densidad peatonal de Piso 1 con la propuesta 3..... 67
Figura N° 21. Densidad peatonal de Piso 2 con la propuesta 3..... 68

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INDUSTRIAL

"Desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación para el edificio de Postgrado de una universidad privada, en Venezuela."

Autores: Machado A., Ma. Alexandra; Salazar H., Marialcira

Tutor: Ing. Alirio Villanueva

Fecha: Octubre de 2014

SINOPSIS

El presente Trabajo Especial de Grado comprende el desarrollo de un modelo de simulación, el cual representa el movimiento de trabajadores, estudiantes y visitantes del edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello, así como también, la realización de un plan de evacuación en caso de emergencia. En el estudio, se caracterizaron y analizaron los procedimientos de interés; estos se llevaron a cabo mediante observación directa no participativa y entrevistas no estructuradas al personal de Seguridad y Salud Laboral de la UCAB, Bomberos de Caracas y personal del edificio de Postgrado, con el objetivo de representar la situación actual y detectar las fallas que pudiesen existir al momento de realizar la evacuación del edificio. Para la ejecución del estudio la herramienta principal utilizada fue el Software Anylogic 7.0, esto con el fin de plantear escenarios y seleccionar el mejor entre ellos para solventar los problemas encontrados. Los diversos escenarios estudiados fueron el edificio a capacidad parcial y a máxima capacidad, ambos escenarios con visitantes y sin visitantes. Se tomó como escenario principal aquel en el cual el edificio se encuentra a su máxima capacidad y además dentro de él hay transeúntes en condición de visitantes. Una vez simulado el modelo, este escenario arrojó un tiempo de evacuación total del edificio de aproximadamente 17 minutos. Se realizaron 3 propuestas de mejora para reducir este tiempo de evacuación, las mismas fueron: habilitar el pasillo de Planta Baja como pasillo de ruta de emergencia (Propuesta 1) arrojando un tiempo de evacuación de aproximadamente 14 minutos, agregar una escalera de emergencia nueva en el segundo nivel del edificio (Propuesta 2), arrojando un tiempo de evacuación de aproximadamente 12 minutos y como tercera solución(Propuesta 3) implementar las propuestas 1 y 2, arrojando un tiempo de evacuación de casi 14 minutos.

Palabras clave: Simulación, Evacuación, Emergencia, Propuesta de mejora.

INTRODUCCIÓN

Por la seguridad de las personas que se encuentren en una edificación, es de gran importancia contar con un plan de evacuación que permita el desalojo en un tiempo óptimo, garantizando así la protección de quien se halle en el inmueble, ya que existen diversas situaciones de orden natural, técnico o social que pueden generar un estado de emergencia que requiera la evacuación del edificio lo más rápido posible.

El presente estudio se realizará en el edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello con sede en Caracas el cual no posee un plan de evacuación para el desalojo total o parcial del mismo. Actualmente la universidad cuenta con un bosquejo de lo que sería su plan de emergencia, sin embargo, aún se encuentra en desarrollo.

Debido a las diferentes reacciones que pueden presentar las personas ante una emergencia es necesario realizar un simulacro de cómo se debe actuar bajo estas situaciones. La realización de un simulacro ayuda a mejorar el conocimiento de las instalaciones y de las vías de evacuación del edificio, así mismo, se analiza el tiempo con el que se dispone verificando si es o no suficiente, además de detectar y corregir problemas técnicos como la señalización de los pulsadores de alarma, los extintores, las vías de evacuación, etc.

Este trabajo de investigación surge por la necesidad de disminuir el número de simulacros y todas las implicaciones de costo y recursos que este trae consigo, a través del desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación del edificio de postgrado de la UCAB.

Mediante el presente Trabajo Especial de Grado, se estudiarán diversas variables que influyen en el momento de ejecutar el plan de evacuación, se obtendrá el tiempo de evacuación del edificio y se propondrán mejoras con el fin de optimizar dicho tiempo con el propósito de lograr una evacuación más eficaz al momento de presentarse cualquier estado de emergencia. Esto será presentado en ocho (8) capítulos más una sección final constituida por la bibliografía y los anexos como apoyo y complemento del estudio:

Capítulo1 "Descripción del Problema" incluye la descripción de la Universidad Católica Andrés Bello y el problema planteado en la investigación, así como los objetivos necesarios para llevar a cabo su resolución. También se amplía información sobre el alcance y limitaciones del estudio.

Capítulo 2 "Marco Teórico" contiene las bases teóricas del estudio, así como las herramientas de referencia utilizadas a lo largo de la investigación.

Capítulo3 "Marco Metodológico" incluye el método y técnicas utilizadas para recaudar los datos e información necesaria para el cumplimiento de los objetivos.

Capítulo4 "Situación Actual", describe los procesos de interés que se llevan a cabo en el lugar de estudio, así como los indicadores más importantes para su descripción.

Capítulo 5"Representación de la Situación Actual" se representa el plan de evacuación que actualmente existe para el edificio.

Capítulo 6"Análisis de la Situación Actual" Interpreta la información contenida en los capítulos IV y VI, los factores que afectan al momento de ejecutar la evacuación del edificio.

Capítulo 7"Propuestas de Mejora" analiza los datos y resultados obtenidos, permitiendo la formulación de diferentes propuestas para mejorar los problemas encontrados.

Capítulo 8"Conclusiones y Recomendaciones" incluye los resultados relacionados con cada uno de los objetivos planteados, así como recomendaciones para el plan de evacuación.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Este capítulo contiene la descripción de la empresa, el planteamiento del problema y los objetivos y alcances de la investigación.

1.1 Descripción de la empresa.

La Universidad Católica de Venezuela fue fundada el 24 de octubre de 1953, bajo el amparo de una nueva ley de educación promulgada por Marcos Pérez Jiménez ese mismo año. Éste era el fin de un proceso que se inició durante el gobierno de Antonio Guzmán Blanco y que prohibió el funcionamiento de las universidades privadas católicas. Su primer rector, Carlos Guillermo Plaza, instó al gobierno a autorizar el cambio de nombre, que fue adoptado un año después, el 7 de julio de 1954.

La finalidad de la misma era compartir "los nobles y comunes anhelos de las otras ilustres universidades del País". Además, se dirigía "particularmente a consolidar, de modo eficaz, la educación moral y espiritual de nuestra juventud, destacando para ello el valor y la dignidad de la persona humana, ennoblecido aún más por su condición cristiana; todo lo cual exige cuantiosa dotación de medios apropiados junto con exquisita y firme dirección, en el sentido de que tal esfuerzo combinado conduzca racional y convenientemente al desarrollo justo de las profesiones ciudadanas".

Mucho ha cambiado el país y mucho también ha aportado al mismo la Universidad Católica Andrés Bello. Con las vicisitudes propias de todo ente vivo, su crecimiento no ha estado exento de momentos difíciles. Pero su impronta está bien definida y su fama bien ganada en el universo plural de Venezuela. Sus rectores han sido eximias figuras: los Padres jesuitas Carlos Guillermo Plaza (1953-1955), Pedro Pablo Barnola (1955-1959), Carlos Reyna (1959-1969) y Pío Bello (1969-1972), el ingeniero Guido Arnal (1972-1990), y desde 1990 el R.P. Luis Ugalde s.j. Detrás de ellos, la rica y fecunda experiencia de la Compañía de Jesús en la conducción de universidades en todo el mundo, centenares de hombres y mujeres que a distintos niveles han dado lo mejor de sí en la construcción de una universidad de excelencia, y su vinculación con la Iglesia institucional a través del Gran Canciller, ocupado siempre por el Arzobispo de Caracas

La Universidad Católica Andrés Bello es una Institución sin fines de lucro; la fuente de sus ingresos son los estipendios provenientes de matrículas y pensiones estudiantiles, los aportes, donaciones, herencias o legados de personas y comunidades que quieran vincular su nombre a la Institución, y los derivados de cualquier convención lícita cuya celebración se considere conveniente. El producto de dichos ingresos, si lo hubiere después de pagar lo que requiera el servicio universitario, revertirá directa o indirectamente en beneficio de la obre cultural que cumple la Universidad.

1.1.1 Objetivos de la UCAB

- La Universidad es fundamentalmente una comunidad de intereses espirituales que reúne a autoridades, profesores y estudiantes en la tarea de buscar la verdad y afianzar los valores trascendentales del hombre.
- La Universidad es una Institución al servicio de la Nación y le corresponde colaborar en la orientación de la vida del país mediante su contribución doctrinaria en el esclarecimiento de los problemas nacionales.
- La Universidad debe realizar una función rectora en la educación, la cultura y la ciencia. Para cumplir esta misión, sus actividades se dirigirán a crear, asimilar y difundir el saber mediante la investigación y la enseñanza; a completar la formación integral iniciada en los ciclos educacionales anteriores, y a formar los equipos profesionales y técnicos que necesita la Nación para su desarrollo y progreso.
- La enseñanza universitaria se inspirará en un definido espíritu de democracia, de justicia social y de solidaridad humana, y estará abierta a todas las corrientes del pensamiento universal, las cuales se expondrán y analizarán de manera rigurosamente científica.

1.1.2 Estructura Organizativa

La facultad de ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello tiene la siguiente estructura Organizativa:

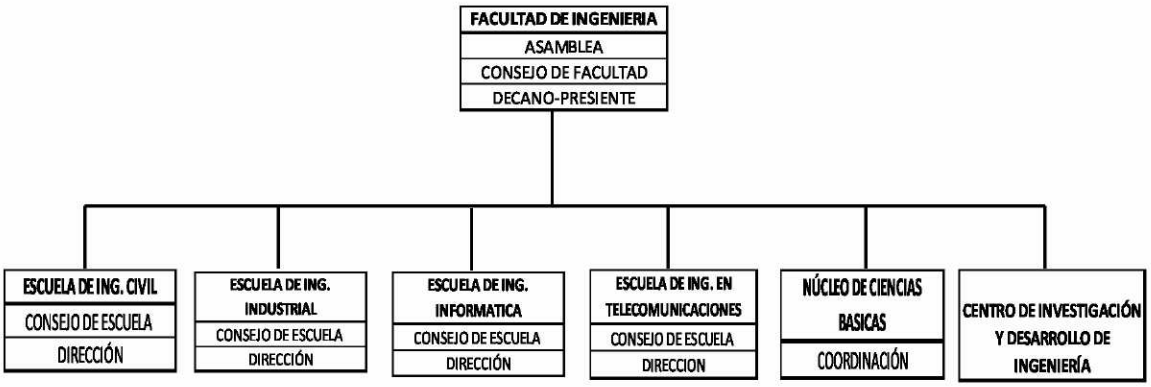


Figura N° 1. Estructura organizativa de la Facultad de Ingeniería de la UCAB.
Fuente: Universidad Católica Andrés Bello

1.2 Planteamiento del problema

En situaciones de emergencias la evacuación de un edificio se torna de alto riesgo y muchas dificultades, las personan corren peligro de perder hasta la vida y la solución más acertada en estas circunstancias es la evacuación total o parcial del edificio en donde se encuentren. En estas situaciones las personas suelen presentar diversas reacciones que no dejan pensar de manera correcta la forma en la que se debe de actuar, por esta razón, es indispensable realizar simulacros de evacuación para el previo conocimiento de cómo se debe actuar en estas circunstancias de emergencias, siguiendo un plan previamente establecido basado en seguridad y protección.

La importancia de simular planes de contingencia para situaciones de riesgo es que permite evaluar y retroalimentar escenarios de evacuación, con el fin de hacer más eficientes los desalojo, reducir costos y tiempos, ya que para validar un plan de evacuación se deben realizar varios simulacros. Para diseñar los escenarios se debe tomar en cuenta los fenómenos que ocurren con mayor incidencia en el área geográfica a estudiar.

Los avances tecnológicos de hoy en día han logrado que proyectos sumamente complejos se tornen relativamente sencillos y más eficientes. Un ejemplo de ello es la simulación de escenarios, en los cuales existe la posibilidad de explicar el comportamiento de sistemas complejos tomando en cuenta los agentes que interactúan en el mismo.

La simulación basada en agentes explica que un sistema no es más que la suma de la interacción de todas sus partes (individuos, espacios, agentes diversos, etc.), en donde cada uno se presenta en la simulación con su comportamiento respectivo.

Se plantea desarrollar un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de desalojo para el edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello, ya que con este estudio es posible una simulación que se asemeja con la realidad del entorno, dado que las características del caso de estudio consta de interacciones complejas, poblaciones heterogéneas, complejidad topológica, comportamientos complejos y espacialidad.

El plan de evacuación, ya está previamente establecido por parte de la dirección de salud y seguridad laboral de la universidad, siguiendo los parámetros exigidos por parte del Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales (INPSASEL).

Mediante el desarrollo de este modelo de simulación se pueden plantear varios escenarios para proponer mejoras, disminuyendo el número de simulacros y todas las implicaciones de costos y recursos que éstos traen consigo, además de disminuir el tiempo empleado en la aplicación de dichos simulacros.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación de un edificio de Postgrado en una universidad privada, en Venezuela.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el proceso de evacuación del edificio de Postgrado en la institución universitaria correspondiente.
- Establecer las rutas de evacuación del edificio de Postgrado en la institución universitaria correspondiente.
- Modificar los planos estructurales del edificio de postgrado en la institución universitaria correspondiente.
- Identificar las variables que influyen en el modelado del plan de evacuación contemplado.

- Diseñar el modelo conceptual que represente el comportamiento de las variables identificadas.
- Modelar el plan de evacuación caracterizado.
- Verificar el funcionamiento del plan modelado.
- Formular escenarios de ejecución del plan de evacuación considerado.
- Valorar los escenarios formulados.
- Establecer estrategias de mejoras para el plan de evacuación considerado.

1.4 Alcance de la investigación

La investigación se realizará en la Universidad Católica Andrés Bello, ubicada en la Av. Teherán, Montalbán, parroquia La Vega. Caracas - Venezuela.

El trabajo de grado contempla el desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de desalojo para el edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello.

1.5 Limitaciones de la investigación

Durante la realización de este trabajo especial de grado se podrían presentar las siguientes limitaciones:

- El plan de desalojo que se representará en el modelo de simulación será otorgado por parte de la Dirección de salud y seguridad laboral de la universidad.
- No poder representar algún aspecto real de la investigación en el programa de simulación seleccionado.
- Dentro del modelo no se contempla el uso de los brigadistas por no tratarse de un plan de desalojo.
- No poder realizar un muestreo estadístico del número de visitantes del edificio por no poseer herramientas que contabilicen a los mismos.
- Limitaciones de la licencia de evaluación:

La versión de evaluación de AnyLogic es completamente funcional. Sin embargo, hay una serie de limitaciones que se aplican a la evaluación AnyLogic Licencia:

1. El modelo no puede crear más de 25 objetos por agentes.

2. Un agente no puede contener más de 20 poblaciones de agente.

3. Cada modelo puede contener no más de 3 dimensiones.

4. Un agente no puede contener más de 50 variables de dinámica de sistemas.

No se formularon más escenarios por limitaciones de licencia del software de simulación Anylogic 7.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

En este capítulo se pretende mostrar las bases teóricas en las cuales se basa este trabajo, ya que servirán de soporte para la metodología y las diversas justificaciones que se presentarán.

2.1 Antecedentes

Con el objetivo de desarrollar la presente investigación, fue requerido un número de investigaciones previas, con el fin de poder completar el presente trabajo.

En la tabla Nº1, se indican los estudios previos tomados en cuenta para la elaboración de esta investigación:

Tabla N° 1. Antecedentes de investigación

Título	Área de estudio. Autores y Tutor	Institución y Fecha	Objetivo General	Aporte
Desarrollo de un modelo de simulación basada en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación para el edificio de oficina de una universidad privada en Caracas.	Área: Ingeniería Industrial. Autores: Gibbs, Fabiola; Lidueña, Arturo. Tutor: Alirio Villanueva.	Institución: UCAB - Pregrado. Fecha: Mayo 2014	Desarrollar un modelo de simulación basada en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación para un edificio de oficinas en una universidad privada en Caracas.	1. Estructuración del Informe. 2. Formato del Informe. 3. Marco Teórico.
Desarrollo de un modelo de simulación, de dinámica de peatones, que permita proponer mejoras en la circulación de personas dentro de una tienda de conveniencia.	Área: Ingeniería Industrial. Autores: Ortega, Manuel; Starita, Nicola. Tutor: Henry Gasparin.	Institución: UCAB - Pregrado. Fecha: Febrero 2010	Desarrollar un modelo de simulación, en base a dinámica de peatones, que permita proponer mejoras en la circulación interna de una tienda de conveniencia, caso FARMATODO.	1. Marco Teórico.

Fuente: Los investigadores (2014)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Emergencia

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 3661:2001, emergencia se define como "Alteraciones intensas en las personas, bienes, servicios y medio ambiente causadas por un evento natural o generado por la actividad humana que no excede la capacidad de respuesta de la comunidad afectada." (P.2)

2.2.2 Estado de Emergencia

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 3661:2001, estado de emergencia se define como "Condición declarada, producto del impacto directo de un fenómeno de orden natural, técnico o social, que haya generado el compromiso de todos los recursos disponibles y pertenecientes al municipio, al estado o a la nación, para la atención de emergencias." (P.2)

2.2.3 Señal de Emergencia y/o Evacuación

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro.187-92, señal de emergencia y/o evacuación se define como "la señal de seguridad que indica la vía segura hacia la salida de emergencia, la ubicación de un punto o equipo de emergencia" (P.2)

2.2.4 Prevención

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 3661:2001, se define como prevención al "Conjunto de medidas cuyo objeto es impedir o evitar que eventos naturales o generados por la actividad humana causen daños, emergencias o desastres.

2.2.5 Plan para el Control de Emergencias

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 2226:90, define un plan para el control de emergencias como "el procedimiento escrito que permite responder adecuada y oportunamente con criterios de seguridad, eficiencia y rapidez ante los casos de emergencias que se puedan presentar, mediante una acción colectiva y coordinada de los diferentes entes participantes que permite controlar y minimizar las posibles pérdidas." (P.6)

2.2.6 Evacuación

Según el Manual de Protección Civil del Ing. Delfino Hernández, se define evacuación como la acción de desocupar ordenada y planificadamente un lugar y es realizado por los ocupantes por razones de seguridad ante un peligro potencial o inminente.

2.2.7 Tiempo de Desalojo

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 810:1998, define el tiempo de desalojo como "el tiempo requerido para desalojar o llevar a un lugar seguro la carga de ocupación" (P.4)

2.2.8 Medio de Escape

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 810:1998, define un medio de escape como "la vía libre y continua que desde cualquier punto de una edificación conduce a un lugar seguro". (P.2)

2.2.9 Lugar Seguro

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 810:1998, define un lugar seguro como "todo espacio libre de riesgos". (P.2)

2.2.10 Riesgo

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 3661:2001, define riesgo como "la probabilidad que se generen consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos." (P.4)

2.2.11 Simulacro

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 3791:2002, se define simulacro como:

> Ejercicio de campo en el cual las personas que participarían en una emergencia, sea en condición de actores principales, personal de apoyo o de víctimas, aplican los conocimientos y ejecutan las técnicas y las estrategias que le están asignadas como parte de un Plan de Actuación,

ante un escenario planteado a fin de resolver las situaciones o problemas presentados como consecuencia de un evento dado. (P.2)

2.2.12 Modelos de Simulación

Según Chung Christopher (2004), los define como "El modelo de simulación y análisis es el proceso de crear y experimentar con un modelo computarizado matemático sistemas físicos." (P.16)

2.2.13 Entidades

Según Chung Christopher (2004), define entidades como "algo" que cambia el estado del sistema simulado. En muchos casos, particularmente aquellos que involucran sistemas de servicio, las entidades pueden ser personas. (P.22)

2.2.14 Modelos Basados en Agentes

Gilbert, N. (2008), define al modelo basado en agentes como un método computacional que permite al investigador crear, analizar y experimentar con modelos compuestos de agentes que interactúan con el medio ambiente. (P.2)

2.2.15 Agentes

Gilbert, N. (2008) define agentes como actores que interactúan dentro del medio ambiente.

2.3 Herramientas Utilizadas

2.3.1 Software Anylogic.

Anylogic es la única herramienta de simulación que soporta diversas metodologías de simulación: dinámica de sistemas, centrado en el proceso (de eventos discretos), y métodos basado en agentes dentro de un lenguaje de modelado y un entorno de desarrollo del modelo. La flexibilidad única del lenguaje del modelado permite capturar la complejidad y heterogeneidad de los negocios, la economía y los sistemas sociales a cualquier nivel de detalle deseado. La interfaz gráfica, herramientas y objetos de la biblioteca de este software permiten modelar rápidamente procesos del interior o alrededor de una organización.

2.3.2 Biblioteca de Anylogic

El conjunto de elementos que componen la biblioteca de la herramienta Anylogic se encontraran descritos con detalle en el tomo de anexo, específicamente en el **³$QH[R□ I´**.

2.4 Determinación del número de replicaciones o corridas óptimas de la simulación.

Debido a que la naturaleza de los datos de un proceso en la vida real son aleatorios, algunos de ellos pueden seguir una distribución probabilística tabulada, es importante generar modelos estadísticos que permitan imitar al sistema real. Para ello se debe tomar en cuenta el número de replicaciones de la simulación, para poder encontrar resultados confiables.

En el grado en que se tenga mayor número de replicaciones se tendrá una mejor estimación de los valores de las variables en estudio; el equilibrio se logra cuando una replicación adicional no agrega mayor exactitud al resultado.

Según Kelton, W y Sadowski, R.; (1998) La fórmula para el cálculo del número de replicaciones se muestra a continuación:

$$n = \left(\frac{K\ x\ S}{h}\right)^2$$

Ecuación N° 1. Fórmula para el cálculo de replicaciones

Donde:

n: número de replicaciones requeridas.

K ~ Zp = probabilidad de que una variable aleatoria sea menor o igual a un valor determinado p, donde p= $\frac{1-\Upsilon}{2}$, siendo Υ=0,95

S: estimador de la varianza basado en n replicaciones del modelo

h: cantidad de error deseado, donde$h = \frac{\overline{X}}{2} * \alpha$

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen los métodos, técnicas, y procedimientos que fueron realizados para el desarrollo del modelo de simulación. Así como, los aspectos metodológicos utilizados como referencia para la descripción y análisis de los puntos a estudiar.

3.1 Tipo de investigación

Se considera que el tipo de investigación a realizar en este estudio es proyectiva, de acuerdo a la definición de investigación proyectiva de (Hurtado de Barrera, 2012), "Este tipo de investigación intenta proponer soluciones a una situación determinada a partir de un proceso previo de investigación. Implica pasar por los estadios explorar, describir, comparar, explicar, predecir y proponer alternativas de cambio, mas no necesariamente ejecutar la propuesta" (Pág. 248).

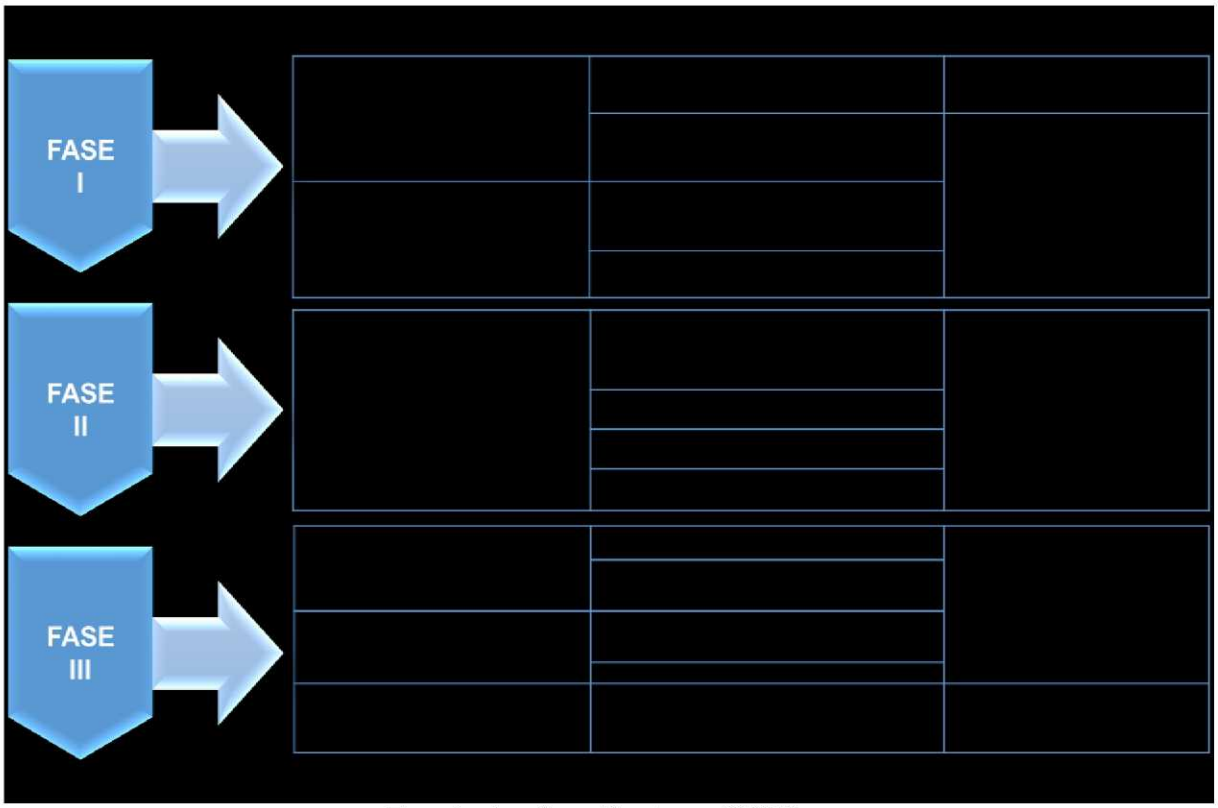
3.2 Diseño de la investigación

Se considera un diseño experimental para la investigación realizada, según(Palella Stracuzzi & Martins Pestana, 2010), define al mismo como "es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y por qué causa se produce o puede producirse un fenómeno." (Pág. 86).

3.3 Herramientas utilizadas para el desarrollo del modelo

Para el desarrollo de la investigación, se utilizaron las siguientes herramientas de trabajo que se pueden dividir en fases, tal como se muestra en la tabla Nº2:

Tabla N° 2. Fases para el desarrollo del modelo



Fuente: Los investigadores (2014)

3.4 Descripción de pasos de desarrollo del modelo

3.4.1 Análisis del problema y colección de la información

Según Altiok y Melamed. (2007) El análisis del problema y colección de la información se define de la siguiente manera:

> El primer paso en la construcción de un modelo de simulación es analizar el problema en sí. Note que el modelado del sistema rara vez se lleva a cabo por su propio bien. Más bien, el modelado se solicita por algún problema orientado del sistema cuya solución es la misión del proyecto subyacente. Para facilitar una solución, el analista primero junta la información estructural que tiene que ver con el problema, y lo representa convenientemente. Esta actividad incluye la identificación de parámetros de entrada, medidas de rendimiento de interés, las relaciones entre parámetros y variables, reglas que gobiernan la operación de componentes del sistema, etcétera. La información entonces es representada como organigramas lógicos, árboles de jerarquía, narrativa, o cualquier otro medio conveniente de representación. Una vez que la información suficiente sobre el sistema subyacente es juntada, el problema puede ser analizado y una solución planeada. (P.5).

3.4.2 Recolección de datos

Según Altiok y Melamed. (2007) La colección de datos consiste en:

> Es necesaria la recolección de datos para la estimación de los parámetros de entrada del modelo. El analista puede formular hipótesis sobre las distribuciones de las variables aleatorias en el modelo. Cuando se carece de datos, todavía puede ser posible designar rangos de parámetros y simular el modelo para todos o algunos de los parámetros de entrada en esos rangos. (P.5).

3.4.3 Construcción del modelo

Según Altiok y Melamed. (2007) La construcción del modelo se define como: "Una vez que el problema está totalmente estudiado y los datos necesarios recogidos, el analista puede proceder a construir un modelo e implementarlo en un programa del computador."(P.6).

3.4.4 Verificación del modelo

Según Altiok y Melamed. (2007) La verificación del modelo se define como:

> El propósito de la verificación del modelo es para asegurarse de que el modelo está construido correctamente. A diferencia de lo indicado, la verificación se asegura de que el modelo se ajusta a su especificación y hace lo que se supone que debe hacer. La verificación del modelo se lleva a cabo en gran medida por inspección, y consiste en comparar el código del modelo para la especificación del modelo. (P.6).

3.4.5 Validación del modelo

Según Altiok y Melamed. (2007) La validación del modelo se define como:

> Cada modelo debe ser visto inicialmente como una simple propuesta, sujeta a la validación. La validación del modelo examina el ajuste del modelo para datos empíricos (las medidas del sistema de la vida real para ser modelados). Un buen ajuste de modelo significa aquí que un conjunto de medidas de rendimiento importantes, predichas por el modelo, coincide o está de acuerdo con sus equivalentes observados en la vida real. (P.6).

3.4.6 Diseño y realización de experimentos de simulación

Según Altiok y Melamed. (2007) El diseño y realización de experimentos de simulación se describe de la siguiente manera:

> Una vez que el analista juzga el modelo a ser válido, él o ella puede proceder a diseñar una serie de experimentos de simulación (corridas) para

estimar el desempeño del modelo y ayudar en la solución de los problemas del proyecto (a menudo el problema es tomar decisiones del diseño del sistema). El analista selecciona un número de escenarios y corre la simulación para recoger ideas sobre su funcionamiento. Para alcanzar la suficiente fiabilidad estadística de las medidas de rendimiento relacionados con los escenarios, cada escenario se replica (ejecutar varias veces, sujetos a diferentes secuencias de números aleatorios), y se promedian los resultados para reducir la variabilidad estadística. (P.6).

3.4.7 Análisis de salida

Según Altiok y Melamed. (2007) El análisis de salida se define como:

Las medidas de rendimiento estimadas son sometidas a un minucioso análisis lógico y estadístico. Un problema típico es identificar el mejor diseño entre el número de alternativas en competencia. Un análisis estadístico haría ejecutar las pruebas de inferencia estadística para determinar si una de las alternativas de diseño disfruta de las superiores medidas de rendimiento, y así se debe seleccionar como el aparente mejor diseño. (P.6).

3.4.8 Recomendaciones finales

Según Altiok y Melamed. (2007) Las recomendaciones finales se describen de la siguiente manera: "Finalmente, el analista una el análisis de salida para formular las recomendaciones finales para el problema fundamental del sistema. Esto es usualmente parte de un informe escrito."(P.6).

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el presente capítulo se procede a describir el entorno del edificio de Postgrado en cuanto a sus planos, ruta de evacuación, cantidad de personas que laboran en él y los visitantes del edificio.

Actualmente el edificio posee unos planos estructurales, sin embargo, se ha observado que se han realizado actualizaciones que no han sido añadidas a los mismos. A su vez, la edificación no posee un plan de emergencia, lo que implica que no se cuenta con una ruta de evacuación a la hora de cualquier tipo de eventualidad que requiera la evacuación del edificio.

Debido a que no se poseen los planos actualizados de la edificación ni una ruta de evacuación del edificio, fueron necesarias las siguientes acciones:

- Actualización de los planos del edificio.
- Elaboración de las rutas de evacuación.
- Recolección de información referente a la cantidad de alumnos y personas que laboran en el edificio.
- Recolección de información referente al número de visitantes que transitan por el edificio.

4.1 Planos actuales del edificio de postgrado

A continuación se muestra en la figura N°2 una imagen del plano de piso 1 del edificio de postgrado. El resto de las imágenes de los planos se podrán observar en el tomo de anexos, específicamente en el ³$QH[R□,,

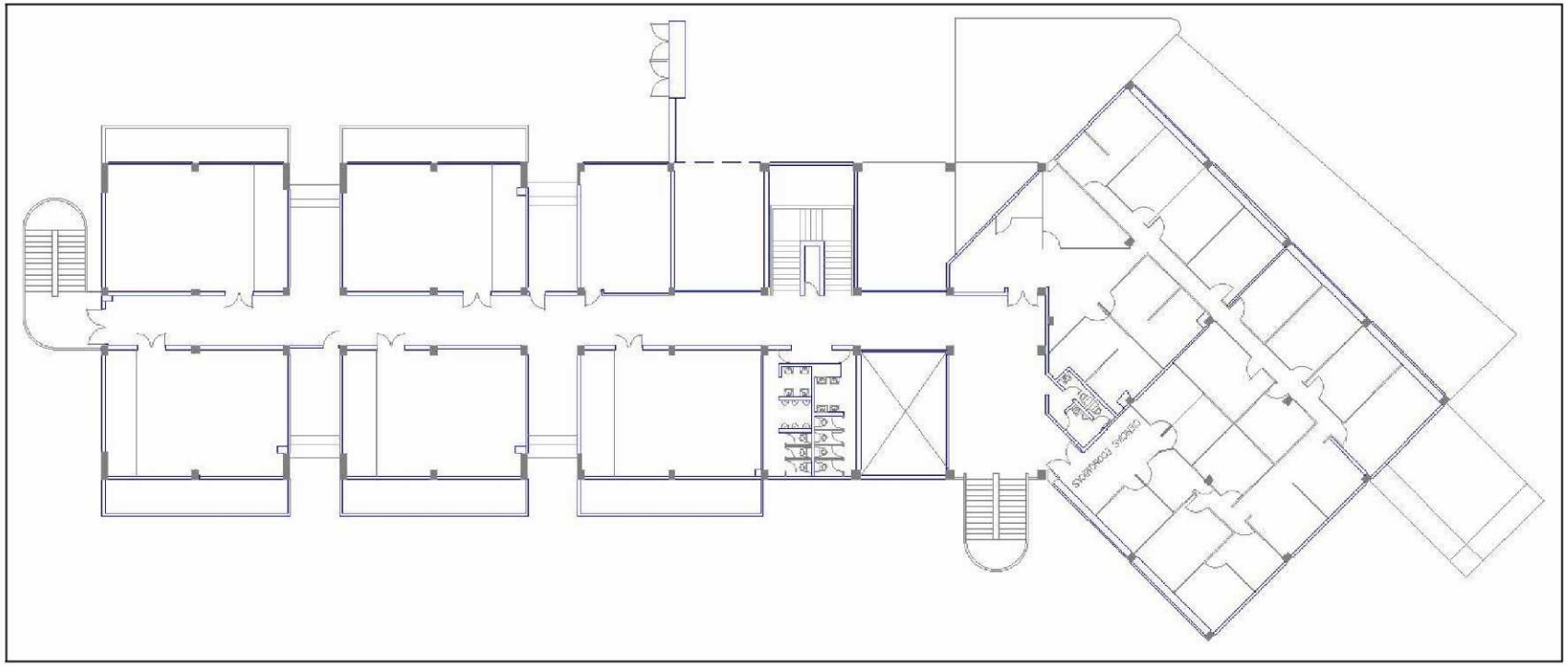


Figura N° 2. Imagen del plano de Piso 1 del edificio de Postgrado.
Fuente: Investigadores (2014)

4.2 Recolección de información referente a la cantidad de personas que laboran en el edificio de postgrado.

Para recolectar la información necesaria referente a la cantidad de personas que laboran en el edificio, se recorrieron todas sus respectivas áreas, y se preguntó a los trabajadores que se encontraban en el lugar sobre la cantidad de personal que se encuentra en la misma, así como sus respectivos horarios.

En la tabla Nº3 se indican los datos recolectados:

Tabla N° 3. Información acerca de números de empleados y horarios.

Pisos	Departamentos	Número de Personas	Horarios
Sótano	Archivo General	-	-
PB	Cafetín	8	6:00am a 2:00pm
		6	1:30pm a 8:00pm
	Investigaciones Históricas	9	8:00am a 12:00pm
			2:00pm a 5:00pm
	Dirección General	6	8:00am a 6:00pm
	Área de estudio de Postgrado	15	8:00am a 1:00pm
			2:00pm a 8:00pm
	Administración	5	7:00am a 12:00pm
		4	1:00am a 8:00pm
	Información	1	8:00am a 12:00pm
			1:00am a 5:00pm
	Centro de estudios políticos	6	8:00am a 12:00pm
			1:00pm a 6:00pm
Piso 1	Postgrado	24	7:00am a 12:00pm
			1:00pm a 9:00pm
	Cooperación Interinstitucional	4	8:00am a 12:00pm
			1:00pm a 8:00pm
Piso 2	Centro de Investigaciones Jurídicas	11	8:00am a 12:00pm
		5	1:00pm a 6:00pm
	Mantenimiento	3	7:00am a 12:00pm
		2	1:00pm a 6:00pm

Fuente: Investigadores (2014)

Debido a que el edificio no es únicamente de oficinas, se realizó un recorrido por todos los salones del mismo para conocer su capacidad, siendo el horario de uso de los salones de clase desde las 7:00am hasta las 9:00pm. En la tabla Nº4 se indican los datos recolectados:

Tabla N° 4. Capacidad de aulas

Pisos	Descripción	Capacidad Máxima
Sótano	Laboratorio de Computación	65
Piso 1	Laboratorio de Computación	20
	P1-1	40
	P1-2	40
	P1-3	40
	P1-4	40
	P1-5	40
Piso 2	P2-1	24
	P2-2	24
	P2-3	24
	P2-4	24
	P2-5	24
	P2-6	24
	P2-7	24
	P2-8	24
	P2-9	24
	P2-10	24
	P2-11	24
	P2-12	24
	P2-13	24
	P2-14	24
	P2-15	24

Fuente: Investigadores (2014)

4.3 Número de visitantes que transitan por el edificio

Para recolectar la información necesaria referente a la cantidad de personas que visitan el edificio, se preguntó a los recepcionistas de cada área sobre la cantidad de personas que reciben como visitantes en las mañanas y en las tardes.

En la tabla Nº5 se indican los datos recolectados:

Tabla N° 5.Número de visitantes por área

Pisos	Departamentos	Número de visitas	Horarios
Sótano	Archivo General	-	-
PB	Cafetín	60	6:00am a 2:00pm
		100	11:00am a 3:00pm
		30	3:00pm a 8:00pm
	Investigaciones Históricas	3	8:00am a 12:00pm
		7	2:00pm a 5:00pm
	Dirección General	30	8:00am a 12:00pm
		40	1:00pm a6:00pm
	Área de estudio de Postgrado	20	8:00 am a 1:00pm
		40	2:00pm a 8:00pm
	Administración	5	7:00am a 12:00pm
		4	1:00am a 8:00pm
	Información	60	8:00am a 12:00pm
			1:00am a 5:00pm
	Centro de estudios políticos	15	8:00am a 12:00pm
		5	1:00pm a 6:00pm
Piso 1	Postgrado	30	7:00am a 9:00pm
	Cooperación Interinstitucional	7	8:00am a 12:00pm
		7	1:00pm a 8:00pm
Piso 2	Centro de Investigaciones Jurídicas	2	8:00am a 12:00pm
		2	1:00pm a 6:00pm

Fuente: Investigadores (2014)

Adicionalmente se realizó una verificación de esos datos los días 28 de septiembre y 08 de octubre del presente año. Los resultados se presentan en la tabla Nº 6 y 7 que se muestran a continuación:

Tabla N° 6. Número de visitantes observados el día 28/09/2014.

Día	Pisos	Departamentos	Número de visitantes	Hora
28/09/2014	PB	Cafetín	48	6:00am a 2:00pm
			110	11:00am a 3:00pm
			20	3:00pm a 8:00pm
		Investigaciones Históricas	1	8:00am a 12:00pm
			5	2:00pm a 5:00pm
		Dirección General	26	8:00am a 12:00pm
			38	1:00pm a6:00pm
		Área de estudio de Postgrado	21	8:00 am a 1:00pm
			31	2:00pm a 8:00pm
		Administración	1	7:00am a 12:00pm
			3	1:00am a 8:00pm
		Información	50	8:00am a 12:00pm
				1:00am a 5:00pm
		Centro de estudios políticos	12	8:00am a 12:00pm
			3	1:00pm a 6:00pm
	Piso 1	Postgrado	35	7:00am a 9:00pm
		Cooperación Interinstitucional	3	8:00am a 12:00pm
			6	1:00pm a 8:00pm
	Piso 2	Centro de Investigaciones Jurídicas	1	8:00am a 12:00pm
			2	1:00pm a 6:00pm

Fuente: Investigadores (2014).

Tabla N° 7. Número de visitantes observados el día 08/10/2014.

Día	Pisos	Departamentos	Número de visitantes	Hora
08/10/2014	PB	Cafetín	55	6:00am a 2:00pm
			105	11:00am a 3:00pm
			22	3:00pm a 8:00pm
		Investigaciones Históricas	2	8:00am a 12:00pm
			3	2:00pm a 5:00pm
		Dirección General	21	8:00am a 12:00pm
			33	1:00pm a6:00pm
		Área de estudio de Postgrado	15	8:00 am a 1:00pm
			34	2:00pm a 8:00pm
		Administración	2	7:00am a 12:00pm
			4	1:00am a 8:00pm
		Información	66	8:00am a 12:00pm
				1:00am a 5:00pm
		Centro de estudios políticos	0	8:00am a 12:00pm
			1	1:00pm a 6:00pm
	Piso 1	Postgrado	36	7:00am a 9:00pm
		Cooperación Interinstitucional	5	8:00am a 12:00pm
			4	1:00pm a 8:00pm
	Piso 2	Centro de Investigaciones Jurídicas	1	8:00am a 12:00pm
			3	1:00pm a 6:00pm

Fuente: Investigadores (2014).

Una observación importante a resaltar sobre la situación actual del edificio de postgrado, es que la gran mayoría de las lámparas de emergencia de los pasillos, oficinas y escaleras no prestan el debido funcionamiento, así como también, se pudo observar que no hay extintores en el edificio.

CAPÍTULO V

REPRESENTACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el presente capítulo se presentan los planos actualizados y la elaboración de las rutas de evacuación, así como también, se describe el proceso de diseño, verificación y validación del modelo de simulación, el cual representa la evacuación del edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello.

5.1 Actualización de los planos estructurales del edificio de postgrado

Mediante diversas visitas al edificio de Postgrado, se pudo observar que se realizaron modificaciones a la estructura de las oficinas de las áreas laborales del edificio, por lo que fue necesario recorrer piso por piso para verificar cuáles habían sufrido alteraciones y tomar nota de las mismas para actualizar el plano mediante el uso del programa de AutoCAD 2013.

A continuación se muestra en la figura N° 3 el plano actualizado de Piso 1 del edificio de Postgrado, una vez acomodado a través de AutoCAD. El resto de las imágenes de los planos se podrán observar en el tomo de anexos, específicamente en el **³$QH[R□,¦´**.

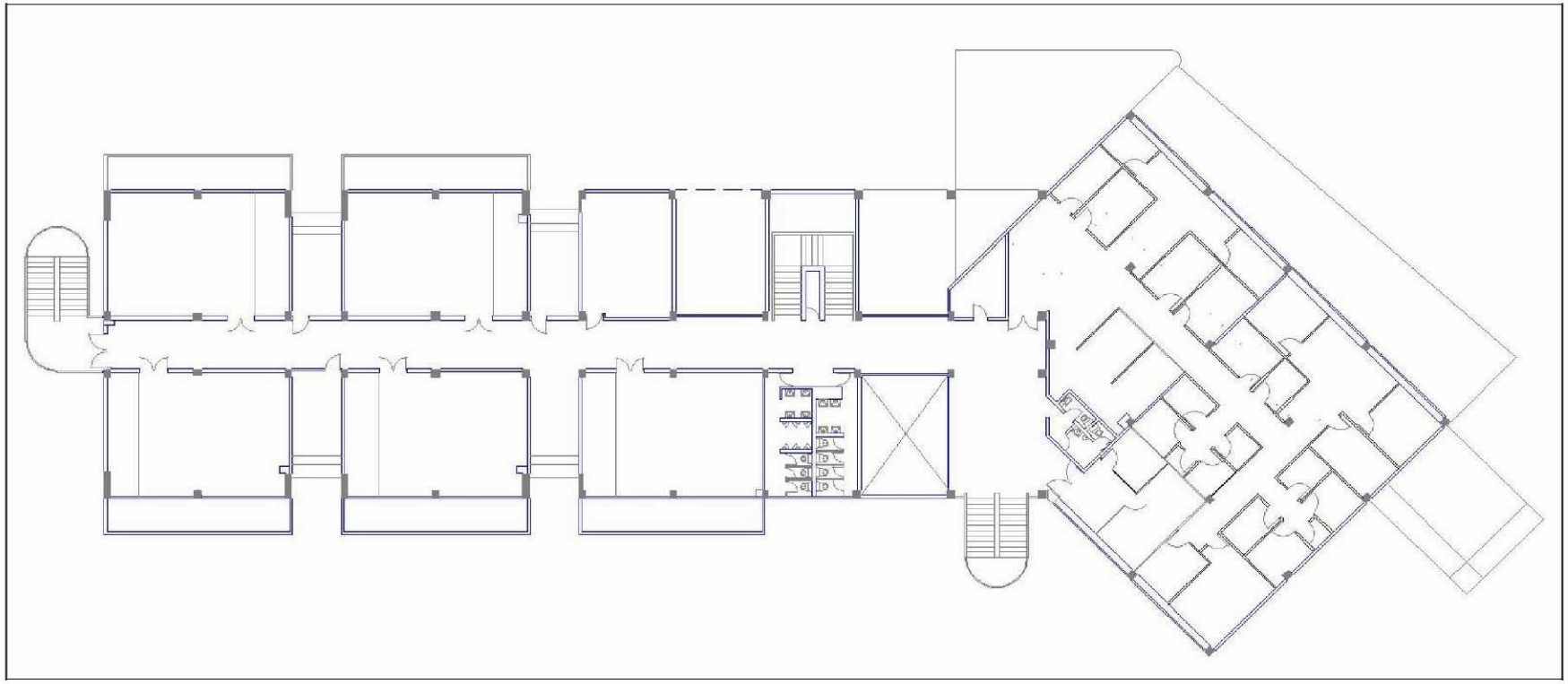


Figura N° 3. Imagen del plano actualizado de Piso 1 del edificio de Postgrado.
Fuente: Investigadores (2014)

5.2 Elaboración de las rutas de evacuación

Debido a que el edificio no cuenta con una ruta de evacuación fue necesaria la elaboración de la misma.

Para llevar a cabo este proceso se realizó una visita a los Bomberos de Caracas en la sede "El bosque" para el asesoramiento de las pautas que se deben tomar en cuenta en el momento de realizar una ruta de evacuación, y a su vez, aclarar ciertos términos relacionados con el tema. Dicha visita se realizó el día 10 de Septiembre del presente año y estuvo a cargo del Teniente Ángel Hernández, funcionario de los Bomberos de Caracas. De igual forma se utilizó como apoyo para la realización de las rutas, la norma COVENIN 187-1992, que explica los colores, símbolos y dimensiones de las señales de seguridad y la norma COVENIN 810-1998, que hace referencia a las características de los medios de escape en edificaciones según el tipo de ocupación.

Se realizó el recorrido piso a piso para visualizar las lámparas de seguridad que se posee, los extintores, mangueras contra incendio, salida, escaleras y las señalizaciones para posteriormente indicarlas en el layout de la ruta de evacuación del edificio.

A continuación se muestra en la figura Nº4 la ruta de evacuación correspondiente a planta baja del edificio de Postgrado de la UCAB, el resto de las imágenes de las rutas de evacuación del edificio se podrán observar en el tomo de anexos, específicamente en el **³$QH[R IV´**.

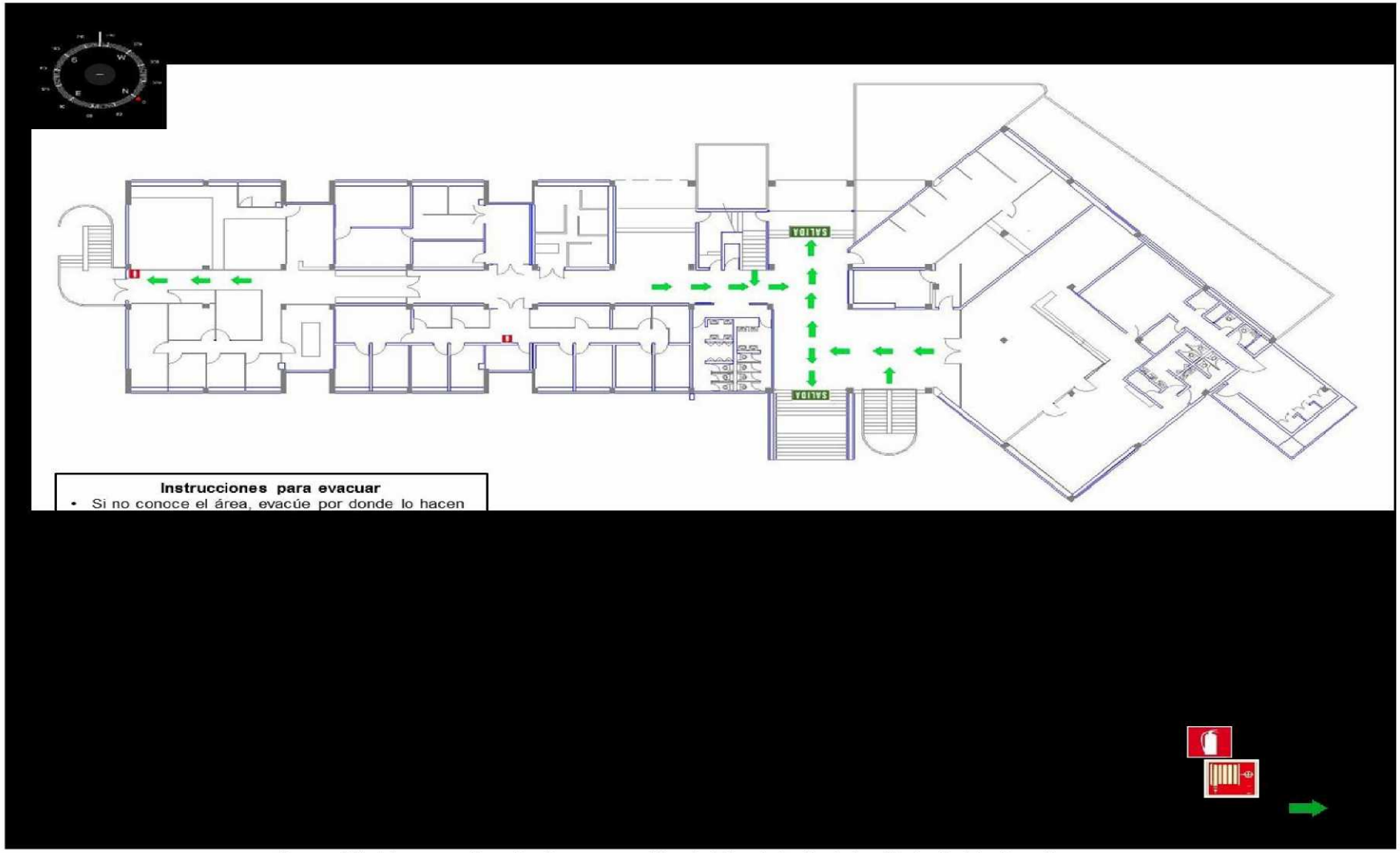


Figura N° 4. Imagen de ruta de evacuación de Planta Baja del edificio de Postgrado.
Fuente: Los Investigadores (2014)

5.3 Descripción funcional del modelo de simulación

A través del modelo de simulación, se pretende representar el comportamiento de las personas que se encuentren en el edificio de Postgrado en caso de ocurrir una emergencia y tengan que realizar la evacuación del mismo, teniendo como finalidad conocer el tiempo en el cual se realiza dicho acontecimiento para poder realizar propuestas que ayuden a reducir dicho tiempo.

5.4 Tiempo de simulación

El presente modelo posee un horario comprendido entre las seis (6) de la mañana y las nueve (9) de la noche, suponiendo que este horario pueda representar cualquier día de la semana excluyendo sábados y domingos.

El modelo inicia a las 6 (seis) de la mañana, sin embargo, los primeros trabajadores no arriban sino hasta media hora después y los visitantes llegan a partir de las 7 am. La alarma puede accionarse entre las ocho (8) de la mañana y las nueve (9) de la noche.

El tiempo de simulación transcurre entre las seis (6) de la mañana y el tiempo de accionamiento de la alarma, a esto se le suma el tiempo de evacuación, el cual finaliza en el momento en el cual la última persona que se encuentre en el edificio salga de él y se encuentre en el lugar seguro.

5.5 Parámetros que influyen en el modelado del plan de evacuación contemplado.

Para poder modelar el plan de evacuación del edificio de Postgrado de la UCAB, el software Anylogic requiere de una serie de parámetros que se describen a continuación:

5.5.1 Diámetro del peatón.

Según Israelski (1977), Garret and Kennedy (1971), Dreyfus (1967), Woodson and Conover (1964) & Hertberg (1954) Definen en su tabla de: Dimensiones del cuerpo de los trabajadores varones en el rango de edad de 18 a 45.

Dimensiones del cuerpo de los trabajadores varones en el rango de edad de 18 a 45.

Tabla N° 8. Dimensiones del cuerpo de los trabajadores varones en el rango de edad de 18 a 45.

	Dimensión (inches)	Incrementos agregados
	95 th percentil	**Ropa ligera**
Anchura del Hombro	19.5	1

5.5.2 Velocidad de marcha del peatón.

Según Estrada, J. (1993). La velocidad de marcha del peatón se considera que la caminata más eficiente es a (4-5) Kph.

5.5.3 Velocidad de marcha en escaleras del peatón.

Según Kroemer, K.H.E y Grandjean E. (1997). La velocidad de marcha en escaleras del peatón se considera que la caminata más eficiente es a (3-4) Kph.

Dentro de la herramienta Anylogic cada una de estos parámetros se define a través del uso de una distribución estadística.

5.6 Consideraciones preliminares en el modelo

5.6.1 Generales

- Se considerará como Escalera 1 aquella ubicada al lado del área de Investigaciones Jurídicas, la primera escalera que se toma si el peatón se dirige desde la entrada del Metro y camina directamente al edificio de Postgrado.
- Se considerará como Escalera 2 aquella ubicada al frente del área de Información, la primera escalera que se toma si el peatón se dirige desde la fuente de la Universidad y camina directamente al edificio de Postgrado.
- La llegada de los visitantes será a través de la entrada 1 de planta baja.
- El descanso y/o ida al baño de los peatones será realizada en el mismo piso en el cual se encuentran, excluyendo a aquellos que se encuentran en planta baja, los cuales subirán a piso 1, devolviéndose posteriormente una vez culminado su tiempo de espera en ese piso.

5.6.2 Planta baja

- La llegada de los trabajadores de planta baja será realizada a través de la entrada 1 de planta baja.
- El desalojo de los trabajadores de cafetín será realizado a través de la entrada 2 de planta baja.
- El desalojo de las áreas de información, Postgrado1 y Postgrado 2 será realizado a través de la entrada 1 de planta baja.
- El desalojo del área de biblioteca será realizado a través de la salida de emergencia exterior del edificio.
- Los visitantes de planta baja seguirán el comportamiento de evacuación del área respectiva en la cual se encuentren al momento de ser accionada la alarma.
- A los trabajadores de Información e investigaciones jurídicas de planta baja, se les colocó como una sola área, llamada Información.
- A los trabajadores de área de estudio de postgrado y centro de estudios políticos de planta baja, se les colocó como una sola área, llamada Postgrado1.
- A los trabajadores de dirección general y administración de planta baja, se les colocó como una sola área, llamada Postgrado2.

5.6.3 Piso 1

- La llegada de los trabajadores del piso 1 será a través de la entrada 1 de planta baja.
- El desalojo de los trabajadores de piso 1 será realizado a través de la entrada 2 de planta baja.
- Los visitantes de piso 1 seguirán el comportamiento de evacuación de los trabajadores de piso 1.
- En función de las limitaciones de la licencia se decidió agrupar salones en unidades denominadas pedService, donde se considera como pedService P1_1 a los salones: P1-3, P1-4 y P1-5 y como pedService P1_2 a los salones: P1-1, P1-2 y laboratorio de informática de piso 1. A los trabajadores de postgrado y cooperación interinstitucional de piso 1, se les colocó como una sola área, llamada serviceTrabajadoresP1.

5.6.4 Piso 2

- La llegada de los trabajadores del piso 2 será a través de la entrada 2 de planta baja.
- La llegada de los estudiantes de piso 2 será a través de la entrada 1 de planta baja.
- El desalojo de los trabajadores de piso 2 una vez accionada la alarma será a través de la salida 2.
- El desalojo de los estudiantes de piso 2, una vez accionada la alarma, será a través de la entrada 1 y la salida de emergencia exterior.
- Los visitantes de piso 2 seguirán el comportamiento de evacuación de los trabajadores de piso 2.
- En función de las limitaciones de la licencia se decidió agrupar salones en unidades denominadas pedService, donde se considera como pedService P2_1 a los salones: P2-9, P2-10, P2-11, P2-12, P2-13, P2-14 y P2-15, como pedService P2_2 a los salones: P2-4, P2-5, P2-6, P2-7, P2-8 y salón de seminario, comopedService P2_3 a los salones: P2-1 Y P2-3, como pedService P2_4 al salón P2-2.

5.7 Representación del modelo de simulación

El presente modelo se realizó utilizando la herramienta de simulación Anylogic 7.0, con la finalidad de representar la evacuación del edificio de Postgrado para así conocer el tiempo en el cual se realiza este suceso.

En el tomo de Anexos, específicamente en el **"Anexo V"**, se describe paso a paso el proceso de elaboración de las diversas lógicas que se utilizaron en el transcurso del modelado. En el **³$QH[R□9,´**, se muestran las diferentes lógicas realizadas en Anylogic del comportamiento de las personas en cada piso del edificio de postgrado, de la evacuación de las mismas, y las variables que influyen en el modelo respectivamente.

A continuación se muestra en las figura N°5 y N° 6 los diagramas de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de postgrado y la lógica de evacuación de las mismas. El resto de las imágenes de los diagramas se podrán observar en el tomo de anexos, específicamente en el **³$QH[R□VII´**.

5.7.1 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de Postgrado.

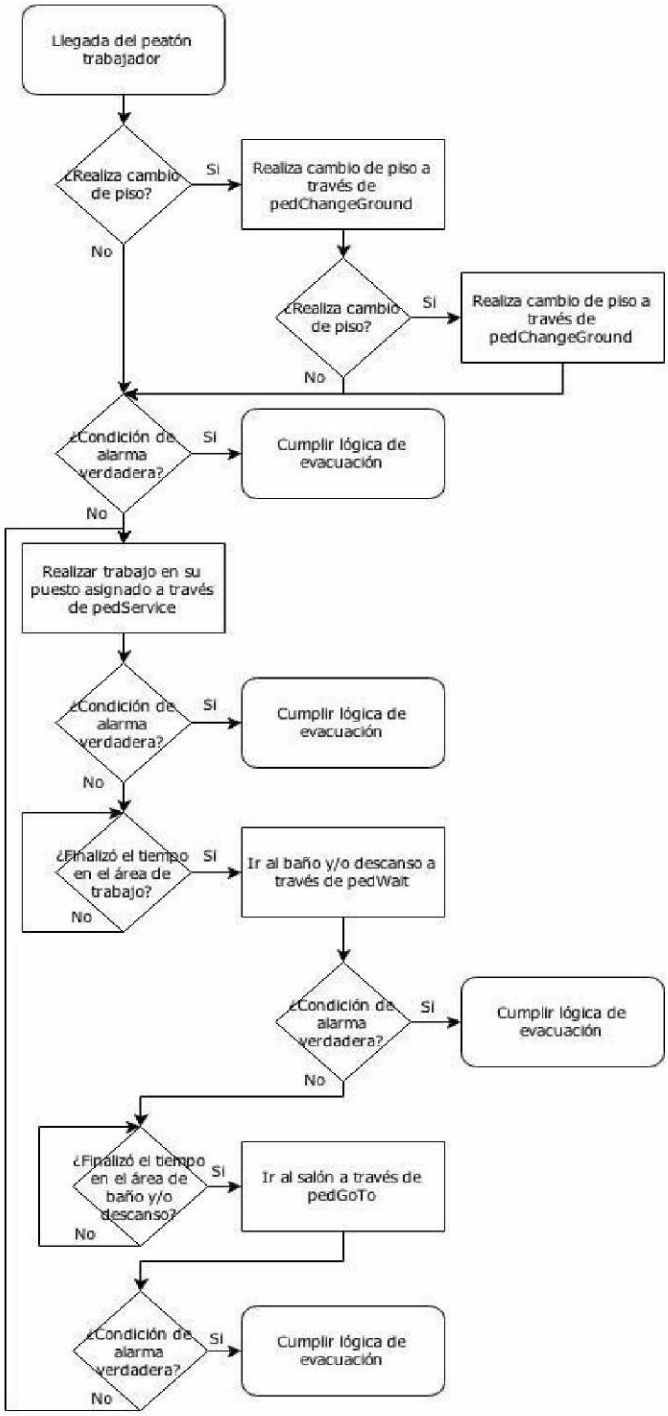


Figura N° 5. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de Postgrado.
Fuente: Los investigadores (2014)

5.7.2 Diagrama de flujo del comportamiento de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de Postgrado.

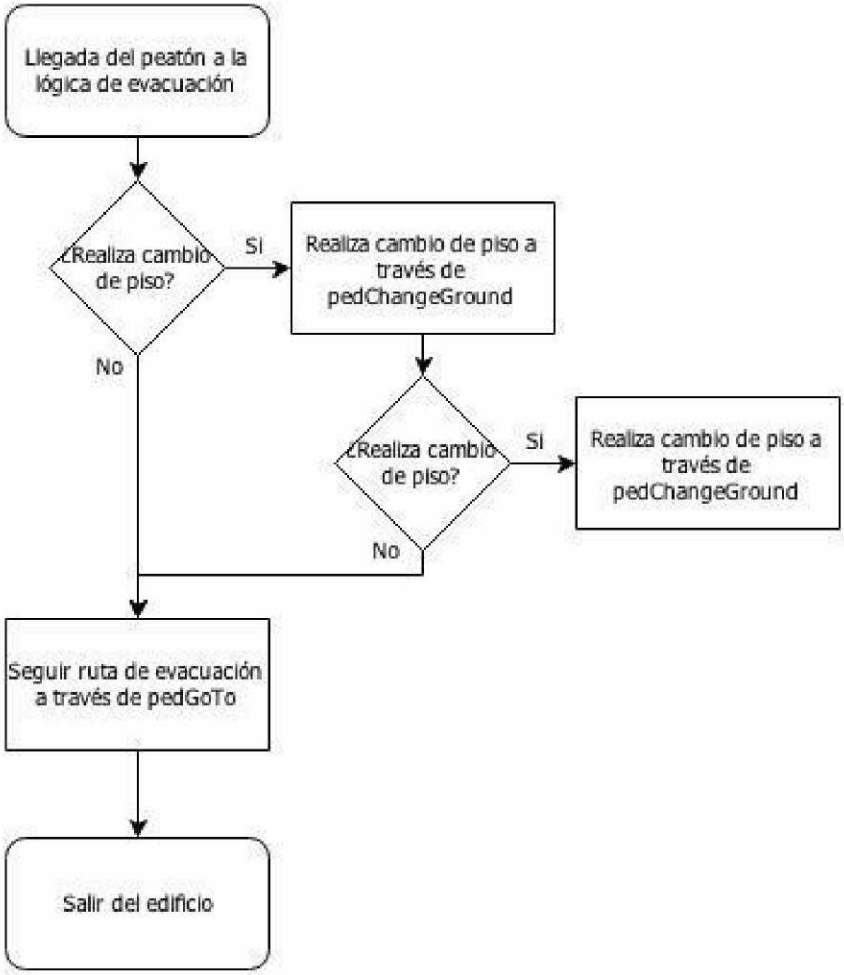


Figura N° 6. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de Postgrado.
Fuente: Los investigadores (2014)

5.8 Número de replicaciones

En el cálculo de número de replicaciones necesarias, se utiliza la Ecuación N° 1, que se encuentra en el Capítulo II, utilizando un Υ = 0,95.

Debido a limitaciones de la licencia se realizaron únicamente tres (3) horarios en el modelo: para estudiantes, trabajadores y visitantes; por lo que se asume como criterio

para realizar las corridas de la evacuación cuando el edificio esté completamente lleno ya que éste es el peor escenario.

El modelo se corrió cinco (5) veces, los resultados obtenidos del tiempo de evacuación para cada corrida se presentan en la tabla Nº 9:

Tabla N° 9. Tiempo de Evacuación por Replicación.

Corrida	Tiempo de evacuación (min)
1	16:55
2	16:52
3	16:04
4	16:02
5	16:47

Fuente: Los investigadores (2014).

A continuación, se muestran los gráficos N°1, 2, 3, 4 y 5 los resultados de los tiempos de evacuación mencionados anteriormente:

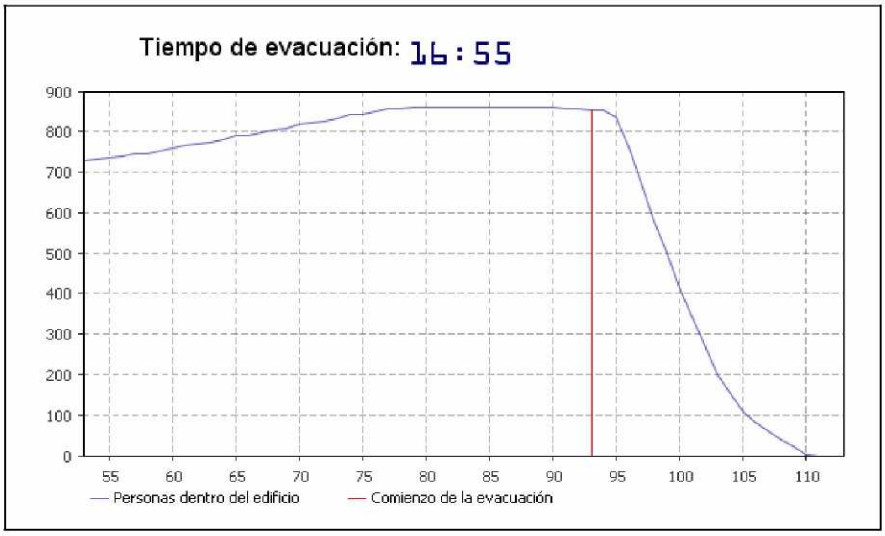


Gráfico N° 1. Cantidad de Personas Vs. Tiempo de simulación.
Fuente: Los Investigadores (2014)

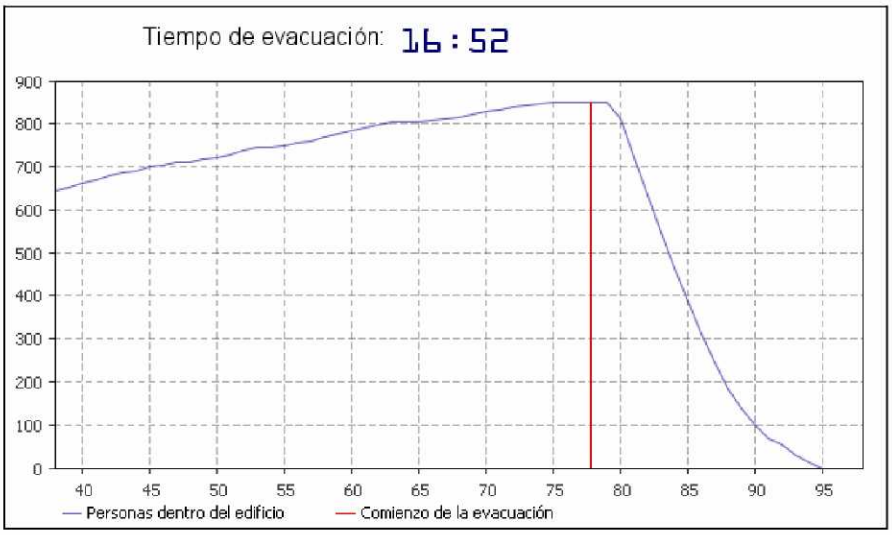


Gráfico N° 2. Cantidad de Personas Vs. Tiempo de simulación.
Fuente: Los Investigadores (2014)

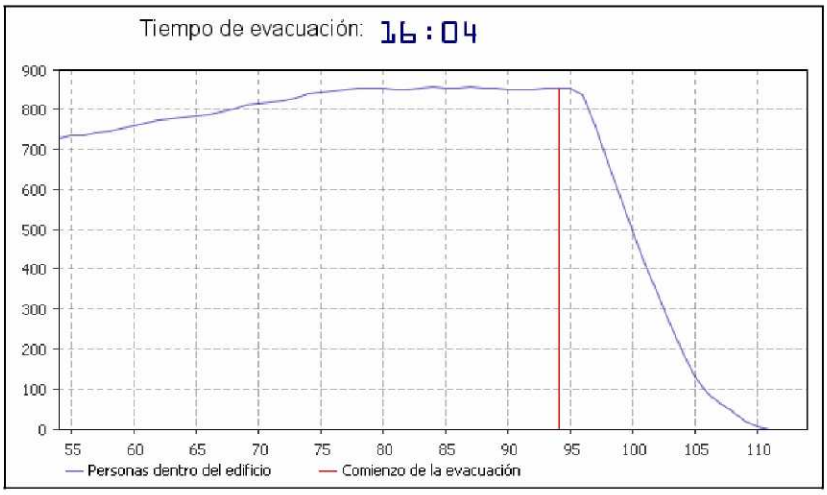


Gráfico N° 3. Cantidad de Personas Vs. Tiempo de simulación.
Fuente: Los Investigadores (2014)

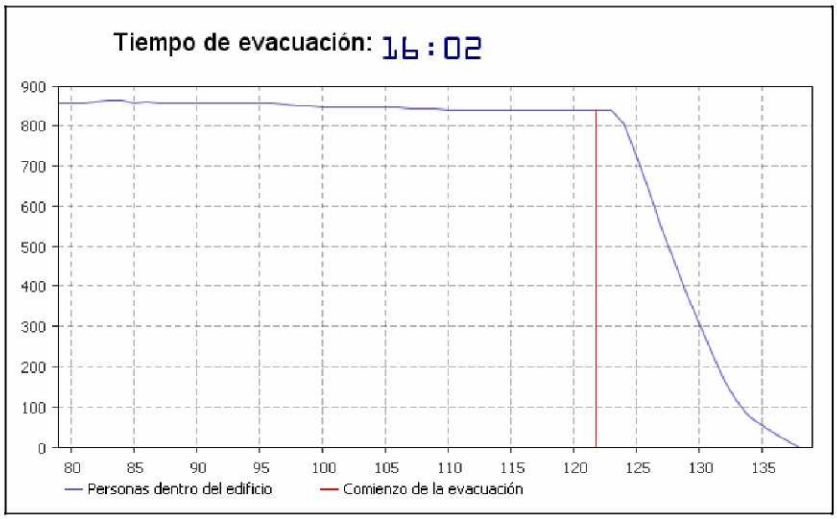


Gráfico N° 4. Cantidad de Personas Vs. Tiempo de simulación.
Fuente: Los Investigadores (2014)

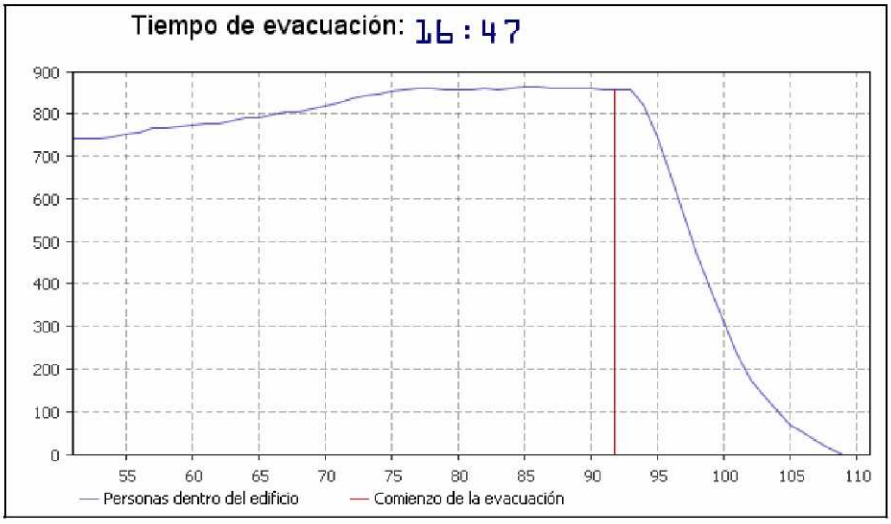


Gráfico N° 5. Cantidad de Personas Vs. Tiempo de simulación.
Fuente: Los Investigadores (2014)

La varianza para los resultados obtenidos en la tabla N° 9 (tiempo de evacuación por replicación) y h, se calculan como se muestra a continuación:

$$S^2 = \frac{n}{n-1} * \sum \frac{x_i - \bar{x}}{n} = \frac{5}{5-1} * \sum \frac{x_i - 16.18}{5} = 0.31$$

Ecuación N°2. Fórmula para el cálculo de la varianza

Siendo para esta ecuación n el tamaño de la muestra.

$$h = \frac{\bar{x}}{2} * \Upsilon = \frac{16.18}{2} * 0.95 = \frac{16.18}{2} * 0.95 = 7.69$$

Ecuación N°3. Fórmula para el cálculo de la cantidad de error deseado

Posteriormente, con los valores de S, h y K, se calcula el número de replicaciones requeridas como se muestra a continuación:

$$n = \left(\frac{K*S}{h}\right)^2 = \left(\frac{K*S}{h}\right)^2 = 0.006243$$

Como se pudo observar a través del cálculo del número de replicaciones, éste da 0.006243, redondeando a 1. Este número tan bajo de replicaciones es debido a que no existe mucha diversidad de tiempo en las corridas realizadas.

5.9 Verificación del modelo de simulación

Para la verificación del modelo, se realizó una corrida en donde se le hizo un seguimiento a distintas entidades dentro del modelo para comprobar que siguieran las rutas establecidas en las lógicas determinadas.

Se verificó que las entidades realizaran las diversas actividades establecidas, tales como ir al baño, descansar, entre otras.

Al activarse las alarmas de emergencia se observó que las entidades seguían las rutas de evacuación ya establecidas hasta llegar a un punto seguro, por lo tanto, cumpliéndose todo lo anteriormente descrito, se considera que el modelo se encuentra verificado.

5.10 Validación del modelo de simulación

Para la validación del modelo de simulación, se realizó un estudio en etapas del mismo, en donde se consideraron las acciones a seguir al momento de realizar una evacuación.

El Teniente Ángel Hernández, funcionario de los Bomberos de Caracas nos brindó la información necesaria sobre el tiempo de evacuación para un edificio con las características propias de Postgrado. Según el teniente, la evacuación del mismo debe de realizarse aproximadamente en 18 minutos.

A continuación, en el gráfico N°6, se muestran los resultados obtenidos una vez realizadas varias replicaciones:

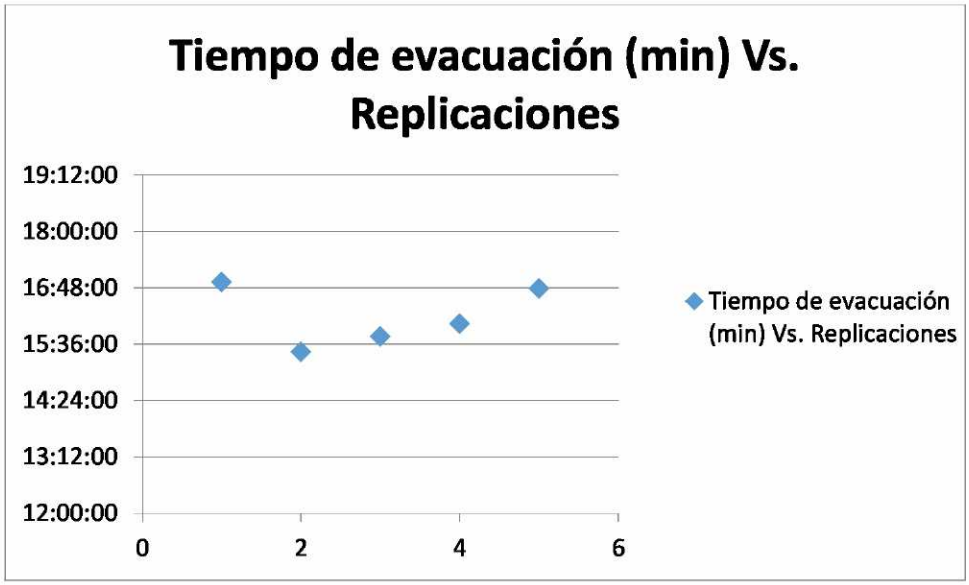


Gráfico N° 6. Tiempo de evacuación Vs. Nº de replicaciones
Fuente: Los Investigadores (2014)

Los resultados fueron consultados con el Teniente Ángel Hernández, funcionario de los Bomberos de Caracas, por lo que se considera que le modelo está validado, ya que todas las replicaciones fueron consideradas aceptables.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el presente capítulo se pretende mostrar el análisis de la situación actual descrita en la sección anterior, con el propósito de detectar los puntos críticos en el proceso de evacuación y proceder así a realizar propuestas de mejora para estas circunstancias.

Para la visualización de estos puntos críticos, se utilizó el elemento de Anylogic "DensityMap", el cual permite recopilar estadísticas sobre la densidad de los peatones en el entorno en el cual fueron simulados los escenarios para su evacuación. Este bloque (DensityMap) permite visualizar un mapa de densidades sobre el espacio simulado, representando a través de una escala de colores aquellos puntos a los cuales llamaremos críticos debido a la afluencia de personas que transitan por las rutas pautadas al momento de simular una evacuación.

En la figura N°7, se muestra la escala de colores para la densidad de peatones:

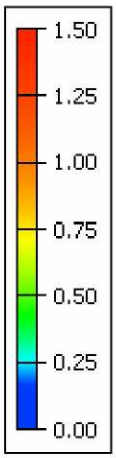


Figura N° 7. Escala de colores para la densidad de peatones.
Fuente: Los investigadores (2014)

La leyenda que se muestra en la figura N° 7 se refiere a que el color rojo indica la densidad crítica (1,50 pedestrians/m2), el color azul se utiliza para bajas densidades, y el color amarillo en el mapa corresponde a la densidad 0,75 pedestrians/m2. Cuando la

densidad en algún área es cero, el mapa de densidad para esta zona en particular, no se dibuja en absoluto.

Para este análisis se realizaron dos escenarios, con visitantes y sin visitantes; y, a su vez, en cada escenario se contemplaron las alternativas de capacidad total y parcial. Éstas se presentan a continuación:

6.1 Escenario 1. Simulación sin visitantes.

En el presente escenario se representará la evacuación del edificio tomando en cuenta al personal que labora y estudia en él únicamente, sin las personas que acuden a al edificio con la condición de visitantes.

6.1.1 Resultados de la evacuación del edificio a máxima capacidad

En este sub-escenario se representará la evacuación del personal y estudiantes del edificio a su máxima capacidad. A continuación, en la gráfica N°7, se logra evidenciar el tiempo de evacuación:

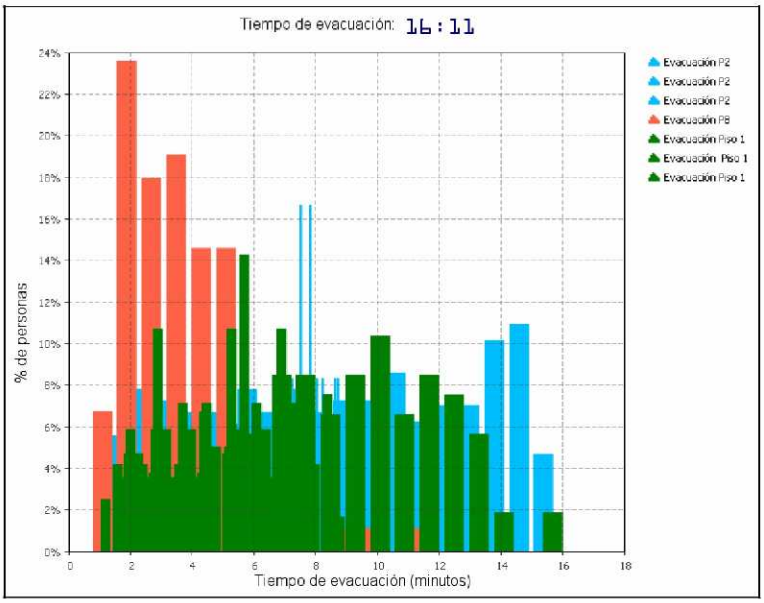


Gráfico N° 7. Tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad

Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se puede evidenciar en el gráfico N°7, el tiempo de evacuación para el edificio a su máxima capacidad sin visitantes fue de 16.11 min, siendo los pisos 1 y 2 los que poseen los mayores tiempos de evacuación.

Una vez obtenido el tiempo de evacuación, podemos establecer que se encuentra dentro del rango de tiempo de evacuación de un edificio de características similares al estudiado, ya que a través de una consulta a expertos se definió que este período corresponde a un intervalo entre 17.30 y 18.30 min.

A continuación, en la gráfica N° 8, se presentarán las gráficas de frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad por piso con su respectivo mapa de densidad:

6.1.1.1 Planta Baja

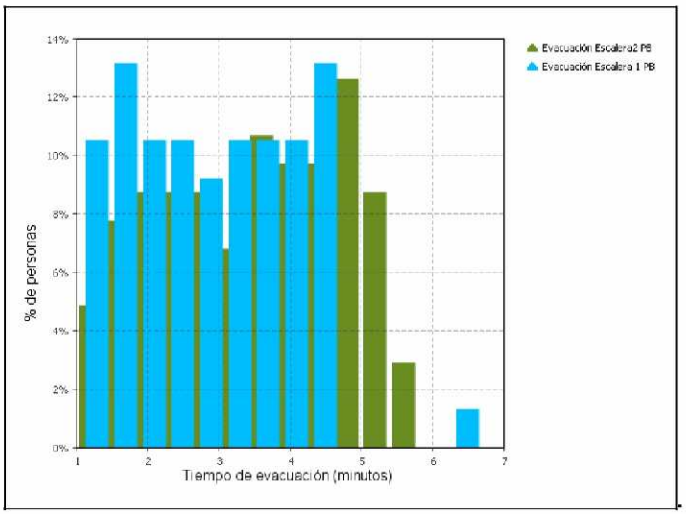


Gráfico N° 8. Frecuencia del tiempo de evacuación de planta baja a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se muestra en el gráfico N° 8, el tiempo de evacuación de todas las personas que se encuentran en planta baja es de 6.5 minutos aproximadamente, donde las personas que se encuentran en cafetín tardan en evacuar 5.8 minutos y las ultimas personas en salir de edificio son las del área de Estudios de Postgrado. El tiempo en el cual se observa que no hay personas evacuando del edificio del área de Postgrado, es debido a que se encuentran en la salida con las personas de piso 1 y piso 2 lo cual le impiden salir a todos continuamente.

A continuación, en la figura N° 8, se muestra un mapa de densidad de planta baja al momento de la evacuación:

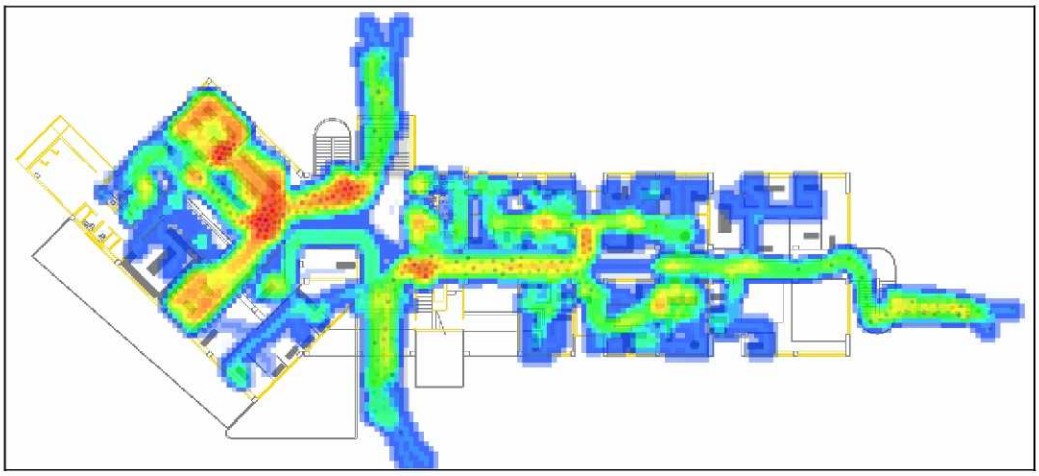


Figura N° 8. Densidad peatonal de planta baja
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se observa en el mapa de densidad, para planta baja se pueden ver varios puntos donde existe mayor afluencia de personas (representadas a través del color rojo), el primero se observa en salida del cafetín, ya que la capacidad de este espacio es de 118 personas más las personas que laboran en él y solo existe una salida para evacuar este lugar.

El área de las escaleras son los lugares que presentan más afluencia de personas como se evidencia en el mapa de densidad.

6.1.1.2 Piso 1

En el gráfico N° 9, se presenta la frecuencia de evacuación de los peatones de todo el edificio.

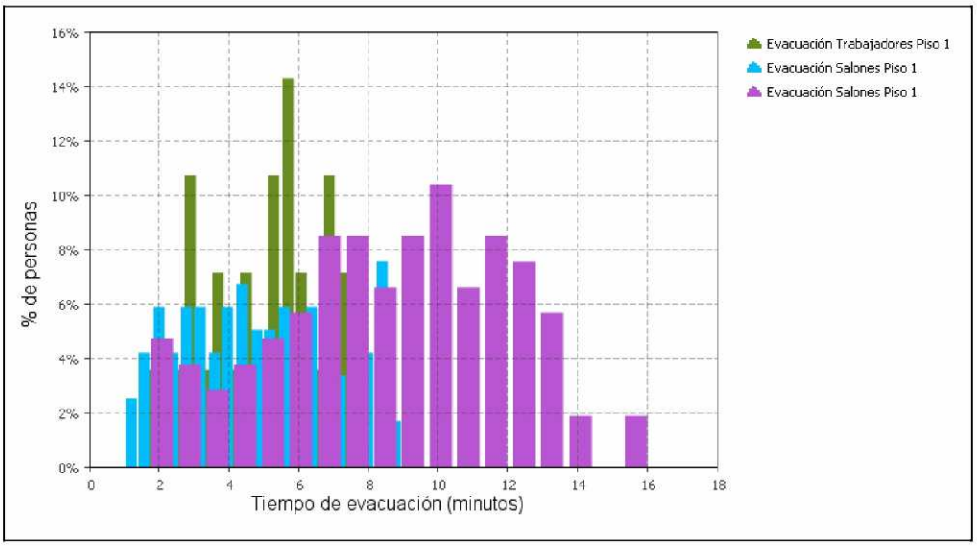


Gráfico N° 9. Frecuencia de tiempo de Piso 1 a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se muestra en el gráfico N° 9, el tiempo de evacuación de todas las personas que se encuentran en piso 1 es de 16 min, donde las personas que se encuentran en los salones tardan en evacuar 16 min y los trabajadores de dicho piso tardan 7.40 min.

A continuación, en la figura N° 9, se muestra un mapa de densidad de piso 1 al momento de la evacuación:

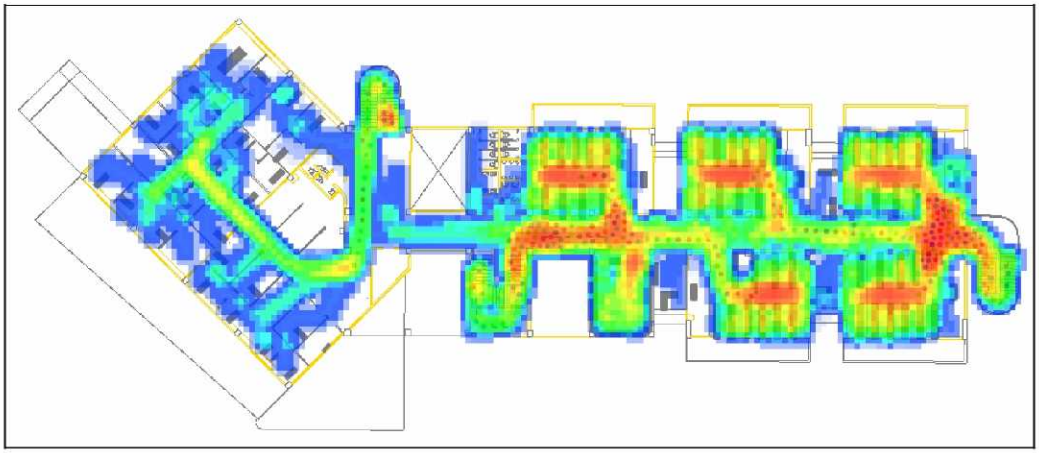


Figura N° 9. Densidad peatonal de Piso 1
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se observa en el mapa de densidad, existen varios puntos donde hay mayor congestión (representadas a través del color rojo), estos corresponden a las entradas de las escaleras, debido a que en este punto se encuentran las personas de los distintos

salones. Otros puntos de congestión son los espacios dentro de los salones de clases al momento de salir de ellos y dirigirse a su respectiva ruta de evacuación.

6.1.1.3 Piso 2

En el gráfico N° 10, se presenta la frecuencia de evacuación de los peatones de todo el edificio.

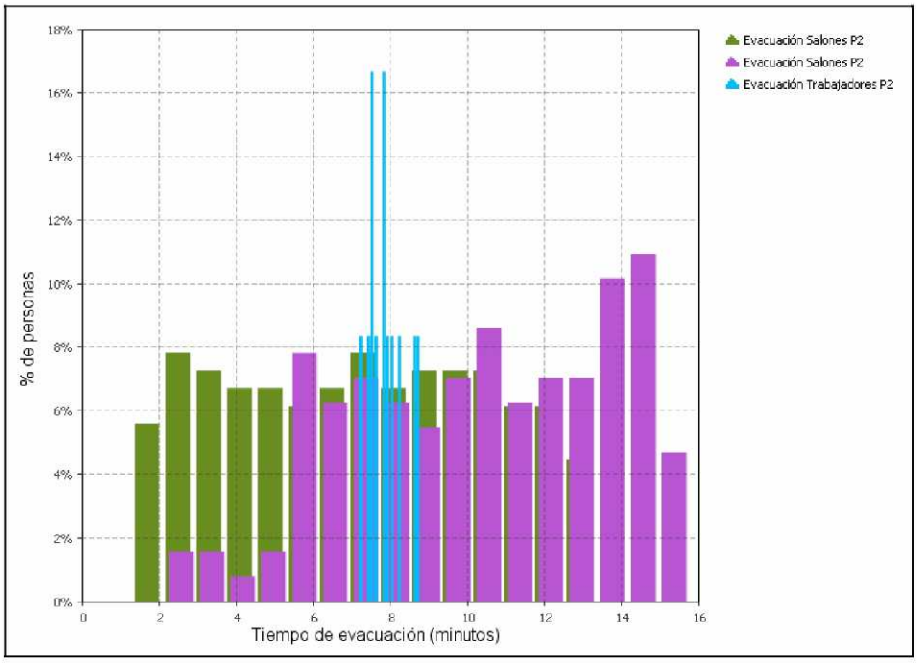


Gráfico N° 10. Frecuencia de tiempo de Piso 2 a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se muestra en el gráfico N° 10, el tiempo de evacuación de todas las personas que se encuentran en piso 2 es de 15.85 min, donde las personas que se encuentran en las oficinas, pasillos y baños tardan en evacuar 8.7 min y las ultimas personas en salir del edificio correspondientes a los salones lo hacen en 15.85 min.

En la figura N° 10, se presenta el mapa de densidad de peatones del segundo nivel del edificio.

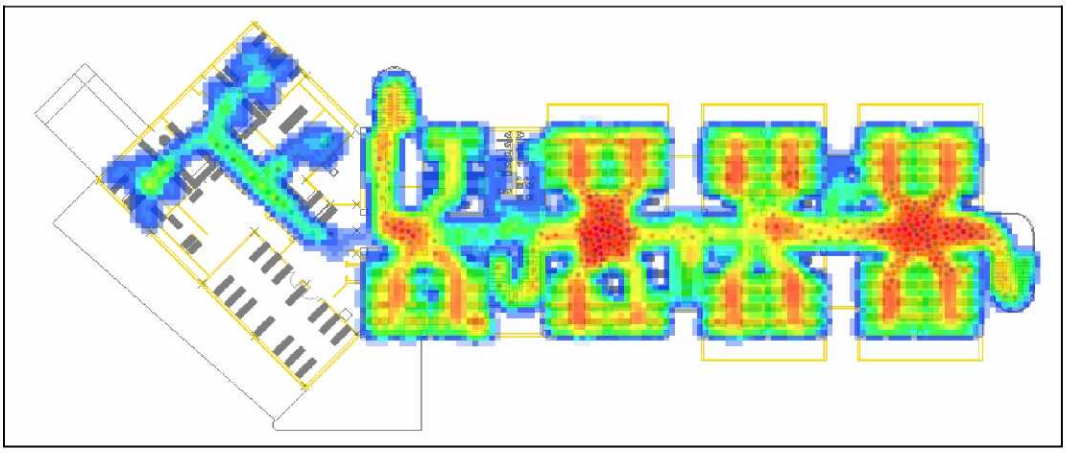


Figura N° 10. Densidad peatonal de Piso 2
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se observa en el mapa de densidad (figuras N°10), piso 2 en comparación con los mapas anteriores es el piso que tiene mayores zonas marcadas en rojo y amarrillo, lo que representan las zonas de mayor afluencia y congestionamiento de peatones.

Esto es debido a que en piso 2 hay mayor cantidad de personas ya que en este nivel se encuentran más salones de clases, por lo que al momento de dirigirse a la ruta de evacuación, en los pasillos se crea congestionamiento. El punto más crítico de este piso es en las escaleras al momento de realizar la evacuación, ya que los peatones deben esperar para poder pasar y continuar así la lógica establecida.

6.1.2 Resultados de la evacuación del edificio a media capacidad

En este sub-escenario se representará la evacuación del personal y estudiantes del edificio a media capacidad. A continuación se presenta la gráfica N° 11, donde se evidencia el tiempo de evacuación:

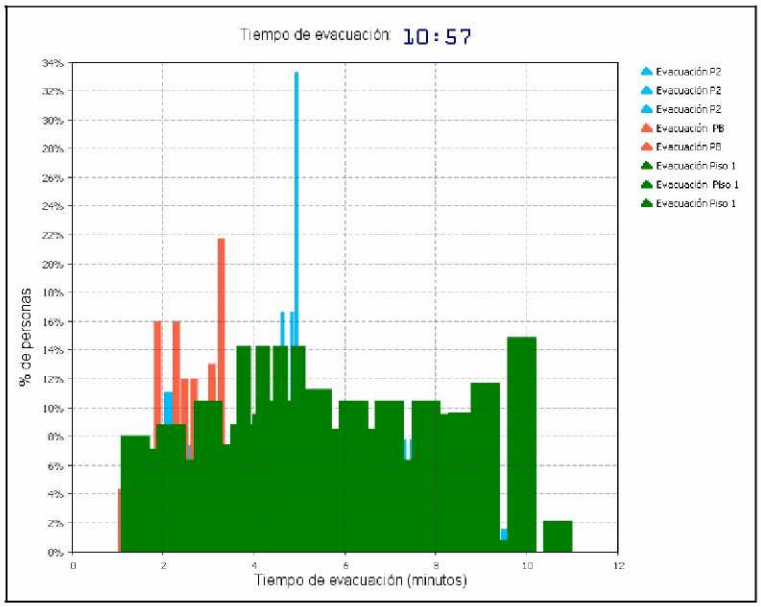


Gráfico N° 11. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a capacidad parcial
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se puede evidenciar en el gráfico N°11, el tiempo de evacuación para el edificio a media capacidad es de 10.57 min.

A continuación se presentarán las gráficas de frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a media capacidad por piso con su respectivo mapa de densidad:

6.1.2.1 Planta Baja

En el gráfico N° 12, se presenta la frecuencia de evacuación de los peatones de Planta Baja a capacidad parcial.

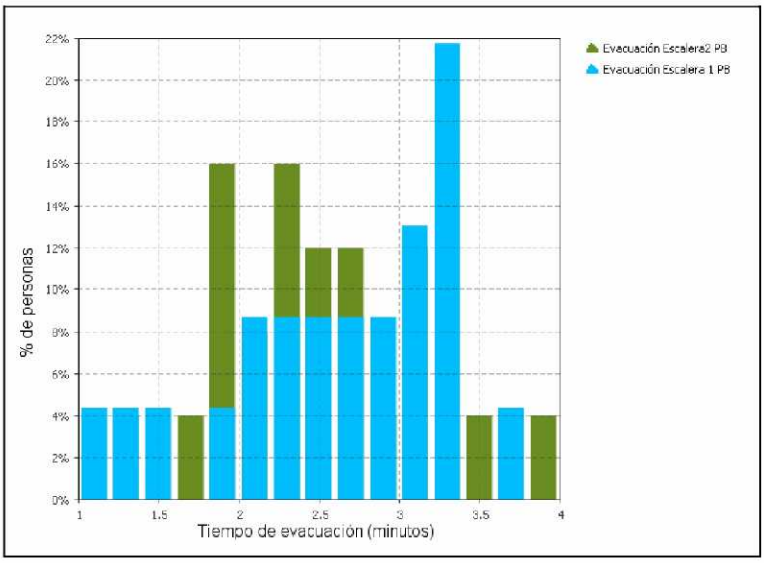


Gráfico N° 12. Frecuencia del tiempo de evacuación de Planta Baja a media capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

En el presente gráfico se observa que el tiempo de evacuación de las personas de las oficinas tardan 3.8 min en evacuar, y las personas que se encuentran en cafetín tardan 4 min.

En la figura N° 11, se presenta el mapa de densidad de Planta Baja durante la evacuación a capacidad parcial.

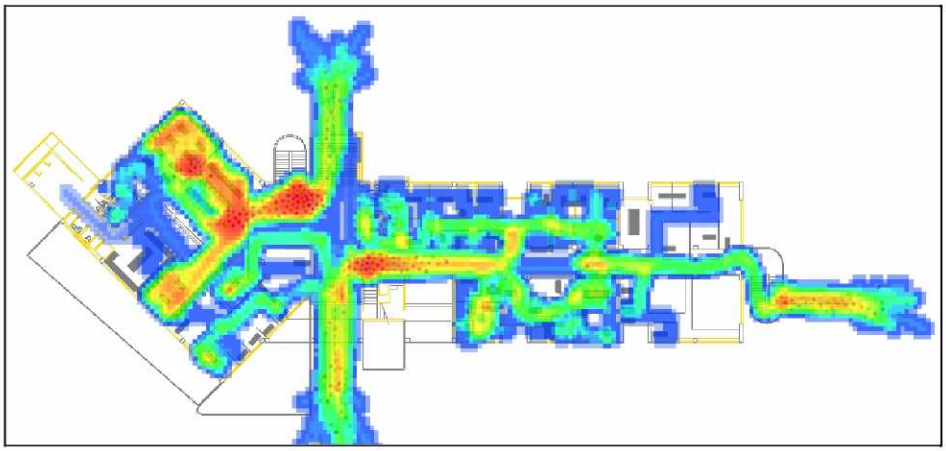


Figura N° 11. Densidad peatonal de Planta Baja
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se observa en el mapa de densidad, en planta baja se pueden visualizar varios puntos donde existe mayor afluencia de personas (representadas a través del color rojo), estos son los mismos que surgen cuando el edificio está a su máxima capacidad,

puesto que el área de las escaleras principales son los lugares que presentan más afluencia de peatones.

6.1.2.2 Piso 1

En el gráfico N° 13, se presenta la frecuencia de evacuación de los peatones de piso 1.

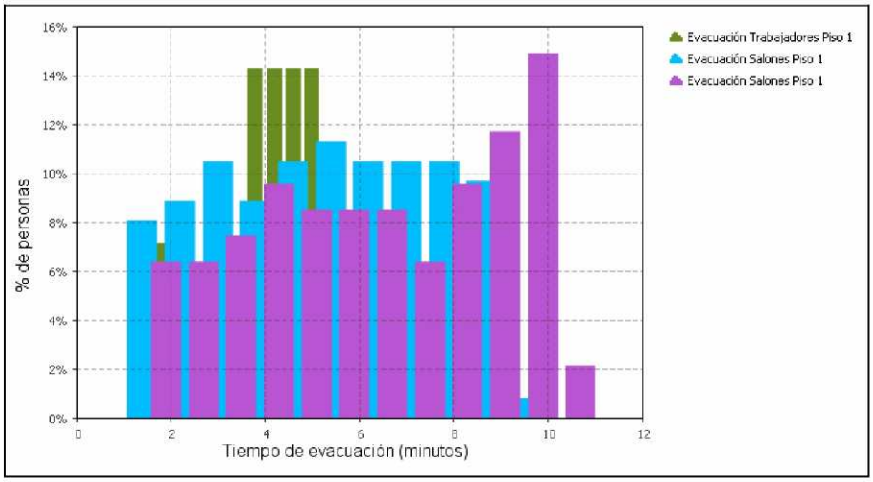


Gráfico N° 13. Frecuencia de tiempo de evacuación de Piso 1 a media capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

En el gráfico N°13 se observa que los trabajadores de Piso 1 evacúan en un tiempo de 5 min y los estudiantes y profesores que se encuentran en los salones evacúan en un tiempo de 11min.

En la figura N° 12, se observa el mapa de densidad de piso 1.

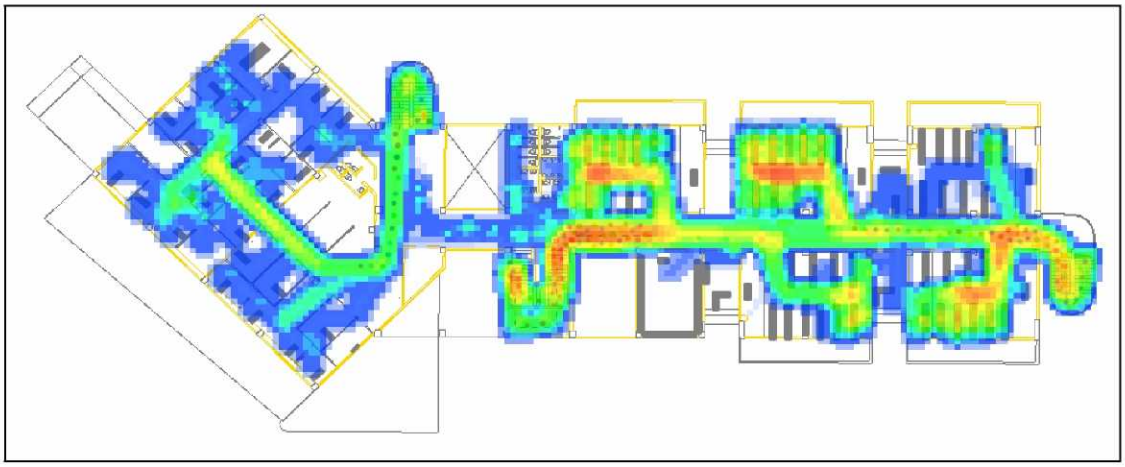


Figura N° 12. Densidad peatonal de Piso 1
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se observa en la figura N° 12, los puntos de colapso (representadas a través del color rojo) principales se dan en la escalera 1 y la escalera de emergencia del edificio.

6.1.2.3 Piso 2

En el gráfico N° 14, se presenta la frecuencia de evacuación de los peatones de piso 2.

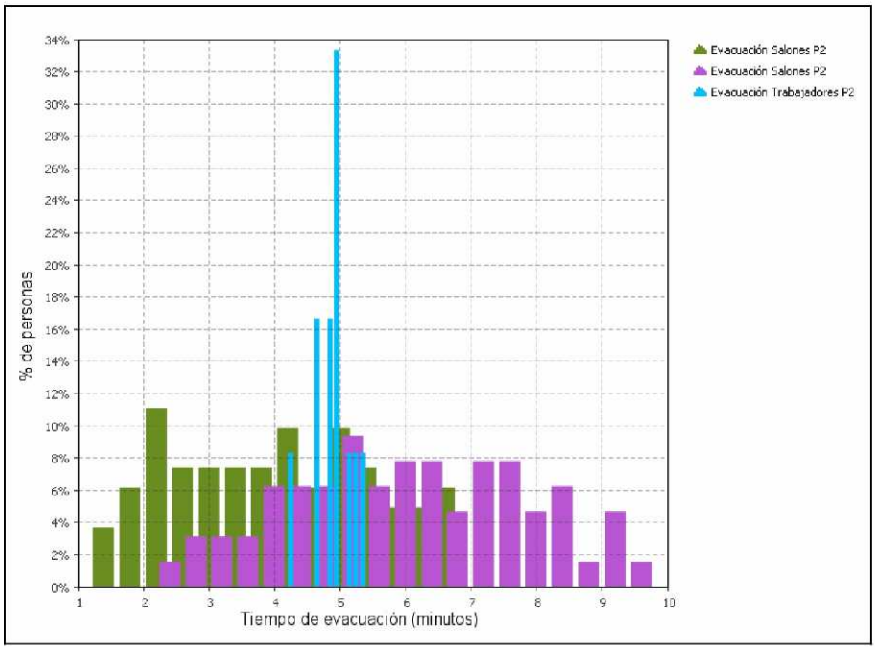


Gráfico N° 14. Frecuencia de tiempo de Piso 2 a capacidad parcial
Fuente: Los Investigadores (2014)

En el gráfico N° 14 se observa que los trabajadores evacúan en un tiempo de 5.4 min y las personas que se encuentran en los salones tardan 9.8 min.

En la figura N° 13, se observa el mapa de densidad de piso 2.

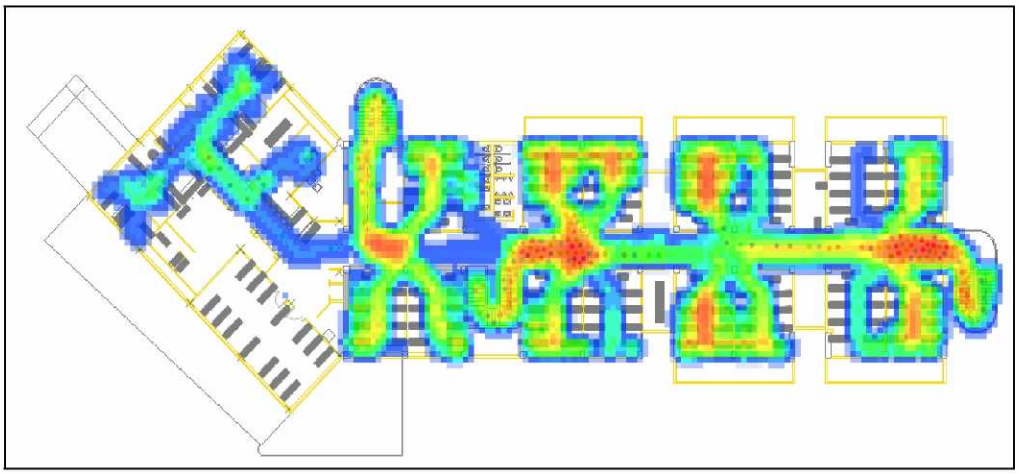


Figura N° 13. Densidad peatonal de Piso 2
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se muestra en la figura N° 13 los puntos críticos (representados a través del color rojo), son la escalera de emergencia y la escalera número 1 ya que estos puntos representan una mayor afluencia de personas.

6.2 Escenario 2. Simulación con visitantes.

En el presente escenario se representará la evacuación del edificio tomando en cuenta al personal que labora, estudia y visita las instalaciones del mismo.

6.2.1 Resultados de la evacuación del edificio a máxima capacidad

En este sub-escenario se representará la evacuación del personal y estudiantes del edificio a su máxima capacidad. En la tabla Nº 10 se mostrarán los resultados obtenidos al ejecutar el plan de evacuación tomando en cuenta distintas muestras de visitantes:

Tabla N° 10. Tiempo de Evacuación por número de visitantes.

Número de visitantes en el edificio	Tiempo de evacuación del modelo
10	16:43
20	16.46
30	16:48
40	16:50
50	16.52
60	16.54
70	16.54
80	16.56
90	17.00
100	17:01

Fuente: Los Investigadores (2014)

A continuación se presenta la gráfica N° 15, donde se evidencia el tiempo de evacuación total y por piso con un número de 100 visitantes:

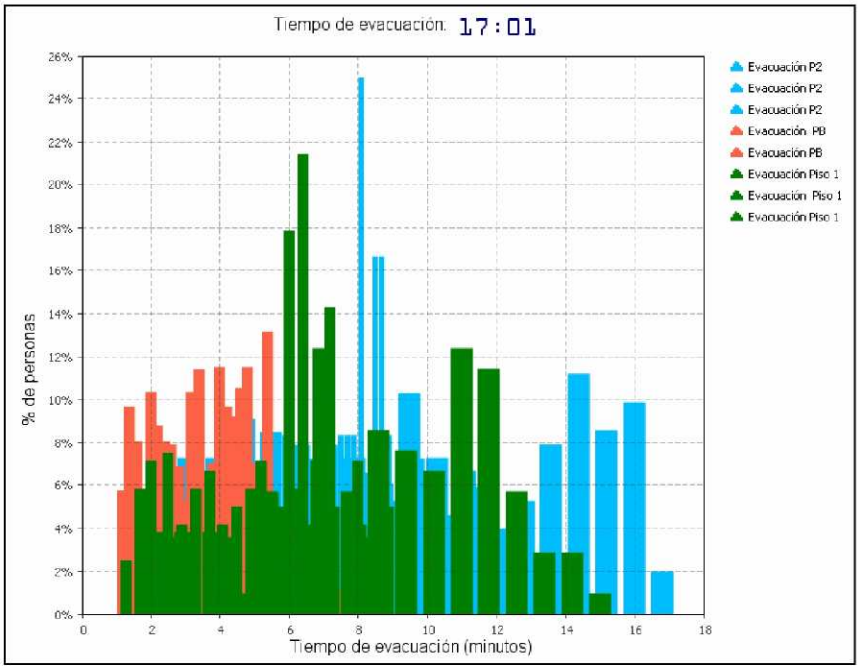


Gráfico N° 15. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014).

En el gráfico N°15 se observa que el tiempo de evacuación para el edificio a su máxima capacidad con visitantes fue de 17.01 min.

6.2.1.1 Planta Baja

En el gráfico N° 16, se observa la frecuencia de evacuación de los peatones de Planta Baja.

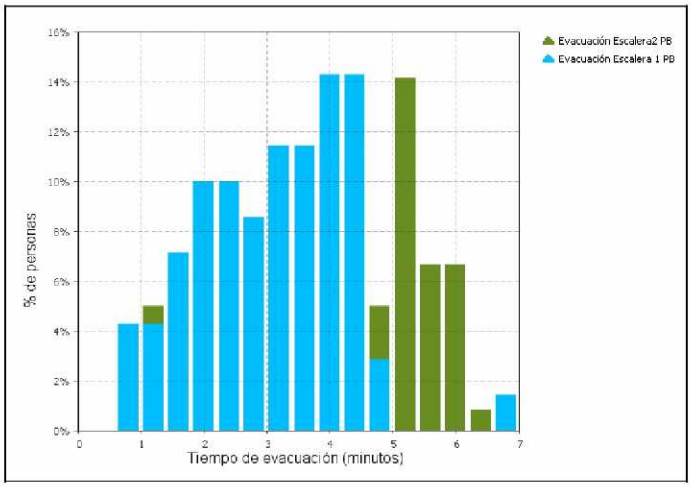


Gráfico N° 16. Frecuencia del tiempo de evacuación de Planta Baja a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

En el gráfico N°16 se observa que el tiempo de evacuación para Planta Baja fue de 7 min.

En el gráfico N° 17, se observa la frecuencia de evacuación de los peatones de Piso 1.

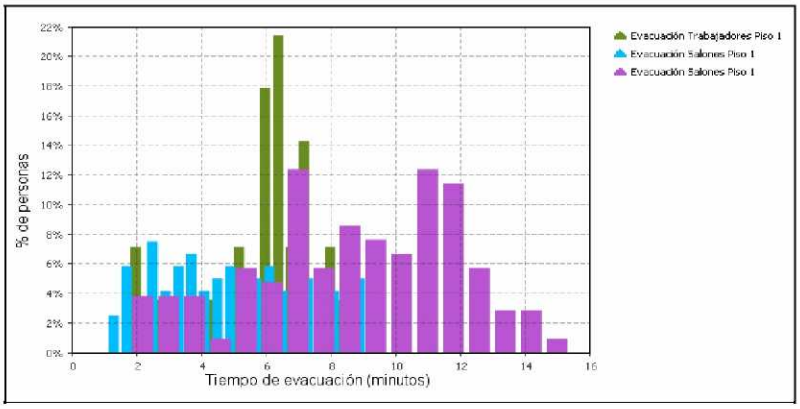


Gráfico N° 17. Frecuencia de tiempo de Piso 1 a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

6.2.1.2 Piso 2

En el gráfico N° 18, se observa la frecuencia de evacuación de los peatones de Piso 2.

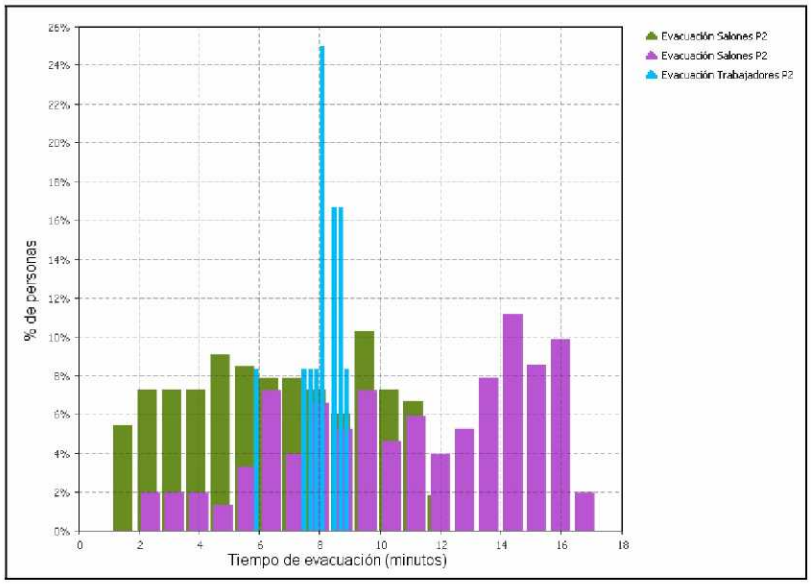


Gráfico N° 18. Frecuencia de tiempo de Piso 2 a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se puede evidenciar, con respecto a la simulación de la evacuación sin visitantes en edificio de postgrado, en todos los pisos aumentan un poco el tiempo de evacuación pero sin embargo al ser consultado con los Bomberos de Caracas se considera aceptable.

Se puede observar en la imagen los puntos críticos (observados en rojo) son en planta baja: cafetín y la escalera número 1; y en el primer y segundo piso las tres escalera de escape, estos puntos representan una mayor afluencia de personas.

6.2.2 Resultados de la evacuación del edificio a capacidad parcial

En este sub-escenario se representará la evacuación del personal y estudiantes del edificio a su capacidad parcial. A continuación se presenta la gráfica N° 19, donde se evidencia el tiempo de evacuación:

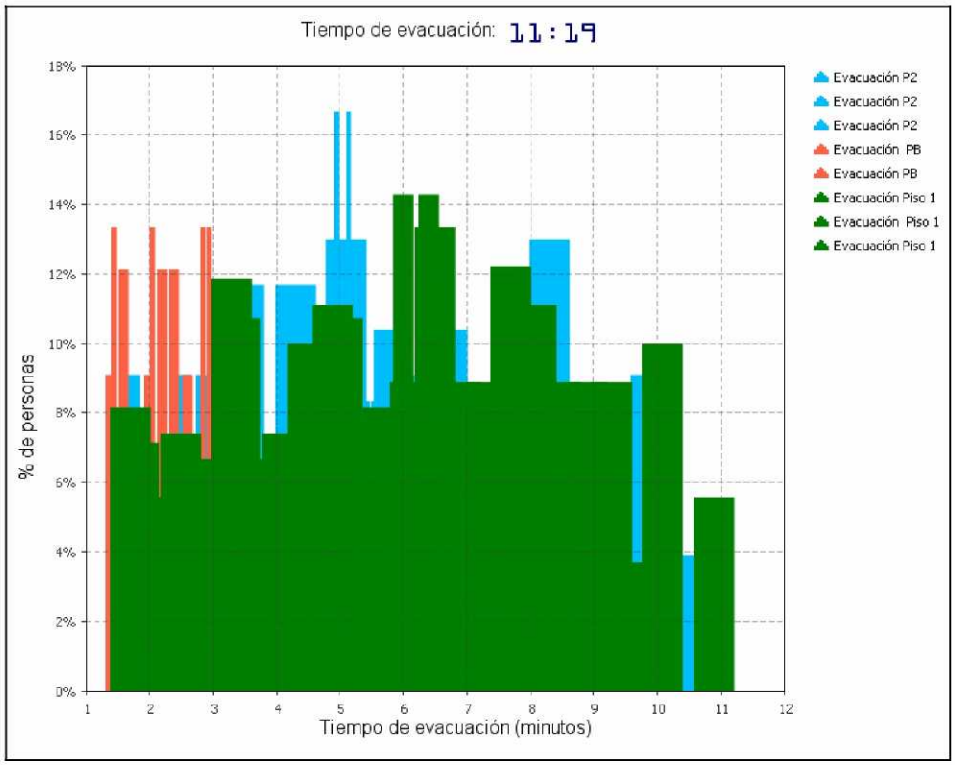


Gráfico N° 19. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a capacidad parcial
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se puede evidenciar en el gráfico N° 10, el tiempo de evacuación para el edificio a capacidad parcial con visitantes fue de 11.19 minutos.

A continuación se presentarán las gráficas N°20, 21, y 22 de frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a capacidad parcial por piso:

6.2.2.1 *Planta Baja*

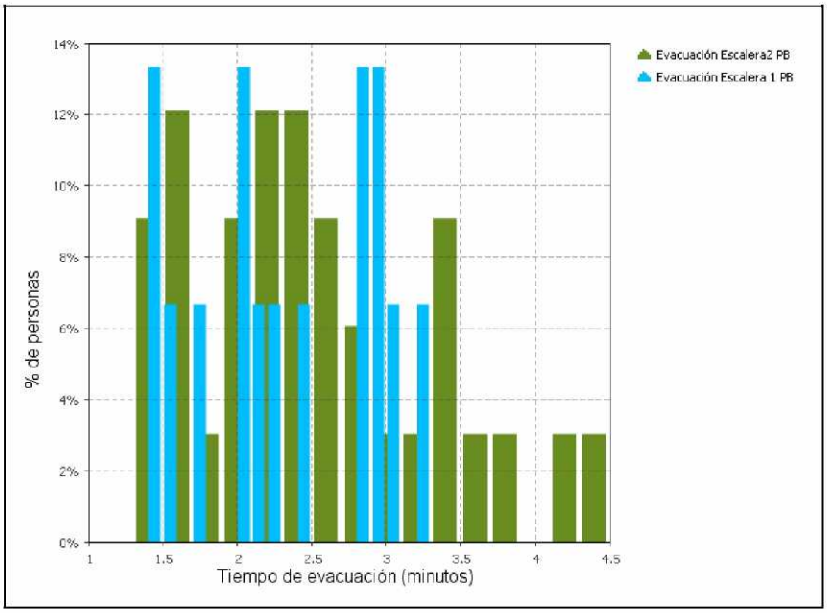


Gráfico N° 20. Frecuencia del tiempo de evacuación de planta baja a capacidad parcial
Fuente: Los Investigadores (2014)

6.2.2.2 *Piso 1*

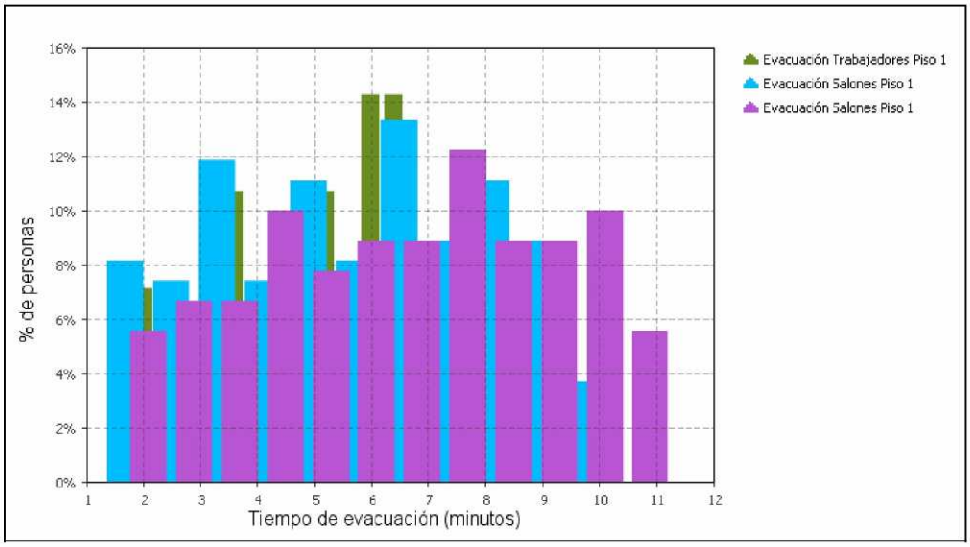


Gráfico N° 21. Frecuencia de tiempo de piso 1 a capacidad parcial
Fuente: Los Investigadores (2014)

6.2.2.3 Piso 2

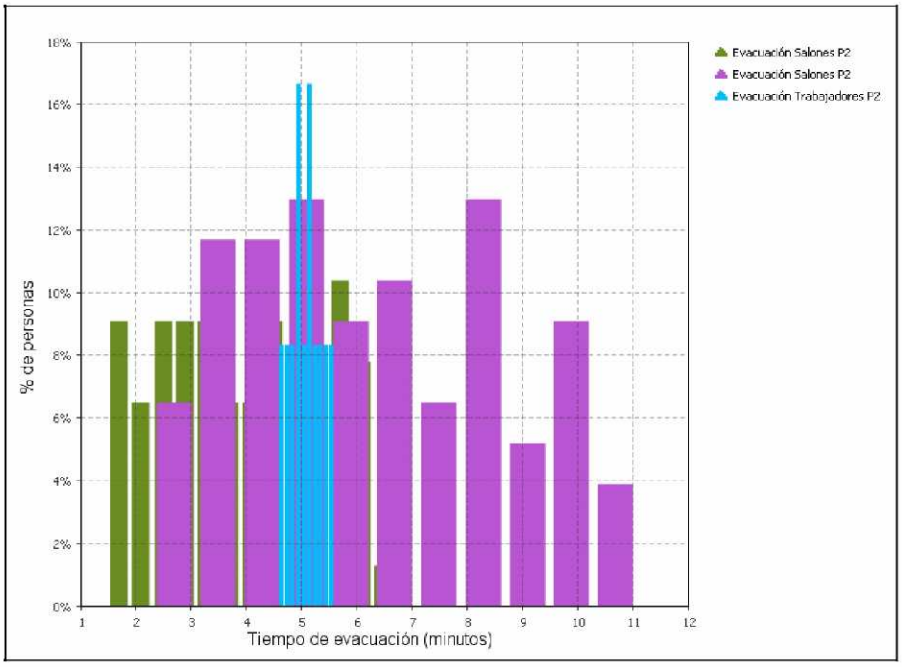


Gráfico N° 22. Frecuencia de tiempo de piso 2 a capacidad parcial
Fuente: Los Investigadores (2014)

A raíz de estas gráficas se puede observar que los pisos con mayor tiempo de evacuación son el primero y el segundo, realizándola en aproximadamente 11 minutos.

CAPÍTULO VII

PROPUESTAS DE MEJORA

Luego de realizar el correspondiente análisis de los diversos escenarios, se presentan las siguientes propuestas:

7.1 Despejar el pasillo de la salida de emergencia de planta baja (Propuesta 1)

Con la finalidad de que la salida de emergencia sea utilizada para el fin que su nombre indica, el pasillo de planta baja en el área Estudios de Postgrado y de Investigaciones Históricas (biblioteca), debe de desalojarse puesto que tiene puertas y obstáculos que impiden el fácil acceso a la salida de emergencia. Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 810, todo pasillo de escape no debe tener en su recorrido ningún elemento que funcione como obstáculo.

A continuación, en la figura N° 14, se muestra la puerta de Investigaciones Históricas que se encuentra obstaculizando en el área de Planta Baja de Postgrado, hacia la salida de emergencia:

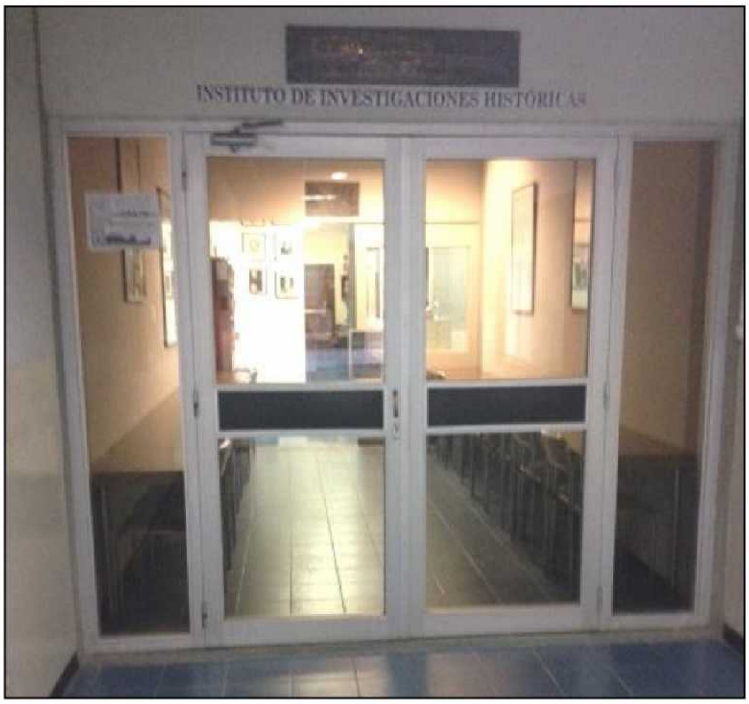


Figura N° 14. Puerta en el pasillo de Planta Baja.
Fuente: Los Investigadores (2014)

Para una mejor visualización de esta propuesta, se reacomodó el pasillo mencionado para habilitarlo como salida de emergencia. A continuación se presentan los resultados obtenidos en el modelo, el gráfico Nº 23 y figura Nº 15 representan la situación actual y los gráficos Nº 24 y N° 25 y la figura Nº 16 representan la propuesta:

7.1.1 Situación actual

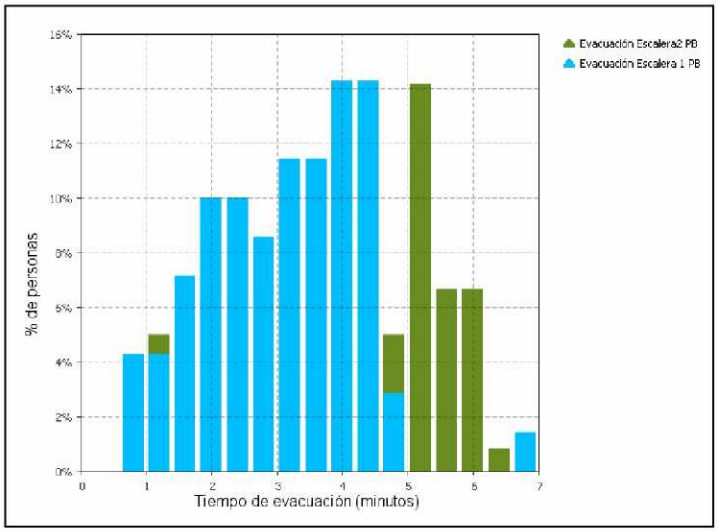


Gráfico N° 23. Tiempo de evacuación de Planta Baja sin la propuesta 1
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se observa en el gráfico N° 23, el tiempo de evacuación total de cada área de Planta Baja es de aproximadamente 7 minutos.

A continuación se muestra en la figura N°15 el mapa de densidad correspondiente a la situación actual de planta baja:

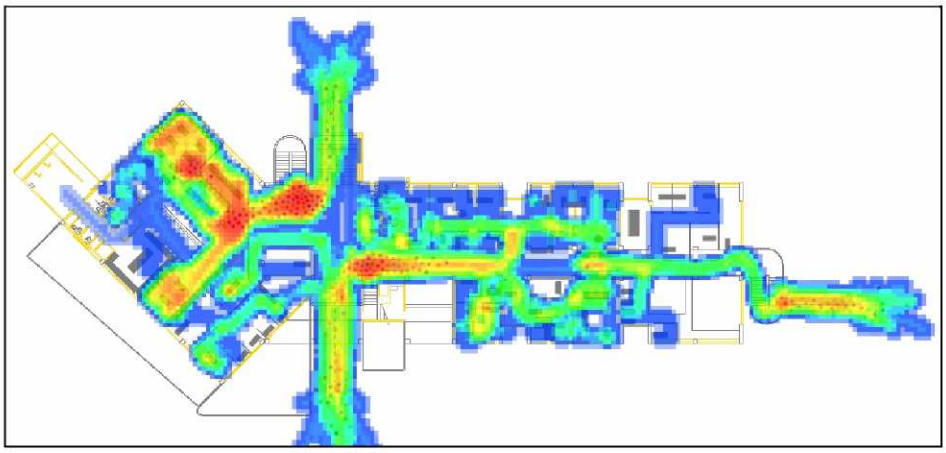


Figura N° 15. Densidad peatonal de Planta Baja sin la propuesta 1
Fuente: Los Investigadores (2014)

Como se observa en la figura N° 15, los puntos de colapso principales (observados en color rojo) se dan en la salida de la escalera 1 y 2.

7.1.2 Propuesta 1

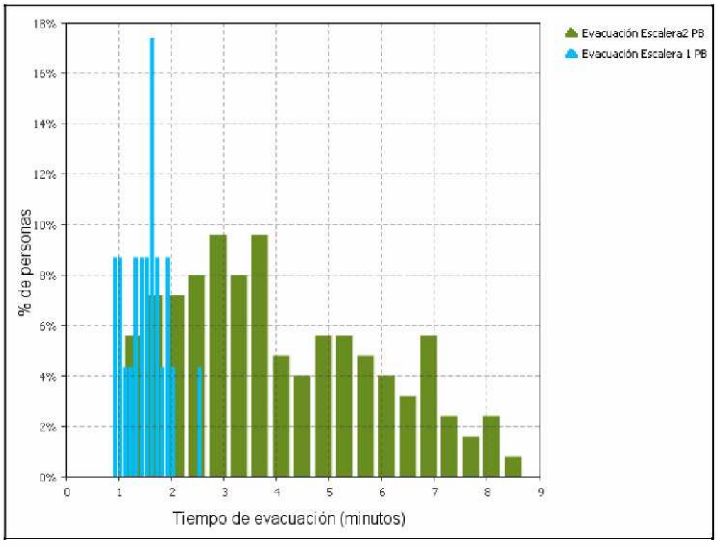


Gráfico N° 24. Tiempo de evacuación de Planta Baja con la propuesta 1
Fuente: Los Investigadores (2014)

Se observa en el gráfico N° 24 que el tiempo de evacuación total de Planta Baja es de 8.5 minutos, siendo la escalera número 2 aquella por la cual demoran más los peatones para salir del edificio.

Las personas ubicadas en el área de información, se ven beneficiadas debido a que su tiempo de evacuación se reduce en aproximadamente 5 minutos. Además, el

tiempo total de evacuación del edificio disminuye a 14 minutos, como se puede observar en el gráfico Nº 25:

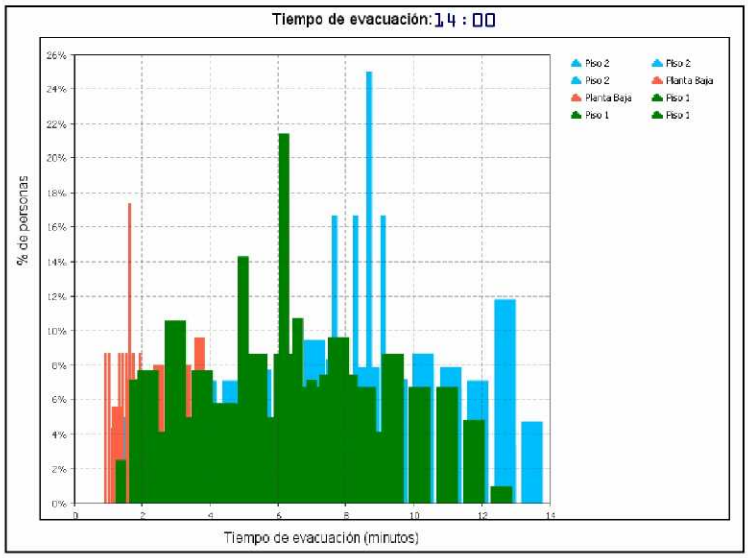


Gráfico N° 25. Tiempo de evacuación total con la propuesta 1
Fuente: Los Investigadores (2014)

A continuación se muestra en la figura Nº 16 el mapa de densidad correspondiente a la Propuesta 1:

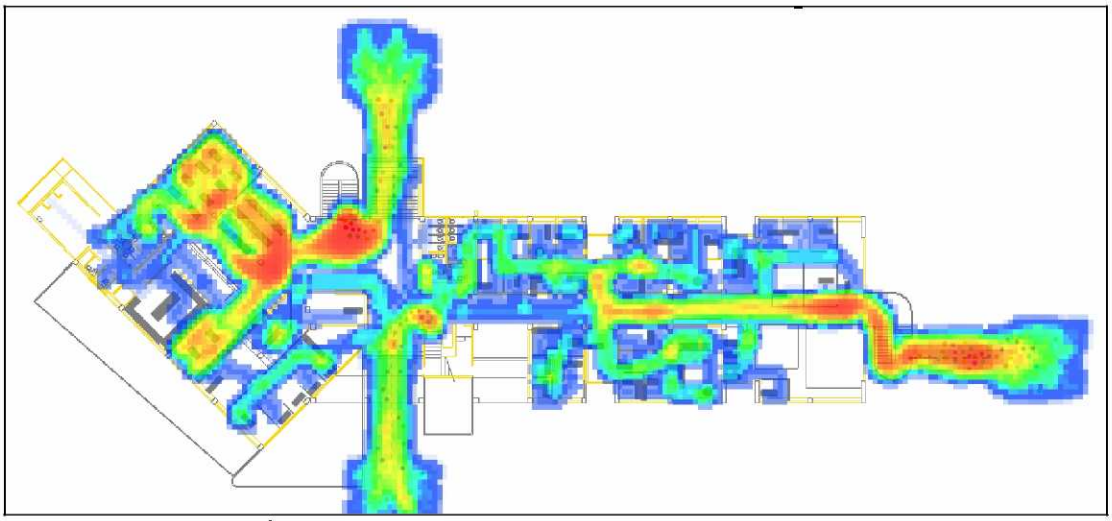


Figura N° 16. Densidad peatonal de Planta Baja con la propuesta 1
Fuente: Los Investigadores (2014)

En el mapa de densidad de observa que hay mayor flujo en la escalera 1 y escalera de emergencia, disminuyéndose el colapso de la escalera 1.

7.1.3 Comparación de la situación actual y Propuesta 1

A pesar de que se observa mayor afluencia de personas desalojando el edificio por la salida de emergencia del área de biblioteca, con esta implementación se reduciría el tiempo total de evacuación del edificio en 3 minutos. Al igual que se reduciría el tiempo de la evacuación de las oficinas de ese lado del edificio de 7 minutos a 2.5 minutos lo cual se considera gran tiempo ganado para estos trabajadores.

7.2 Colocar una escalera de escape para piso 2 (propuesta 2)

Se pudo observar en el Capítulo VII que en los análisis de los diferentes escenarios que representan la situación actual hay un colapso en las escaleras al momento de la evacuación del edificio, ya que es un edificio de dos pisos donde laboran y estudian un aproximado de 840 personas, adicional a las personas que visitan el edificio. A pesar de que existen 3 escaleras se les dificulta a los que se encuentran en el último piso descender a un lugar seguro en poco tiempo. Lo que se propone es que se coloque una escalera de escape únicamente para las personas que se encuentren en piso 2, que sirva así para aliviar el colapso que se genera en las escaleras al momento de evacuar el edificio y las personas puedan salir más rápidamente de él.

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Nro. 2245 (1990), define Escaleras de Escape como: "Son las escaleras de emergencia que permiten la evacuación o desalojo en caso de incendio o cualquier otro tipo de siniestros".

Para esta propuesta se recomienda hacer un estudio a profundidad donde sean los expertos quienes determinen cual es el lugar más idóneo para colocar una escalera adicional, tomando en cuenta toda la normativa explicada en las Normas COVENIN 2245-1990 acerca de los medios de escape.

Sin embargo se colocó una escalera adicional en el modelo con la idea de poder visualizar cómo afectaría al tiempo de evacuación la implementación de esta propuesta. A continuación se muestran los resultados obtenidos en el nuevo modelo, el gráfico Nº 26 y figura Nº 17 representan la situación actual y el gráfico Nº 27 y la figura Nº 18 representan la propuesta.

7.2.1 Situación actual

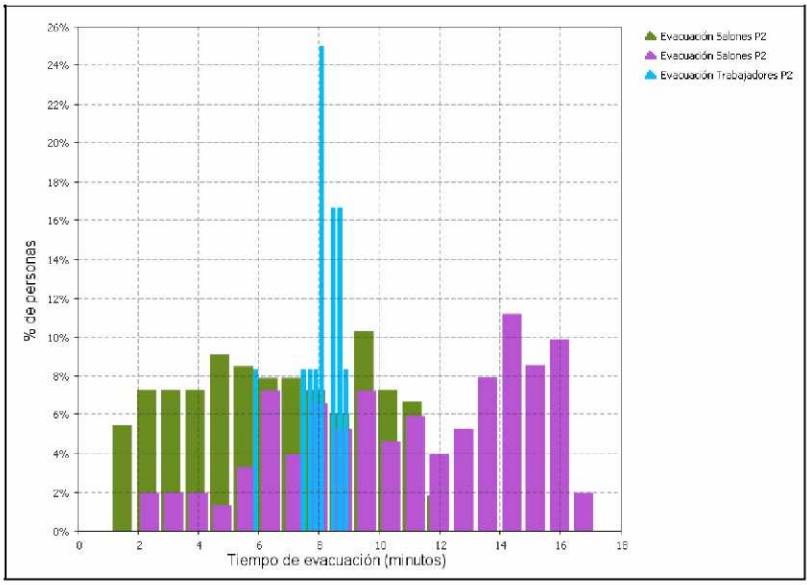


Gráfico N° 26. Tiempo de evacuación sin la propuesta 2 de Piso 2
Fuente: Los Investigadores (2014)

A continuación en la figura Nº 17 se muestra el mapa de densidad correspondiente a la situación actual:

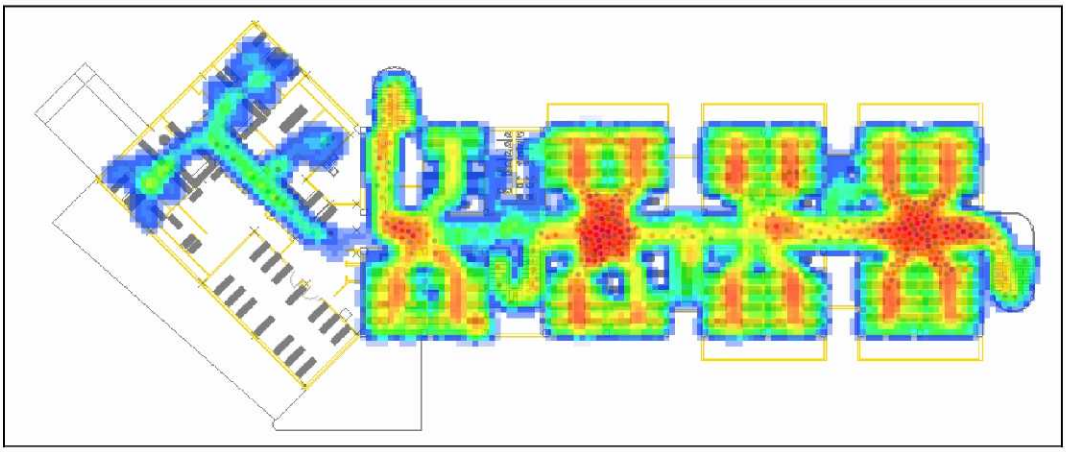


Figura N° 17. Densidad peatonal de Piso 2 sin la propuesta 2
Fuente: Los Investigadores (2014)

7.2.2 *Propuesta 2*

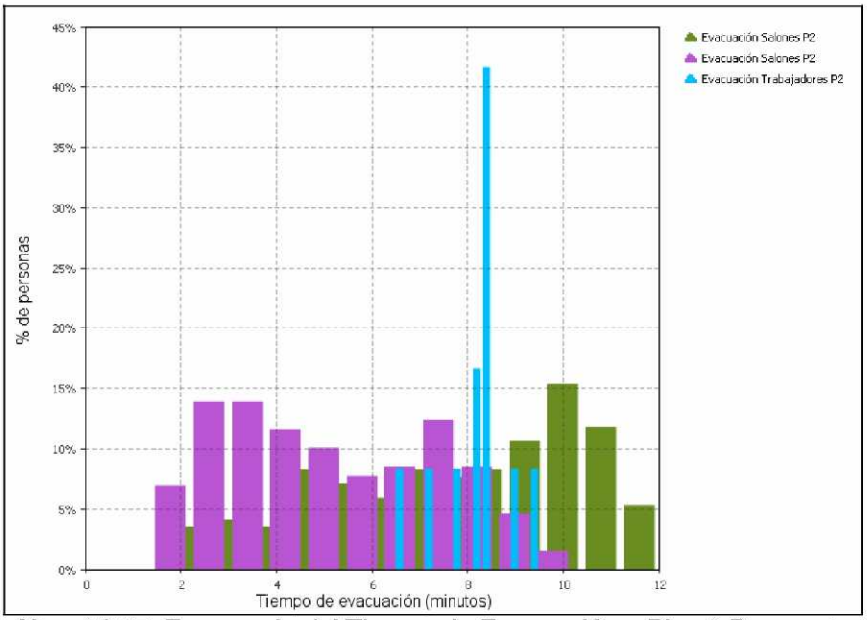


Gráfico N° 27. Frecuencia del Tiempo de Evacuación – Piso 2 Propuesta 2.
Fuentes: Los investigadores (2014).

El tiempo de evacuación de piso con la propuesta fue de 12.10 min, así mismo, se puede observar, que los trabajadores de piso 2 son los que evacúan con mayor rapidez este piso.

A continuación, en la figura N° 18, se muestra el mapa de densidad correspondiente a la propuesta:

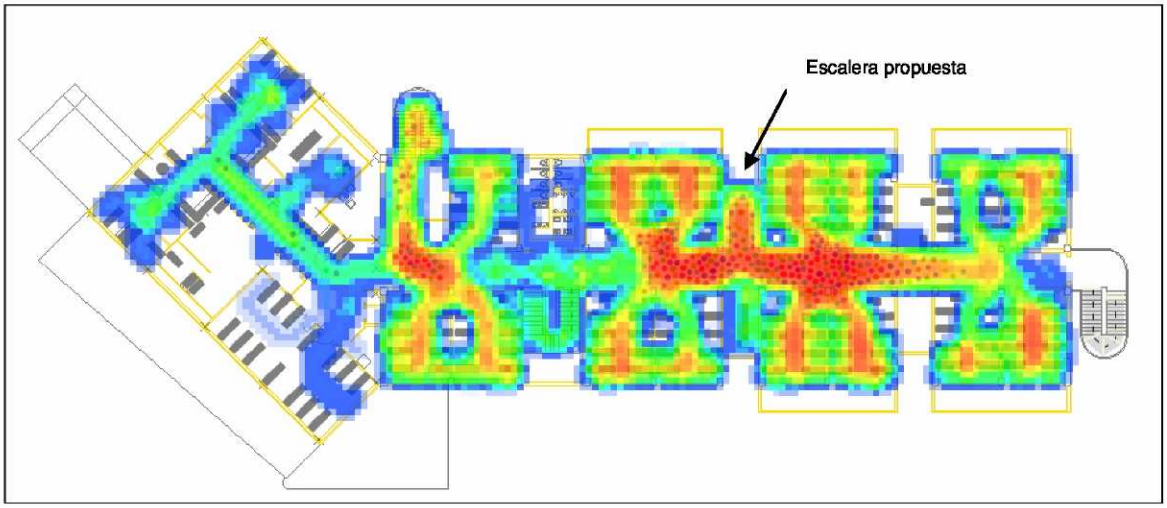


Figura N° 18. Densidad peatonal de Piso 2 con la propuesta 2
Fuente: Los Investigadores (2014)

7.2.3 Comparación de la situación actual y Propuesta 2

Con la implementación de esta propuesta se reduciría el tiempo de la evacuación de piso 2 unos 3 minutos con 53 segundos, casi 4 minutos de diferencia con respecto a la situación actual. Dando un total de tiempo de evacuación de todo el edificio 12.10 minutos, ya que piso 2 es quien demora más en evacuar.

7.3 Implementación de la Propuesta 1 y la Propuesta 2

7.3.1 Situación actual

En el gráfico N°28 que se muestra a continuación se observa que el tiempo de evacuación para el edificio a su máxima capacidad con visitantes es de 17.01 min.

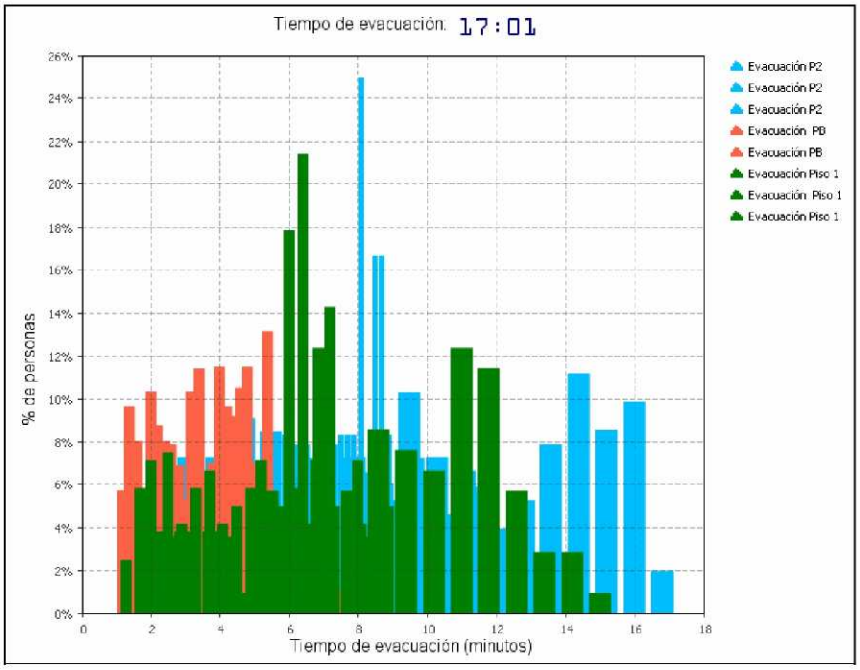


Gráfico N° 28. Frecuencia del tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad
Fuente: Los Investigadores (2014).

7.3.2 Propuesta 1 y Propuesta 2

En el gráfico N° 29 se observa que el tiempo de evacuación para el edificio a su máxima capacidad con visitantes con la propuesta 3 es de 13.38 min.

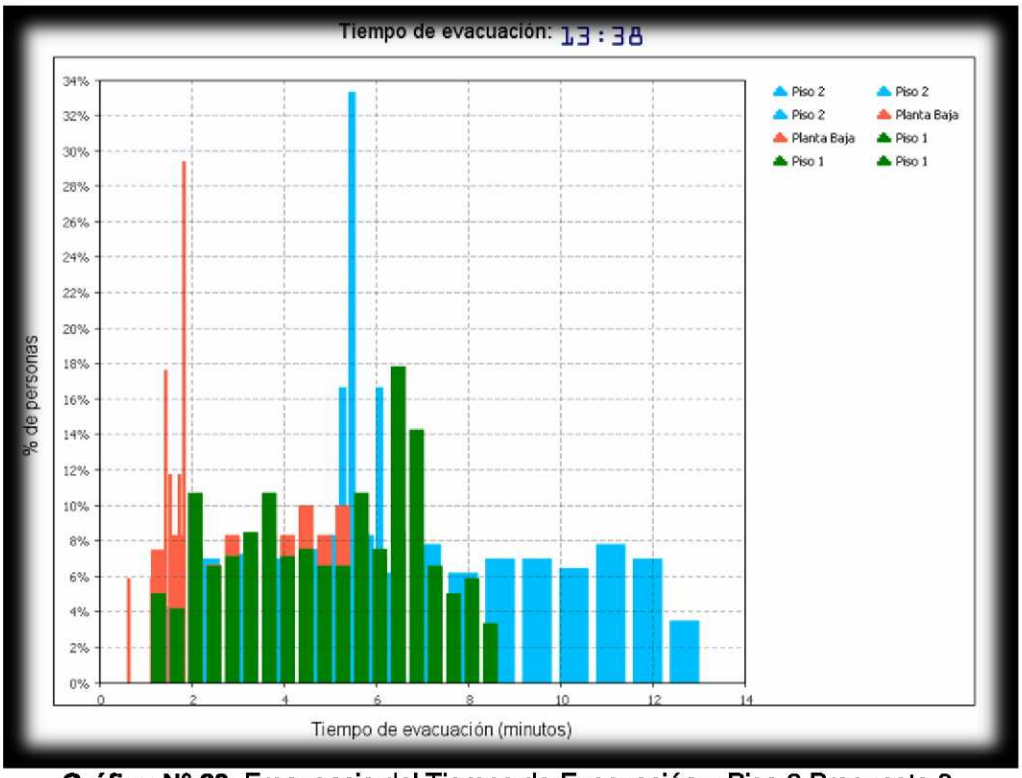


Gráfico N° 29. Frecuencia del Tiempo de Evacuación – Piso 2 Propuesta 3.
Fuentes: Los investigadores (2014).

En el gráfico anterior se observa que el tiempo de evacuación de Planta Baja fue de 6.3 min, piso 1 duró 8.5 min y el de mayor tiempo fue piso 2 con 12.9 min,

A continuación en las Figuras N° 19, 20 y 21 se pueden observar los mapas de densidad de la evacuación del edificio, pudiéndose notar los puntos críticos de la edificación al momento de la evacuación.

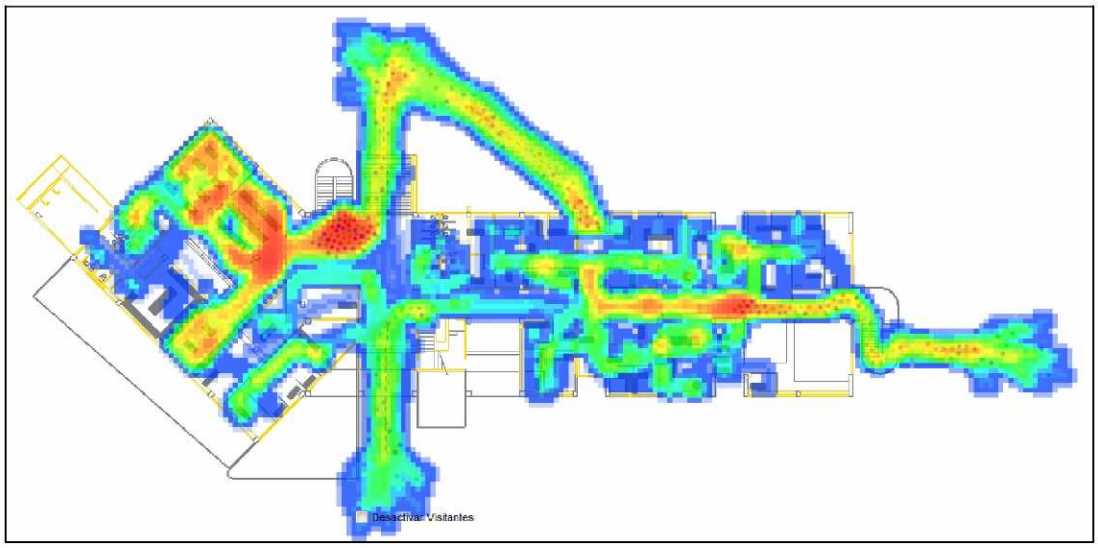


Figura N° 19. Densidad peatonal de piso Planta Baja con la propuesta 3
Fuente: Los Investigadores (2014)

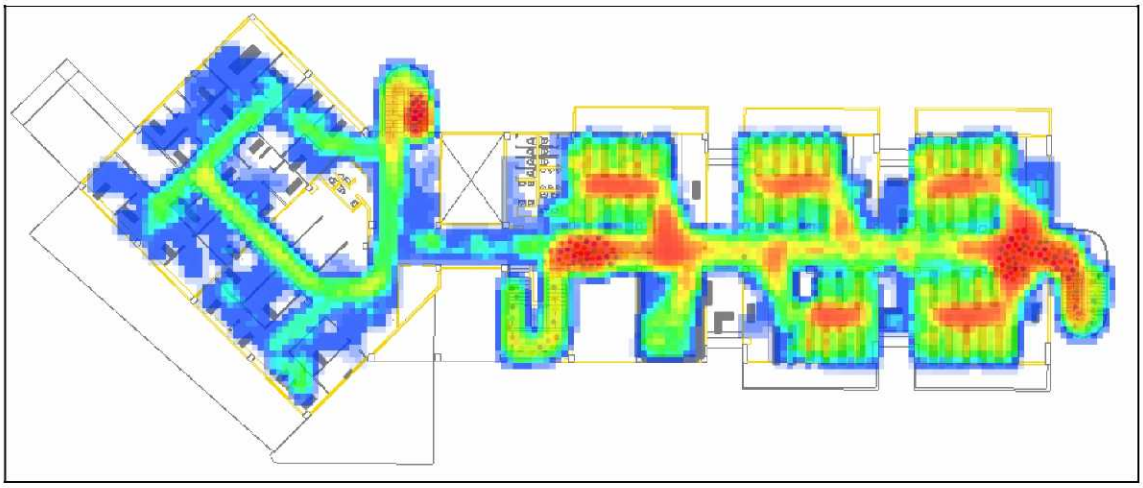


Figura N° 20. Densidad peatonal de Piso 1 con la propuesta 3
Fuente: Los Investigadores (2014)

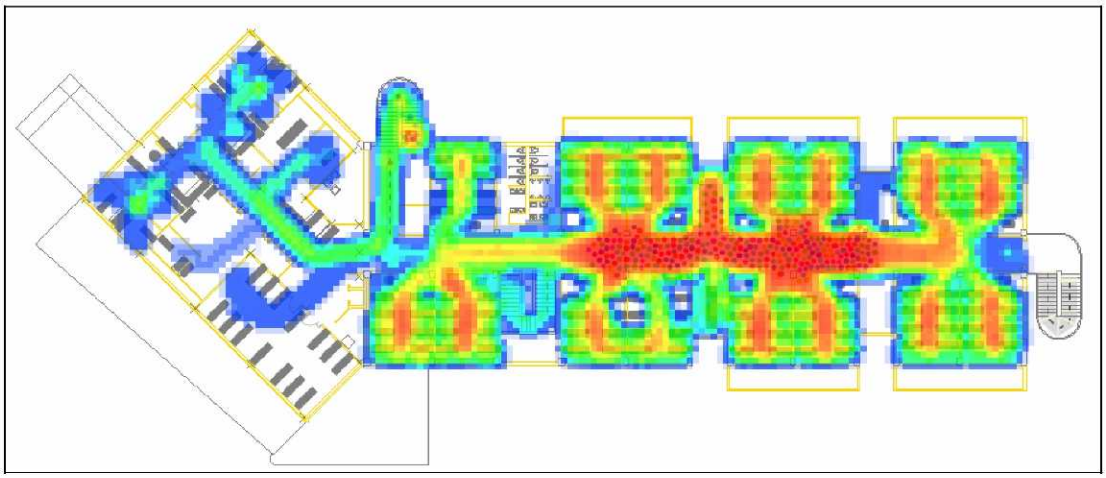


Figura N° 21. Densidad peatonal de Piso 2 con la propuesta 3
Fuente: Los Investigadores (2014)

A continuación en la tabla N° 11 se mostrará un resumen de los resultados de todas las propuestas de mejora:

Tabla N° 11. Tiempo de Evacuación por Propuesta Vs situación actual.

	Tiempo de evacuación del edificio a máxima capacidad (en minutos)	
	Situación Actual	Situación Propuesta
Propuesta 1	17:01	14:00
Propuesta 2		12:10
Propuesta 3		13:38

Fuente: Los investigadores (2014).

7.3.3 Comparación de la situación actual y Propuesta 3

Con la implementación de esta propuesta se lograría reducir el tiempo de evacuación del edificio de Postgrado unos 3 minutos con 23 segundos, debido a que el segundo nivel es evacuado por una salida de emergencia diferente, y así no hay un colapso tan grande en las escaleras de piso 1 y planta baja; y a su vez, el pasillo de emergencia de planta abaja es utilizado como ruta de evacuación.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el presente trabajo especial de grado se logró comprender los procesos a seguir al realizar la evacuación del edificio de Postgrado en el caso de una emergencia. A raíz de este estudio se pudieron representar diversos escenarios y diversas soluciones para agilizar el proceso de salida de las personas que se encuentren dentro de la edificación.

8.1 Conclusiones

- Fue necesaria la elaboración de un plan de evacuación, así como también el diseño de las rutas a seguir del edificio de Postgrado para la Universidad Católica Andrés Bello en caso de evacuación, fue diseñado en conjunto con los Bomberos de Caracas.
- Fue necesaria la actualización de los planos estructurales del edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello para poder inicializar el modelado en el software Anylogic.
- Fue necesaria la recolección de información referente a las personas que laboran en el edificio, así como también de la cantidad de alumnos que ven clase en el mismo, la cantidad de personas que frecuentan el cafetín de Postgrado y el número de visitantes que suelen entrar al edificio.
- Fue necesario definir algunos parámetros con los cuales se trabajó en Anylogic, éstos fueron los siguientes: velocidad inicial de los peatones, velocidad en las escaleras de los peatones y diámetro del peatón. Los cuales son: (4, 5) Kph, (3, 4) Kph y 20.5 pulgadas respectivamente.
- A través del modelado de escenarios utilizando la herramienta Anylogic, se logró elaborar un modelo que permite representar el plan de evacuación del edificio de Postgrado de la Universidad católica Andrés Bello.
- Al momento de realizar la simulación actual, se plantearon dos escenarios: en el primero, se realizó la evacuación del edificio sin tomar en cuenta las personas que acuden a éste con la condición sin visitantes, arrojando un resultado de 16.11 minutos. El segundo escenario incluía a las personas que se encontraban en el edificio en condición de visitantes, y este arrojó un tiempo de evacuación total

de17.01 minutos, tomando en cuenta que la cantidad considerada de visitantes para este escenario fue de 100 personas.

- Al agregar una salida adicional para el segundo piso del edificio, se redujo el tiempo de la evacuación en aproximadamente 4 minutos, debido a que las salidas de emergencia sufren un colapso menor ya que las personas que se encuentran en aula de piso 2 tienen otra vía de escape.
- Al habilitar el pasillo de planta baja como salida de emergencia, se redujo la evacuación total del edificio en aproximadamente 3 minutos, al igual que el tiempo de evacuación de las oficinas del área de estudio de postgrado.
- La segunda y la tercera propuesta fueron las que brindaron una mayor reducción de tiempo en comparación a la situación actual.

8.2 Recomendaciones

- Garantizar el cumplimiento de la normativa COVENIN 810 "Características de los medios de escape en edificaciones según el tipo de ocupación", donde se especifican las características de los pasillos de escape, así como también la iluminación requerida.
- Garantizar el cumplimiento de la normativa COVENIN 187 "Colores, símbolos y dimensiones de las señales de seguridad", donde se especifica la ubicación de los equipos contra incendio y las vías de escape.
- Remover la utilería que obstaculice la salida de emergencia la biblioteca de Postgrado ubicada en planta baja.
- Remover la utilería que obstaculice el pasillo de emergencia del Instituto de Investigaciones Históricas ubicado en planta baja.
- Realizar mantenimiento de todas las lámparas de emergencia ubicadas en el edificio de Postgrado.
- Colocar las rutas de evacuación en cada piso del edificio en un lugar visible para los transeúntes.
- Pautar simulacros preventivos con el personal del edificio de Postgrado, con el fin de concientizarlos sobre las acciones que deben realizar de presentarse la necesidad de evacuar su lugar de trabajo.

- Para la propuesta de la inclusión de una escalera de emergencia que sirva como desalojo para el segundo piso de Postgrado, se recomienda que se realice una consulta al cuerpo de bomberos, y sean ellos quienes decidan sobre el tipo de escalera y la ubicación más adecuada para la misma.
- Para la propuesta del desalojo del pasillo de planta baja, para habilitarlo como salida de emergencia, se recomienda que se haga una consulta a un experto, y que la implementación contemple las normativas establecidas en COVENIN 810 Características de los Medios de Escape en Edificaciones según el Tipo de Ocupación.
- Implementar la segunda y la tercera propuesta, ya que éstas brindan una reducción de tiempo considerable al momento de evacuar el edificio.
- Añadir una salida de emergencia adicional al área de Cafetín, ya que este comedor cuenta con una capacidad máxima mayor a 100 personas y según la norma COVENIN 810 Características de los Medios de Escape en edificaciones según el Tipo de Ocupación, para un aforo mayor a 99 personas se requieren como mínimo dos salidas de emergencia por área.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias impresas:

Libros

- Altiok, T., Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena.* USA: ELSEVIER Inc.
- Chung, Christopher (2004). *Simulation Modeling Handbook A Practical Approach.* CRC Press.
- Estada, Jairo (1993). *Ergonomía. Introducción al análisis del trabajo.*

Referencias de fuentes electrónicas:

Libros

- Gilbert, Nigel (2008). *Agent-Based Models. Quantitative Applications in the Social Science 153.* Londres: SAGE Publications.
- Hurtado de Barrera, J. (2012). *Metodología de la Investigación.* Bogotá-Caracas: Quirón Ediciones.
- Palella Stracuzzi, S., & Martins Pestana, F. (2010). *Metodología de la Investigación Cuantitativa.*Caracas: FEDUPEL.
- K.H.E Kroemer and E. Grandjean (1997). Fitting the task to the human: A Textbook of Occupational Ergonomics. London: Taylor & Francis.
- Manual de Protección Civil. Ingeniero Delfino Hernández. http://www.izt.uam.mx/proteccion_civil/MANUAL__Evac_Instal.pdf

Normas Venezolanas

- Venezuela. Ministerio de Fomento, Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1990). Guía para la elaboración de planes para el control de emergencias (COVENIN N° 2226). Caracas.

- Venezuela. Ministerio de Fomento, Comisión Venezolana de Normas Industriales. (2001). Gestión de riesgo, emergencias y desastres. Definición de términos (COVENIN N° 3661). Caracas.
- Venezuela. Ministerio de Fomento, Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1992). Colores, símbolos y dimensiones de señales de seguridad (COVENIN N° 187). Caracas.
- Venezuela. Ministerio de Fomento, Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1998). Características de los medios de escape en edificaciones según el tipo de ocupación (COVENIN N° 810). Caracas.
- Venezuela. Ministerio de Fomento, Comisión Venezolana de Normas Industriales. (2002). Formulación y preparación de un plan de actuación para emergencias en instalaciones educativas (COVENIN N° 3791). Caracas.

Trabajo Especial de Grado

- Ortega A., Manuel A. & Starita F., Nicola A. (2010). *Desarrollo de un modelo de simulación, de dinámicas de peatones, que permita proponer mejoras en la circulación de personas dentro de una tienda de conveniencia*. Universidad Católica Andrés Bello.
- Gibbs M., Esther F & Lidueña S., Arturo. (2014). *Desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalué el plan de evacuación para el edificio de oficina de una universidad privada, en Caracas.* Universidad Católica Andrés Bello.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

"Desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes, que represente y evalúe el plan de evacuación para el edificio de Postgrado de una universidad privada, en Venezuela."

(TOMO II: ANEXOS)

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR:	Machado A., Ma. Alexandra. Salazar H., Marialcira.
PROFESOR GUÍA:	Ing. Alirio Villanueva.
FECHA:	Octubre 2014.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS iv
ANEXO I 1
LIBRERÍA DE OBJETOS DEL SOFTWARE ANYLOGIC 1
1.1 General Palette 1
1.1.1 Agent 1
1.1.2 Parameter 1
1.1.3 Variable 1
1.1.4 Collection 1
1.1.5 Function 2
1.1.6 Table function 2
1.1.7 Schedule 2
1.1.8 Event 2
1.1.9 Dynamic event 2
1.1.10 Port 2
1.1.11 Connector 3
1.2 Modeling stairs 3
1.3 Pedestrian Library 3
1.3.1 Ped Source 3
1.3.2 Ped Sink 3
1.3.3 PedGo To 3
1.3.4 Ped Service 3
1.3.5 PedWait 4
1.3.6 Ped SelectOutput 4
1.3.7 PedEnter 4
1.3.8 PedExit 4
1.3.9 PedChangeGround 4

1.3.10 PedAreaDescriptor 4

1.3.11 PedGroupAssemble 4

1.3.12 PedGroupChangeFormation 4

1.3.13 PedGroupDisassemble 4

1.3.14 PedSettings 5

ANEXO II 6

PLANOS DEL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO 6

2.1 Plano de Planta Baja 6

2.2 Plano de Piso 1 7

2.3 Plano de Piso 2 8

ANEXO III 9

PLANOS ACTUALIZADOS DEL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO 9

3.1 Plano de Planta Baja 9

3.2 Plano de Piso 1 10

3.3 Plano de Piso 2 11

ANEXO IV 12

RUTAS DE EVACUACIÓN DEL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO 12

4.1 Ruta de evacuación Planta Baja 12

4.2 Ruta de evacuación de Piso 1 13

4.3 Ruta de evacuación de Piso 2 14

ANEXO V 15

DESCRIPCIÓN DE LA ELABORACIÓN DE LAS LÓGICAS DEL MODELO 15

5.1 Adición del dibujo CAD del edificio de Postgrado 15

5.2 Definición de los Agentes 15

5.3 Desarrollo del agente MainTesis 16

5.4 Desarrollo de la lógica de TrabajadoresPB, ComportamientoP1, ComportamientoSalonesP2, TrabajadoresP2 y Visitantes 17

5.5 Desarrollo de la Lógica de Evacuación 18

ANEXO VI 19
REPRESENTACIÓN DE LAS LÓGICAS DEL MODELO 19
6.1 Lógica de movimiento de peatones en Planta Baja. 19
6.2 Lógica de movimiento de peatones en Piso 1 20
6.4 Lógica de movimiento de peatones en oficinas de Piso 2 22
6.5 Lógica de movimiento de visitantes 23
6.6 Lógica de Evacuación de Peatones desde Planta Baja. 24
6.7 Lógica de Evacuación de Peatones desde Piso 1 25
6.8 Lógica de Evacuación de Peatones desde Piso 2 26
6.9 Variables 27
ANEXO VII 28
DIAGRAMAS DE FLUJOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PEATONES EN EL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO 28
7.1 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de postgrado. 28
7.2 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que estudian en el edificio de postgrado. 29
7.3 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones en condición de visitantes en el edificio de postgrado 30
7.4 Diagrama de flujo de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de postgrado. 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Imagen del plano de Planta Baja del edificio de Postgrado de la UCAB..... 6

Figura N° 2. Imagen del plano de Piso 1 del edificio de Postgrado de la UCAB..... 7

Figura N° 3. Imagen del plano de Piso 2 del edificio de Postgrado de la UCAB..... 8

Figura N° 4. Imagen del plano actualizado de Planta Baja del edificio de Postgrado de la UCAB. 9

Figura N° 5. Imagen del plano actualizado de Piso 1 del edificio de Postgrado de la UCAB. 10

Figura N° 6. Imagen del plano actualizado de Piso 2 del edificio de Postgrado de la UCAB. 11

Figura N° 7. Imagen de ruta de evacuación de Planta Baja del edificio de Postgrado..... 12

Figura N° 8. Imagen de ruta de evacuación de Piso 1 del edificio de Postgrado..... 13

Figura N° 9. Imagen de ruta de evacuación de Piso 2 del edificio de Postgrado..... 14

Figura N° 10. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en Planta Baja. 19

Figura N° 11. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en Piso 1..... 20

Figura N° 12. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en los salones de Piso 2. 21

Figura N° 13. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en oficinas de Piso 2..... 22

Figura N° 14. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de visitantes. 23

Figura N° 15. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente a la evacuación de Planta Baja. 24

Figura N° 16. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente a la evacuación de Piso 1.25

Figura N° 17. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente a la evacuación de Piso 2.26

Figura N° 18. Imagen de las variables que influyen en el modelo. 27

Figura N° 19. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de Postgrado. 28

Figura N° 20. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que estudian en el edificio de Postgrado. 29

Figura N° 21. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones en condición de visitantes en el edificio de Postgrado. 30

Figura N° 22. Imagen del diagrama de flujo de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de Postgrado..... 31

ANEXO I

LIBRERÍA DE OBJETOS DEL SOFTWARE ANYLOGIC

1.1 General Palette

General Palette contiene elementos generales utilizados para definir la dinámica del modelo, su estructura y los datos.

1.1.1 Agent

Agente es una unidad de diseño del modelo donde se pueden establecer comportamientos, memoria (historia), contactos, etc., a aquel parámetro que representan, tales como: vehículos, unidades de equipo, proyectos, productos, ideas, entre otros.

En un agente se pueden definir variables, eventos, gráficos de estado, Dinámica de Sistema de Valores y diagramas de flujo.

1.1.2 Parameter

Los agentes pueden tener parámetros. Los parámetros son frecuentemente usados para representar algunas características del objeto modelado. Son de mucha ayuda cuando objetos tienen el mismo comportamiento descrito, pero difieren en algunos valores de los parámetros.

Todos los parámetros son visibles y cambiantes a lo largo de la ejecución del modelo.

1.1.3 Variable

Los agentes pueden contener variables. Éstas se utilizan generalmente para almacenar los resultados del modelo de simulación o para modelar algunas unidades de datos o características de los objetos, cambiantes en el tiempo.

1.1.4 Collection

Una colección representa un grupo de objetos, conocido como sus elementos. Se utilizan para almacenar, recuperar y manipular datos agregados. Por lo general, representan los elementos de datos que forman un grupo natural, como lo es una cola.

1.1.5 Function

Anylogic permite definir funciones propias. "Function" devolverá el valor de una expresión cada vez que el usuario la llame del modelo. Son de mucha ayuda cuando se necesita re-usar la misma función en múltiples lugares del modelo.

1.1.6 Table function

Anylogic soporta funciones de tipo especial. Table function es una función definida en forma de tabla. Se puede hacer que sea continua mediante la interpolación y/o extrapolación. Puede que se necesiten funciones de tabla para definir relaciones no lineales que no se pueden describir como composición de funciones estándar.

1.1.7 Schedule

Schedule permite definir como algunos valores cambian en el tiempo de acuerdo a un patrón cíclico definido.

Schedule es frecuentemente utilizado para definir:

- Cronograma de un conjunto de recursos definidos con el ResourcePool.
- Los tiempos de generación de entidad, o el patrón cíclico de la tasa de llegada de entidades en el objeto de origen.
- Los tiempos de generación de peatones, o un patrón cíclico de la tasa de llegada peatonal del objeto PedSource.

1.1.8 Event

Event es la forma más sencilla de programar algún tipo de acción en el modelo. Por lo tanto, los eventos se utilizan comúnmente para modela retrasos y tiempos de espera.

1.1.9 Dynamic event

Dynamic event se utiliza para programar cualquier número de eventos simultáneos e independientes.

1.1.10 Port

Los puertos juegan un papel central en el mecanismo de intercambio de mensajes. Los mensajes son enviados y recibidos a través de los puertos. Éstos son bidireccionales y pueden servir tanto como receptores como emisores.

1.1.11 Connector

Un conector es una línea que permite conectar dos puertos o dos variables. Se utilizan para establecer la interacción entre objetos que se necesite.

1.2 Modeling stairs

En Anylogic se pueden definir escaleras que conectan dos pisos usando un área peatonal. En ésta área se modifican los parámetros de velocidad.

1.3 Pedestrian Library

Pedestrian Library está dedicada a simular el flujo peatonal en un ambiente "físico". Permite crear modelos peatonales de edificios o calles. Estos modelos permiten recolectar estadísticas de la densidad peatonal en diversas áreas, para asegurar un buen rendimiento de los puntos de servicio, detectar potenciales problemas, entre otras cosas. En los modelos creados con Pedestrian Library, los peatones poseen un movimiento continuo en el espacio, reaccionando a diferentes tipos de obstáculos (paredes, diferentes áreas) y otros peatones.

Los modelos de peatones se componen de dos partes principales, el medio ambiente y el comportamiento. Los peatones "viven" en el medio ambiente y se mueven de acuerdo a las reglas físicas simuladas. Por otro lado, los peatones se mueven en el diagrama de flujo igual que otras entidades.

1.3.1 Ped Source

General peatones. Usualmente es usado como punto inicial del flujo peatonal.

1.3.2 Ped Sink

Se deshace se peatones. Se utiliza generalmente como punto final de un flujo peatonal.

1.3.3 PedGo To

Mueve peatones a un destino especificado.

1.3.4 Ped Service

Simula el comportamiento de los peatones en un servicio.

1.3.5 *PedWait*

Indica a los peatones que deben esperar un tiempo y en un lugar especificado.

1.3.6 *Ped SelectOutput*

Proporciona cinco (5) puertos de salida para los peatones, que pueden ser asumidos como condiciones o porcentajes.

1.3.7 PedEnter

Coloca a los peatones en un entorno simulado.

1.3.8 *PedExit*

Elimina a los peatones de un entorno simulado.

1.3.9 *PedChangeGround*

Mueve a los peatones a diversos lugares especificados previamente.

1.3.10 *PedAreaDescriptor*

Define las normas y/0 restricciones de velocidad para peatones en la zona. Permite modificar la velocidad de los peatones y definir una velocidad máxima.

1.3.11 *PedGroupAssemble*

Organiza grupos de secuencia de peatones en el puerto de entrada. También se utiliza para rearmar los grupos que han sido divididos por bloques que no son compatibles con los grupos (como el bloque PedService)

1.3.12 *PedGroupChangeFormation*

Mueve un grupo de peatones para cambiar su forma a una especificada cuando el líder del grupo pasa a este objeto.

1.3.13 *PedGroupDisassemble*

Disuelve el grupo armado cuando el líder entra en este objeto. Los peatones pasan a ser independientes el uno del otro y siguen sus trayectorias individuales.

1.3.14 *PedSettings*

Permite especificar los parámetros generales relacionados con todos los objetos de la Pedestrian Library.

ANEXO II

PLANOS DEL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

2.1 Plano de Planta Baja

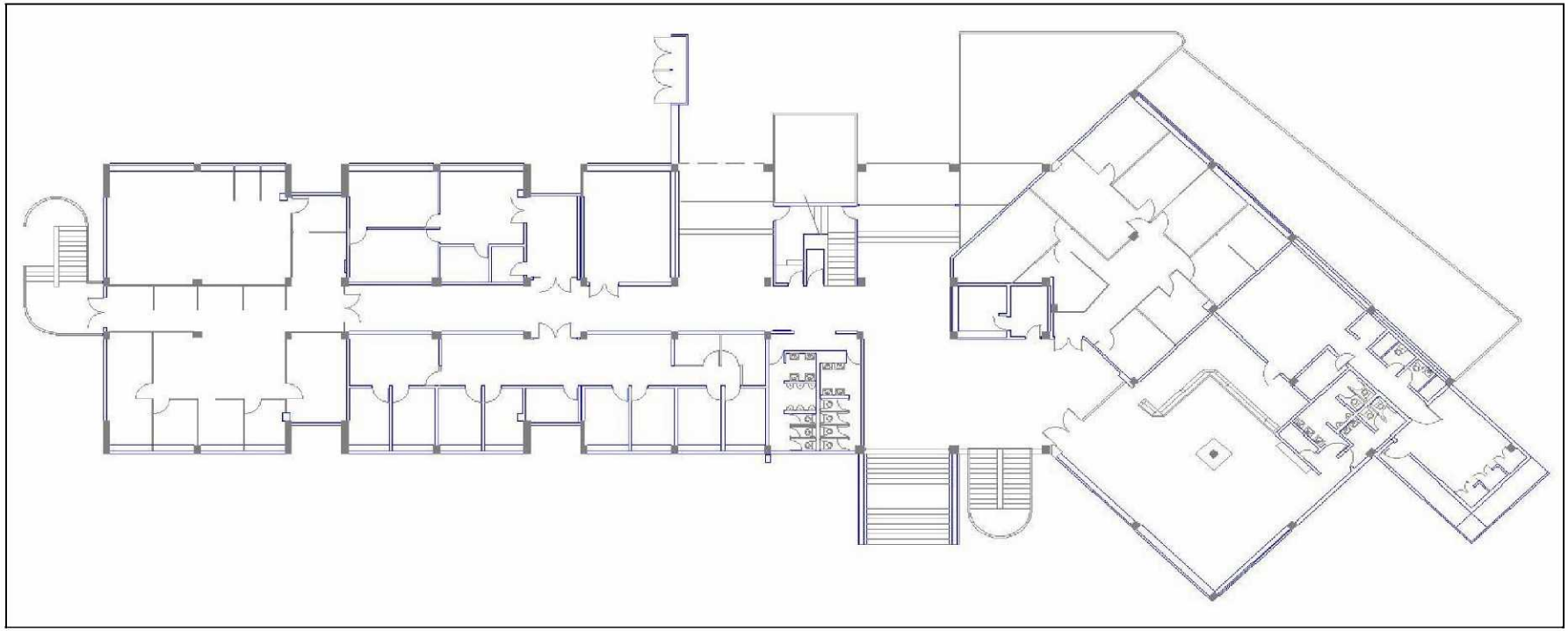


Figura N° 1. Imagen del plano de Planta Baja del edificio de Postgrado de la UCAB.

Fuente: Los Investigadores (2014).

2.2 Plano de Piso 1

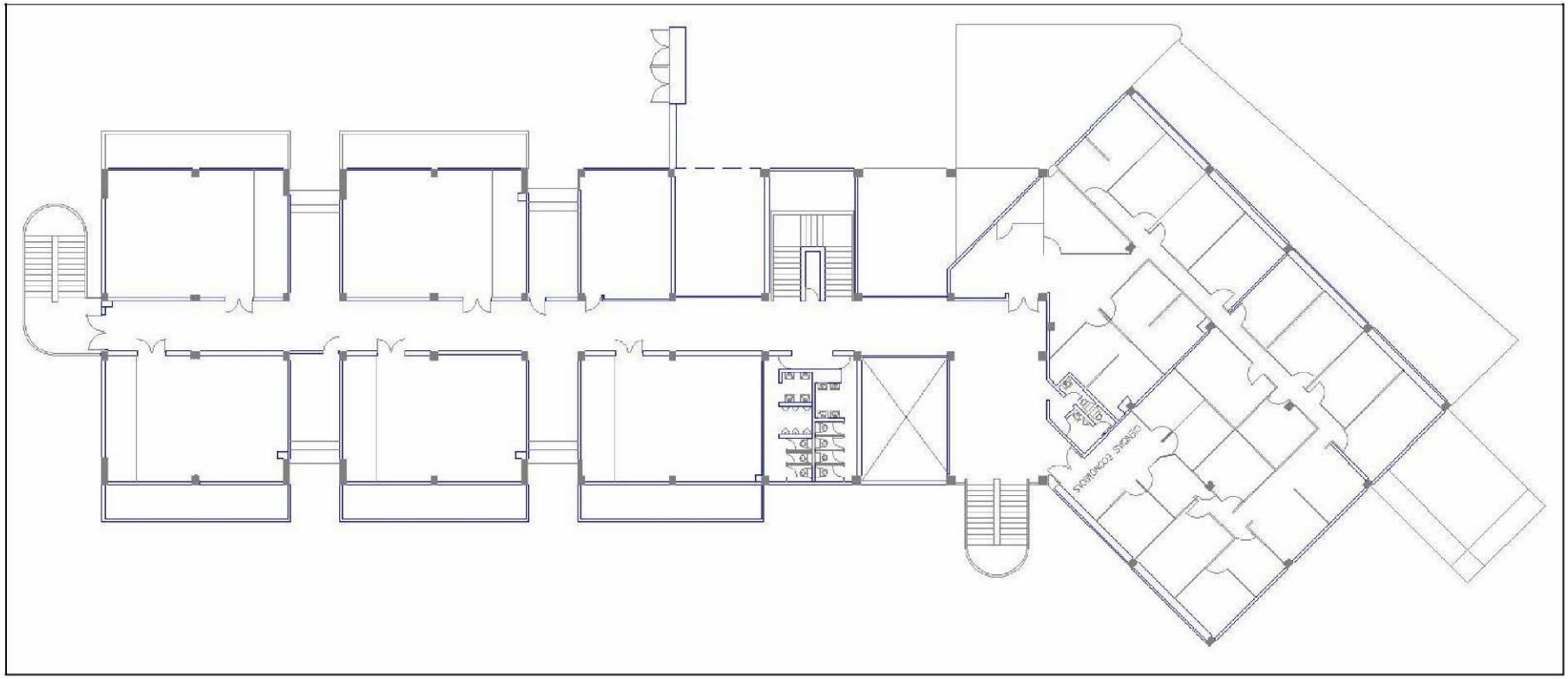


Figura N° 2. Imagen del plano de Piso 1 del edificio de Postgrado de la UCAB.

Fuente: Los Investigadores (2014).

2.3 Plano de Piso 2

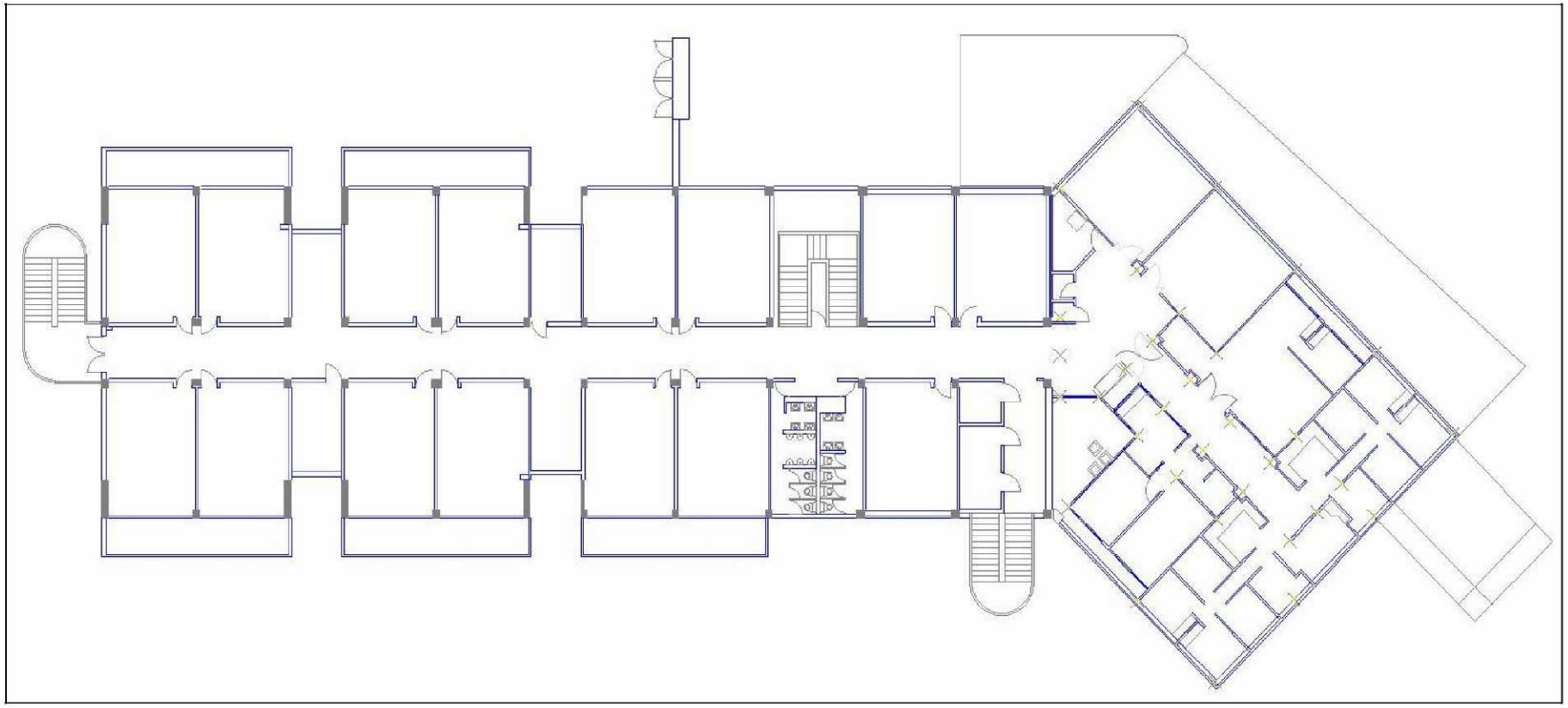


Figura N° 3. Imagen del plano de Piso 2 del edificio de Postgrado de la UCAB.

Fuente: Los Investigadores (2014).

ANEXO III

PLANOS ACTUALIZADOS DEL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

3.1 Plano de Planta Baja

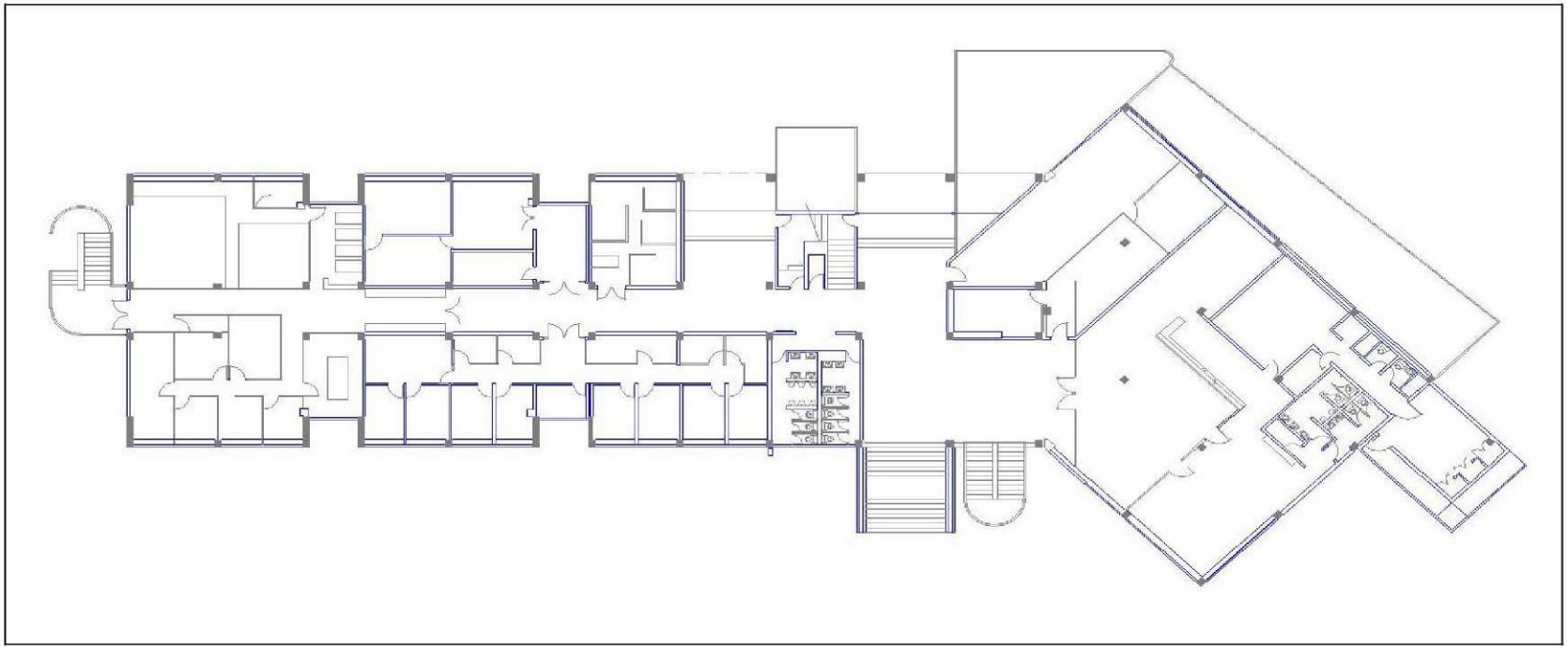


Figura N° 4. Imagen del plano actualizado de Planta Baja del edificio de Postgrado de la UCAB.

Fuente: Los Investigadores (2014)

3.2 Plano de Piso 1

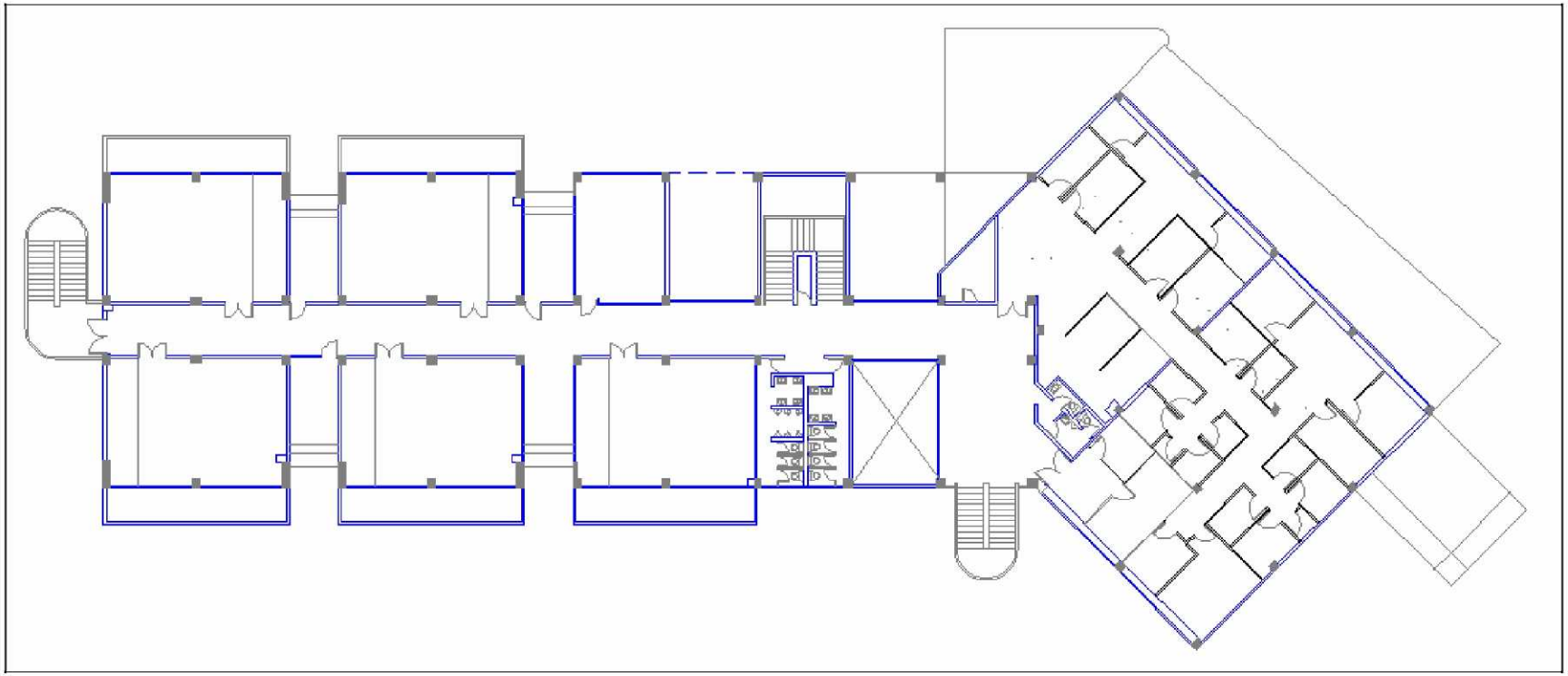


Figura N° 5. Imagen del plano actualizado de Piso 1 del edificio de Postgrado de la UCAB.

Fuente: Los Investigadores (2014)

3.3 Plano de Piso 2

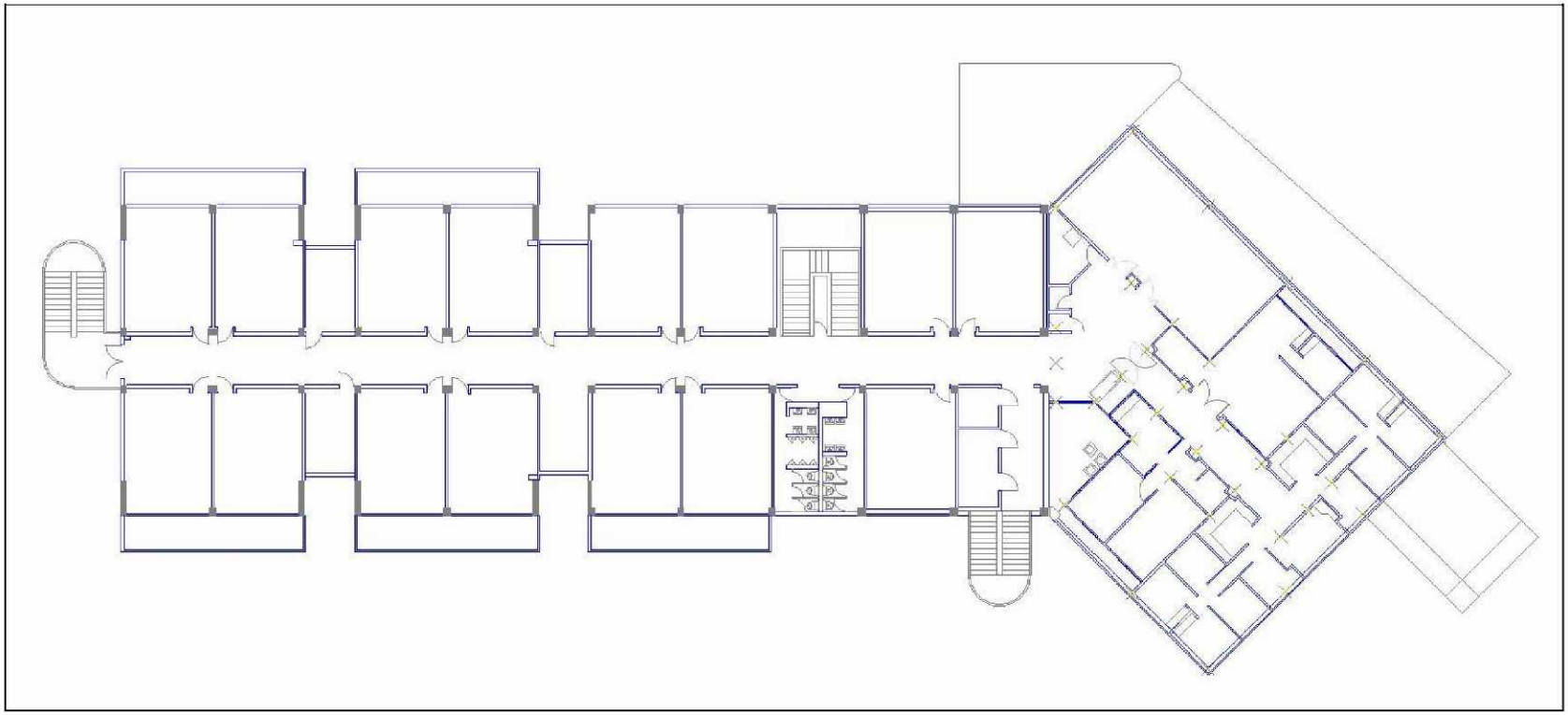


Figura N° 6. Imagen del plano actualizado de Piso 2 del edificio de Postgrado de la UCAB.

Fuente: Los Investigadores (2014)

ANEXO IV

RUTAS DE EVACUACIÓN DEL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

4.1 Ruta de evacuación Planta Baja

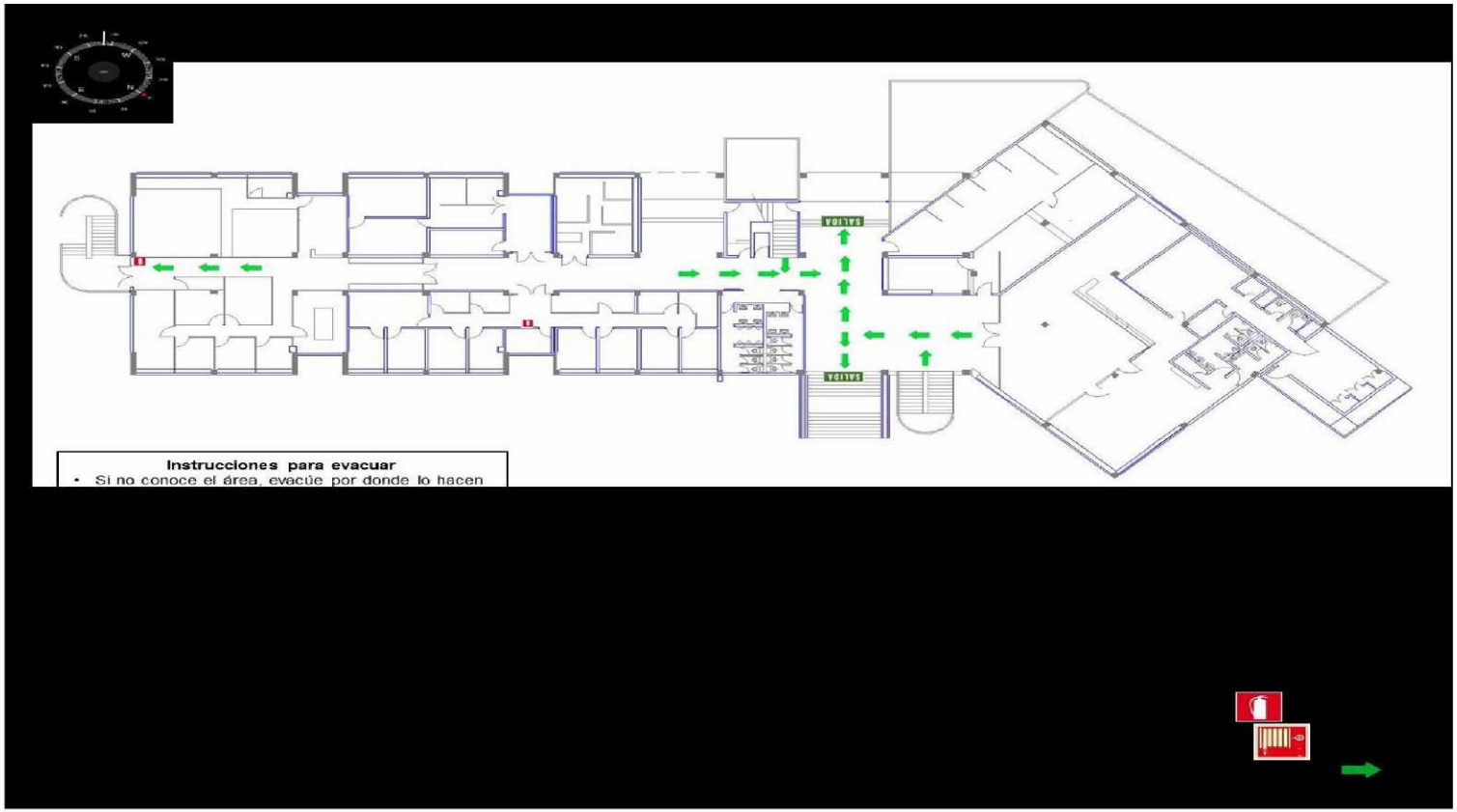


Figura N° 7. Imagen de ruta de evacuación de Planta Baja del edificio de Postgrado.

Fuente: Los Investigadores (2014).

4.2 Ruta de evacuación de Piso 1

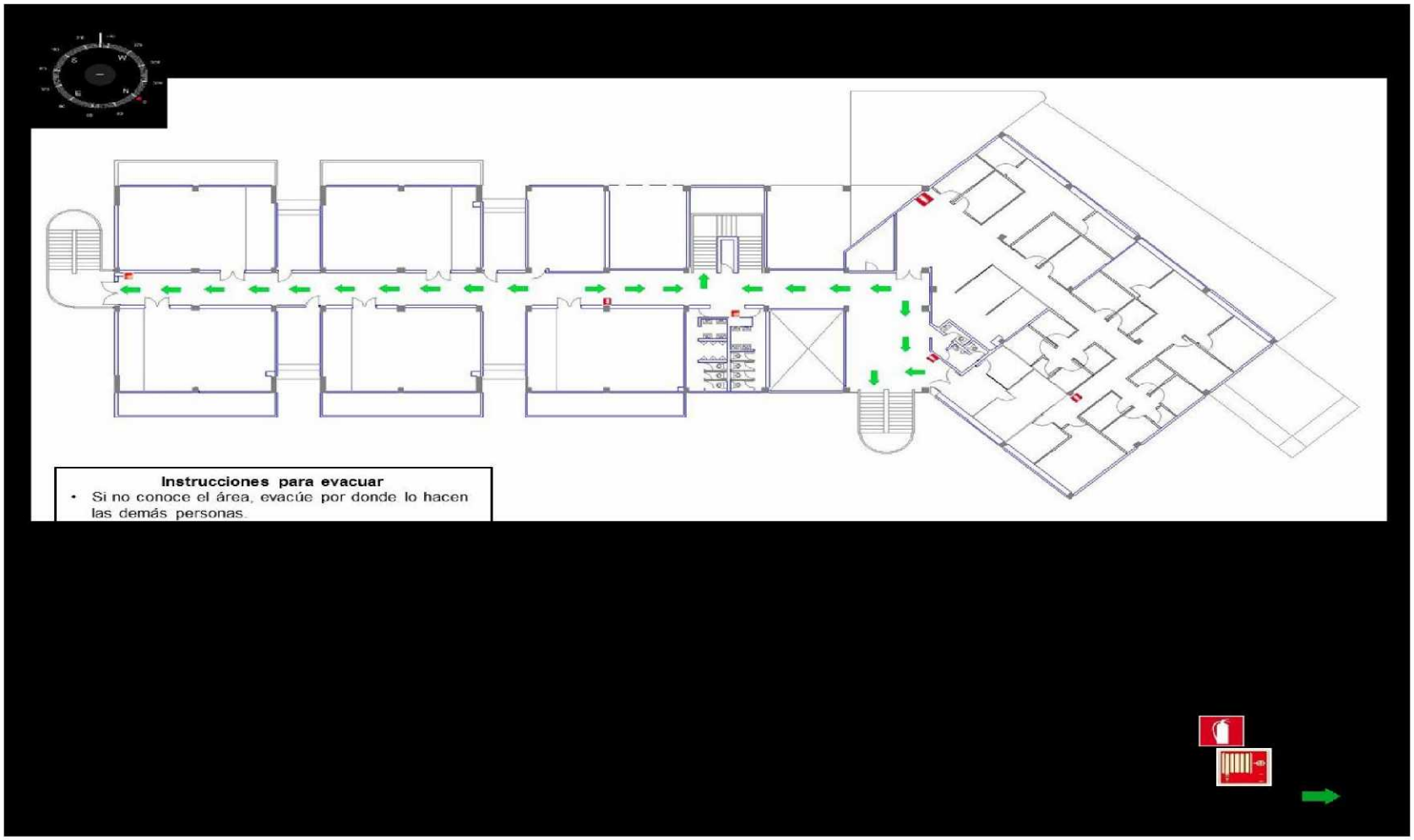


Figura N° 8. Imagen de ruta de evacuación de Piso 1 del edificio de Postgrado.

Fuente: Los Investigadores (2014).

4.3 Ruta de evacuación de Piso 2

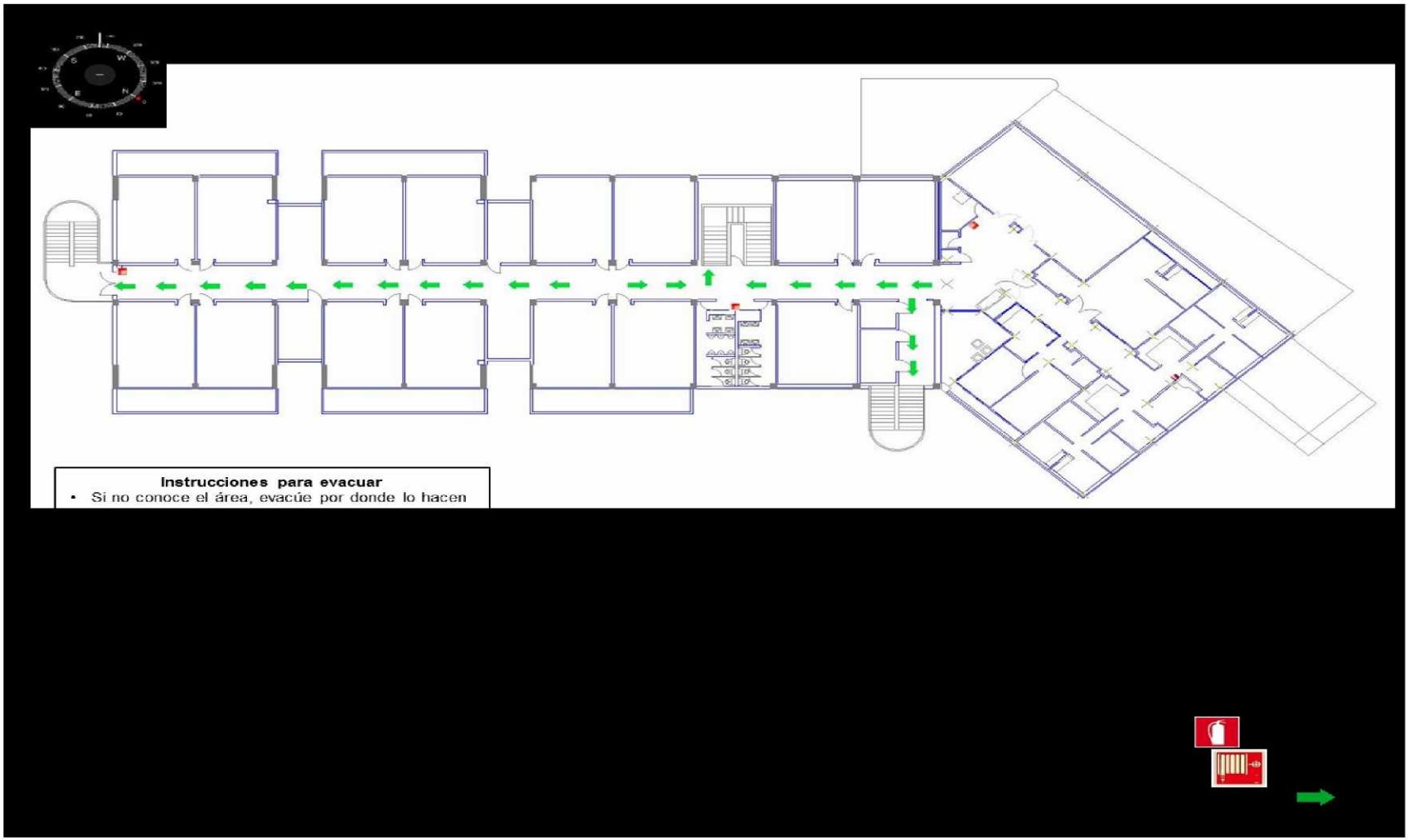


Figura N° 9. Imagen de ruta de evacuación de Piso 2 del edificio de Postgrado.

Fuente: Los Investigadores (2014).

ANEXO V

DESCRIPCIÓN DE LA ELABORACIÓN DE LAS LÓGICAS DEL MODELO

5.1 Adición del dibujo CAD del edificio de Postgrado

Anylogic permite importar dibujos CAD (en formato DXF), el cual contiene el diseño de cada uno de los planos de los pisos del edificio, quienes determinaran el espacio físico donde se podrán mover los peatones.

Con el elemento de la paleta de presentación de forma "CAD drawing" se importaron los planos de cada piso del edificio de postgrado en formato DXF.

Para modelar la dinámica de los peatones en dichos planos, se deben dibujar las paredes y los obstáculos (escritorios, mesas, puertas, entre otros), para ello se contó con el elemento "Wall". El cual se utiliza para remarcar las paredes y obstáculos que se encuentran en el plano previamente insertado.

5.2 Definición de los Agentes

Los agentes pueden representar diversas cosas, tales como productos, organizaciones, vehículos, entre otros. Para esta investigación los agentes representarán las diversas lógicas de comportamiento y evacuación de cada piso.

Este modelo está constituido por 9 agentes, los cuales se describen a continuación:

MainTesis: en este agente se representa el espacio físico en el cual se mueven los peatones, así como también las llegadas de todos los peatones a la edificación.

TrabajadoresPB: en este agente se representa el comportamiento de los peatones cuya ruta a seguir es la de planta baja, incluyendo tanto a trabajadores como a personas que se dirigen a cafetín.

ComportamientoP1: en este agente se representa el comportamiento de los peatones cuya ruta a seguir es la de piso 1, incluyendo tanto a trabajadores como a estudiantes de esta área.

ComportamientoSalonesP2: en este agente se representa el comportamiento de los peatones cuya ruta a seguir es la de los salones de piso 2.

TrabajadoresP2: en este agente se representa el comportamiento de los peatones cuya ruta a seguir es la de los trabajadores de piso 2.

Visitantes: en este agente se representa el comportamiento de los peatones cuya ruta a seguir es la de los visitantes, en esta lógica se define el comportamiento que tendrán los visitantes del edificio.

LogicaEvacuacionPB: en este agente se representa el comportamiento de los peatones que se encuentra en planta baja una vez accionada la alarma.

LogicaEvacuacionPiso1: en este agente se representa el comportamiento de los peatones que se encuentra en piso 1 una vez accionada la alarma.

LogicaEvacuacion: en este agente se representa el comportamiento de los peatones que se encuentra en piso 2 una vez accionada la alarma.

5.3 Desarrollo del agente MainTesis

En este agente se insertan los planos de Autocad, posterior a esto se delimitan las áreas de la edificación utilizando las diversas herramientas de Anylogic tales como: "Line", "Walls", "Grounds", entre otros.

A cada piso se le caracteriza un "GroundFlor" específico para poder indicar que no pertenecen al mismo espacio continuo en el plano.

En cada GroundFlor se guardan los respectivos elementos que fueron utilizados en esta área. Dichos elementos utilizados fueron necesarios para definir las paredes, los escritorios, las rutas de evacuación, líneas de acceso al edificio y entre pisos, las áreas de trabajadores, estudiantes, baños, escaleras y los rectángulos utilizados para localizar los lugares seguros una vez los peatones salieran del edificio.

También fue agregado un botón de alarma, el cual se programó para cancelar todas las acciones de los peatones que se encuentren en la edificación e indicarles la lógica de evacuación que deben cumplir.

Las llegadas (pedSource) de las diversas áreas de la edificación fueron insertadas en este agente, indicando el horario al cual pertenecían, así como también su tasa de llegada.

Este agente fue vinculado con todos los otros agentes desarrollados en este modelo.

5.4 Desarrollo de la lógica de TrabajadoresPB, ComportamientoP1, ComportamientoSalonesP2, TrabajadoresP2 y Visitantes.

Las lógicas de comportamiento no varían mucho, ya sea de estudiantes o trabajadores, o de un piso u otro. Todas tienen la misma estructura principal.

En el caso de estudiantes y trabajadores lo que cambia es el área en el cual peatón que llega cumple su tiempo de servicio (pedService), para indicar su trabajo o estudio.

En el caso de los niveles, la diferencia son los bloques de cambios de piso (pedChangeGround) que requieran dependiendo del piso al cual pertenecen.

La lógica en si tiene la siguiente estructura:

- Llegada de los peatones creados en MainTesis a través de un puerto de conexión (pedSource).
- Se coloca un bloque condicional en el cual se le indica al peatón que si la alarma se encuentra activada se dirijan a la ruta de evacuación correspondiente.
- Posterior al punto anterior, si la alarma no se encuentra activada, el peatón realizará cuantos cambios de piso sean necesarios para llegar a su destino final. (Lo máximo son dos cambios de piso, los cuales corresponden a los peatones que se dirigen al piso 2).
- Una vez en el piso correspondiente, el peatón se dirige a una selección (pedSelectoutPut), en la cual a través de porcentajes se le indica a cuál área debe dirigirse.
- Una vez en el área, el peatón cumple un período de trabajo (o estudio), que se establece en cada bloque.
- Una vez culminado el período de trabajo/estudio, el peatón se encuentra ante una selección (pedSelectOutPut), en la cual un porcentaje de las personas que se encuentran trabajando/estudiando deciden si dejan el puesto de trabajo o no.
- Si su decisión es dejar el puesto de trabajo, el peatón se dirige a un pedWait, el cual representa el período del tiempo en el cual una persona demora en el baño o toma un descanso corto de su puesto de trabajo.

- Una vez concluido el tiempo en el baño o descanso, los peatones retornan a su trabajo/estudio.

Los visitantes siguen la lógica descrita anteriormente, sin embargo, si la alarma no ha sido accionada y el tiempo de visita culminó, los peatones se dirigen a la entrada de planta baja y abandonan el modelo.

5.5 Desarrollo de la Lógica de Evacuación

Dependiendo del lugar en el cual se encuentre situado el peatón al momento de ser accionada la alarma, éste sigue la lógica de evacuación correspondiente al área en el cual se encuentre. Sin embargo, lo que varía de las diversas áreas de evacuación son las rutas a seguir, ya que la estructura de todas es prácticamente la misma, exceptuando los bloques de cambios de piso (pedChangeGround) que necesite el peatón dependiendo del nivel en el cual se encuentre para poder llegar a planta baja.

La lógica de evacuación consiste en lo siguiente:

- Empieza en el puerto de conexión, el cual va conectado del agente en el cual se encuentre el peatón.
- Se empieza a medir el tiempo de evacuación a través de un timeMeasureStart
- Posterior se encuentra un "delay" o retraso, que representa el tiempo de reacción de una persona una vez accionada la alarma.
- Una vez que el peatón haya reaccionado prosigue a seguir una ruta de evacuación establecida en el mapa. Si el peatón se encuentra en piso 1 o piso 2, realiza los cambios de piso necesarios (a través de los bloques pedChangeGruound) para llegar a planta baja.
- Una vez el peatón se encuentre en planta baja, se le indica a través de un pedGoTo la ruta de evacuación a seguir de este piso que conduzca a un lugar seguro definido anteriormente en el trabajo.
- Se cierra la medición de tiempo a través de un timeMeasureEnd.
- Posterior a esto un pedWait representa un período de espera en el "lugar seguro" con el cual se pretende que el peatón se quede ahí un tiempo antes de salir de la lógica para poder representar la cantidad de personas a través de un "densityMap".
- El último bloque de la lógica de evacuación es el pedSink, a través de este el peatón sale del modelo simulado.

ANEXO VI

REPRESENTACIÓN DE LAS LÓGICAS DEL MODELO

Esta sección cuenta con las imágenes de la lógica detallada del modelo.

6.1 Lógica de movimiento de peatones en Planta Baja.

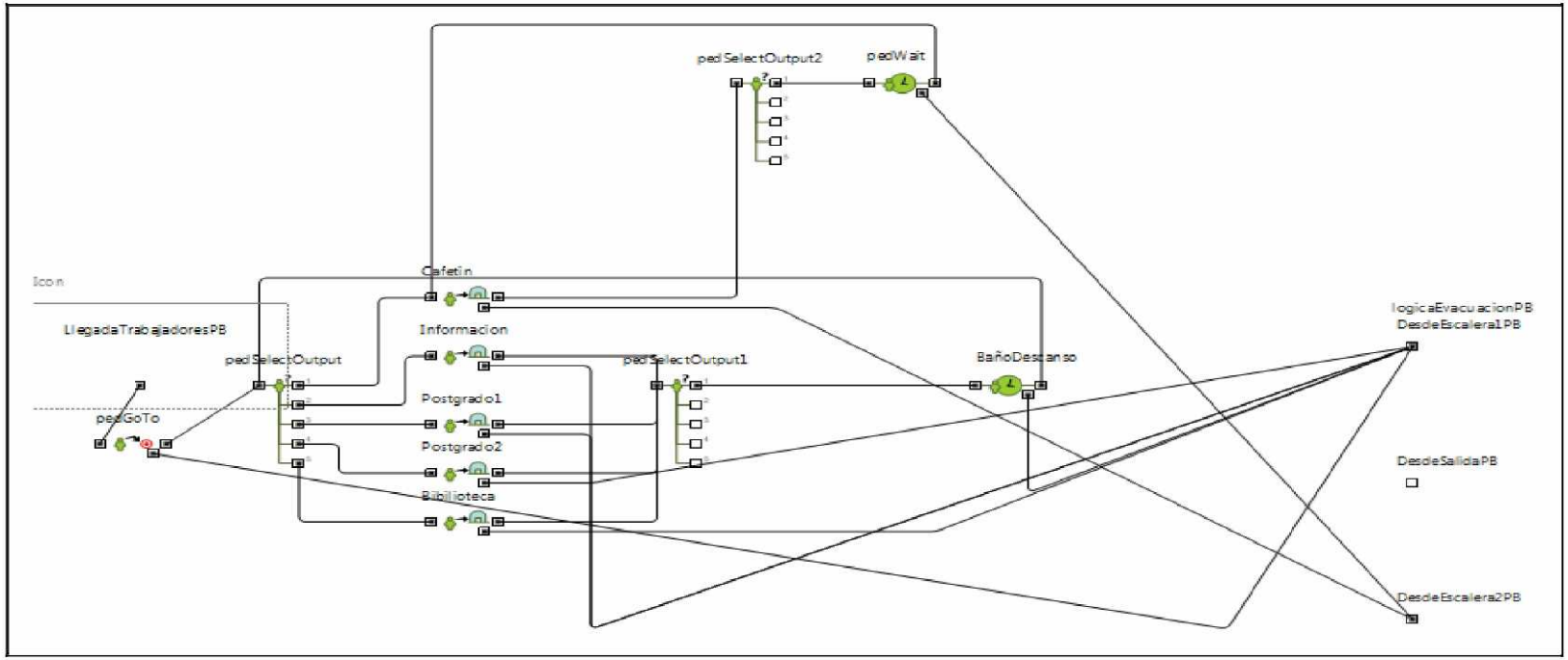


Figura N° 10. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en Planta Baja.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.2 Lógica de movimiento de peatones en Piso 1

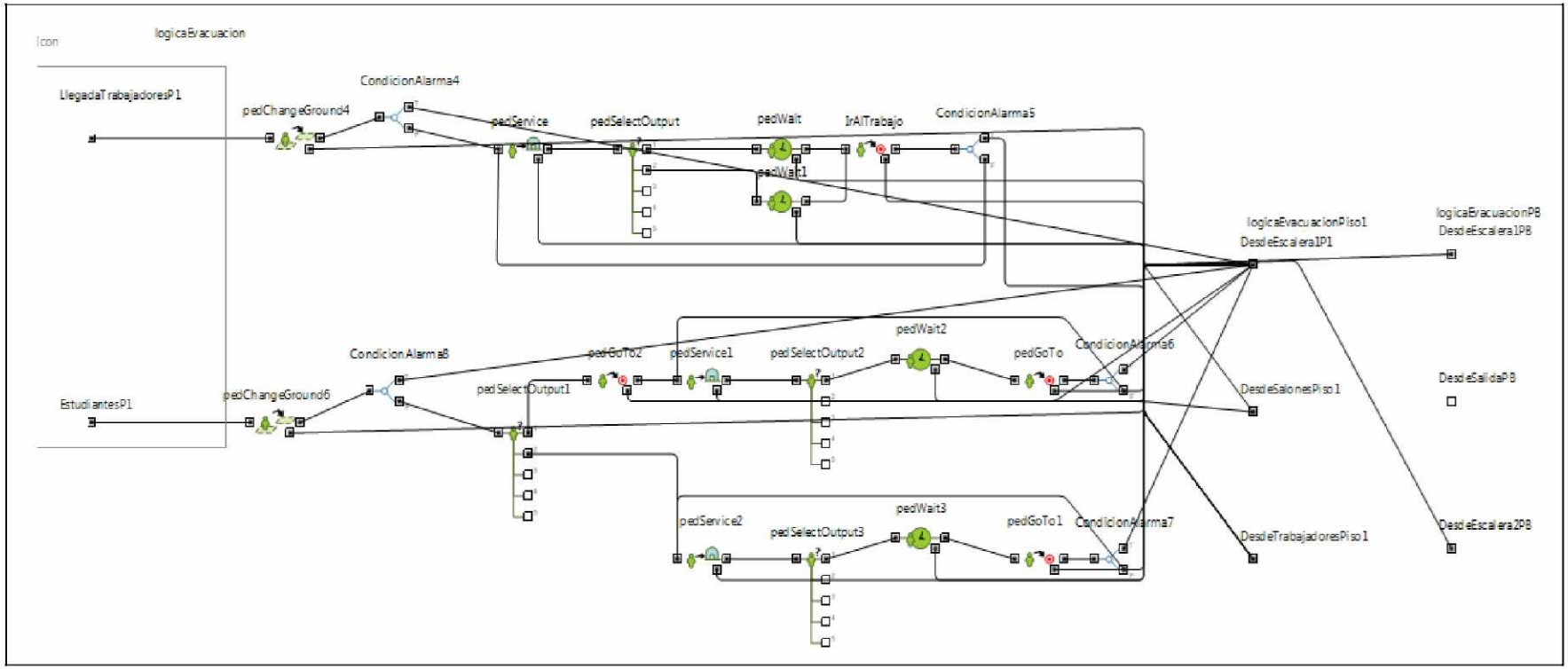


Figura N° 11. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en Piso 1.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.3 Lógica de movimiento de peatones en los salones de Piso 2.

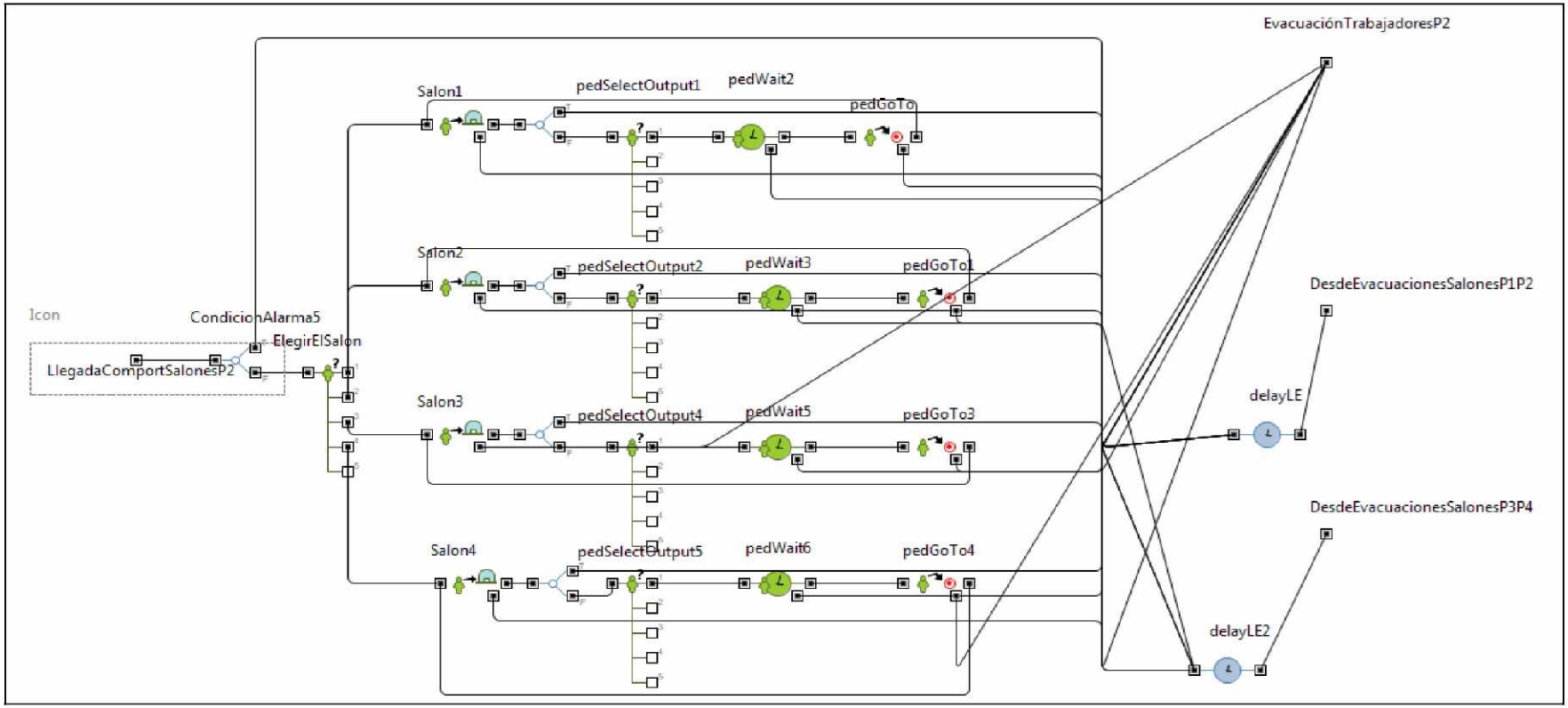


Figura N° 12. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en los salones de Piso 2.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.4 Lógica de movimiento de peatones en oficinas de Piso 2

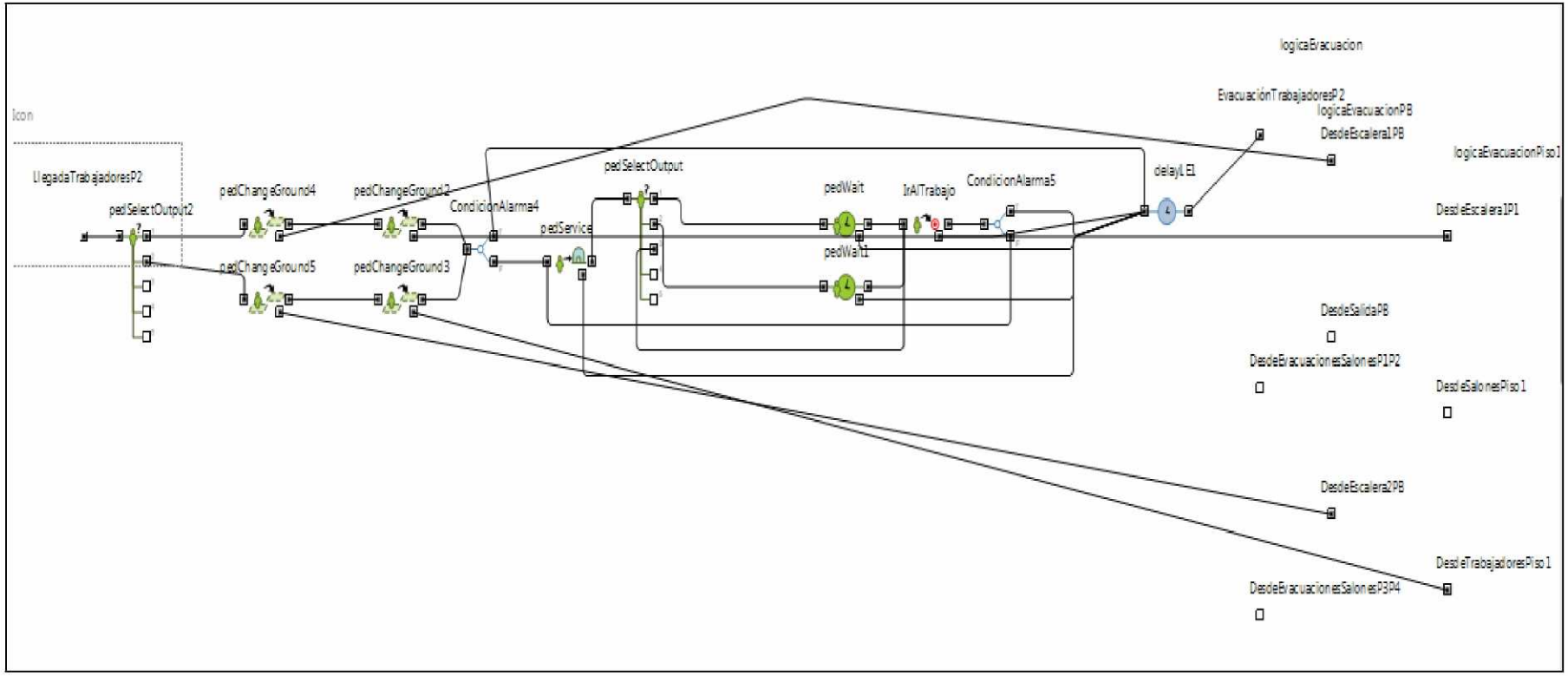


Figura N° 13. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de peatones en oficinas de Piso 2.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.5 Lógica de movimiento de visitantes

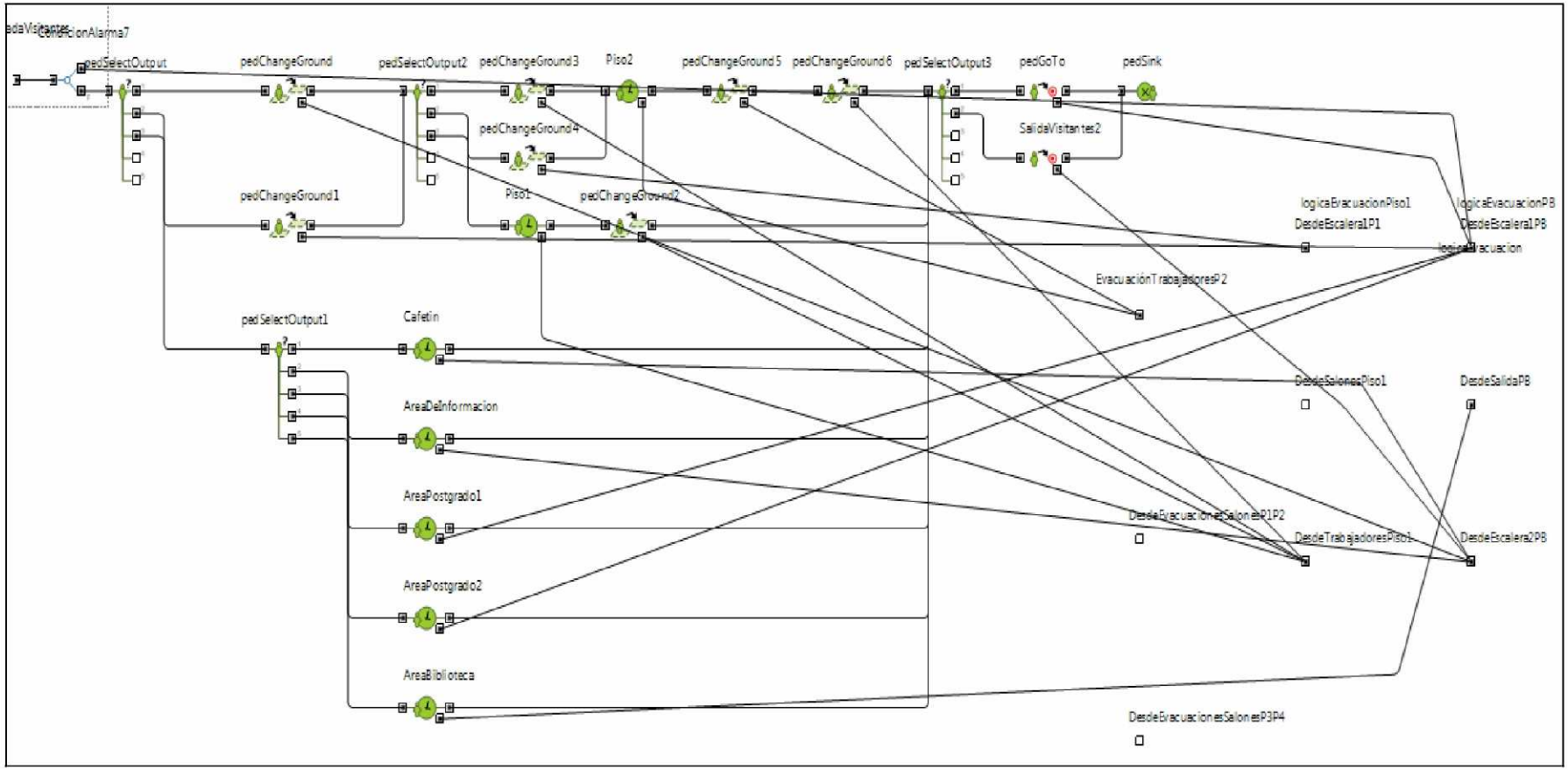


Figura N° 14. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente al movimiento de visitantes.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.6 Lógica de Evacuación de Peatones desde Planta Baja.

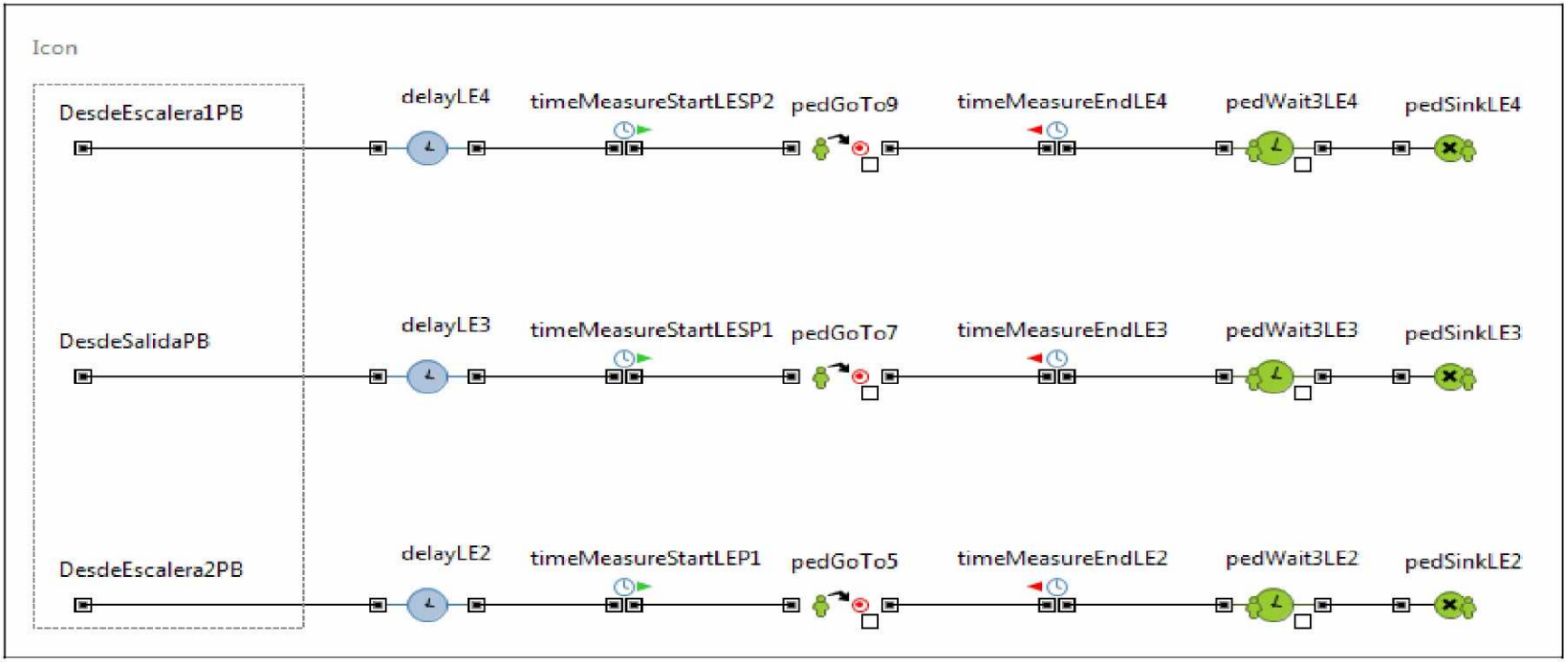


Figura N° 15. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente a la evacuación de Planta Baja.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.7 Lógica de Evacuación de Peatones desde Piso 1.

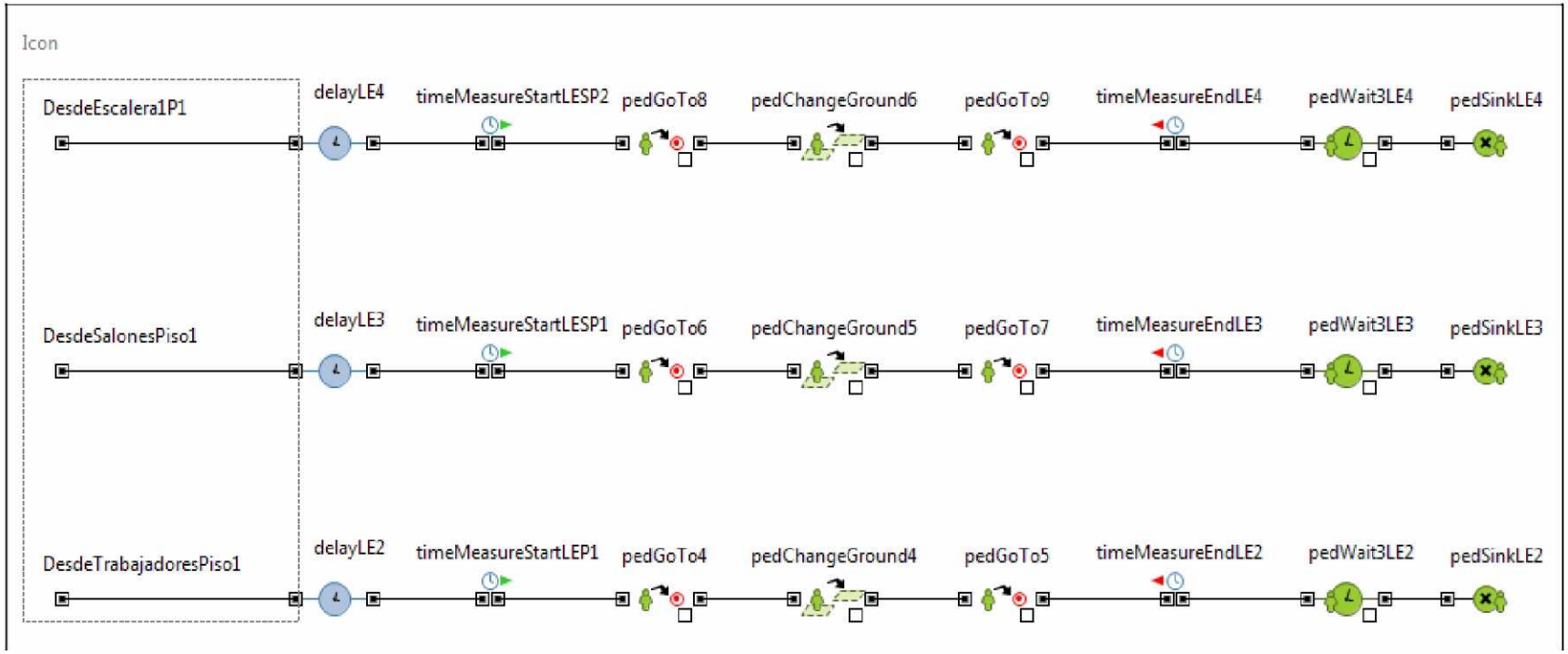


Figura N° 16. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente a la evacuación de Piso 1.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.8 Lógica de Evacuación de Peatones desde Piso 2.

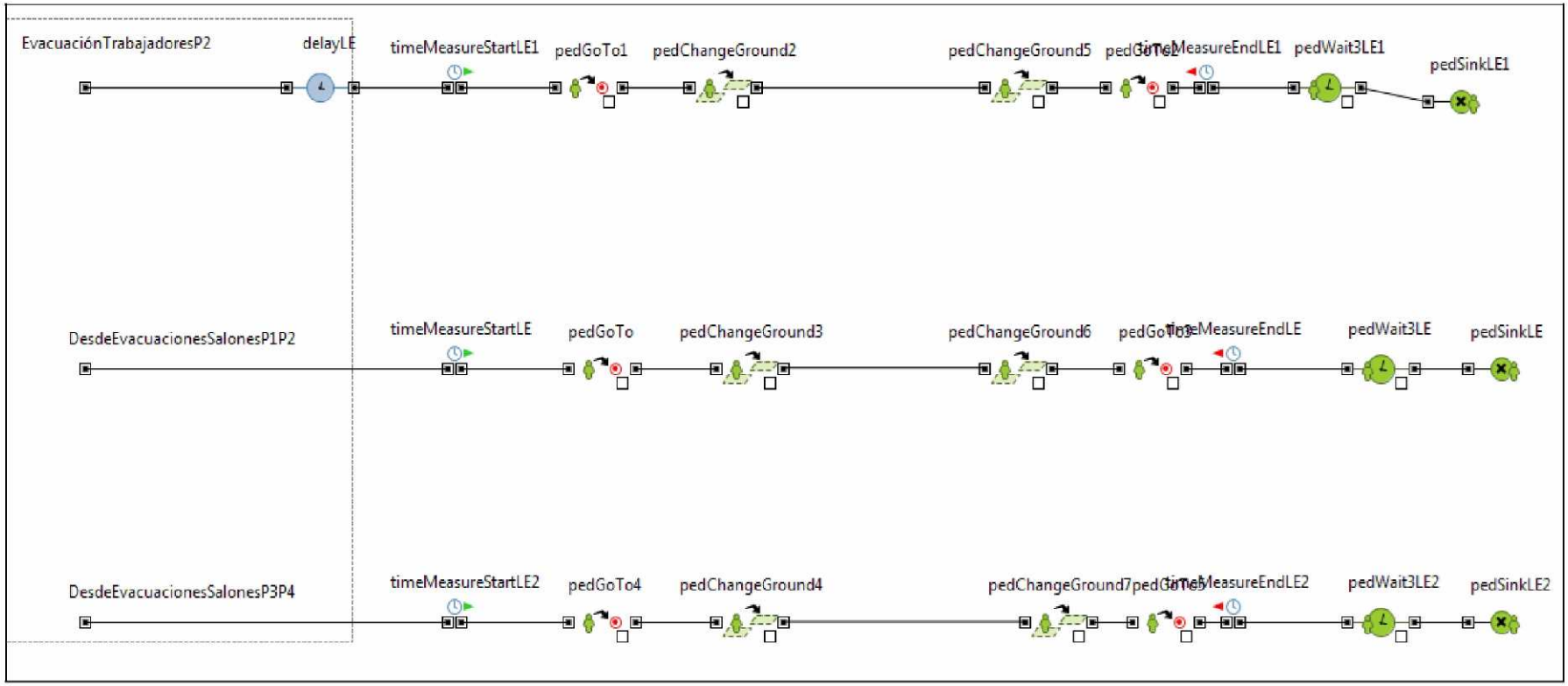


Figura N° 17. Diagrama de flujo de la lógica correspondiente a la evacuación de Piso 2.

Fuente: Los investigadores (2014).

6.9 Variables

Figura N° 18. Imagen de las variables que influyen en el modelo.
Fuentes: Los investigadores (2014)

ANEXO VII

DIAGRAMAS DE FLUJOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PEATONES EN EL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

7.1 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de postgrado.

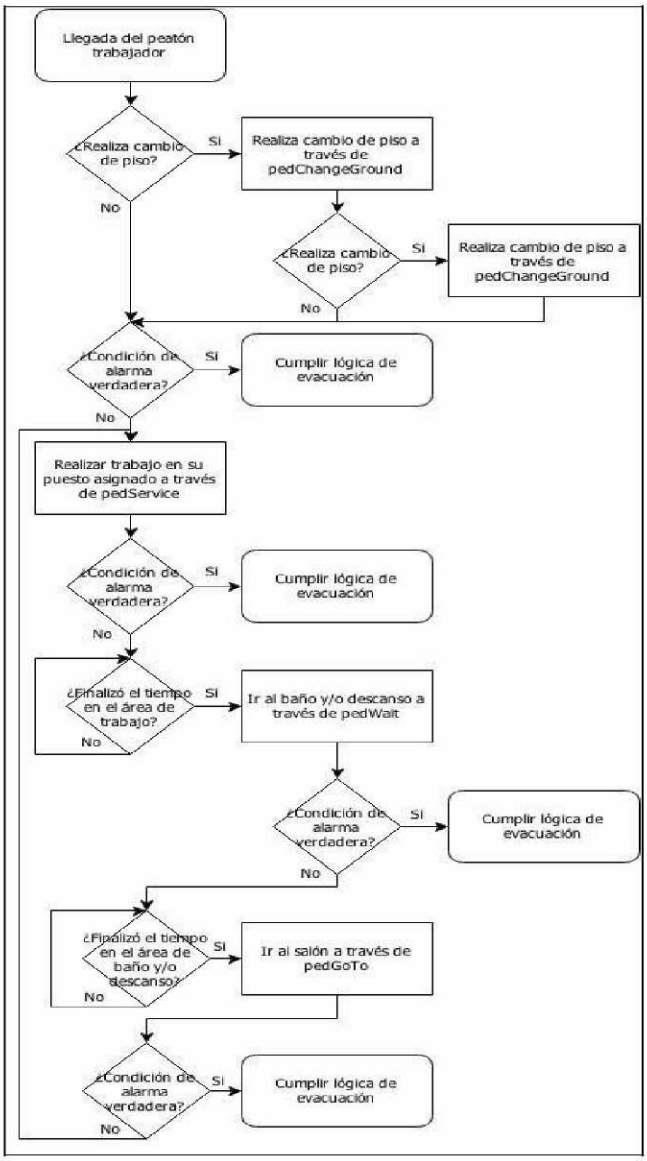


Figura N° 19. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que trabajan en el edificio de Postgrado.
Fuentes: Los investigadores (2014)

7.2 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que estudian en el edificio de postgrado.

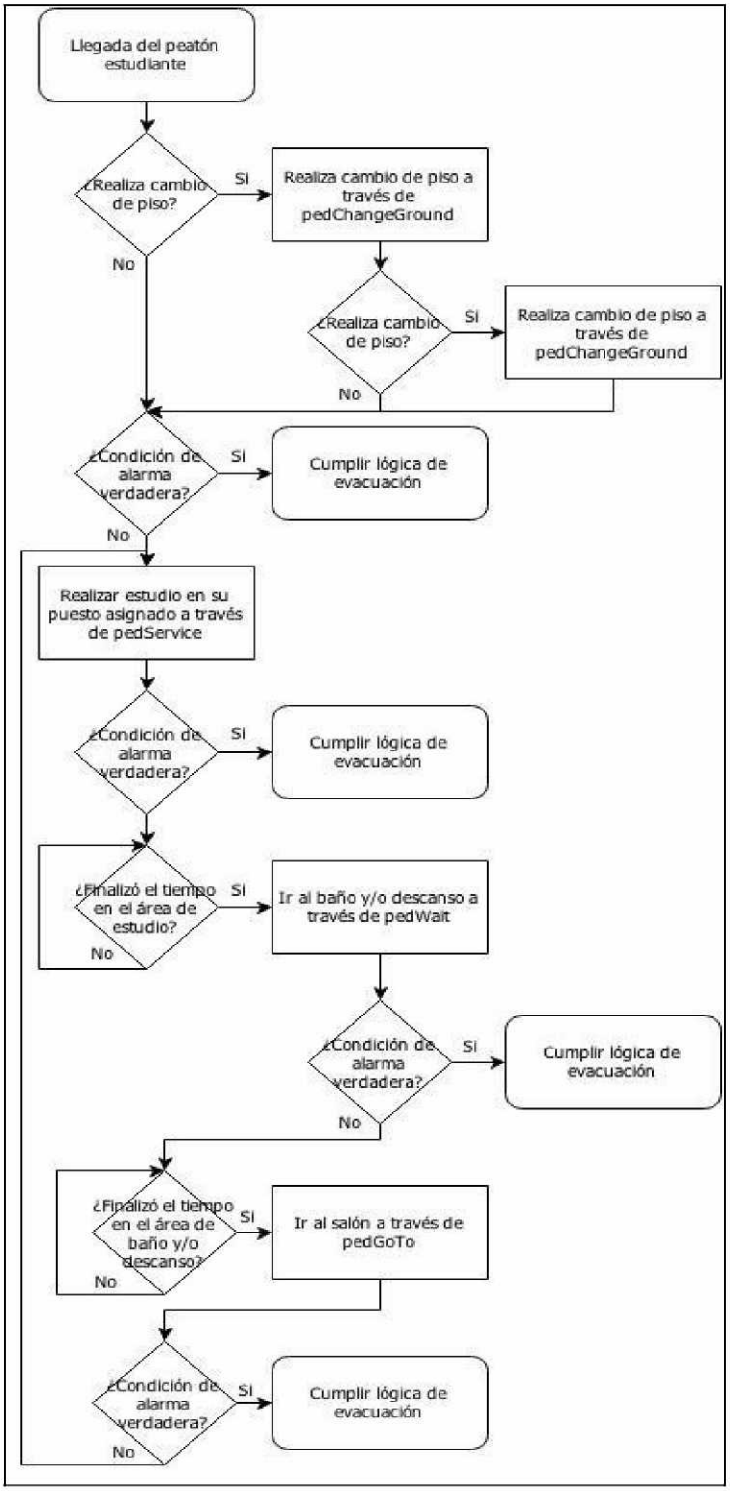


Figura N° 20. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones que estudian en el edificio de Postgrado.
Fuentes: Los investigadores (2014)

7.3 Diagrama de flujo del comportamiento de los peatones en condición de visitantes en el edificio de postgrado.

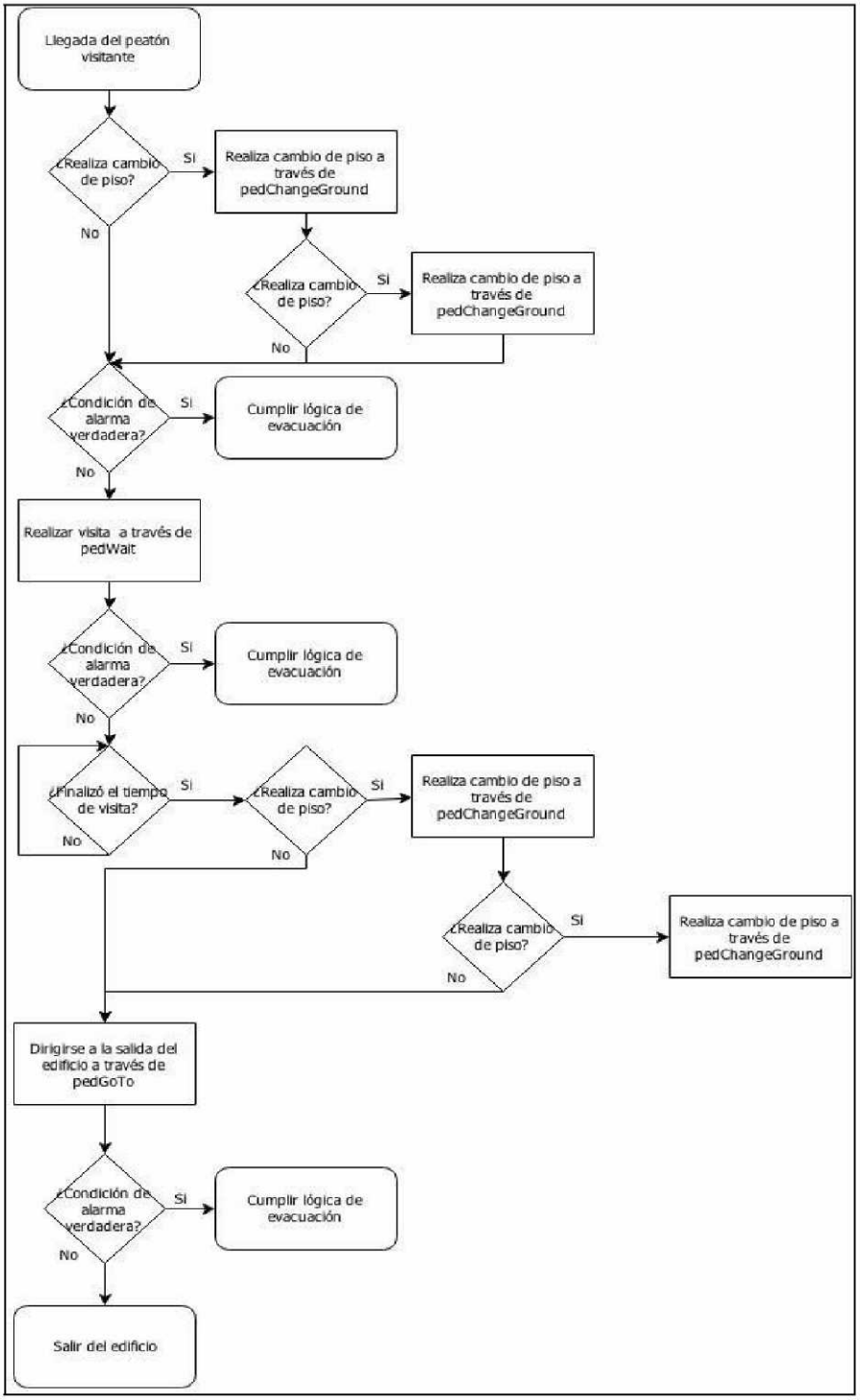


Figura N° 21. Imagen del diagrama de flujo del comportamiento de los peatones en condición de visitantes en el edificio de Postgrado.
Fuentes: Los investigadores (2014)

7.4 Diagrama de flujo de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de postgrado.

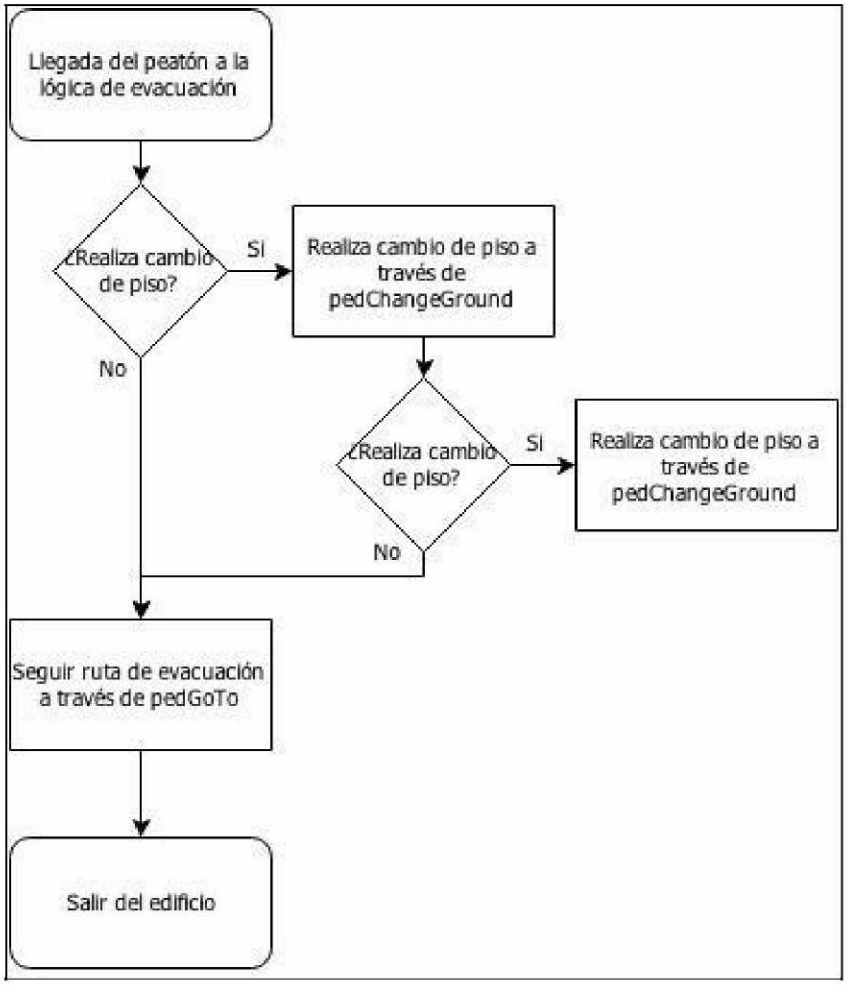


Figura N° 22. Imagen del diagrama de flujo de la lógica de evacuación de los peatones en el edificio de Postgrado.
Fuentes: Los investigadores (2014)