

**Evacuación por situación de emergencia en
edificio de ámbito hospitalario.**

**Análisis mediante simulación computacional
en unidades de gestión clínica de oncología y
radioterapia situadas bajo rasante.**



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

Máster Universitario Seguridad Integral en la Edificación

Trabajo Fin de Máster

Curso Académico 2022/2023

Alumna: Blanca Rey Palma

Tutores: D. Juan Carlos Camacho Vega

D. Rafael Llácer Pantión

“A mis padres, por el apoyo fundamental y por darme todo lo que tienen para convertirme en lo que soy, a mis seres queridos más cercanos que me han abandonado estos últimos años pero que me han apoyado y creído en mí desde el cielo, a mi hermano y cuñada, por acompañarme y alegrarse de mis logros, a mis amigos más cercanos por animarme y seguir adelante los momentos más duros, a todos los compañeros con los que he vivido la etapa de estudio, por apoyarnos los unos a los otros y crear una familia, y a mi tutor, por ser guía y mentor en el cierre de una etapa más de mi vida.”

Resumen:

El desconocimiento sobre las herramientas de simulaciones computacionales existentes, nos impide conocer los beneficios que estas nos brindan. Es por ello por lo que se ha realizado, en primer lugar, un análisis literario sobre las investigaciones y artículos existentes donde los métodos empleados, en base al Software Pathfinder, se han considerado métodos válidos, dando credibilidad y fiabilidad al programa. Se elaborará una nueva investigación, cuyo objetivo principal se basa en demostrar la validez de los resultados obtenidos de este nuevo estudio. En él se plasmamos lo que sucedería en caso de emergencia en un edificio de uso Hospitalario, centrándonos en especial en las unidades de gestión clínica de oncología y radioterapia, las cuales se encuentra a una cota bajo rasante (Planta Sótano). Se hará un estudio del edificio, sus diferentes estancias, las salidas y recorridos de evacuación, la ocupación de este y el tipo de ocupantes, con sus respectivos comportamientos. Finalizando con un análisis de los resultados extraídos del programa, sacando conclusiones sobre el objetivo principal planteado y proponiendo futuras líneas de trabajo de la presente investigación.

Palabras clave: Simulación de evacuación, simulación computacional, emergencia, simulación, Pathfinder y edificio.

Abstract:

The lack of knowledge about the existing computer simulation tools prevents us from knowing the benefits that they offer us. That is why, in the first place, a literary analysis of existing research and articles has been carried out where the methods used, based on the Pathfinder Software, have been considered valid methods, giving credibility and reliability to the program. A new investigation will be elaborated, whose main objective is based on demonstrating the validity of the results obtained from this new study. In it we capture what would happen in an emergency in a building for Hospital use, focusing especially on the oncology and radiotherapy clinical management units, which are located below ground level (Basement Floor). A study will be made of the building, its different rooms, exits and evacuation routes, its occupation and the type of occupants, with their respective behaviors. Finishing with an analysis of the results extracted from the program, drawing conclusions about the main objective and proposing future lines of work of the present investigation.

Keywords: Evacuation Simulation, computer evacuation, emergency, simulation, Pathfinder and building.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	15
3. ESTADO DE LA CUESTIÓN	18
2.1. Desarrollo de la Normativa.	19
2.1.1 Normativa relacionada con la Protección Contra Incendios.	19
2.1.2 Normativa sobre situaciones de emergencia.	22
2.2. Búsqueda Sistemática.	23
2.2.1 Trabajos académicos relacionados.....	23
2.2.2 Artículos publicados en revistas científicas indexadas.	26
2.2.3 Software de simulación (Pathfinder).....	36
4. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	38
5. METODOLOGÍA	42
6. PLANTEAMIENTO DE LA SIMULACIÓN.....	46
6.1 Modelado del centro en el Software de Simulación.	47
6.1.1 Descripción del edificio y entorno a estudiar.	47
6.1.2 Modelado en 3D.	53
6.1.3 Creación del modelo en Pathfinder.	56
6.2 Perfiles de los ocupantes.	57
6.3 Ocupación teórica y estimación de la real.	59
6.3.1 Ocupación de los profesionales del Hospital.	63
6.3.2 Ocupación de los usuarios externos a los profesionales del Hospital.	64
6.4 Introducción de perfiles y ocupación en Pathfinder.	66
6.4.1 Creación del perfil.....	66
6.5 Comportamiento de los ocupantes.....	72
6.5.1 Introducción y asignación de los comportamientos a los ocupantes.	72
7. ANÁLISIS DE LAS HIPÓTESIS.....	80
7.1 Hipótesis 1: Situación más desfavorable en turno de mañana 11:00 a.m.	82
7.1.1 Gráfica del tiempo de evacuación.	83
7.1.2 Trayectoria de los ocupantes.....	84
7.1.3 Densidad de evacuación en las salidas de emergencia.	85
7.1.4 Número de ocupantes que atraviesan la salida de evacuación.....	87
7.1.5 Puntos críticos y velocidad de los ocupantes.....	88
7.1.6 Cuadro resumen de la hipótesis.	90
7.2 Hipótesis 2: Situación más favorable en turno de mañana 11:00 a.m.	91
7.2.1 Gráfica del tiempo de evacuación.	92
7.2.2 Trayectoria de los ocupantes.....	93

7.2.3	Densidad de evacuación en las salidas de emergencia.	94
7.2.3	Número de ocupantes que atraviesan la salida de evacuación.	95
7.2.4	Puntos críticos y velocidades de los ocupantes.	96
7.2.5	Cuadro resumen de la hipótesis.	98
8.	ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS ENTREVISTAS AL PERSONAL TÉCNICO Y SANITARIO.	100
9.	CONCLUSIONES.	103
10.	LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	107
9.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	110
11.	BIBLIOGRAFÍA.	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Portada PFG . Fuente: Jesús Joaquín Gómez Tapiador.	23
Ilustración 2. Portada TFM. Fuente: Jesús Joaquín Gómez Tapiador.....	24
Ilustración 3. Portada PFG. Fuente: José Luis Muñoz Romero.....	24
Ilustración 4. Portada PFG. Fuente: Pablo Florido Cantón.....	25
Ilustración 5. Portada TFM. Fuente: Pablo Florido Cantón.....	25
Ilustración 6. Portada TFM. Fuente: José Antonio Hernández Sánchez.....	26
Ilustración 7. Portada PFG. Fuente: Álvaro Cabero Fernández.....	26
Ilustración 8. Ubicación de la zona donde se da el conato de incendio.....	48
Ilustración 9. Distribución salidas de emergencia asignadas.....	49
Ilustración 11. Asignación de la zona de refugio.....	51
Ilustración 10. Creación de la Zona de refugio para perfiles con movilidad reducida.....	51
Ilustración 12. Modelado BIM del centro a estudiar.....	53
Ilustración 13. Documentación de apoyo.....	54
Ilustración 14. Importación de archivos a Pathfinder.....	54
Ilustración 15. Importación de archivos a Pathfinder.....	55
Ilustración 16. Espacio de modelaje con los archivos importados.....	55
Ilustración 17. Creación de espacio y puertas en Pathfinder.....	56
Ilustración 18. Creación de puertas de emergencia en Pathfinder.....	56
Ilustración 19. Prevención de cruce de habitaciones en Pathfinder.....	57
Ilustración 20. Elección del modo de simulación.....	66
Ilustración 21. Creación Perfiles en Pathfinder.....	67
Ilustración 22. Opciones de Modelo 3D para ocupantes en Pathfinder.....	67
Ilustración 23. Creación del comportamiento con el parámetro “Wait Unti...”.....	69
Ilustración 24. Creación de los dispositivos de movilidad.....	70
Ilustración 25. Selección de requerimiento de asistencia y el tipo de dispositivo para los perfiles que deben de ser asistidos.....	71
Ilustración 26. Creación del Equipo de Evacuación Asistida.....	71
Ilustración 27. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder de asistentes silla.....	72
Ilustración 28. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder de asistentes encamado.....	73
Ilustración 29. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder del Personal SAS.....	73
Ilustración 30. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder pacientes autónomos.....	73
Ilustración 31. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona en silla de ruedas.....	74
Ilustración 32. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona encamada.....	74
Ilustración 33. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder de personas mayores asistidas, con bastón y andador asistidos.....	75
Ilustración 34. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder pacientes mayores.....	75
Ilustración 35. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona con bastón.....	75
Ilustración 36. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona con andador.....	75
Ilustración 37. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder de asistentes silla.....	76
Ilustración 38. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder de asistentes encamado.....	76
Ilustración 39. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder del Personal SAS.....	76
Ilustración 40. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder pacientes autónomos.....	77
Ilustración 41. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona en silla de ruedas.....	77
Ilustración 42. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona encamada.....	77
Ilustración 43. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder de personas mayores asistidas, con bastón y andador asistidos.....	77
Ilustración 44. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder pacientes mayores.....	78
Ilustración 45. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona con bastón.....	78
Ilustración 46. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona con andador.....	78
Ilustración 47. Planto de planta Hipótesis 1 y 2.....	81
Ilustración 48. Trayectoria de los ocupantes en Pathfinder de la Hipótesis 1.....	84
Ilustración 49. Velocidad de los ocupantes en el ascenso de escaleras en Pathfinder de la Hipótesis 1.....	88
Ilustración 50. Punto crítico (escaleras) en Pathfinder para la Hipótesis 1.....	88

Ilustración 51. Punto crítico (Sala de espera-Oncología) en Pathfinder para la Hipótesis 1. ...	88
Ilustración 52. Punto crítico (Salida rampa lencería) en Pathfinder para la Hipótesis 1.	88
Ilustración 53. Ilustración de la trayectoria de los ocupantes en Pathfinder de la Hipótesis 2.	93
Ilustración 55. Puntos críticos representados en Pathfinder para la Hipótesis 2.	96
Ilustración 54. Velocidad de los ocupantes en Pathfinder de la Hipótesis 2.	96

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Salida rampa mantenimiento.	49
Imagen 2. Salida rampa Lencería.	49
Imagen 3. Escaleras de evacuación para salir por las puertas principales orientadas al Sur (nº2).	50
Imagen 4. Zona de refugio para personas con movilidad reducida.	50
Imagen 5. Sala de espera Radioterapia. Horario de mañana 11:00 a.m.	52
Imagen 6. Sala de espera Oncología. Horario de mañana 11:00 a.m.	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla resumen para la búsqueda de artículos en las bases de datos.	27
Tabla 2. Términos empleados en la búsqueda.	27
Tabla 3. Estrategia de búsqueda.	27
Tabla 4. Cuadro resumen de los artículos en revistas científicas indexadas.	30
Tabla 5. Resumen ocupación real en %.	59
Tabla 6. Ocupación total Planta Sótano. Fuentes: PAU hospital.	59
Tabla 7. Ocupación real Planta Sótano-Zona Radioterapia.	60
Tabla 8. Ocupación real Planta Sótano-Zona Oncología.	61
Tabla 9. Ocupación real Planta Sótano-Zona Medicina Preventiva.	62
Tabla 10. Ocupación real Planta Sótano-Zona Medicina Nuclear.	63
Tabla 11. Ocupación real Planta Sótano.	63
Tabla 12. Ocupación facilitada por el personal del centro.	63
Tabla 13. Ocupación tomada de los profesionales del Hospital en la Simulación.	64
Tabla 14. Ocupación teórica según DB-SI-3, de los ocupantes externos a los profesionales del Hospital.	64
Tabla 15. Ocupación real de los perfiles externos a los profesionales del Hospital.	65
Tabla 16. Resumen ocupación real tomada para la simulación.	65
Tabla 17. Nivel de prioridad asignado a los ocupantes.	68
Tabla 18. Velocidad de los ocupantes introducida en Pathfinder.	68
Tabla 19. Tiempo previo al viaje de los ocupantes sin asistencia y del equipo de emergencia.	69
Tabla 20. Tiempo de preparación previo al inicio del viaje para las personas asistidas.	70
Tabla 21. Clasificación de equipos de evacuación asistida.	71
Tabla 22. Perfiles pertenecientes al comportamiento de asistencia a personas en silla de ruedas.	72
Tabla 23. Perfiles pertenecientes al comportamiento de asistencia a personas en encamadas.	72
Tabla 24. Perfiles pertenecientes a la asistencia a pacientes.	74
Tabla 25. Datos generales obtenidos.	90
Tabla 26. Tiempo máximo de evacuación según la zona.	90
Tabla 27. Tiempo de llegada y salida a la zona de refugio de los ocupantes asistidos.	90
Tabla 28. Datos generales obtenidos.	98
Tabla 29. Tiempo máximo de evacuación en función de la zona.	98
Tabla 30. Tiempo de llegada y salida a la zona de refugio de los ocupantes asistidos.	98

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Resumen de la evolución del Marco Normativo en Protección Contra Incendios en España.	21
Diagrama 2. Resultados de la búsqueda (Diagrama de flujo – PRISMA)	29
Diagrama 3. Esquema-Resumen de la Metodología del Trabajo Fin de Máster.	44
Diagrama 5. Personal del Hospital.	57
Diagrama 6. Perfiles de los usuarios externos a los profesionales del Hospital.	58

1. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

<<Para salvar vidas: Hospitales seguros en las situaciones de emergencia>>. Con este lema aprovechó la Organización Mundial de la Salud (OMS) la ocasión de fomentar este tema el Día Mundial de la Salud, el 7 de abril de 2009.

Los hospitales son un bien vital de la comunidad, como bien describen en el artículo publicado en 2009 la OMS para el Día Mundial de la Salud; el lugar donde suele comenzar y terminar la vida. Ejercen un papel fundamental en nuestras vidas, por ello, es una responsabilidad colectiva de que sean espacios seguros y resistentes en situaciones de emergencia, ya que, en estos casos, se convierten en zonas de refugio para la población, gracias a su neutralidad e imparcialidad, considerándose, tanto al personal como al edificio, neutros y sin ser objeto de ningún tipo de violencia. Forman una importante inversión, por ello, amparar su seguridad en estas ocasiones, conllevan a proteger dicha inversión y la salud y seguridad de nuestra población (Organización Mundial de la Salud, 2009).

Así mismo, son espacios destinados para que el personal médico, enfermería, personal auxiliar y servicios técnicos diagnostiquen, atiendan, asistan y curen a enfermos durante 24 horas los 365 días del año, con ayuda de medios materiales. Su estructura es diseñada cumpliendo las funciones de prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Son centros complejos, ya que además de estar compuesto por el personal y usuarios detallados anteriormente, existen diversas unidades que cumplen las tareas para el correcto funcionamiento de este, como es el caso del personal administrativo, equipo de gerencia y de formar parte de centros de labores investigaciones y formación para futuro personal.

Según el Código Técnico de la Edificación (CTE), están considerados como *Uso Hospitalario*. Son espacios especialmente vulnerables en caso de incendio, tanto por la movilidad reducida y el grado de dependencia que demandan sus usuarios, como por los cuadros de enfermedades cognitivas asociados con las personas. Por esta razón, son diseñados, construidos, mantenidos y gestionados de forma que minimicen las posibilidades de que se dé un caso de emergencia interna, cumpliendo además con una serie de condiciones de compartimentación, evacuación y señalización.

Cuando se dan situaciones de emergencia, como guerras, ciclones, terremotos, maremotos, brotes de enfermedades, hambrunas, incidentes radiológicos y derrames químicos, estas no solo afectan a la población, sino que además pueden suponer grandes amenazas para los hospitales y centros sanitarios. Es importante que este tipo de centros cuenten con; la integración de programas de gestión de riesgos y preparación para emergencias, y la actualización de instalaciones existentes, de forma que estos puedan seguir funcionando en el caso de existir momentos críticos. Por ello, es primordial tener un seguimiento sobre las medidas de eficacia, abarcando desde la puesta en marcha de los sistemas de alerta anticipada y las evacuaciones de seguridad hospitalarias, hasta la protección de los equipos y suministros, sin olvidar la preparación del personal trabajador en el interior de estos centros, los cuales ayudarán a minimizar al máximo las incidencias ocasionadas en estos casos, ya que si el propio centro sufre daños o se quedase fuera de servicio, esto llevaría a la evacuación total del edificio, los enfermos y heridos, o incluso a su traslado a una zona segura en el interior de este (Organización Mundial de la Salud, 2009).

Por eso es tan compleja este tipo de evacuación, por el nivel constructivo de estos centros, ya que están considerados de los más sensibles y complicados de poder coordinar. Para la realización de una evacuación lo más correcta posible. Es prácticamente imposible evitar las situaciones de emergencia, nunca vamos a conseguir el riesgo cero, pero sí reducirlos al máximo con ayuda de medidas correctoras, como un método de planificación bien definido y de una realización eficaz, teniendo en cuenta la ayuda a los usuarios del interior del edificio más vulnerables (recién nacidos y pacientes en cuidados intensivos).

Para establecer medidas correctoras en estos tipos de edificios, podemos hacer uso de teorías como por el ejemplo **“El ciclo de Mejora Continua”** de William Edwards Deming (1900-1993).

Una de las herramientas software útiles que se están implantando hoy en día para lograr la calidad preventiva y la mejora continua, es la simulación computacional, permitiéndonos experimentar y visualizar el comportamiento respecto a la planificación estudiada, y a su vez, poder hacer correcciones con respecto a lo que no funcione en la simulación creada.

Son muchas las definiciones que contiene la palabra “simulación”, pero nos centraremos en las que se consideran más aceptables. Según Thomas H. Naylor la determina como; “La técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para descubrir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo”, abarcando esta definición ámbitos que van desde una maqueta hasta un programa de computadora.

Así mismo, H. Maisel y G. Gnugnoli consideran que es “La técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo” (Coss Bu, 2005).

Por último, para R. R. Shannon, de manera más formal, la define como; “El proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema” (Shannon & Shannon, 1976).

Existen numerosos estudios que han empleado la técnica de implantar la simulación computacional para la realización de una planificación adecuada. En muchos de ellos se han empleado herramientas informáticas de simulación como:

- **MassMotion**: simulador computacional creado por la empresa Arup. Consiste en una herramienta completamente en 3D, basada en la investigación del movimiento humano, proporcionando un análisis técnico del movimiento de las personas mediante espacios físicos (Arup, 2023).
- **BuildingEXODUS**: desarrollado por el Grupo de Ingeniería de Seguridad contra Incendios de la Universidad de Greenwich, comprende un conjunto de submodelos sofisticados donde se añaden interacciones entre personas, incendios y la estructura, permitiendo la elaboración de diversas simulaciones de evacuación. Se puede hacer uso de ella tanto para la simulación de evacuación, bien dicho anteriormente, como para el análisis de dinámica/circulación de peatones (Universidad de Greenwich, 2023).
- **Mott MacDonald STEPS** (Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian movements Software): Herramienta de microsimulación de personas, que ayudan a comprender sus movimientos y actuaciones en un caso de emergencia (Mott MacDonald, 2023).
- **EASE EVAC** (Fast Design of Acoustic Evacuation System): Se trata de un software de simulación 3D, que calcula la distribución de los niveles de sonido directo (PEMARD, 2023)
- **Pathfinder**: Simulador computacional que crea interfaces gráficas intuitivas para aplicaciones del campo de la ingeniería y gráficos especializados con modelos físicos poderosos, brindando una gran capacidad de visualización y modelado sobre el modelo a trabajar (Thunderhead Engineering, 2023).

En el presente trabajo, nos apoyaremos en el uso de la herramienta software Pathfinder, ayudándonos de los diferentes artículos ya publicados. Permite una mayor flexibilidad a la hora de personalizar de la población y su comportamiento, permitiendo elegir el tiempo que cada ocupante necesite para evacuar de forma segura, y rastrear el movimiento de cada evacuado en cada nivel de piso. Gracias a ella, llevaremos a cabo los objetivos planteados.

2. OBJETIVOS

OBJETIVOS

En el presente Trabajo Fin de Máster pretende demostrar que, utilizando herramientas de simulación computacional en centros hospitalarios, donde de la preparación y desarrollos de simulacros, suele ser dificultoso, especialmente en zonas donde no se puede suspender la actividad asistencial o no se pueden realizar con la presencia de pacientes. Con la información que se obtenga de los resultados obtenidos el centro se puede hacer una idea de los tiempos de evacuación y medios de evacuación con objeto de detectar deficiencias y proponer mejoras.

Además, durante el desarrollo de la investigación se plantearán los siguientes objetivos secundarios necesarios para llegar al objetivo general planteado.

1. **Validez del Software.** Se pretende estudiar si el uso de herramientas de simulación computacional, es habitualmente utilizado en la comunidad científica para el análisis de evacuación en caso de emergencia en diferentes escenarios, y focalizarlo en el Software Pathfinder de la empresa Thunderhead Engineering.
2. Conocer las condiciones de evacuación con los medios existentes actualmente en el escenario objeto de estudio, y obtener resultados de los tiempos y recorridos que podrían seguir los pacientes y profesionales de las Unidades de Gestión Clínica de Oncología y Radioterapia que se encuentran en la planta sótano del centro hospitalario. Con los resultados extraídos se podrán proponer medidas de mejora frente a la gestión de la evacuación.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. Desarrollo de la Normativa.

2.1.1 Normativa relacionada con la Protección Contra Incendios.

Se ha realizado, en primer lugar, una búsqueda del recorrido de las normas reguladoras contra incendio, con la ayuda del artículo escrito por el Arquitecto Técnico, Ramón Fernández Becerra. Artículo publicado por la revista Cercha, de manera que ayuda a entender el marco normativo a analizar y el porqué de las medidas de prevención implantadas en nuestros edificios a la hora de darse un caso de emergencia (Fernández Becerra, 2009).

Nos encontramos con que hasta el año **1974**, no aparece una norma de carácter nacional que referencia a la protecciones contra incendio, la **Norma Tecnológica sobre Instalaciones de Protección contra el Fuego (NTE-IPF)** (Gobierno de España, 1974). Esta norma supuso un gran paso a nivel de protección contra incendios, ya que consiguieron detallar y regularizar los aspectos, que, en ese momento, en la edificación, se encontraban totalmente descoordinados, llegando a conseguir que los profesionales la implantasen en sus proyectos y en la hora de la ejecución de una obra.

En noviembre de **1977**, se produjo un incendio en el Hospital materno-infantil de la ciudad sanitaria Virgen del Rocío (Sevilla), durante el desarrollo del incendio e intervención de los bomberos, no hubo víctimas. Esta emergencia llevo al desalojo total del edificio, ya que se dio en la planta sótano, y debido a los conductos verticales y horizontales del aire acondicionado, el humo ascendió con rapidez, llegando a salir por las rejillas de impulsión de la última planta del edificio.

Tras dicha tragedia, las responsabilidades del Ministerio de Sanidad se concienciaron ante situaciones como esta y el 1 de septiembre de **1978**, se publicó el **Real Decreto 2177/78** (Gobierno de España, 1978), se puso en marcha rápidamente, pero los efectos de dicha normativa fueron muy lentos, ya que la gran mayoría de Hospitales y clínicas de estas épocas, habían sido diseñados sin tener en cuenta el factor incendio, llevando esto a la complejidad de poder adaptar lo máximo posible estos centros con las medidas de la normativa.

En **1979**, a pesar de haber implantado la normativa de Protección Contra Incendios en Hospitales y clínicas, un incendio en un hotel de Zaragoza, el 25 de septiembre, llevó a la elaboración de una **Orden ministerial**, (Gobierno de España, 1979), ocurriendo lo mismo que en la norma para Hospitales, complejidad a la hora de implantar esta norma en los edificios ya construidos. Hasta esta fecha, solo existían a nivel nacional dos normas, para Hospitales y para Hoteles, sin ninguna norma que regulase al resto de edificaciones. Ante esta problemática, un grupo de profesionales, redactaron una **norma nacional de Protección Contra Incendios (PCI)**, cumplimentando todo tipo de usos para un edificio (pública concurrencia, viviendas, hoteles, hospitales...), pero fue rechazado por el Ministerio, al no considerarlo procedente, y en 1980 el Instituto de Administración lo publicó como **Ante-proyecto de Ordenanza Tipo de Protección Contra Incendios** (Gobierno de España, 1979), sin ser de carácter de obligatoriedad. Finalmente, no tuvo un buen resultado y se optó porque cada jefe de bomberos que intervino en la elaboración y redacción de esta norma, hiciera que fuera la ordenanza de PCI en el ámbito de su competencia.

Al mismo tiempo, el Ministerio de la Vivienda comenzó a estudiar sobre las normas para la PCI, promulgando el 10 de abril de **1981** el **Real Decreto 2059/81** (Gobierno de España, 1981), por el que se aprueba la **Norma Básica de Protección Contra Incendios (NBE-CPI-81)**, siendo esta de ámbito nacional y de obligado cumplimiento, anulando cualquier otra norma de igual o inferior rango que contradijese o se opusiese a lo que esta decía, pero suponía una pequeña complejidad, al ser tan sencilla de aplicar, suponía muchas limitaciones, siendo fácil solamente para edificios tipo, membrando, de esta forma, la capacidad de diseño de los proyectistas. Por este motivo y por la carencia de infraestructuras e industria de fabricación que suponían tras no poderse realizar con los sistemas constructivos, materiales e instalaciones requeridos, el propio

ministerio la derogó. Conforme a lo dispuesto en el **Real Decreto 1587/82**, de 25 de junio, por el que se modifica la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI-81, sobre condiciones de protección contra incendio en los edificios (Gobierno de España, 1982), anulando todas las prescripciones referentes a los distintos usos de la NBE-CPI-81, salvo las normas referentes de carácter general, y dejando al resto en manos de los órganos de control administrativo, fue un gran avance, pero duró muy poco y se siguió aplicando las diferentes ordenanzas locales, provinciales y autonómicas, coexistiendo la **NBE-CPI-82**.

Finalmente, se pudo considerar la **NBE-CPI-91** como la primera norma española de carácter nacional, aprobada por el **RD 279/91**, (Gobierno de España, 1991), estableciendo las condiciones para la protección contra incendios de forma moderada, dando soluciones a problemas específicos. En continuación a la NBE-CPI-91, el **Real Decreto 2177/96** (Gobierno de España, 1996), convirtiéndose en una norma evolutiva, más desarrollada, abierta y sobre todo cada vez más en consonancia conforme estaba actuando el resto de Europa.

El 17 de marzo de **2006**, la aplicación del mandato, hizo que se dictase el **Real Decreto 314/06**, (Gobierno de España, 2006), el cual contiene en su interior los **Documento Básicos** (Gobierno de España, 2022) **DB-SI** (Seguridad contra Incendios), y **DB-SU** (Seguridad de Utilización), entre otros. Ambos juntos constituyen hoy en día el cuerpo legal de la protección contra incendios en España. En **2007**, se produjeron nuevas actuaciones como la publicación de **los Criterios de aplicación del DB-SI y DB-SU**, y muy poco después se aprobó mediante el **Real Decreto 1371/07**, (Gobierno de España, 2007). Tras unas modificaciones en enero del **2008**, se puede decir que es el cuerpo legal vigente en el momento actual, creando la **Orden VIV/1744/2008**, (Gobierno de España, 2008).

A modo resumen, desde el año 1981, donde apareció la primera norma nacional, hasta el 2009, ha habido muchos cambios y transiciones para poder llegar al punto en el que nos encontramos hoy en día, reglamentariamente, al nivel europeo, dejando atrás el atraso endémico en el que nos encontrábamos (Fernández Becerra, 2009).

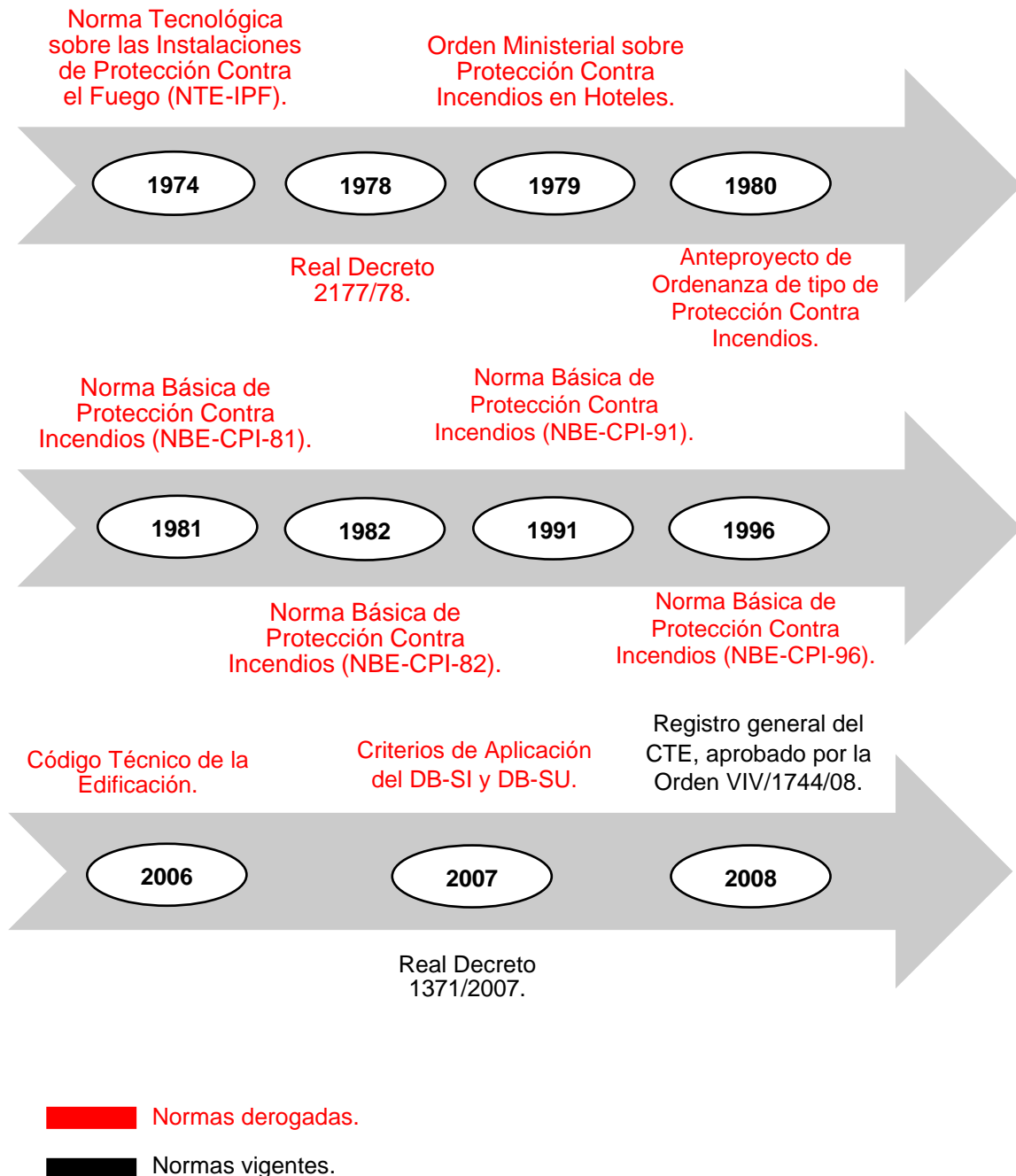


Diagrama 1. Resumen de la evolución del Marco Normativo en Protección Contra Incendios en España.

2.1.2 Normativa sobre situaciones de emergencia.

En el caso de las situaciones de emergencia, para comprender el marco normativo comenzamos con la **Ley 31/1995**, (Gobierno de España, 1995). Marcando sus derechos y deberes, además de facilitar al marco normativo el inicio de un diálogo preventivo de una empresa, entre el trabajador y el empresario. Reúne y actualiza toda la legislación de seguridad y salud que se encontraba dispersa y desfasada.

El **Art. 40.2 de la Constitución Española**, ordena a los poderes públicos, como uno de los principios rectores de la política social y económica, velar por la seguridad e higiene en el trabajo. Llevando este mandato a la necesidad de elaborar una política de protección de la salud de los trabajadores por medio de la prevención de los riesgos derivados de su trabajo (Gobierno de España, 1978).

Al estar presente España en la Unión Europea, se crea la necesidad de acordar nuestra política con la política comunitaria en esta materia, llevando a la modificación del Tratado consecutivo de la Comunidad Europea por la llamada Acta Única, fomentando la mejora del medio de trabajo para conseguir mejorar progresivamente las condiciones de trabajo, y reforzado a través de Directivas, de disposiciones mínimas que habrán de aplicarse progresivamente.

En consecuencia, de todo esto, se ha creado un acervo jurídico europeo enfocado en la protección de la salud de los trabajadores. De las Directivas más significativas es la 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas promoviendo la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el lugar de trabajo.

En el **Art.2 del Capítulo I de la Ley 31/95**, marcan como objeto promover la seguridad y salud de los trabajadores con la incorporación de medidas y actividades necesarias para la prevención de riesgos laborales, estableciendo unos principios generales relativos de la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y de la salud, la eliminación o disminución de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva. Así como en el **Art.20** las medidas de emergencia a analizar y tomar por parte del empresario (Gobierno de España, 1995).

Siguiendo en la **Ley**, en el **Capítulo IV**, habla sobre los servicios de prevención. En el **Art.30**, dedicado a la protección y prevención de riesgos profesionales, señalan al empresario como el encargado de asignar a uno o varios trabajadores adecuados y formados, con disponibilidad y que dispongan de los medios suficientes para desempeñar la actividad encargada, debiendo, en este caso, someter al sistema de prevención al control de una auditoría o evaluación externa. A su vez, en el caso de no poseer un servicio preventivo formado por trabajadores de la empresa, el empresario podrá designar la actividad a una entidad especializada, ajena a la empresa, quedando exenta del control de una auditoría. En el **Art.31**, señala a los servicios de prevención como el conjunto de medios humanos y materiales necesarios para la actividad preventiva encargada, garantizando de esta manera la protección de la seguridad y salud de los trabajadores, para ello, el empresario deberá de proporcionar toda la documentación e información necesaria para la elaboración de la actividad encargada (Gobierno de España, 1995).

En la actualidad , el documento referente a la evacuación en España es el **Real Decreto 393/2007**, (Gobierno de España, 2007), ya que al no tener todos los edificios un Plan de Autoprotección, se especifica que tipos de edificios sí deberán de tenerlo. Además, este Real Decreto, deroga la **Orden de 29 de noviembre de 1984**, (Gobierno de España, 1985).

En ella se manifiesta el **Art.15** de la Constitución Española sobre de la obligación que tienen los poderes públicos de garantizar la vida e integridad física, como el derecho fundamental más importante, y procurar la adopción de todas la medidas destinadas a la prevención y control de riesgos en su origen, como la actuación inicial en las situaciones de emergencia que pudiesen presentarse (Gobierno de España, 1978).

2.2. Búsqueda Sistemática.

Los estudios relacionados con las evacuaciones de emergencia se han realizado durante décadas. En estas dos últimas, este procedimiento ha ido evolucionando con ayuda de nuevas herramientas tecnológicas por la alta exigencia a la hora de que la evacuación, en casos de emergencia, sea eficiente y segura para todo el mundo, y en especial para los ocupantes con diversas necesidades. Por eso es importante la realización de una buena revisión literaria, comprendiendo e informándonos sobre el “*status quo*” del estudio a realizar, siendo nuestro caso, el uso de Pathfinder como herramienta tecnológica para el estudio de simulación de evacuación en casos de emergencia en la planta sótano de un hospital (Jiang et al., 2022). Esta misma búsqueda fue llevada a cabo debido a que en trabajos de este tipo, es una parte fundamental el saber qué hay escrito sobre la investigación que estas llevando a cabo y con que finalidad se hacen todas y cada una de ellas.

2.2.1 Trabajos académicos relacionados.

En dicho apartado, se expone un breve recorrido sobre investigaciones académicas realizadas en el presente Máster Universitario en Seguridad Integral en la Edificación, relacionadas todas ellas con la línea de trabajo seleccionada, ya que el modelado y las simulaciones computacionales son temas que están avanzando mucho y adentrándose cada vez más en la actualidad y en nuestro día a día.

Análisis de la evacuación del flujo de personas e implantación de sistema de ayuda y guiado (PFG).



Proyecto Fin de Grado de D. Jesús Joaquín Gómez Tapiador, en el año 2014. Proyecto enfocado en el estudio e implantación de un sistema mediante el empleo de herramientas informáticas (**Pathfinder Thunderhead**), amenizando y haciendo más fácil la evacuación de los usuarios del interior de un edificio, de manera que se reduzcan lo máximo posible los cuellos de botella, la incertidumbre existente a la hora elegir la ruta evacuación y la salida de emergencia, los cambios de direcciones y sobre todo los tiempos de evacuación, enfocándose en que cada ocupante deberá saber elegir la ruta más adecuada de evacuación, eliminándose de esta manera las dudas sobre si están eligiendo el camino adecuado.

*Ilustración 1. Portada PFG .
Fuente: Jesús Joaquín
Gómez Tapiador.*

Método de evaluación de vías de evacuación tras los efectos de una explotación. Método M.E.V.E. (TFM).



Ilustración 2. Portada TFM.
Fuente: Jesús Joaquín Gómez Tapiador.

Siguiendo la misma línea de trabajo que en su Proyecto Fin de Grado, D. Jesús Joaquín Gómez Tapiador, en el año 2018, realizó su Trabajo Fin de Máster planteando el estudio en el estado en el que se encuentran las vías de evacuación tras haberse ocasionado una explosión, habiendo afectado esta a su estructura, y en la demostración del conocimiento de las instalaciones, ubicadas en la misma zona del riesgo, de antemano.

Plantea la creación de un método de evacuación para poder evaluar y clasificar los efectos de la explosión, en la vías de evacuación, de forma rápida y sencilla, y cumpliendo con las capacidades de evacuación e interviniendo en caso de que estas sean negativas. Para la creación de dicho método hace uso de las simulaciones computacionales, ya trabajadas en su anterior proyecto, haciendo uso del Software **Pathfinder Thunderhead** (Gómez Tapiador, 2018).

Estudio de la circulación de la circulación de personas en situaciones de emergencia a través de nuevas tecnologías (PFG).



Ilustración 3. Portada PFG.
Fuente: José Luis Muñoz Romero.

José Luis Muñoz Romero elaboró su Proyecto Fin de Grado, en el año 2020, con ayuda de la Formación Profesional en Ciencias de la Salud (SAMU), estudia la gestión de una crisis en situaciones de emergencia mediante el análisis informático del flujo de personas, en los edificios que están a carga de dicha empresa (SAMU). Para llevar a cabo el proyecto, se obtuvo el modelado del edificio en 3D del actual Conservatorio de Danza Antonio Ruiz Soles, el antiguo Pabellón de Argentina de la Exposición Iberoamericana de 1929. Además, con la ayuda del software de simulación Pathfinder, y los datos obtenidos del programa, se elaboró un análisis donde permite comprobar los tiempos de evacuación del edificio (Muñoz Romero, 2020).

Estudio de la aplicación de tecnologías actuales y la simulación artificial, en planes de autoprotección de edificios de carácter universitario (PFG).



Ilustración 4. Portada PFG.
Fuente: Pablo Florido Cantón.

En el Proyecto Fin de Grado de D. Pablo Florido Cantón, puso a prueba el buen funcionamiento de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, centro en el cual impartimos los estudios del presente Máster, mediante multitudes de ensayos mediante la aplicación de herramientas tecnológicas como es el Software Pathfinder. Gracias a esta herramienta, Pablo pudo revisar sistemas de emergencia y métodos de evacuación en casos de emergencia, alcanzando de esta forma, un mayor grado de seguridad en función al estudio exhaustivo de diferentes hipótesis. Además, llevo a cabo la simulación con la ayuda de un escáner 3D, para el levantamiento virtual del edificio a estudiar, recreando una situación lo más real posible (Florido Cantón, 2021).

El uso de simulaciones computacionales para situaciones de emergencias: El estudio de una planta hospitalaria con múltiples servicios sanitarios (TFM).



Ilustración 5. Portada TFM.
Fuente: Pablo Florido Cantón.

Siguiendo en la misma línea de investigación que su PFG, D. Pablo Florido Cantón realizó en el año académico 2021-2022. En él, procederá a realizar simulaciones computacionales con la ayuda del Software **Pathfinder Thunderhead** de casos de emergencia en un Hospital, mostrando de esta forma la importancia de evaluar la eficacia de los recorridos de evacuación y de la evacuación de un edificio en caso de emergencia, utilizando las simulaciones computacionales, valorando los resultados de la evacuación a través de gráficas y tablas. Además, gracias a la diferentes hipótesis de simulación que D. Pablo plantea, obtendremos el comportamiento de los ocupantes en estas situaciones, donde aparecen los puntos más críticos de evacuación y el traslado de los pacientes mediante medios auxiliares e incluso la asistencia de terceras personas.

La evacuación por situación de emergencia en el ámbito hospitalario. Ejemplo de análisis por simulación computacional en plantas de hospitalización (TFM).

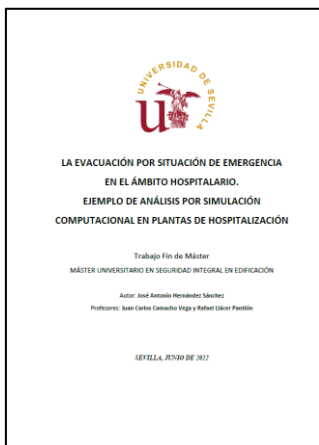


Ilustración 6. Portada TFM.
Fuente: José Antonio Hernández Sánchez.

Trabajo Fin de Máster realizado por D. José Antonio Hernández Sánchez realizado en el mismo año académico que D. Pablo Florido Cantón, en el 2022. En él, procederá a realizar simulaciones computacionales al igual que su compañero, pero en una ubicación del Hospital diferente, diferente planta y zona. En el presente trabajo, José Antonio, realizó la simulación de la evacuación del centro a estudiar, planteando distintos escenarios, plasmando y analizando posteriormente los resultados obtenidos, tratando de conocer si los medios de evacuación del propio edificio y el personal del centro que participa y ayuda al resto de ocupantes en la evacuación del edificio, permiten una correcta salida o traslado de usuarios y pacientes.

Evaluación de las medidas de autoprotección y actuación de bomberos mediante una simulación dinámica de incendio (FDS) y de evacuación de personas en el auditorio riberas del guadaíra (Alcalá de Guadaíra-Sevilla).



Ilustración 7. Portada PFG.
Fuente: Álvaro Cabero Fernández.

Proyecto Fin de Grado elaborado por Álvaro Cabero Fernández, cuyo objetivo se centra en evaluar las medidas de autoprotección y actuación, hasta esa fecha, de los bomberos en el “Auditorio Riberas del Guadaíra”, con la simulación de un incendio con los condicionantes actuales del edificio, y la simulación digital de la evacuación de los ocupantes del centro (Cabero Fernández, 2022).

2.2.2 Artículos publicados en revistas científicas indexadas.

En el presente apartado comenzaremos con una breve introducción sobre cuáles han sido los pasos que hemos seguido para la selección final de los artículos publicados en revistas científicas indexadas.

- **Diseño de la búsqueda sistemática.**

Se realizó una búsqueda sistemática siguiendo las directrices de la declaración PRISMA (Page et al., 2021) (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses).

- **Bases de datos y estrategia de búsqueda.**

La búsqueda se realizó en las bases de datos electrónicas Web of Science, Scopus y Pubmed. A partir de las palabras claves que arrojó la pregunta de investigación siguiendo la estrategia de búsqueda estableciendo los siguientes criterios:

Tema	Simulación computacional.
Ámbito	Edificación.
Comparador	Identificar estudios similares de evacuación en caso de emergencias.
Outcomes/Resultados	Evacuación, Emergencias, fuego, incendios, simulación computacional, países, gestión de emergencias.
Pregunta de investigación	¿Se utilizan las simulaciones computacionales para la gestión de emergencias?

Tabla 1. Tabla resumen para la búsqueda de artículos en las bases de datos.

Llevándose a cabo estrategia de búsqueda con el objetivo de mejorar la captación de estudios publicados acordes a la temática de estudio, se recurrió al uso de términos sinónimos en lengua inglesa con objeto de establecer y completar la estrategia de búsqueda siendo unidos mediante los operadores booleanos "AND".

Términos

Emergency

Simulation

Building

Tabla 2. Términos empleados en la búsqueda.

En la siguiente tabla, **Tabla 3**, se recogerá la estrategia de búsqueda empleada, realizada el día 18 de febrero de 2023 para cada una de las bases de datos anteriormente citadas durante el proceso de búsqueda.

Base de datos	Estrategia de búsqueda	Resultados
Web of Science	Evacuation Simulation (Tema) and emergency (Tema) and building (Tema) and Artículo (Tipos de documentos) and 2023 or 2022 or 2021 or 2020 or 2019 or 2018 (Años de publicación) and Artículo (Tipos de documentos) and English or Portuguese (Idiomas)	342
Scopus	(título-abs-clave (evacuación y simulación) y título-abs-clave (emergencia) y título-abs-clave (edificio)) y (límite a (pubyear, 2023) o límite a (pubyear, 2022) o límite a (pubyear, 2021) o límite a (pubyear, 2020) o límite a (pubyear, 2019)) y (limitado a (doctype, "ar"))).	170
IEEE	("All Metadata":Emergency) AND ("All Metadata":Simulation) AND ("All Metadata":building)	16
Pubmed	((evacuation simulation) AND (emergency)) AND (building)	3
Fecha de búsqueda: 18/02/2023		TOTAL
		531

Tabla 3. Estrategia de búsqueda.

- Criterios de selección.

Para la selección de los artículos se utilizaron los siguientes criterios de inclusión: 1) artículos originales publicados en inglés, español, francés y portugués, en los últimos 5 años; 2) tipo: artículos originales, metaanálisis, revisiones sistemáticas, comunicación breve/corta y reporte de caos y; 3) artículos que midan alguno de los siguientes valores y/o efectos: evacuación de emergencias, simulación computacional, evacuación en edificios, simulación basada en agentes, pathfinder, pyrosim, incendios, evacuación en hospitales. De igual forma, los criterios de exclusión fueron: 1) estudios con un idioma diferente a inglés, español, francés y portugués; 2) tipología: artículos de opinión, editoriales y cartas al director/editor; 3) estudios de baja calidad científico-técnica tras aplicar la herramienta de evaluación de la calidad y; 4) artículos que no den respuesta a la pregunta de investigación y no estén relacionados con el objeto de la revisión.

- Recogida y extracción de datos.

En la elaboración de este trabajo se han realizado búsquedas bibliográficas y en el cribado y selección de los artículos se eliminaron los estudios duplicados y se seleccionó los artículos

susceptibles de ser incluidos tras la lectura del resumen y título según los criterios previamente establecidos. Tras este primer cribado, se analizó el artículo completo y se seleccionó aquellos los estudios potencialmente susceptibles de incluir en la revisión. Una vez realizada la selección los autores del trabajo aclararon dudas que pudieron surgir finalizando la búsqueda.

- **Evaluación de la calidad metodológica.**

Tras la selección de los estudios se evaluó la calidad metodológica de los estudios seleccionados mediante las herramientas de evaluación crítica con el objetivo de seleccionar artículos de calidad relacionados con la simulación de evacuación en edificación. Inicialmente se buscaron artículos que trabajaban los casos utilizando cualquier sistema de simulación basados en agentes para llegar a los trabajos de investigación que utilizaban software comerciales. Finalmente, que utiliza como criterio válido de selección de estudios son aquellos que utilizan el software Pathfinder de Thunderhead como herramienta para realizar la evacuación de personas en edificación.

Diagrama 2. Resultados de la búsqueda (Diagrama de flujo – PRISMA)

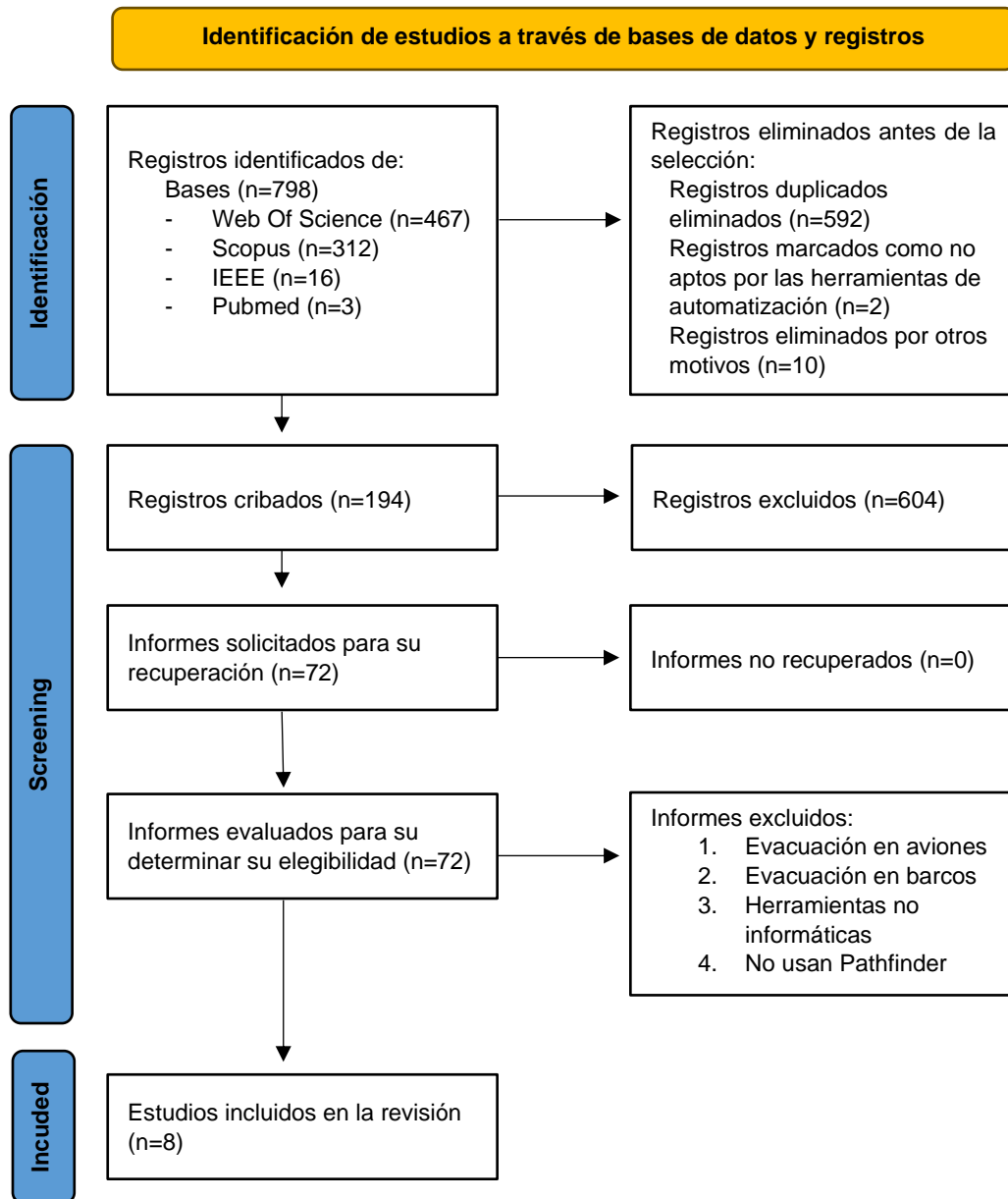


Tabla 4. Cuadro resumen de los artículos en revistas científicas indexas.

Estudios	Contexto	Objetivo del estudio	Tipo de estudio	Ámbito	Instrumentos	Principales hallazgos
(D'Orazio et al., 2020).	Roma, Italia.	Identificación y evaluación de los problemas que se dan en la evacuación de un Hospital.	Simulación computacional.	Evacuación del Hospital.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	La evacuación de un Hospital supone muchos problemas, tanto por las condiciones de los pacientes como por la complejidad del uso al que es destinado y el edificio, por lo cual, este trabajo se centra en la identificación y evaluación de este tipo de dificultades, a las que se enfrentan en la evacuación de la salida de una tercera planta del Hospital Universitario Campus Bio-Médico de Roma, Italia, mediante el empleo de un software de simulación, Pathfinder, realizando una comparación entre los resultados extraídos de la simulación y los resultados experimentales mediante la realización de un simulacro real.
(Tang et al., 2021).	China.	Creación de un nuevo marco basado en simulación sistemática.	Simulación computacional.	Evacuación del edificio terminal de pasajeros.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	Propuesta sobre un marco basado en simulación sistemática en la evacuación de un edificio terminal de pasajeros muy concurrido en una terminal de entrada/salida (Ro-Pax PTB), pudiendo descubrir el peor de los casos y luego evaluar el rendimiento de la evacuación. El marco comprende el Modelo de Simulación para la Operación de la Terminal de Pasajeros (modelo SM-PTO) y el Modelo de Simulación para la Evacuación de Pasajeros (modelo SM-PE).
(Gerges et al., 2021).	Egipto.	Mejora de la evacuación de un edificio de gran altura gracias a una previa información a los ocupantes del edificio.	Simulación de evacuación basada en agentes.	Edificio residencial de gran altura.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	Estudio que se centra en la investigación de cómo las instrucciones de evacuación personalizadas entregadas a cada ocupante, influye en un edificio residencial de gran altura, pudiendo ser esta una solución más rápida durante un incidente de incendio, con la ayuda del software simulador Pathfinder.
(Brzezinska et al., 2022).	Polonia.	Elaboración de un algoritmo matemático simple, determinando los parámetros de evacuación en función de las restricciones pandémicas.	Simulación computacional.	Edificio deportivo.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	El objetivo del estudio se centra en determinar cómo las restricciones pandémicas del Covid-19 afecta a las condiciones de evacuación. Se hace uso del programa Pathfinder, modelando un edificio deportivo, analizando el impacto de estas restricciones en las estrategias de evacuación. Con esta investigación se consiguió formular un algoritmo matemático simple, determinando las restricciones pandémicas. Además, se observó que es muy probable que el distanciamiento social pandémico puede extender significativamente el tiempo de evacuación de personas.

Estudios	Contexto	Objetivo del estudio	Tipo de estudio	Ámbito	Instrumentos	Principales hallazgos
(Hu et al., 2023).	Taiwán.	Problemática existente en la evacuación de un edificio histórico y su reutilización como museo, en caso de incendio para las personas con discapacidad.	Simulación computacional.	Antiguo ayuntamiento de Chiayi.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	Simulación de evacuación en Pathfinder para las personas con discapacidad cuando se enfrentan a un peligro en caso de emergencias en un espacio de bien cultural, utilizando como ejemplo el antiguo ayuntamiento de Chiayi. Se estudia la problemática de evacuación en caso de incendio tras la inauguración de este, haciendo uso del software de simulación de evacuación Pathfinder, analizando y comparando la evacuación tradicional, y la evacuación de las personas con discapacidad con las del público en general.
(Li et al., 2022).	China.	Propuesta de índice de riesgo de evacuación (IRE) y la capacidad máxima de evacuación segura en las estaciones de metro.	Simulación computacional.	Estación de metro.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	El fin de la investigación consiste en la propuesta de un índice de evacuación (IRE) y capacidad máxima de una evacuación eficiente y segura en una estación de metro. La simulación comenzará evacuando por diferentes momentos y con diferentes velocidades, clasificando de esta manera a los peatones. La respuesta de emergencia por adelantado no mejoró la eficiencia de la evacuación, sin embargo, la respuesta de emergencia tardía se redujo en gran medida.
(Xiao et al., 2022).	China.	Garantía de una segura construcción de edificios prefabricados y de una mejora de la evacuación del personal tras un incendio causado por fallo en la ejecución.	Simulación computacional.	Edificios prefabricados.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	El objeto de la investigación se basa en la realización de un análisis de riesgo para las zonas donde se ejecuten construcciones de edificios prefabricados. Estableciendo, a la hora de investigar el proceso de desarrollo de incendios y la teoría de diseño de escenarios de incendio, un modelo de simulación numérica de incendios.
(Nourkojouri et al., 2023).	Irán.	Desarrollo de una herramienta para estimar de forma rápida, sencilla y precisa la densidad y el tiempo de salida de los ocupantes.	Simulación computacional.	Edificios.	Thunderhead Engineering, Pathfinder.	En esta investigación, se han adaptado algoritmos de aprendizaje profundo para la evaluación del proceso de evacuación en los primeros pasos del diseño. El método genera resultados de los análisis, siendo de alternativa fiable para las simulaciones de evacuación, las cuales consumen gran parte del tiempo en las primeras etapas del diseño. Además, el análisis del mapa de calor de la densidad de ocupantes en las rutas en el proceso de evacuación, ayuda a los diseñadores de la congestión que se efectúa en los recorridos de evacuación o en las salidas del edificio.

El autor del artículo publicado en el 2020 (D'Orazio et al., 2020), enfocó su estudio, con la herramienta Pathfinder, en la problemática dada en la salida de una planta de Hospital. Finalizando con una comparativa entre los resultados obtenidos con el Software y un simulacro real.

Llevo a cabo la investigación mediante 3 escenarios diferentes, creando un conato de incendio en una habitación de paciente, en la sala eléctrica y en la cocina. Además, tuvo en cuenta los diferentes factores que afectan al tiempo de evacuación, los factores que influyen en la decisión de evacuar el edificio o refugiarse en una zona segura diseñada, el número y tipo de pacientes que hay en su interior y el personal que forma parte de estos centros. En el diseño del modelo de simulación, optaron por el modelo automático, pudiendo procesar una gran cantidad de variables, es decir, la simulación del comportamiento de cientos de personas cuya manera de actuar son totalmente diferentes entre sí. La evacuación de la sala, deberá de ser lo más rápido posible de forma que las personas más ágiles deben de ser las primeras evacuadas. Una vez obtenida la simulación de los 3 escenarios diferentes, se procede a la comparativa de resultados entre los del Software y los de un simulacro realizado.

Los resultados nos indican que el uso de Pathfinder para solventar la problemática de tener que organizar un simulacro real y todo lo que ello conlleva, es viable, ya que los tiempos de evacuación total obtenidos por Pathfinder, son similares a los observados durante el simulacro. El uso de esta herramienta software, proporciona algunos de los puntos críticos de los procedimientos o de la configuración del edificio, conforme a las leyes vigentes. Pero esto no descarta que la realización de un simulacro realista siga siendo una herramienta muy útil para la mejora de puntos críticos, ya que a pesar de que las luminarias de emergencia, cumplan con normativa, el grado de falta de visibilidad no se determina ya que es un factor muy variable.

Posteriormente, fue publicado un artículo (Tang et al., 2021) enfocado en las diferentes incertidumbres que pueden ocasionarse en los casos de emergencias, como en un accidente de incendio, siendo, por ejemplo, uno de los factores que influyen a la evacuación de un edificio terminal de pasajeros muy poco concurrido de entrada/salida, la carga de ocupantes o la distribución de pasajeros, proponiendo un marco fundamentado en simulación sistemática para descubrir el peor de los casos y evaluar el rendimiento de evacuación.

En el diseño del marco, se proponen dos modelos, el **Modelo de Simulación para la Operación de la Terminal de los Pasajeros**, en adelante, modelo **SM-PTO**, del cual se obtiene la carga de los ocupantes y las distribuciones de pasajeros mediante la simulación del proceso de operación y del movimiento de los pasajeros con el software AnyLogic, y el **Modelo de Simulación para la Evacuación de Pasajeros**, en adelante modelo **SM-PE**, simulando en este caso la evacuación de pasajeros para determinar el tiempo de acción de evacuación bajo la carga de ocupantes simulada y la distribución de pasajeros del modelo SM-PTO con la ayuda de Pathfinder.

Para este último modelo, el modelo SM-PE, el espacio de movimiento de pasajeros y los componentes de salida se crean y organizan primero para la simulación de evacuación en función del diseño del **edificio de la terminal de pasajeros (Ro-Pax PTB)**. En segundo lugar, han definido mediante perfiles y compartimentos los grupos de población, definiendo con ello características fijas de los grupos de población como la velocidad máxima, radio, avatar, color secuencia de acciones que el ocupante realizará a lo largo de la simulación. Posteriormente, proceden a incorporar, en la simulación, a los ocupantes y sus ubicaciones según la carga de ocupantes simulada y la distribución de pasajeros del modelo SM-PTO.

De entre los dos modos de simulación que oferta Pathfinder, en el modo **SFPE (Sociedad de ingenieros de protección contra incendios)**, los agentes utilizan comportamientos que siguen el Manual de Ingeniería de Protección contra Incendios de SFPE, con velocidades de paso dependientes de la densidad y límites de flujo hacia las puertas, teniendo en cuenta

que los cálculos no impiden que varios pasajeros ocupen el mismo espacio, por lo que para esta investigación, el autor decide aplicar el otro modo, el de dirección, enfocado en la idea de comportamientos de dirección inversa, manteniendo los pasajeros un espacio razonable y sus velocidades al caminar cambiarán con el entorno en función de las velocidades máximas iniciales, siendo, además, capaces de evitar obstáculos y ocupantes mientras se dirigen en la dirección correcta hacia su objetivo, respondiendo de esta forma a un entorno dinámico. Ultimando con la generación del tiempo de acción de evacuación, la densidad de evacuación, el uso de la salida y el uso de la habitación para el escenario dado del diseño de Ro-Pax PTB, el escenario del incidente y la distribución simulada de pasajeros.

Gracias a esta investigación, mediante la dinámica de distribución de pasajeros, han identificado el peor de los casos para evaluar el rendimiento de evacuación, aportando como solución mejoras en el diseño del diseño y gestión operativa del Ro-Pax PTB, brindando los resultados una valiosa perspectiva teórica y práctica, los cuales, han sido propuestos para averiguar las causas de los cuellos de botella de evacuación y proponer unas opciones de mejora disponibles. La mayoría de los estudios anteriormente realizados, se enfocan en la mejora de la seguridad lograda por el diseño o rediseño del diseño del edificio. Sin embargo, en esta ocasión, el autor decide cambiar, por ejemplo, la ubicación de la puerta de registro, llevando a cabo una mejora el rendimiento de la evacuación.

El marco propuesto, puede actualizar las distribuciones iniciales de pasajeros para el proceso de operación recientemente modificado del RoPax-PTB. Por lo tanto, es capaz de ayudar a los diseñadores a mejorar el rendimiento de evacuación del RoPax-PTB desde la perspectiva del diseño integrado con la gestión operativa el RoPax-PTB, pero no se profundiza en el mecanismo de influencia de la integración de los obstáculos móviles con los pasajeros como lo hacen la mayoría de los estudios de investigación sobre simulación de evacuación. Por lo tanto, proponen realizar un experimento más extenso, cuantificando la relación entre la reducción de la velocidad de viaje, el tipo y tamaño del equipaje, y los grupos de población. Una vez definidos estos parámetros, el marco propuesto en el estudio podría llegar a funcionar bien, modificando los parámetros de velocidad de viaje para diferentes grupos de población.

El mismo año se publicó un estudio sobre la agilización de la evacuación en un edificio de gran altura, en función de que sus ocupantes tuviesen el conocimiento de las instrucciones de evacuación en caso de incendio, con ayuda de sus teléfonos inteligentes, y en función a la ubicación en la que se encuentran en el interior del edificio (Gerges et al., 2021).

Mediante el software Pathfinder, se estableció la restricción de los evacuados, de manera que estos, escogiesen las rutas de salidas particulares para entregar instrucciones de evacuación personalizadas a los evacuados reales. La investigación se basó en 8 escenarios diferentes, dando un resultado total de 96 simulaciones diferentes, donde todos los ocupantes tienen el mismo tiempo previo al movimiento, entre un 3-5 min. a un 75% de los ocupantes, y al 25% restante, un tiempo de entre 6-8min. Seis de los ocho escenarios planteados permitieron el uso del ascensor como opción de evacuación, pero en el escenario 6, fue en el único donde solo un ocupante utilizó el ascensor.

Se observó una reducción en el tiempo de evacuación de más de 17 minutos. Con las simulaciones de salida destacaron cuestiones interesantes para el estudio del caso en particular y para la salida de incendios en general. Con el comportamiento de algunos ocupantes, como dirigirse hacia la segunda entrada más estrecha existente en el edificio, llegaron a la conclusión de que existe la necesidad asignar a los ocupantes instrucciones personalizadas. Además de detectar que uno de los factores que ralentizó la evacuación de edificio fue, en la mayoría de las simulaciones realizadas, los evacuados con movilidad reducida al principio de las colas, alterando el ritmo de los ocupantes que van detrás de ellos. Plantearon el uso del ascensor, siempre que sea seguro, para la reducción del tiempo de evacuación, pero con una cuidadosa coordinación basada en la investigación.

En definitiva, el objeto del estudio fue medir el impacto de las instrucciones personalizadas enviadas a los teléfonos de los ocupantes del edificio en función de la ubicación en la que estos se encuentren. Por diferentes circunstancias, no se pudo poner a prueba en la realidad, por lo que restringir la ruta de salida del agente simulado de una manera particular fue el mecanismo más factible para modelar el efecto que habían diseñado, por lo tanto, la validez puede ser cuestionada, ya que algunos ocupantes pueden no recibir las instrucciones, pueden recibirlas pero no leerlas, o pueden leerlas pero ignorarlas, además de que existe la probabilidad de que haya ocupantes con problemas de visión, que pueden tener dificultades para leer las instrucciones en sus teléfonos inteligentes, particularmente en condiciones difíciles de incendio.

En 2022 un artículo publicado en revistas científicas, empleó el software Pathfinder para observar cómo influían las restricciones generadas por el Covid-19 en la evacuación de un edificio, siendo este un polideportivo (Brzezinska et al., 2022). Gracias al estudio, consiguieron elaborar un algoritmo matemático simple, donde se determinan los parámetros de evacuación de seguridad bajo las restricciones generadas a raíz del Covid-19, permitiendo la estimación del ancho mínimo de las salidas de emergencia.

Con los resultados obtenidos se pudo detectar y demostrar que el distanciamiento social extendía el tiempo de evacuación de personas, aumentando a su vez el riesgo de movimiento humano en condiciones críticas, ya que realizaron un simulacro real de evacuación del edificio bajo la situación pandémica, y modelos de evacuación, mediante el software, en situaciones normales y pandémicas.

Al año siguiente, en 2023, se publicó otro artículo plasmando la problemática existente en la evacuación del edificio en caso de incendio, tras su inauguración como edificio histórico y su reutilización como museo, el antiguo ayuntamiento de Chiayi (Hu et al., 2023).

Para la simulación de evacuación emplean el software Pathfinder, analizando la diferencia entre evacuación tradicional y la segregada, asumiendo tres tipos de escenarios. En primer lugar, la evacuación original, donde en caso de incendio las personas con discapacidad tienen prioridad para evacuar lo antes posible, pero al hacerlo de forma lenta, crean congestiones, ya que la multitud que va detrás de ellos no pueden pasar, llevando con ello un atraso en la evacuación de la planta. El segundo escenario se basa en la evacuación de emergencia del ascensor, se plantea igual que en el primer escenario, lo que cambia es que se añade un ascensor sin barreras adicional, de manera que los miembros del personal guían a las personas con discapacidad al ascensor para evacuar tan pronto como se desate el incendio, encontrándose con la problemática de los evacuados en curso de ese momento, debiendo reducir la velocidad o esperar. Por último, se crea un escenario de evacuación mediante una rampa externa, su configuración es igual que la de los dos escenarios anteriores, su única diferencia es que el ascensor implantado en el segundo escenario, se cambia por una rampa externa, las personas con discapacidad pueden utilizar directamente la salida independiente de la rampa para escapar, lo que evita que las personas con discapacidad tengan que entrar y salir más de una vez del lugar del incendio, reduciendo de esta forma los accidentes y aumentando la tasa de supervivencia.

En definitiva, los datos obtenidos con el software nos muestran con que en el escenario del uso de la evacuación de la rampa externa brinda a las personas con discapacidad el mejor tiempo de evacuación y tasa de supervivencia ya que la forma arquitectónica de la cultura de los edificios patrimoniales es frágiles, específico y de combustión rápida a diferencia de los demás edificios. Sus resultados podrán servir de modelo recomendado en el diseño de evacuación de emergencia para personas con discapacidad en bienes culturales a través del análisis de simulación de evacuación.

Volviendo al 2022, un artículo trató el impacto de diferentes tiempos de respuesta de emergencia en las evacuaciones de las estaciones de metro mediante el empleo de la herramienta tecnológica Pathfinder (Li et al., 2022).

Para el diseño de los diferentes escenarios elaborados, se introdujo un **índice de riesgo de evacuación**, en adelante **ERI**, considerando el riesgo de cada caso de evacuación. Analizó la eficiencia según el número de pasajeros en el andén del metro y en el vestíbulo de la estación, siendo mayor la eficiencia de evacuación cuanto menor sea el número de pasajeros. Tras realizar la simulación en 4 casos con procesos de respuesta a emergencias diferentes momentos y analizar los datos obtenidos, concluyeron que la evacuación es más peligrosa cuando todos los pasajeros son evacuados caminando, y cuanto más tardío sea el comienzo del proceso de respuesta de emergencia, por lo que habría que tener en cuenta los diferentes estados de velocidad deseados y el tiempo de advertencia de los peatones en las simulaciones de evacuación. A pesar de ello, la respuesta de emergencia anterior no promovió la eficiencia de la evacuación en comparación con el caso que inició la respuesta de emergencia mientras tanto.

Por otra parte, con ayuda del ERI, obtuvieron el número de pasajeros en cuellos de botella donde se producen congestiones durante la evacuación, la distancia más corta de difusión de gas entre cuellos de botella y el lugar del accidente, pudiendo, este método, determinar el peor escenario de evacuación del accidente y la capacidad máxima de evacuación segura de la estación de metro. La comparación entre el método ERI y otros, muestran que son consistentes, pero en el ERI se considera el factor de ubicación del accidente.

Un estudio basado en garantizar la seguridad de los edificios prefabricados y mejorar la eficiencia de la evacuación segura del personal de construcción después de un incendio causado por acciones incorrectas durante su ejecución (Xiao et al., 2022). Se utilizó la herramienta PyroSim para simular numéricamente un caso de emergencia, como es el de un incendio, para el interior de un edificio prefabricado, y Pathfinder para la realización de simulación, en combinación con los atributos físicos del personal, la velocidad de evacuación y las proporciones del personal. Creó un punto de incendio fijo, investigando la evolución de la propagación del incendio y la forma y tiempo de evacuación del personal.

Los resultados que obtuvo detallaron que las áreas con mayor densidad de personal eran los pasillos de evacuación y las escaleras, pudiéndose ocasionar fácilmente en estas zonas atascos, llevando esto a la retirada de los materiales prefabricados, aparatos mecánicos y otros elementos de las zonas con mayor probabilidad de atascos, evitando agravar la situación en caso de que se dé, eliminando obstáculos y reduciendo de forma efectiva el tiempo de evacuación al planificar razonadamente el acopio, ya que además, la eficiencia de la evacuación también va ligada a la densidad del personal, a su posición y el grado de congestión. Cuando se da el incendio, la variación de temperatura donde se origina y la tendencia de variación de temperatura es la misma. Por último, gracias al conjunto de resultados obtenidos se observa que el uso de herramientas tecnológicas para elaborar una simulación, son bastante apropiadas para investigaciones de evacuación.

Por último, en el año 2023, se publicó un artículo sobre la adaptación de los algoritmos de aprendizaje profundo para la evaluación del proceso de evacuación en las primeras etapas de diseño, desarrollando de esta forma nuevos métodos para la evacuación (Nourkojouri et al., 2023).

Generó algoritmos basados en **IA (Inteligencia Artificial)**, calculando el tiempo de evacuación en varios diseños arquitectónicos. Desarrollando, además, un **método de aprendizaje profundo (cGANs)** obteniendo mapas de color de las posibles congestiones que pueden provocarse en el recorrido de evacuación en etapas tempranas del diseño. Los datos aportados para esta investigación fueron planos generados con el software Pathfinder, debido a la escasez de herramientas tecnológicas para la evacuación de emergencia. Los resultados de investigación obtenidos, serán más extendidos si la información obtenida crece en tamaño y variación de planos arquitectónicos con la ayuda del modelado generativo, ya que por ahora solo son aplicables a la ligera fricción de los diseños arquitectónicos cuyo contorno es muy simple, como formas en ángulo recto, rectángulos...

Como podemos comprobar, tras haber realizado la búsqueda sistemática sobre que hay escrito de Pathfinder, hay una gran variedad de investigaciones que emplean este tipo de software en diferentes tipos de edificaciones y para diferentes finalidades. Con esto podemos deducir que se trata de una herramienta tecnológica de gran potencial, la cual aún está en fase de inicio, y que a pesar de la cantidad de estudios que la han empleado como apoyo para la mejora de medidas correctoras y de diseñar una evacuación de emergencia, aún queda mucho por descubrir y mejorar gracias a ella.

2.2.3 Software de simulación (Pathfinder).

Hoy en día, existe una gran variedad en el mercado con respecto a los software de simulación que satisfacen las diferentes necesidades con respecto a los simulacros. Para el presente estudio, el programa utilizado es Pathfinder, software de simulación que consta con tres elementos principales (interfaz gráfica, simulador y visor 3D). Permite al usuario la elaboración de cualquier edificio o incluso la importación de geometrías complejas de dibujos CAD. Además, tienen la suficiente flexibilidad para ser utilizados en escenarios como el estudio a realizar.

Es un modelo de malla tridimensional (3D), simulando evacuaciones, ya sean en casos normales que en casos de emergencia. En Pathfinder, se puede definir los parámetros de los ocupantes, dos conjuntos de variables, ambas relacionadas con las acciones y decisiones humanas, el modelaje de los perfiles de los ocupantes y de sus respectivos comportamientos y velocidades de evacuar. Además, los ocupantes se mueven hacia la salida de emergencia bajo las restricciones del Manual de la Sociedad de Ingenieros de Protección contra Incendios (SFPE), el cual incorpora velocidades en función de la densidad del espacio y de la capacidad de las puertas y escaleras.

El usuario del software especificará la carga inicial de ocupantes especificando la densidad en las áreas que este determine. El propio software considera que la simulación ha terminado, una vez todos los ocupantes hayan cruzado por las correspondientes salidas de emergencia asignadas.

Por otra parte, Pathfinder se pueden combinar con un modelo de fuego externo, como Pyrosim, software perteneciente al mismo paquete que el simulador de evacuación, Thunderhead Engineering, y construir modelos de características físicas, del paquete de software AutoDesk, como Revit y AutoCAD (Jiang et al., 2022).

4. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Los hospitales no son solo edificios, sino que son un bien vital para la comunidad, lugar donde comienza y termina la vida, por lo que hay que procurar en la mayor parte posible que sean espacios seguros en situaciones de emergencia.

Al estar ocupados las 24 horas del día, no son espacios donde se realicen la evacuación con gran facilidad, por ello, se realizan continuas inspecciones de los servicios sanitarios, donde se realiza la evaluación y comprobación de los requisitos normativos que se exigen a los mismos, implantando las carencias y posibles mejoras. Dichas actuaciones son realizadas por profesionales que además de ayudar al personal en materia de prevención, también son los encargados de redactar un documento donde quedan plasmados las implementaciones de las medidas adoptadas, además, dichas necesidades son identificadas tras la realización de simulacros, lo cuales, al igual que en los casos reales cuando se generen situaciones de emergencias, son muy difíciles de organizar y de aplicar dichas medidas de prevención y evacuación.

Debemos de tener en cuenta que en la gran mayoría de situaciones de emergencia que se dan en el interior de un Hospital no pueden solucionarse con la evacuación total del edificio, ya sea por características constructivas o por factores externos, por lo que hay que habilitar una zona segura y limitada para los ocupantes que no puedan ser evacuados en estas circunstancias, o sí pueden ser evacuados, pero no por sí mismos, sino que tendrían que depender con asistencia. Todo ello conlleva mucha actividad en su interior, por eso, últimamente se recurre a la utilización de nuevas herramientas tecnológicas, como la simulación (Alonso-Gutierrez & Ronchi, 2016).

A pesar de que los centros sanitarios y hospitales, deben de ser de los edificios más seguros, por la diversas funciones que tienen, no podemos eliminar el riesgo de que en mitad de todas estas tareas y actividades que se desarrollan en su interior, ocurran situaciones de emergencia que ponen en peligro a los ocupantes. A lo largo de los años, estas situaciones han quedado reflejadas en los artículos periódicos, como, por ejemplo:

“Un muerto en un incendio en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla”

“Al menos una persona ha resultado muerta en un incendio declarado esta mañana en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla, según fuentes municipales. El fuego se originó a las 06:40 horas en la Unidad de Agudos de Psiquiatría del citado centro hospitalario, de donde han sido evacuados una veintena de enfermos.”

“Al parecer saltó la alarma contra incendios por causas que se investigan y en el lugar del siniestro se encuentran varias unidades de bomberos y de Policía local y nacional. El aviso fue dado por un miembro del Cuerpo de Bomberos de Sevilla que se encontraba ingresado en otra unidad hospitalaria, por lo que inmediatamente se presentaron en el lugar diez unidades de bomberos y una veintena de unidades policiales que evacuaron a los enfermos e intentaron apagar el fuego.” [EL CORREO, 2009].

“Un muerto y 20 evacuados en un incendio en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla”

“Un paciente ha fallecido en un incendio declarado esta mañana en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla, según han informado fuentes municipales. El fuego se originó a las 6.26 horas en la Unidad de Agudos de Psiquiatría del citado centro hospitalario, de donde fueron evacuados una veintena de enfermos. Las primeras investigaciones apuntan a que uno de los pacientes ingresados en la planta de Psiquiatría del Virgen del Puerto habría provocado el incendio al prender fuego a un colchón y, como consecuencia de ello, habría perdido la vida. Según indicó un portavoz de Emergencias, las llamas sólo han afectado a la Unidad de Psiquiatría, que está aislada del resto por una puerta contraincendios y, por tanto, el fuego no se propagó a otras instalaciones.” [ELMUNDO, 2008].

“Detenido un paciente de Covid tras prender fuego a su colchón y originar un incendio en un hospital de Cádiz”

“El Hospital Puerta del Mar de Cádiz ha sufrido un incendio originado sobre las 19.30 horas en la planta sexta, una de las plantas que está dedicada a pacientes con Covid. Según las primeras imágenes, hay afectadas al menos dos habitaciones en las que se puede ver las llamas desde la calle. Agentes de la Policía Nacional han detenido a un hombre que estaba ingresado por Covid en el centro como presunto autor del incendio, según han indicado fuentes policiales.” [20MINUTOS, 2021]

“Cinco heridos en un incendio en el hospital de San Lázaro”

“Cinco personas resultaron ayer heridas de carácter leve al inhalar humo en un incendio declarado en el Hospital de San Lázaro. El fuego se originó sobre las ocho menos veinte de la tarde de ayer en una habitación de la segunda planta, donde se encuentra el área de Psiquiatría. La Policía Nacional ha abierto una investigación para determinar el origen del fuego, que podría haber sido provocado por un paciente. El foco del incendio estaría en el colchón de la habitación de este enfermo, a la espera de que así lo confirme la inspección ocular de la Policía Científica.” [DIARIO SEVILLA, 2016].

“Un incendio en el Hospital de Sevilla”

“Hacia la una y media de la madrugada de ayer se declaró un incendio en el Hospital Infantil de la Ciudad Sanitaria Virgen del Rocío, en el que se encontraban internados en aquel momento más de trescientos niños. El fuego ha venido a recordar la deficiente estructura del hospital, reiteradamente denunciada por el personal. El siniestro, que se inició en el sótano, tal vez a partir de alguna bolsa de basura, fue advertido por un mecánico que observó la humareda y escuchó el ruido provocado por algunos chispazos originados en la instalación eléctrica. A pesar de que las llamas fueron rápidamente sofocadas, el humo, cada vez más denso, subió por las conducción es de aire acondicionado, transmitiéndose a todos los departamentos, con el consiguiente peligro para los internados.”

“La evacuación de los niños resultó particularmente laboriosa a causa de los humos, colaborando en ella los bomberos, el personal del centro y fuerzas de la Policía Armada y la Guardia Civil, que tuvieron que ayudarse con linternas, ya que el hospital quedó completamente a oscuras. No hubo que lamentar desgracias personales.” [EL PAÍS, 1977].

Como podemos comprobar, siempre está la posibilidad de que se den situaciones de emergencia en este tipo de edificios, por eso es tan importante que esté dotado con el personal formado, los medios y equipamientos adecuados, para que en caso de que exista un caso de emergencia, suponga el menor daño posible a los ocupantes, y para ello, el uso de las nuevas tecnologías suponen un aliado del lado de la prevención, ahorrándonos todo lo que supone el organizar un simulacro real en entornos como en el que vamos a elaborar nuestra investigación.

El presente trabajo se desarrolla en la planta sótano de un centro hospitalario donde se atienden a pacientes oncológicos y reciben diagnóstico y tratamiento de la enfermedad prestando un servicio esencial siendo imposible realizar un simulacro de evacuación, el cual llevaría a la paralización de la actividad.

5. METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el presente Trabajo Fin de Máster, seguiremos una serie de etapas concluyendo con el estudio de evacuación. Se dividirán las etapas en trabajo de campo y de gabinete.

Para el trabajo de campo comenzaremos con la **obtención y toma de datos del edificio** a estudiar, que por motivos de privacidad y temas de confidencialidad no se mencionará el nombre de este.

1. **Obtención y toma de datos:** El edificio a estudiar fue inaugurado alrededor del año 1975, donde en esos momentos no existía ningún tipo de normativa reguladora sobre protección contra incendios.
 - a. Se solicitarán los planos de las plantas a estudiar (Planta Sótano, Semisótano y Baja).
 - b. Una vez estudiado el edificio, realizar una serie de visitas guiadas al centro, recopilando datos como la ocupación existente, observación del escenario del cual se realizará la investigación, finalizando con entrevistas al personal de las diferentes áreas que trabajan en el centro.

En el trabajo de gabinete procederemos a la elaboración del **modelado del edificio e introducción de datos obtenidos y tomados** en el Software con el que vamos a trabajar, finalizando con un **resultado** y una **conclusión** del estudio realizado.

1. **Modelado del Edificio:** Elaboración del modelo de evacuación en el Software:
 - a. Elaboración de las diferentes estancias existentes en el centro.
 - b. Introducción de datos obtenidos y tomados.
 - i. Clasificación de los diferentes ocupantes, definiendo:
 1. Velocidades.
 2. Tiempos de espera y preparación.
 3. Computamientos.

Variando estos factores, elaboraremos las diferentes hipótesis.

2. **Resultandos:** Tras obtener los resultados de la simulación, haremos un estudio evaluando la solución obtenida.
3. **Entrevista:** Se volverán a llevarán a cabo visitas al centro para mostrar los resultados de la simulación al personal sanitario y técnico.
4. **Conclusiones:** Se definen las posibles soluciones y las diferentes mejoras sobre la evacuación estudiada.
5. Planteamiento de posibles futuras líneas de trabajo.

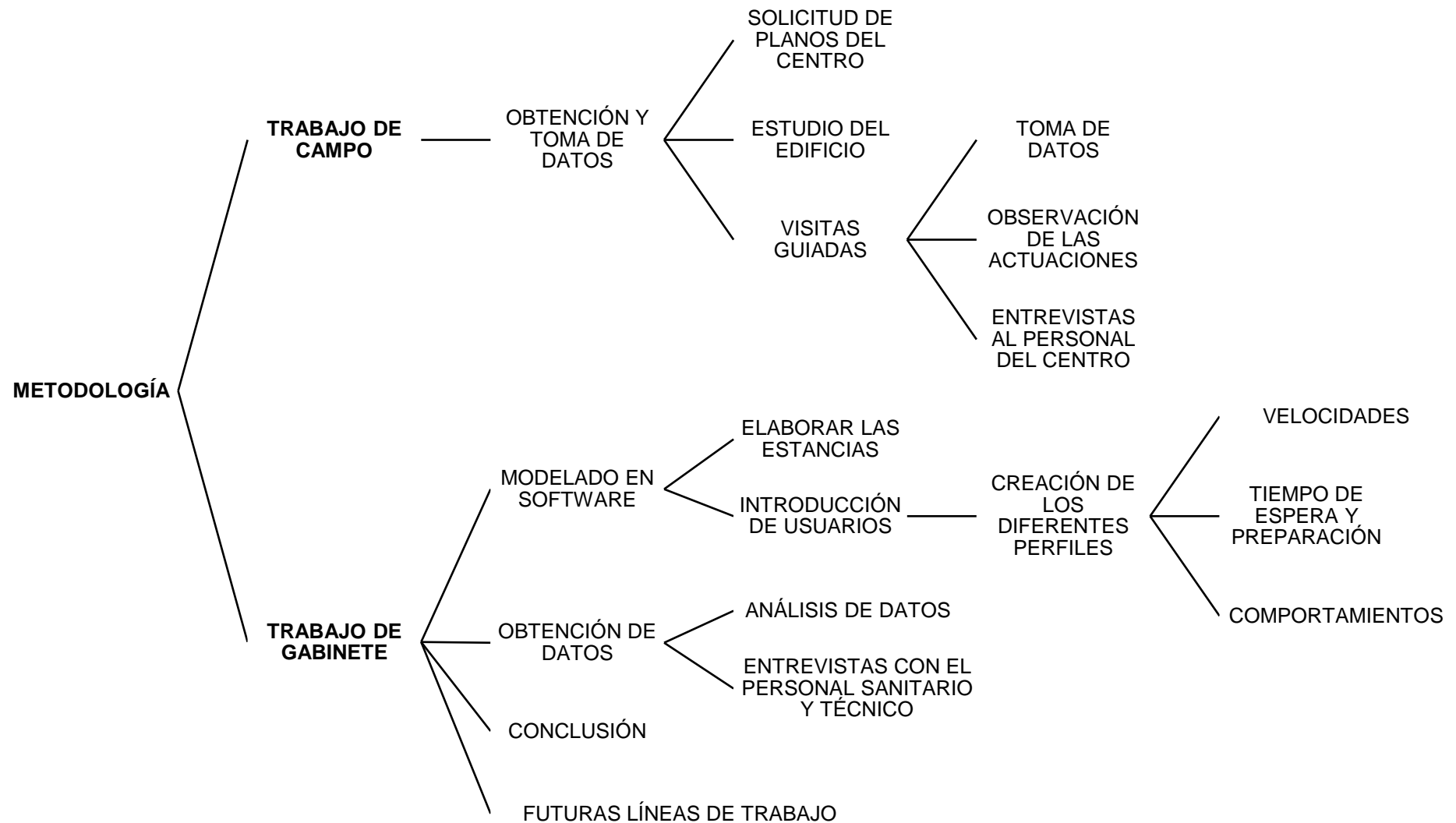


Diagrama 3. Esquema-Resumen de la Metodología del Trabajo Fin de Máster.

6. PLANTEAMIENTO DE LA SIMULACIÓN

PLANTEAMIENTO DE LA SIMULACIÓN

6.1 Modelado del centro en el Software de Simulación.

El centro a estudiar, por motivos de confidencialidad, no será nombrado en ningún momento en el presente estudio y Trabajo Fin de Máster. Se trata de un Hospital inaugurado entorno al año 1975, donde por aquel entonces no existía ningún tipo de norma reguladora para la Protección Contra Incendios en Centros Sanitarios y Hospitales, cuyo uso se clasifica como Sanitario Asistencial y Administrativo.

6.1.1 Descripción del edificio y entorno a estudiar.

La planta de la cual vamos a general la simulación, Planta Sótano, tiene una complejidad, ya que en ella, además de encontrarnos con la dificultad de estar bajo rasante, se ubican el área de Medicina Nuclear, Radioterapia, Oncología, Medicina Preventiva y Rehabilitación Electroterapia, entre otras estancias, esto significa que la gran mayoría de los ocupantes, son pacientes los cuales se someten a tratamientos de los cuales hacen que el nivel de debilidad y de autonomía, de estas personas sea diferente al del resto. Se trata de personas que, durante la evolución de su enfermedad, sufren un sin número de cambios a nivel físico, emocional y social, produciendo una serie de necesidades (Ayala de Calvo & Sepulveda-Carrillo, 2016).

En cuanto a la protección contra incendio, el edificio a estudiar cuenta con más de 50 años, por lo no está obligado a cumplir con lo dispuesto en el CTE-DB-SI (Gobierno de España, 2019), ya que fue edificado muchos años antes a la elaboración de esta norma, donde señalan que, en zonas destinadas a tratamientos especiales, como es el caso, no se limita la evacuación ascendente de los pacientes, siendo nuestra zona de estudio en planta sótano. Se destina la zona ubicada junto a los ascensores que pueden transportar camas y bajan hasta el sótano, con ello se facilita la evacuación de los pacientes encamados, con sillas de rueda y andadores, principalmente. Además, se encuentra cerca de una zona de rampa por la cual los pacientes con movilidad reducida que evacuen a esta zona pueden ser ayudados por los equipos de ayuda exterior para salir por la misma.

Dentro del grupo de personas con estancia durante el día, nos encontramos mayormente con personas de avanzada edad, las cuales, en caso de emergencia y de necesidad de desalojo del centro, deberán de ser asistidas ya sea por una persona acompañante de este, como por el propio personal sanitario que se encuentre en la zona a estudiar. Además, en esta zona del centro, nos encontramos con personas con movilidad reducida, personas en sillas de ruedas, andadores y bastones, que al igual que las personas mayores deberán de ser asistidos y guiados hacia el exterior, de la manera más sencilla y eficaz posible, sin entorpecer el flujo de evacuación del resto de ocupantes y de la planta. Hay que destacar también, que estos pacientes no son conocedores del edificio, por lo que en caso de producirse una situación de emergencia que obligue a evacuar deben ser asistidos por el personal sanitario del hospital debiendo dirigirlos hasta la zona segura más rápida y eficaz.

Zona donde sucede la emergencia.

En primer lugar, hablaremos en la ubicación donde se iniciará un conato de incendio, ocasionado por una base de enchufe. Se trata de la zona de medicina preventiva, en cuarto de gestora ensayos clínicos, contiguo a la sala de jefe de sección, digestivo y extracción de sangre.

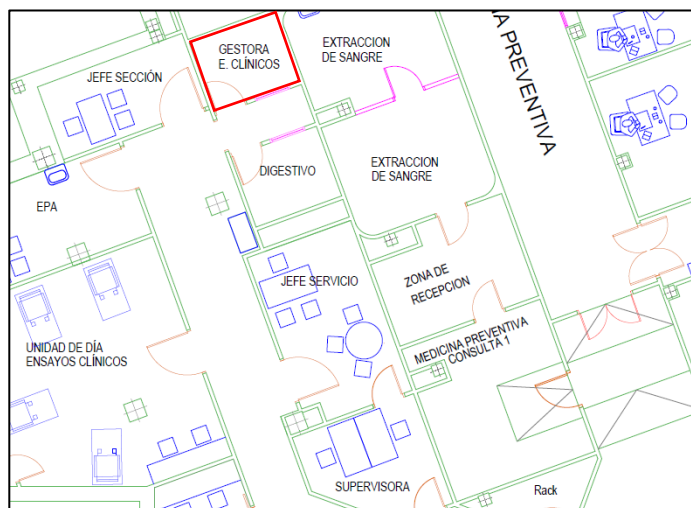


Ilustración 8. Ubicación de la zona donde se da el conato de incendio.

Medios de evacuación.

Para llevar a cabo la evacuación, será necesario conocer cuáles son los medios de evacuación del que está dotado el centro.

- **Salidas asignadas.**

Las salidas de evacuación asignadas serán tanto *Salida de Emergencia*, asignadas exclusivamente para la evacuación del edificio en caso de emergencia, como *Salida*, la cual es prevista tanto para situaciones normales como para situaciones de emergencia. Ambas señalizadas en función al CTE-DB-SI (Gobierno de España, 2019).

Salidas de la puerta principal de la planta baja [1], desembocando en un **Punto de Reunión** en el exterior, cuyo ancho corresponde a 4,35 metros cada una, y utilizándose estas, tanto en situaciones normales como de emergencia. Las de la planta sótano, dando acceso al exterior mediante rampas. Por el Oeste se encuentran las salidas [2], con 1,40 metros de ancho, en el Suroeste, y la [3], con 3,50 metros de ancho, en el Noroeste. Quedando por el Este las salidas [4], con 0,82 metros de ancho, situada en el Sureste, y la [5], con 0,93 metros de ancho, ubicada por el Noroeste.

- [1]. **Salida de Emergencia 1- Salida de Emergencia 2 - Salida de Emergencia 3.**
- [2]. **Salida Suroeste - Rampa de Rehabilitación.**
- [3]. **Salida Rampa de Cocina.**
- [4]. **Salida Rampa mantenimiento.**
- [5]. **Salida Rampa Lencería.**

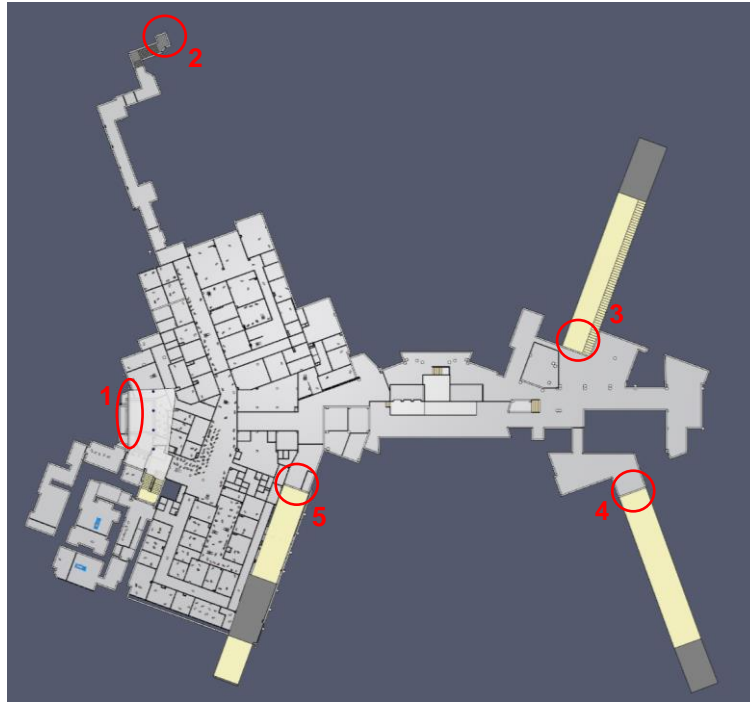


Ilustración 9. Distribución salidas de emergencia asignadas.



Imagen 1. Salida rampa mantenimiento.



Imagen 2. Salida rampa Lencería.

- **Escaleras.**

Para los ocupantes que tomen la decisión de evacuar el edificio por la salida principal del centro de la planta baja (1. Salida de Emergencia 1/2/3), deberán de hacer uso de las escaleras en sentido ascendente, siendo esta una escalera abierta. Sus características han sido tomadas del Plan de Autoprotección facilitado.

- **Ancho útil (m):** 1.60 m.
- **Plantas que comunican:** 2.
- **Capacidad de evacuación (nº de personas según CTE-DB-SI):** 132 personas.



Imagen 3. Escaleras de evacuación para salir por las puertas principales orientadas al Sur (nº2).

- **Zona de refugio.**

Las zonas de refugio se consideran superficies cuyas dimensiones son suficientes para las personas destinadas a esa ubicación. Según el CTE-DB-SI (Gobierno de España, 2019), serán zonas que no invadan la anchura libre de paso. Para la presente simulación, la zona asignada será en un espacio especialmente protegido y características propias a este tipo de estancias. La zona asignada es la de mantenimiento, donde se encuentran los ascensores.

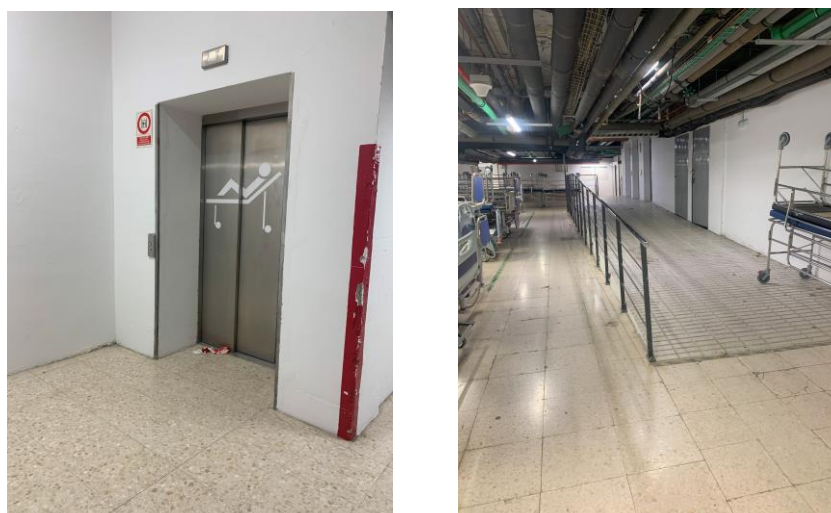


Imagen 4. Zona de refugio para personas con movilidad reducida.

Para la creación de la zona de refugio en Pathfinder, debemos de seleccionar el espacio donde queramos que se convierta en zona de refugio y seleccionar la opción **“Refuge Area”** (**Ilustración 10**).



Ilustración 11. Creación de la Zona de refugio para perfiles con movilidad reducida.

Una vez asignada la zona de refugio, para que vayan los ocupantes destinados a esta zona, en Pathfinder, a la hora de asignarles el comportamiento final a este tipo de ocupantes, seleccionaremos **“Goto Refuge Rooms...”**, donde posteriormente, marcaremos la zona asignada, siendo esta acción la última en la lista de comportamiento de los perfiles a los que son asignados.

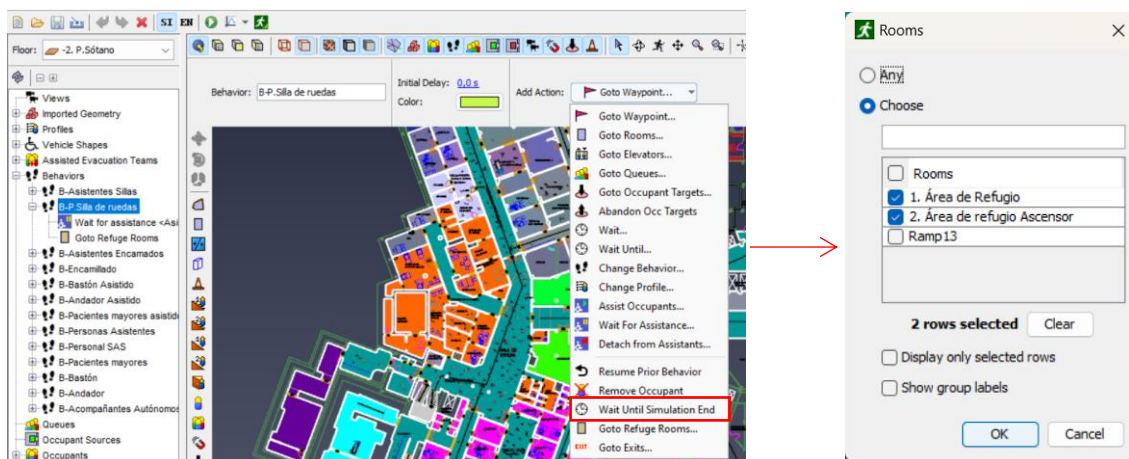


Ilustración 10. Asignación de la zona de refugio.

Crterios del CTE (Código Técnico de la Edificación).

Tras haber conocido en el apartado anterior los medios de evacuación de la planta a estudiar del centro, se procederá a hacer un análisis con lo que hay en la actualidad, en función de si cumple o no cumple con lo dispuesto en el CTE-DB-SI 3 (Gobierno de España, 2019).

		NO CUMPLE	CUMPLE
1.	Longitud recorridos de evacuación hasta salida de planta	X	
2.	planta baja [1]-Sur		X
	salidas [2]-Suroeste	X	
	salidas [3]-Noroeste	X	
	salidas [4]-Noreste	X	
2.	salidas [5]-Sureste	X	
	Dimensionado de puertas de evacuación.		
3.	Escaleras de evacuación.	X	
4.	Compuertas cortafuegos para la sectorización de zonas.	X	

1. En cuanto a lo dispuesto en la normal por la longitud de evacuación hasta la salida de planta, cuando el recinto disponga de más de una salida de planta o del edificio, indica que esta, no debe de ser mayor a 35 metros, requisito el cual, no cumple el centro, ya que en ocasiones supera en algunos puntos, esta distancia.
2. Para el ancho de puerta para las salidas de evacuación en función al flujo, solo cumplirán las condiciones las puertas de la planta baja.
3. Para las escaleras, en el caso de uso Hospitalario o de tratamiento intensivo, como es el caso, no se admitirán para efectuar la evacuación, escaleras que no sean protegidas. Como en el centro la escalera existente para evacuar desde la planta sótano, pasando por la semisótano y desembocando en la planta baja para efectuar la evacuación por las salidas ubicadas en el sur, es abierta. Además, el ancho que tiene dicha escalera es de 1,60 metros, pudiendo llegar a evacuar, según datos del Plan de Autoprotección, 132 personas por ella, siendo el número marcado por el CTE, para una escalera con dicho ancho ascendente de 211 personas, con lo cual ninguno de los dos requisitos cumple con el CTE-DB-SI 3.
4. Por último, haciendo referencia a los sectores de incendio, existen compuertas cortafuegos que no se adecuan a lo dispuesto en la norma, ya que muchas de ellas abren en sentido contrario al de la evacuación.

Estancias a estudiar.

Las zonas que se van a estudiar en el presente trabajo y simulación se centran en:

Radioterapia. Zona donde se hace uso de la radiación ionizante, ya sea sola o en combinación con otras modalidades terapéuticas, ya sean para tratamientos del cáncer como para enfermedades no neoplásicas.

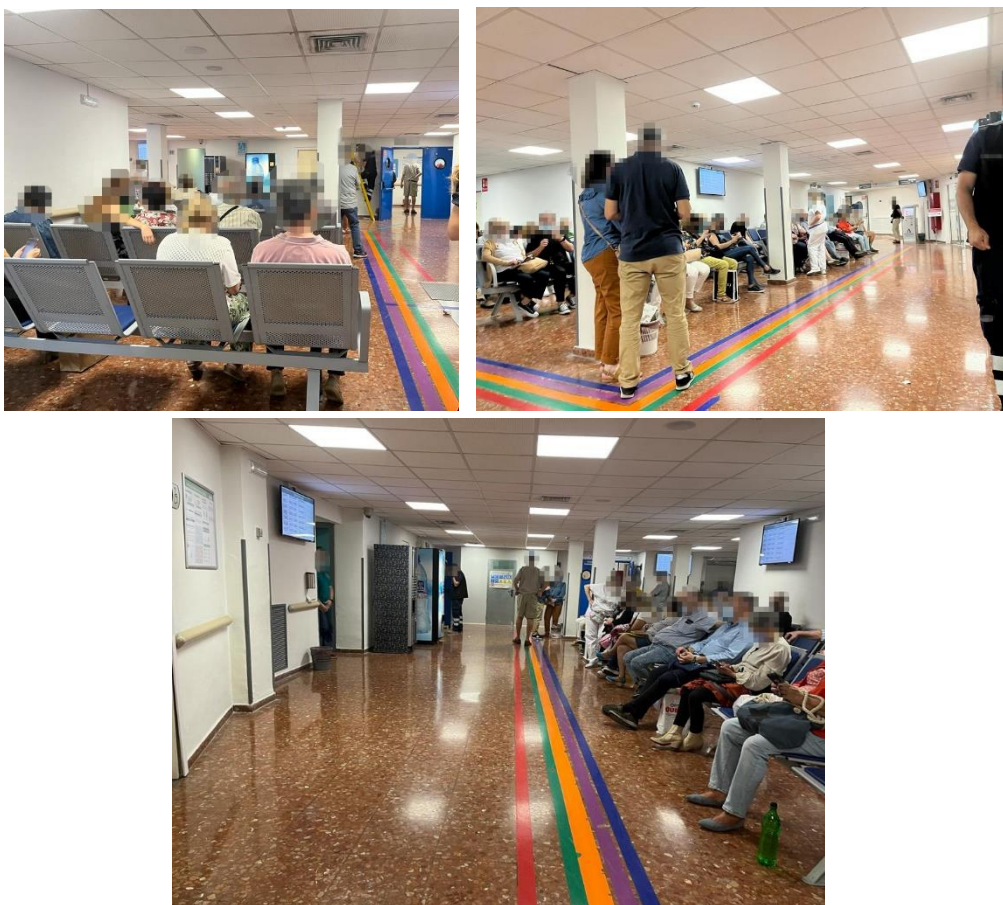


Imagen 5. Sala de espera Radioterapia. Horario de mañana 11:00 a.m.

Oncología. Zona donde estudian el origen y la evolución del cáncer, además de su tratamiento.



Imagen 6. Sala de espera Oncología. Horario de mañana 11:00 a.m.

Medicina Preventiva. Área de medicina donde se detecta precozmente la hipertensión, pudiéndose tratar antes de que cause la enfermedad o esté en sus principios.

Medicina Nuclear. Zona donde se utiliza radiotrazadores para la evaluación de las funciones corporales, diagnosticar y tratar enfermedades.

6.1.2 Modelado en 3D.

El modelado en BIM (modelado de información de construcción), hoy en día, nos permite realizar funciones que antiguamente eran inimaginables, siendo un claro ejemplo el estudio a realizar, de donde podremos obtener los resultados de una evacuación de emergencia en un centro mediante una simulación, sin necesidad de realizar simulacro, ahorrándonos todas las dificultades que conlleva llevar a cabo este tipo de actividad en centros como en el que vamos a trabajar, en Hospitales.



Ilustración 12. Modelado BIM del centro a estudiar.

En primer lugar, una vez obtenido los planos de la planta a estudiar en formato dwg, se procederá al levantamiento en 3D de las zonas que vamos a estudiar en el Software, del Paquete Autodesk, Revit.

En él iremos levantando las zonas a estudiar, determinando los diferentes niveles en los que vamos a trabajar, es decir, en nivel Planta sótano, Planta Semisótano, la cual se designará solamente para el trascurso de los ocupantes por la escalera que conecta a las plantas que se encuentra bajo rasante, con la salida de emergencia de Planta Baja, siendo esta la entrada/salida principal en situaciones normales y diarias.

Cabe destacar, que el modelado en BIM realizado no se encuentra completo, ya que el objetivo del estudio se centra en la evaluación de los distintos resultados que se obtendrán mediante el Software Pathfinder, pudiendo observar, gracias a ellos, los puntos críticos de evacuación, la densidad de los ocupantes, gráficas y tablas elaboradas por el programa. Siendo este el foco del estudio, se descarta la opción de un modelado completo del centro y se opta por la realización de algo más simple y atractivo a nivel visual, que complemente las simulaciones a realizar con las diferentes hipótesis que se plantearan más adelante. Por consiguiente, se conocerá la interfaz del programa a utilizar. Una de las ventajas que nos encontramos al trabajar con Pathfinder es la compatibilidad que tiene de poder vincular archivos en dwg, ifc, y muchos formatos más,

consiguiendo unas medidas reales y una agilización del trabajo a la hora de designar los diferentes espacios en el Software. El uso del programa se ha realizado con ayuda del manual propio de Pathfinder y de videotutoriales.

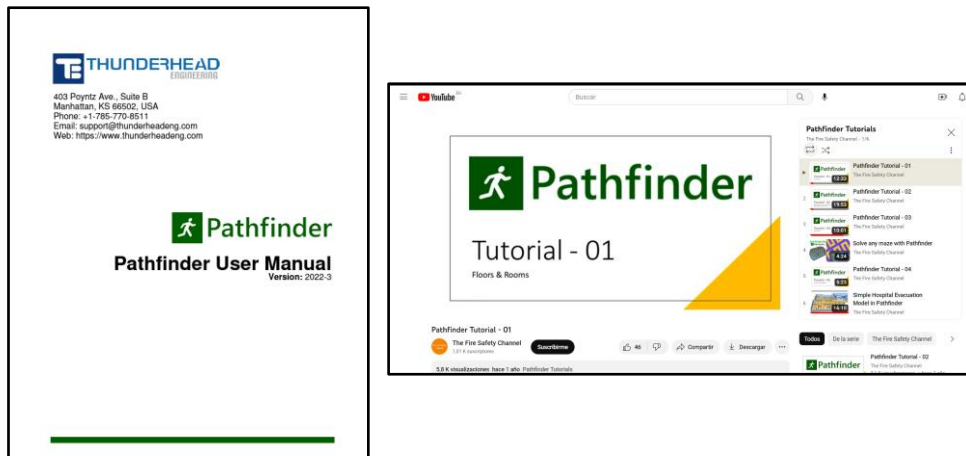


Ilustración 13. Documentación de apoyo.

Como primer paso para iniciar el modelaje, se procederá a la importación del modelo simple en 3D y de la planimetría en dwg.

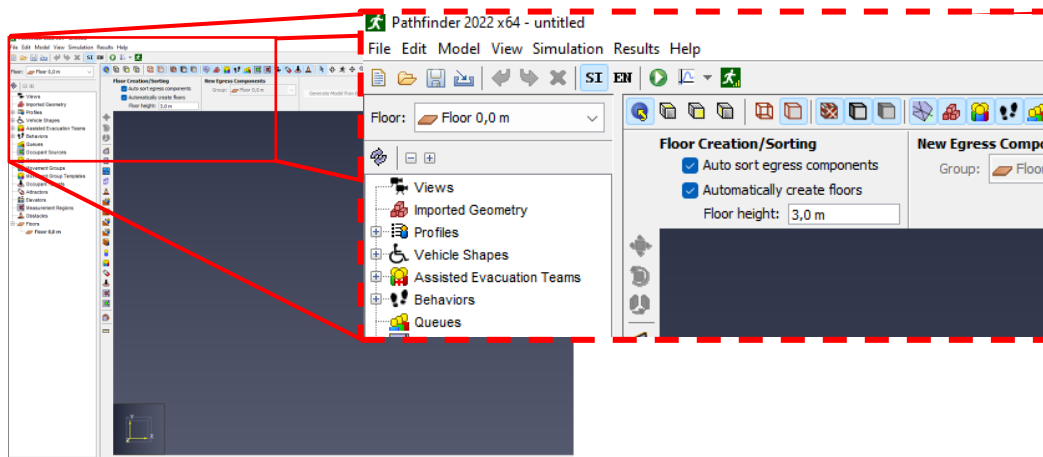


Ilustración 14. Importación de archivos a Pathfinder.

En la barra de herramientas superior, aparece un símbolo con forma de un rectángulo y una flecha, es ahí donde demos de pinchar para comenzar con la importación de los diferentes archivos.

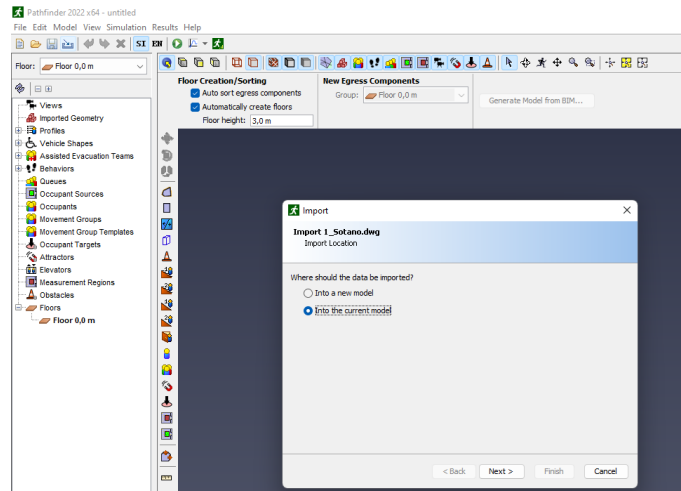


Ilustración 15. Importación de archivos a Pathfinder.

Una vez seleccionado la opción de insertar el archivo dwg en modelo actual, seleccionamos en que unidades queremos insertarlo (km,m,mm...), si queremos que nos genere solo líneas o superficie, o ambas opciones, en las coordenadas que queremos que se ubique, y más parámetros relacionados con la importación del archivo. Una vez introducidos los datos necesarios para la importación, nos aparecerá en el espacio modelo. Como podemos ver en la **Ilustración 16**, en la parte izquierda aparecen los dos archivos importados en nuestro caso.

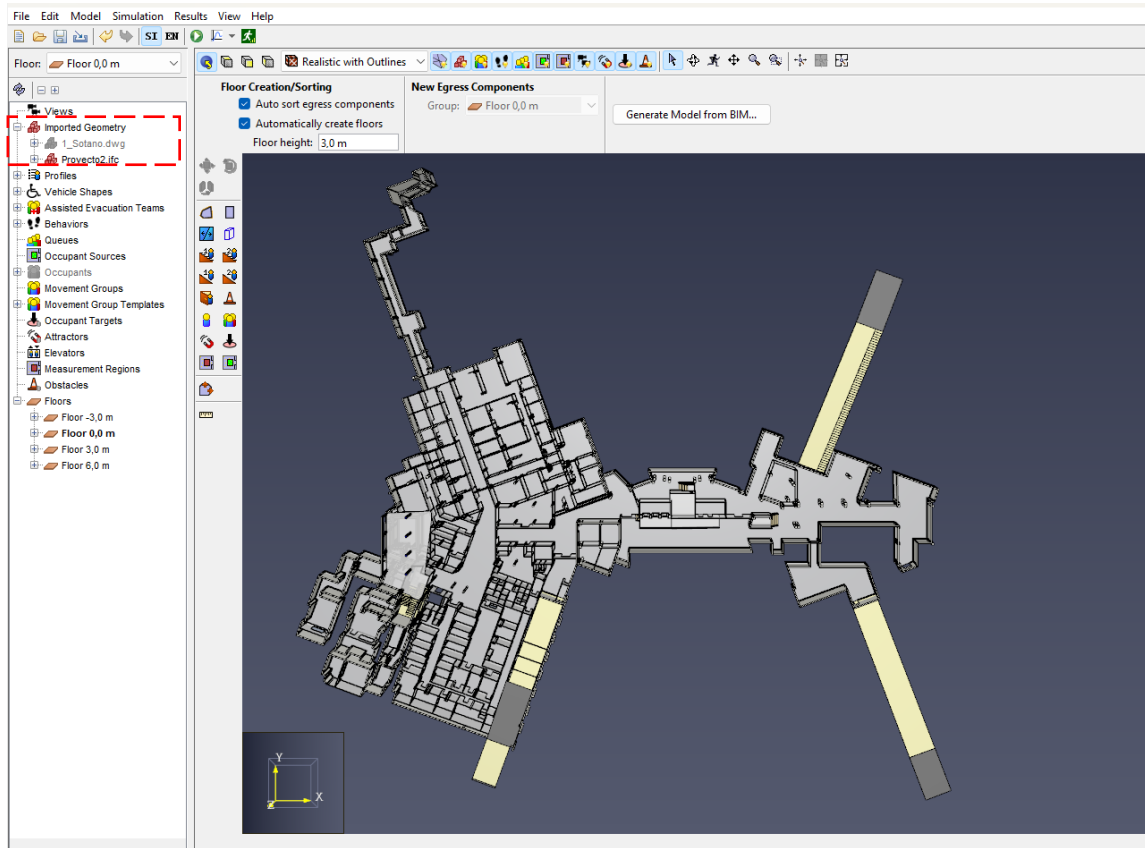


Ilustración 16. Espacio de modelaje con los archivos importados.

6.1.3 Creación del modelo en Pathfinder.

Para poder llevar a cabo la simulación, es necesario crear las diferentes habitaciones y puertas correspondientes al espacio a estudiar. La creación de las diferentes habitaciones se realizará con la opción “**Add Polygonal Room**”, de manera que, si cliqueamos dos veces seguidas en él, comenzaremos, en forma de cadena, la creación de los espacios. De igual manera haremos con la creación de puertas, con la opción “**Add a new Door**”.

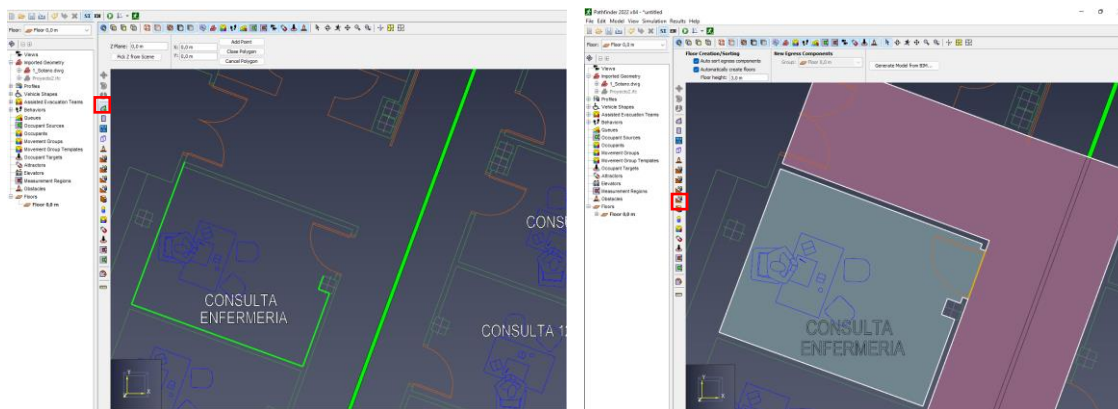


Ilustración 17. Creación de espacio y puertas en Pathfinder.

Como observamos en la **Ilustración 17**, en la de la derecha, la puerta aparece de color naranja, eso significa que es contigua a otro espacio, y la convierte en una salida hacia el recorrido de evacuación, sin embargo, si apareciese de color verde, como en la **Ilustración 18**, significa que es una de las salidas de emergencia.

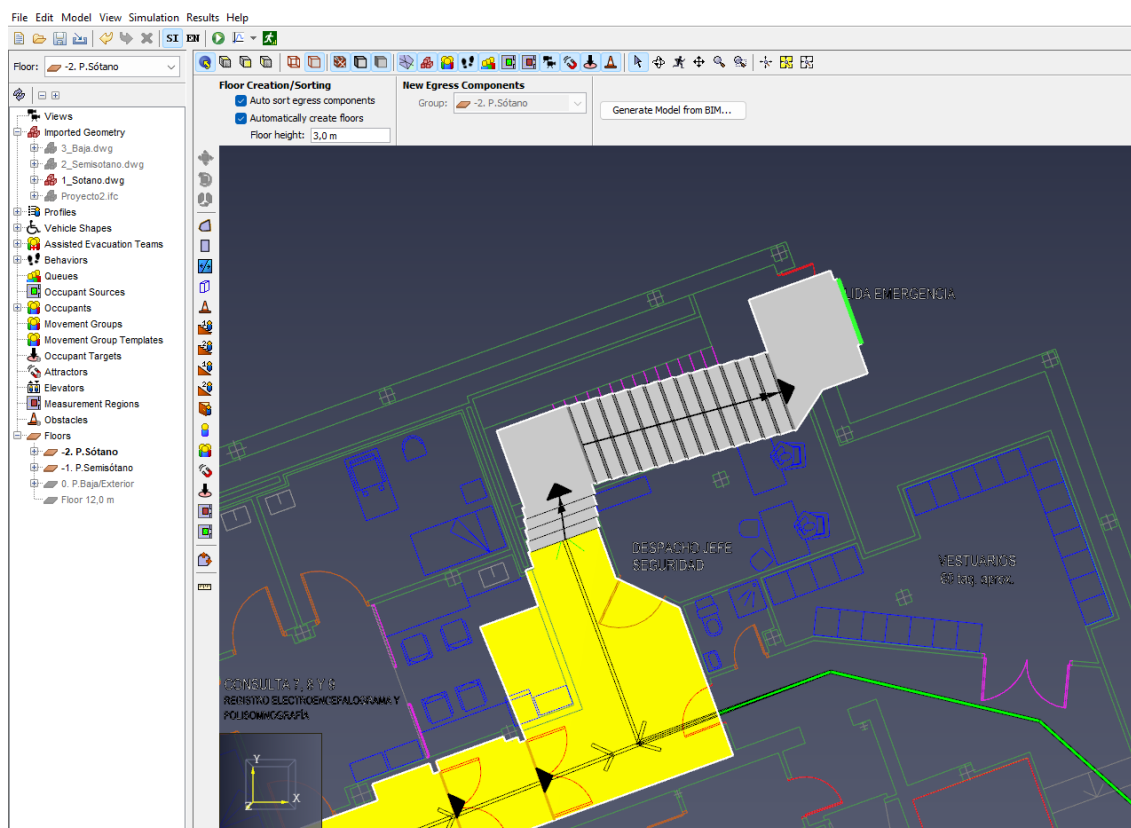


Ilustración 18. Creación de puertas de emergencia en Pathfinder.

Para las habitaciones que tienen más de una puerta es recomendable utilizar la opción **“Make Door One-way”**, ya que ayuda a prevenir el cruce de habitaciones, ignorando el recorrido de evacuación.

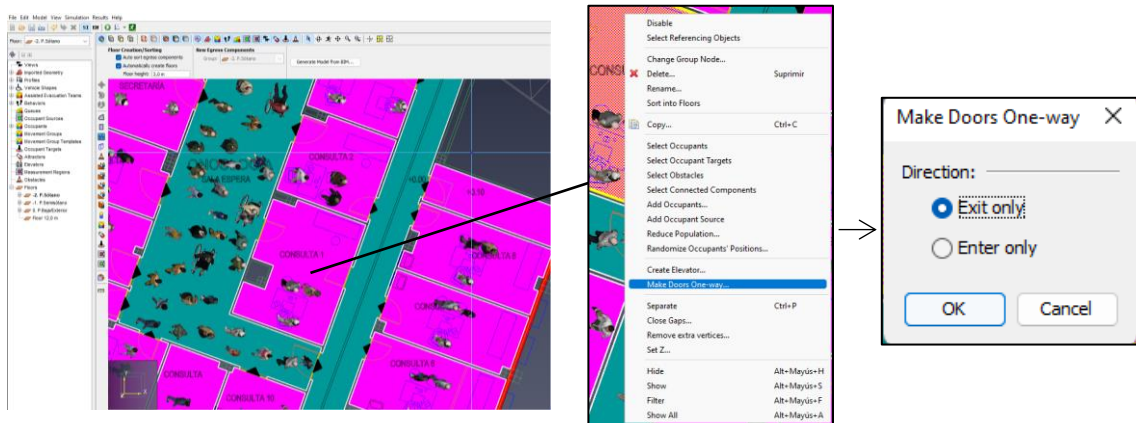


Ilustración 19. Prevención de cruce de habitaciones en Pathfinder.

6.2 Perfiles de los ocupantes.

En este apartado, describiremos los diferentes perfiles de usuarios en el interior del centro, además de realizar una breve explicación sobre la introducción de cada uno de los perfiles al programa. Comenzamos con el personal del hospital, el cual representa un 37,36% de la ocupación total.

PROFESIONALES DEL HOSPITAL

Personal Facultativo Especialista de Área (FEA).

Personal de Enfermería.

Personal de Gestión y Servicios. Administrativo.

Celador.

Diagrama 4. Personal del Hospital.

En cuanto al grupo de personas externas al personal del hospital, nos encontramos ante usuarios con estancia durante el día en el centro, englobando tanto pacientes de consulta, como con personas sometidas a tratamientos. Además, la clasificación del usuario externo a los profesionales del hospital, se puede distribuir según la movilidad de cada uno de ellos, guiándonos del mismo artículo que para determinar la velocidad de los ocupantes, “Principles for Monte Carlo agent-based evacuation simulations including occupants who need assistance. From RSET to R/SET” (Tinaburri, 2022).

PERFILES DEL USUARIO		
		(1)
Ocupantes asistidos.	(2)	-Personas en silla de ruedas y encamados. (4,32%)
	(3)	-Personas con bastón y andador. (3,08%)
	(4)	-Personas mayores. (21,30%) -Pacientes con autonomía. (21,00%)
Ocupantes con dispositivos de movilidad.	(5)	-Personas con bastón y andador. (3,08%)
Acompañantes y ayudantes de personas asistidas.	(6)	-Acompañantes. (2,16%)

Diagrama 5. Perfiles de los usuarios externos a los profesionales del Hospital.

⁽¹⁾Autónomo que requiere asistencia para encontrar la forma de evacuar o la notificación.

Tipo a): capaz de caminar sobre superficies uniformes y desiguales, y subir escaleras con ayuda de otra persona.

Este perfil, son personas mayores las cuales representa al 7,70% de la ocupación.

⁽²⁾No Autónomo-dispositivo de movilidad requerido.

Tipo a): transferible únicamente en silla de ruedas y encamados.

Perfil de pacientes con movilidad reducida o que reciben tratamiento, y por su estado no son capaces de desplazarse por ellos mismos. Este tipo de ocupantes representan el 4,32%, de la ocupación total.

⁽³⁾Autónomo con dispositivos de movilidad con ayuda de asistencia para la búsqueda de caminos. Personas, en función de las visitas realizadas al centro, mayores con necesidad de un dispositivo de movilidad como lo son los batones y andadores, y que además necesiten de otro ocupante que haga de guía para poder evacuar el centro, ya que por sí mismos no son capaces de hacerlo. Representan el 3.08% de los ocupantes.

⁽⁴⁾Autónomo. Capacidad completa de búsqueda de caminos, y de caminar en superficies uniformes y desiguales, y de subir o bajar escaleras. En este grupo, aparecen dos tipos de perfiles, tanto las personas de edad avanzada que no necesitan de ningún tipo de ocupante para evacuar el centro, los cuales representan al 21,30% de los ocupantes, y el resto, que representan al 21,00%, personas que acompañan a otros ocupantes pero que no los asisten o pacientes adultos, los cuales van a sus revisiones y citas.

⁽⁵⁾Autónomo con dispositivos de movilidad. Para este tipo de personas, con bastón y con andador, no hará falta una persona que les asista uno por uno, ya que tienen la suficiente capacidad de poder desplazarse por sí solos, pero sí es conveniente que una de las personas pertenecientes al equipo profesional del Hospital, los cuales deben de ser conocedores del centro y por tanto conocer cuales sería las vías de evacuación y recorridos, en todo momento, más adecuados de manera que la evacuación se haga de forma sencilla, fácil, rápida y efectiva. El porcentaje perteneciente a este grupo de personas será de un 3,08% de la ocupación total.

⁽⁶⁾Autónomo ayudante de los ocupantes en sillas de ruedas y personas mayores. Grupo de personas adultas que acompañan a los pacientes de edad avanzada, o son a su vez pacientes que asisten al centro solos. Engloban el 2,16% de la ocupación total de la planta a estudiar. No conocen las vías de evacuación ni los recorridos por ello, optarán por la opción de guiar a estas personas por el recorrido que han realizado a la hora de entrar al centro, en el que caso de que

no exista ningún profesional del Hospital conocedor de las instalaciones para ayudarles a evacuar el centro de la manera más eficaz posible.

Perfil Ocupante		Ocupación (%)
Ocupantes asistidos	Personas Mayores	7.70 %
	Personas en silla de ruedas	3.70 %
	Personas en cama	0.62 %
	Personas con bastón	1.54 %
	Personas con andador	1.54 %
Ocupantes sin asistencia	Personas Mayores	21.30 %
	Personas con bastón	1.54 %
	Personas con andador	1.54 %
	Pacientes/Acompañantes	21.00 %
Acompañantes de personas asistidas	Acompañantes	2.16 %
Profesionales del Hospital	Personal SAS	37.36 %

Tabla 5. Resumen ocupación real en %.

6.3 Ocupación teórica y estimación de la real.

Como bien se indica en el apartado de metodología, una vez obtenidos los planos del centro donde vamos a trabajar, procedemos a realizar varias visitas, anotando de esta forma la ocupación real en cada una de las estancias.

Según el Plan de Autoprotección, facilitado por el centro, la ocupación teórica para un edificio de uso hospitalario, calculada en función al Código Técnico DB-SI 3 se divide en:

Planta	Zona	Superficie aproximada del cálculo (m ²)	Densidad (m ² /persona)	Ocupación planta
Sótano	Archivos, investigación y formación.	3698	40	93
	M. Nuclear, Radioterapia, Oncología, M. Preventiva, Neurofisiología y Electroterapia.	1972	10	198
	Locales Técnicos.	1911	0	0
	Talleres Industriales.	720	40	18
	Salas de espera.	420	2	210
	Pasillos y comunicaciones.	1830	40	45
	TOTAL			

Tabla 6. Ocupación total Planta Sótano. Fuentes: PAU hospital.

Siendo la ocupación máxima de la planta sótano 519 personas. Sin embargo, tras la toma de datos mediante las visitas realizadas, obtenemos la siguiente tabla en cuanto a la ocupación real de la planta sótano del centro:

Zona	Estancias	Ocupación
RADIOTERÁPIA	1. RAD.Sala de Espera	72
	1.2 RAD.Sala de Espera	2
	1. RAD.Control	1
	1. RAD.Sala máscaras	1
	1. RAD.Enfermería	2
	1. RAD.Secretaria Radioterapia	1
	1. RAD.Sala Planificación Medica	3
	1. RAD.Consulta enfermería	3
	1. RAD.Consulta 13	3
	1. RAD.Consulta 14	2
	1. RAD.Consulta 16	3
	1. RAD.Consulta 15	3
	1. RAD. Despacho Radio física	2
	1. RAD.Distribuidor	5
	1. RAD.Sala 1	2
	1. RAD.Sala de control	6
	1. RAD.Pasillo	3
	1. RAD.Alineador Lineal 2	2
	1. RAD.Alineador Lineal 1	2
	TOTAL	118

Tabla 7. Ocupación real Planta Sótano-Zona Radioterapia.

Zona	Estancias	Ocupación
ONCOLOGÍA	1. ONC.Planificación	8
	1. ONC.Sala Multiusos	7
	1. ONC.Consulta 4	3
	1. ONC.Consulta 5	3
	1. ONC.Consulta 6	3
	1. ONC.Consulta 7	3
	1. ONC.Consulta 8	3
	1. ONC.Secretaría	2
	1. ONC.Consulta 11	3
	1. ONC.Consulta 12	3
	1. ONC.Control	3
	1. ONC.Oncología Sala de Espera	37
	1. ONC.Consulta 17	3
	1. ONC.Consulta	3
	1. ONC.Consulta 10	3
	1. ONC.Consulta 1	3
	1. ONC.Consulta 2	3
	1. ONC.Pasillo	1
	1. ONC.Administrativas	2
	1. ONC.Enfermería	1
	TOTAL	97

Tabla 8. Ocupación real Planta Sótano-Zona Oncología.

Zona	Estancias	Ocupación
MEDICINA PREVENTIVA	1. M.PREV.Despacho	3
	1. M.PREV.Consulta	3
	1.2. M.PREV.Consulta	3
	1.3. M.PREV.Consulta	3
	1. M.PREV.Investigación Oncología	10
	1. M.PREV.Ensayos clínicos	5
	1. M.PREV.Medicina Preventiva consulta 1	1
	1. M.PREV.EPA	1
	1. M.PREV.Medicina Preventiva Consulta Enfermería Secretaría	2
	1. M.PREV.Jefe Sección	1
	1. M.PREV.Jefe Servicio	1
	1. M.PREV.Supervisora	1
	1. M.PREV.Extracción de sangre	3
	1. M.PREV.Despacho 1	3
	1. M.PREV.Despacho 2	3
	1. M.PREV.Zona de recepción	1
	1. M.PREV.Despacho 3	3
	1. M.PREV.Despacho 4	3
	TOTAL	50

Tabla 9. Ocupación real Planta Sótano-Zona Medicina Preventiva.

Zona	Estancias	Ocupación
MEDICINA NUCLEAR	1.M.N.Distribuidor	24
	1.2.M.N.Distribuidor	1
	1.M.N.Sala de espera	8
	1.M.N.Sala de espera HOSPITALIZADOS	4
	1.M.N.Cabina Manipulación	1
	1.M.N.Control Gammacamara 3	2
	1.M.N.Gammacamara 3	2
	1.M.N.Gammacamara 1-2	8
	1.M.N.Gammacamara 4	2
	1.M.N.Secretaría	2
	1.M.N.Despacho Jefe Servicio	1
	1.M.N.Camara caliente	2
	1.M.N.Aula	1
	TOTAL	59

Tabla 10. Ocupación real Planta Sótano-Zona Medicina Nuclear.

Zona	Ocupación
RADIOTERÁPIA	118
ONCOLOGÍA	97
MEDICINA PREVENTIVA	50
MEDICINA NUCLEAR	59
TOTAL	324

Tabla 11. Ocupación real Planta Sótano.

El número obtenido de la ocupación real, 327 personas, se basa en los datos obtenidos de las visitas al centro en horario de mañana en torno a las 11:00 de la mañana.

6.3.1 Ocupación de los profesionales del Hospital.

Según los datos facilitados por el personal del centro, obtenemos una aproximación, de la ocupación real en cuanto al personal del hospital en el turno de mañana, de 08:00 a 15:00, divididos por las diferentes estancias.

Zona	P.PAS					
	ENF	TER	FEA	CELADOR	ADM.	TCEA
RADIOTERÁPIA	3	13	8	3	1	3
MEDICINA NUCLEAR	3	4	9+4 FAC.*1	1	2	-

Tabla 12. Ocupación facilitada por el personal del centro.

*1 **FAC.** Facultativo (MIR, Médico Interno Residente).

Los datos que se han tomados para la realización del estudio, en cuanto a los profesionales del hospital, han sido los obtenidos tras varias visitas al centro.

Zona	P.PAS	
RADIOTERÁPIA	36	119 personas
ONCOLOGÍA	34	
MEDICINA PREVENTIVA	30	
MEDICINA NUCLEAR	19	

Tabla 13. Ocupación tomada de los profesionales del Hospital en la Simulación.

6.3.2 Ocupación de los usuarios externos a los profesionales del Hospital.

En cuanto a la ocupación teórica de los usuarios externos a los profesionales del Hospital, nos guiamos del Código Técnico, con el cual podremos establecer el número de ocupantes perteneciente a este grupo de ocupantes.

El Código Técnico DB-SI-3, es el documento que nos marca los índices de ocupación en función del tipo de uso del edificio. En nuestro caso se trata de un Uso Hospitalario.

Zona	Ocupación (m ² /persona)	Área m ²	Ocupación teórica
Salas de espera	2 m ² / pers.	238,49	120 personas
Servicios ambulatorios y de diagnóstico	10 m ² / pers.	663,73	67 personas
Aseos	3 m ³ /pers.	41,23	14 personas
TOTAL			201 personas

Tabla 14. Ocupación teórica según DB-SI-3, de los ocupantes externos a los profesionales del Hospital.

Para la simulación, la ocupación tomada ha sido la real, la cual se ha obtenido de los datos tomamos obtenidos en las visitas realizadas al centro.

Perfil Ocupante		Zona	Características	Ocupación real		
Ocupantes asistidos	Personas mayores	RADIOTERAPIA	Asistidas	9	25	
		ONCOLOGÍA		10		
		MEDICINA PREVENTIVA		3		
		MEDICINA NUCLEAR		3		
	Personas en silla de ruedas	RADIOTERAPIA	Asistidas	4	12	
		ONCOLOGÍA		3		
		MEDICINA PREVENTIVA		1		
		MEDICINA NUCLEAR		4		
	Personas encamadas	RADIOTERAPIA	Asistidas	2	2	
	Personas con bastón	RADIOTERAPIA	Asistidas	2	5	
		ONCOLOGÍA		1		
		MEDICINA NUCLEAR		2		
	Personas con andador	RADIOTERAPIA	Asistidas	1	5	
		ONCOLOGÍA		2		
		MEDICINA NUCLEAR		2		
	Ocupantes sin asistencia	Personas mayores	RADIOTERAPIA	Sin asistencia	40	69
ONCOLOGÍA			15			
MEDICINA PREVENTIVA			6			
MEDICINA NUCLEAR			10			
Pacientes/Acompañantes		RADIOTERAPIA	Sin asistencia	25	75	
		ONCOLOGÍA		30		
		MEDICINA PREVENTIVA		9		
		MEDICINA NUCLEAR		11		
Personas con bastón		RADIOTERAPIA	Sin asistencia	1	5	
		ONCOLOGÍA		2		
		MEDICINA NUCLEAR		2		
Personas con andador		RADIOTERAPIA	Sin asistencia	2	5	
		ONCOLOGÍA		1		
		MEDICINA NUCLEAR		2		
TOTAL				205 personas		

Tabla 15. Ocupación real de los perfiles externos a los profesionales del Hospital.

A modo resumen, se ha obtenido un total de 205 ocupantes como personas externas a los profesionales del Hospital, y como este, 119 personas.

TIPO DE PERFIL	OCUPACIÓN REAL
Profesionales del Hospital	119 personas
Usuarios externos al Hospital	205 personas
TOTAL	324 personas

Tabla 16. Resumen ocupación real tomada para la simulación.

6.4 Introducción de perfiles y ocupación en Pathfinder.

Una vez obtenida la ocupación real, procederemos a introducir los ocupantes en Pathfinder, de forma que se irá creando diferentes perfiles, en función de los descritos en el **Apartado 6.2**.

Antes de comenzar a crear perfiles Pathfinder da la posibilidad de seleccionar el modo de simulación que se desea realizar, siendo las opciones el modo SFPE y el modo dirección. Por lo que a la hora de determinar cómo van a actuar los ocupantes, se tendrá en cuenta este apartado.

En el modo SFPE, los ocupantes no se esquivan unos a otros, de manera que pueden interpenetrarse, las puertas marcan un límite de flujo y la velocidad de los ocupantes depende de la densidad, mientras que en el modo dirección, se centra en la prevención de colisiones entre los ocupantes y cada una de sus interacciones, ofreciendo respuestas más próximas a la realidad que el otro modo ofrecido, el modo SFPE. Por lo tanto, para la simulación a realizar se ha optado por esta última, por lo que seleccionaremos en la barra de herramientas, donde aparece **“Simulation”**, la opción **“Simulation Parameters”**, y en la pestaña **“Behavior”**, marcaremos en **“Behavior Model”** el modo **“Steering”**, de tal forma que los ocupantes utilizan un sistema de dirección para moverse e interactuar con los demás, intentando imitar el comportamiento y movimiento de los ocupantes en la vida real.

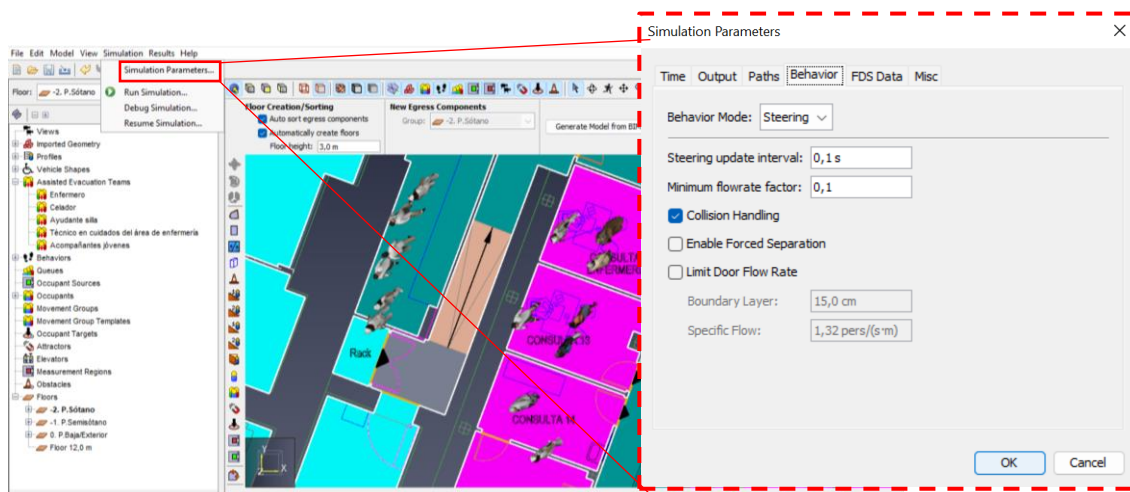


Ilustración 20. Elección del modo de simulación.

Una vez decidido el modo en el que va a trabajar la simulación, para la creación de los perfiles, necesitaremos un serie de parámetros, como viene siendo la velocidad de cada uno de los ocupantes, sus dimensiones, el tiempo de reacción o preparación de cada uno, si son asistidos, la creación de los elementos auxiliares, como las sillas de ruedas, camillas, bastones y andadores, todo elemento que sea de ayuda para personas con movilidad reducida.

6.4.1 Creación del perfil.

Si nos fijamos en la **Ilustración 20**, para la creación del perfil, seleccionaremos el símbolo donde pone **“Profiles”**, cliqueamos el botón derecho, y seleccionamos la opción **“Add a Profile...”**, y procederemos a escribir el nombre del perfil que queremos crear. Una vez dentro de la creación del perfil, podemos elegir el modelo en 3D, acorde con el perfil del ocupante, el nivel de prioridad de evacuación, la introducción de las medidas antropométricas y velocidades de cada uno de los diferentes ocupantes, si necesitan asistencia para ser evacuado, etc, llevando este último parámetro a la creación de un vehículo de movilidad, en caso de que necesite asistencia en la evacuación.

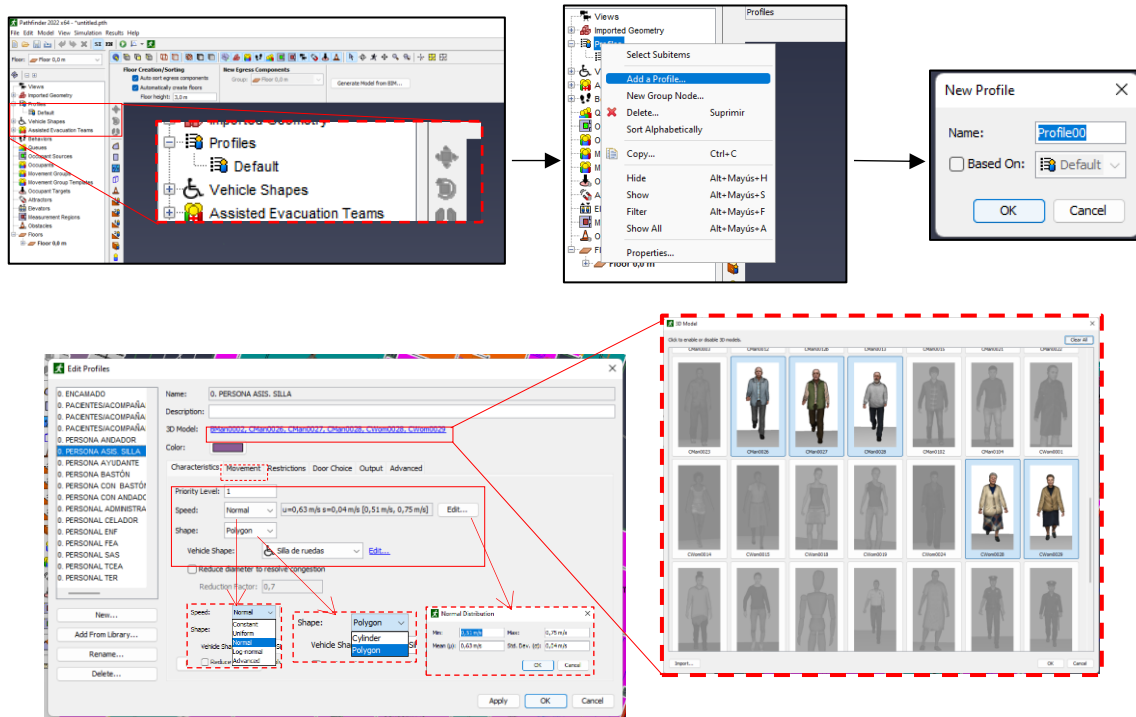


Ilustración 21. Creación Perfiles en Pathfinder.

Parámetros para la creación de los perfiles.

Modelo en 3D.

Con el parámetro "3D Model", podemos seleccionar el aspecto más adecuado en función al perfil que va a pertenecer, y de que el aspecto sea el más acorde a la realidad de cara a la simulación.



Ilustración 22. Opciones de Modelo 3D para ocupantes en Pathfinder.

Nivel de prioridad en la evacuación.

“Priority Level”, parámetro asignado a un ocupante que tenga preferencia a la hora de evacuar el centro, se les asignan una serie de valores, de manera que los más altos tienen prioridad, por ejemplo, si los valores son 0,1,2, el ocupante que tengan un valor de 0, si coincide con otro que tenga un valor de 2 en el recorrido de evacuación, el de menor valor, deberá de apartarse, dejando paso, de esta forma al que tiene un valor más alto (*Pathfinder 2023.1 | Thunderhead Support, 2023*). Para la simulación a tomar solo hemos empleado 3 niveles, **0,1 y 2**, asignados a los siguientes perfiles:

Nivel de prioridad	Perfil
2	Ocupantes de la consulta 16, ya que es en la zona donde se produce un conato de incendio.
1	Ocupantes asistidos con movilidad asistida, siendo los perfiles de personas en camilla, con bastón, con andadores o sillas de ruedas.
0	Resto de los perfiles de ocupantes.

Tabla 17. Nivel de prioridad asignado a los ocupantes.

Medidas Antropométricas.

A la hora de representar a los ocupantes en la simulación, habrá que estimar unos valores antropométricos. Por defecto, el propio Software, tomará un valor predeterminado de 45.58 cm, basándose en el promedio de mediciones de hombres y mujeres de nueve países (Fruin & Strakosch, 1987), al igual que la altura de los ocupantes, la cual sirve para limitar las colisiones dadas entre los ocupantes en diferentes pisos.

Velocidad de los ocupantes.

En la asignación de las velocidades, servirá de guía el artículo “Principles for Monte Carlo agent-based evacuation simulations including occupants who need assistance. From RSET to RSET” (Tinaburri, 2022), el cual proporciona un conjunto básico de perfiles, con los parámetros clave de manera que se pueda entender y comprender las capacidades individuales de cada ocupante para la evacuación en simuladores. Para los parámetros establecidos no se tendrá en cuenta la división de género.

Perfil Ocupante		Velocidad				
		Tipo	μ	σ	Mín.	Máx.
Ocupantes asistidos	Personas Mayores ^{*1}	Normal	0.71	0.34	$\mu -1.7\sigma$	$\mu +1.8\sigma$
	Personas en silla de ruedas ^{*2}	Normal	0.63	0.04	$\mu -3.0\sigma$	$\mu +3.0\sigma$
	Personas en camilla ^{*2}	Normal	0.40	0.04	$\mu -3.0\sigma$	$\mu +3.0\sigma$
	Personas con bastón ^{*1}	Normal	0.81	0.38	$\mu -1.4\sigma$	$\mu +2.0\sigma$
	Personas con andador ^{*1}	Normal	0.57	0.29	$\mu -1.6\sigma$	$\mu +1.6\sigma$
Ocupantes sin asistencia	Personas Mayores ^{*1}	Normal	0.95	0.32	$\mu -2.2\sigma$	$\mu +2.2\sigma$
	Personas con bastón ^{*1}	Normal	0.81	0.38	$\mu -1.4\sigma$	$\mu +2.0\sigma$
	Personas con andador ^{*1}	Normal	0.57	0.29	$\mu -1.6\sigma$	$\mu +1.6\sigma$
	Pacientes/Acompañantes ^{*3}	Normal	1.20	0.20	$\mu -3.0\sigma$	$\mu +3.0\sigma$
Acompañantes de personas asistidas	Acompañantes ^{*3}	Normal	1.20	0.20	$\mu -3.0\sigma$	$\mu +3.0\sigma$
Profesionales del Hospital	Personal SAS ^{*3}	Normal	1.20	0.20	$\mu -3.0\sigma$	$\mu +3.0\sigma$

Tabla 18. Velocidad de los ocupantes introducida en Pathfinder.

*1. Basado en datos promediados para personas de avanzada edad o que necesiten dispositivos de movilidad, como el bastón y andador (Boyce et al., 1999).

*2. Basado en datos promediados para personas en silla de ruedas y en camas para valores mínimos y máximos (Alonso, 2014; Alonso-Gutierrez & Ronchi, 2016; Hunt et al., 2015).

*3. Basado en datos promediados para personal sanitario trabajador, participante en la evacuación del edificio como ayudantes, y para personas pacientes y acompañantes (Fruin & Strakosch, 1987).

Tiempo previo al viaje (PTAT).

En primer lugar, guiándonos del artículo anteriormente nombrado para la clasificación de los perfiles de los ocupantes y en la asignación de las velocidades (Tinaburri, 2022).

- *Tiempo de reconocimiento.*

Representa el intervalo desde que se da aviso al dispositivo de emergencia y la primera reacción ante esta advertencia.

- *Tiempo de respuesta.*

Intervalo entre la primera reacción a la advertencia y el comienzo de la actividad de evacuación hacia una salida para evacuar el centro o hacia un lugar seguro.

El parámetro de PTAT, solo será aplicable para los ocupantes autónomos sin necesidad de ser asistidos, siendo diferente al del personal sanitario que interviene en el procedimiento de evacuación y en su autoevacuación.

Perfil Ocupante	PTAT					
	Tipo	μ	σ	Mín.	Máx.	
Ocupantes sin asistencia	Personas Mayores Pacientes/Acompañantes	Log-normal	62.7	19.11	30	120
	Personas con Bastón Personas con Andador	Normal	60	20	30	90
Personal SAS		Log-normal	62.7	19.11	30	120

Tabla 19. Tiempo previo al viaje de los ocupantes sin asistencia y del equipo de emergencia.

Para la creación de este parámetro, en primer lugar, debemos de crear el comportamiento del perfil al que va a pertenecer, a continuación, en la opción “**Add Action**”, seleccionaremos “**Wait Until...**”, la cual hará que el ocupante retrase su movimiento hasta que pase el tiempo de simulación en función de la distribución logarítmica indicada en la “**Tabla 19-20**”, además de determinar en “**Wait Mode**” la opción de “**Wait in place with collisions**”, condición en la cual, el ocupante que espera se quedará quieto, mientras que los ocupantes restantes intentarán rodearlo.

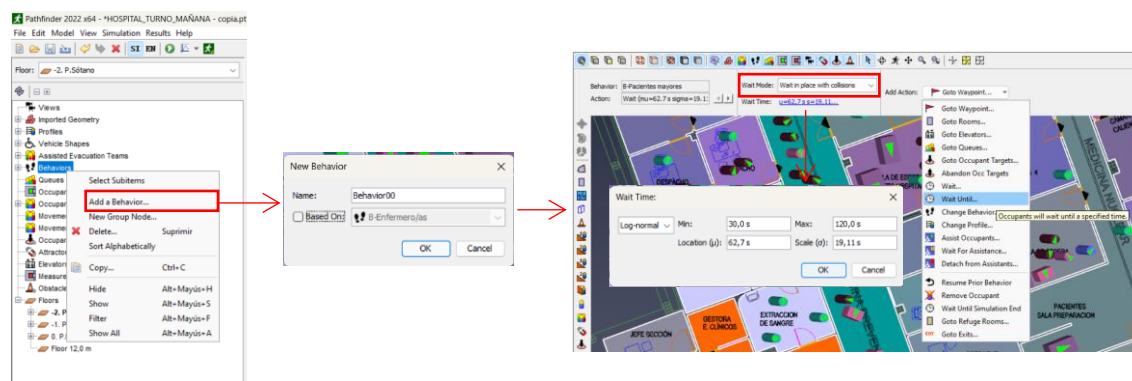


Ilustración 23. Creación del comportamiento con el parámetro “**Wait Until...**”.

En el caso de los ocupantes que necesitan asistencia, se define el tiempo de preparación, perteneciendo a este tiempo tanto a la preparación del ocupante con movilidad reducida, como personas en cama.

Perfil Ocupante		PTAT				
		Tipo	μ	σ	Mín.	Máx.
Ocupantes asistidos	Personas Mayores	Normal	60	20	$\mu - 1.7\sigma$	$\mu + 1.8\sigma$
	Personas en silla de ruedas	Normal	110	36	$\mu - 0.3\sigma$	$\mu + 0.3\sigma$
	Personas en camilla	Normal	110	36	$\mu - 0.3\sigma$	$\mu + 0.3\sigma$
	Personas con bastón	Normal	60	20	$\mu - 1.7\sigma$	$\mu + 1.8\sigma$
	Personas con andador	Normal	60	20	$\mu - 1.7\sigma$	$\mu + 1.8\sigma$

Tabla 20. Tiempo de preparación previo al inicio del viaje para las personas asistidas.

Creación del dispositivo de movilidad.

En el caso de los perfiles que necesiten asistencia, se deberá de crear los correspondientes dispositivos de movilidad.

Para nuestro estudio empleamos 4 modelos de dispositivos de movilidad, camillas, sillas de ruedas, bastones y andadores. La creación de estos en Pathfinder se realizará mediante la opción “**Vehicle Shapes**”, donde determinaremos cada una de las medidas de los dispositivos de movilidad, y el número de personas que se necesita para evacuar al ocupante (*Ilustración 24*).

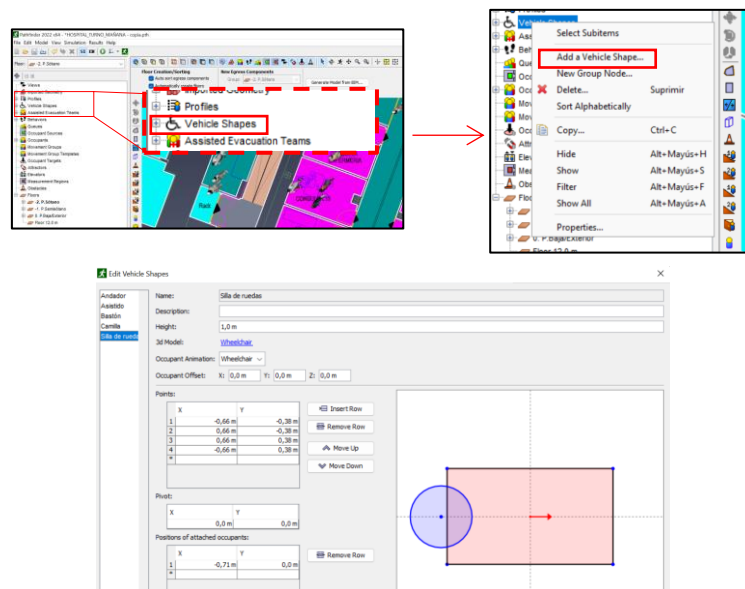


Ilustración 24. Creación de los dispositivos de movilidad.

Además, debemos de seleccionar, en los perfiles que necesiten asistencia, en la pestaña “**Movement**”, se seleccionará la opción que requiere de asistencia para moverse, “**Requires Assistance to Move**”. A su vez, debemos de seleccionar la forma de polígono, en la parte que pone “**Shape**”, marca “**Polygon**”, y el tipo de dispositivo de movilidad al que le pertenece el perfil al que hay que asistir.

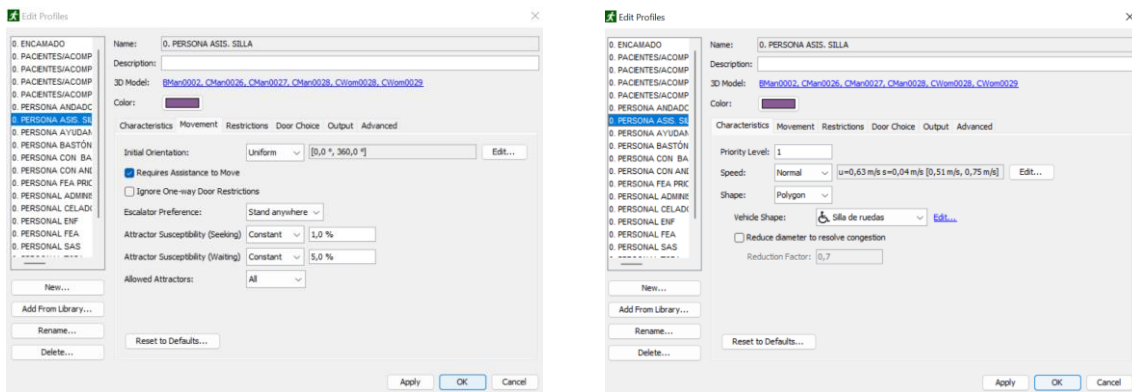


Ilustración 25. Selección de requerimiento de asistencia y el tipo de dispositivo para los perfiles que deben de ser asistidos.

Equipo de Evacuación Asistida.

Una vez asignado a un ocupante asistido un asistente, se creará un equipo de evacuación para las personas asistidas. El grupo de personas asignados se encargan de ir en busca de las personas que necesitan asistencia y según el comportamiento asignado, llevarlas a un área de refugio o acompañarlos y evacuarlos hasta el exterior mediante salidas de emergencia accesibles para personas con movilidad reducida. En nuestro estudio el equipo de evacuación asistida se divide en:

- Equipo de Evacuación Asistida** Asistentes Sillas.
- Asistentes Encamados.
- Asistentes Pacientes.

Tabla 21. Clasificación de equipos de evacuación asistida.

A la hora de crear el Equipo de Evacuación Asistida en Pathfinder, en la pestaña “**Priority**”, en “**Client Priority**” seleccionaremos la opción “**Distance to assistants**”, de esta manera, los perfiles asignados a este equipo asistirán a los ocupantes más cercanos que soliciten ayuda para evacuar el centro, quedando estos a la espera de que al equipo de evacuación reciba la notificación de ayuda.

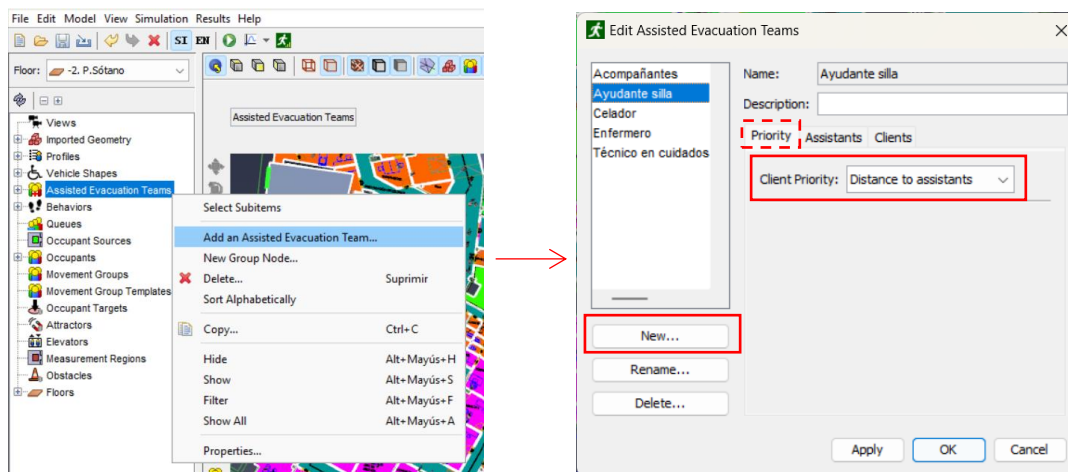


Ilustración 26. Creación del Equipo de Evacuación Asistida.

Asistir a un ocupante.

Este parámetro, “**Assist Occupants**”, se les asignará a los perfiles que se encargan de ayudar en el recorrido de evacuación a todas aquellas personas que necesiten de asistencia, debido a su movilidad reducida o necesidad de ser orientado para su evacuación.

Para la asignación, deberá de ser necesario que el perfil al que se le asigne este comportamiento pertenezca al **Equipo de Evacuación Asistida** ya descrito en su correspondiente apartado del presente trabajo. Estos asistirán a todo ocupante que solicite ayuda, convirtiéndose automáticamente el ocupante que se une a este equipo en asistente.

6.5 Comportamiento de los ocupantes.

6.5.1 Introducción y asignación de los comportamientos a los ocupantes.

Una vez tengamos todos los perfiles creados y teniendo en cuenta todos sus parámetros correspondientes, se procederá a la asignación, a cada uno de ellos, de un comportamiento, yendo en función del perfil al que se le asigne.

Para el estudio y simulación a realizar se han empleado dos hipótesis diferentes, una desfavorable, Hipótesis 1, y otra favorable, Hipótesis 2.

Comportamientos para la Hipótesis 1.

El planteamiento tomado para generar la Hipótesis 1 será el más desfavorable. Para esta simulación consideraremos que el personal sanitario, que se supone que debe de conocer y estar informado sobre las vías y salidas de evacuación y medidas de prevención, ignorará todo tipo de instrucciones dadas previamente, y tomará las decisiones que el perfil en ese instante decida. De la misma forma lo harán tanto el perfil de los pacientes mayores, como las personas con bastón y andador, y los pacientes autónomos.

Los comportamientos se dividirán en:

- **B-Asistentes de las Sillas.**

Personas acompañantes de los pacientes en silla de ruedas. Dentro de este grupo estarán los perfiles de personas asistentes de silla, siendo estos acompañantes/familiares, y el personal sanitario. Una vez da comienzo la simulación, el acompañante de silla de ruedas se convierte automáticamente en personal de uno de los equipos de asistencia descrito en dicho apartado anteriormente, de modo que el cliente al que debe de asistir esperará a este en el lugar en el que se encuentre.

Cuando este tipo de perfil envía la notificación de ayuda y ninguno de los ocupantes asistido la necesita, este seguirá con las acciones. En caso de que si, elegirá al ocupante más cercano, ya que, a la hora de crear los diferentes **Equipos de Evacuación Asistida**, seleccionamos la opción **"Distance to assistants"** (*Ilustración 26*).

Una vez recibida la notificación irá en busca de la persona a la que debe de asistir, llevando a esta a una zona de refugio, esperando en la zona asignada al equipo de emergencias encargado del rescate de estas personas.

Asistentes de las Sillas	Asistente silla. Personal SAS.
--------------------------	-----------------------------------

Tabla 22. Perfiles pertenecientes al comportamiento de asistencia a personas en silla de ruedas.

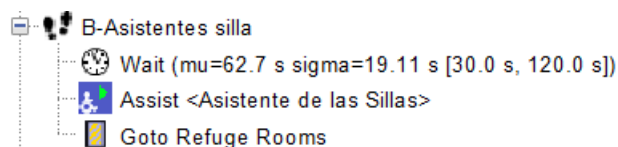


Ilustración 27. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder de asistentes silla.

- **B-Asistentes de los Encamados.**

Personal dentro de los profesionales del Hospital, cuya función en el presente estudio será asistir a personas que van encamadas, siendo necesario a dos asistentes por cama.

Asistentes de los Encamados	Personal SAS.
-----------------------------	---------------

Tabla 23. Perfiles pertenecientes al comportamiento de asistencia a personas en encamadas.

Los usuarios encamados se ubican en la zona de alineadores e irán destinados a la misma zona de refugio que las personas con movilidad reducida en silla de ruedas, esperando a que el equipo de ayuda externa, siendo el personal especializado, los rescate.

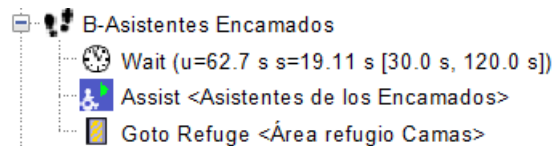


Ilustración 28. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder de asistentes encamado.

- **B-Personal SAS.**

Comportamiento asociado al perfil de personas sanitarias (FEA, TCEA, TER, Enfermero/as, Celadores, Administrativos), los cuales pueden tanto asistir a un ocupante que necesite la ayuda de este para evacuar el centro, como ser ocupantes totalmente autónomos, sin tener que asistir a ningún otro perfil.

En primer lugar, asistan o no a un ocupante, deberán de cumplir el tiempo de reacción estipulado en apartados anteriores. En el caso de que acompañen a pacientes que necesiten de asistencia para su traslado o de personas que solo necesitan de este tipo de asistencia para ser notificados del caso de emergencia e incluso guiados en la evacuación el centro, mediante las vías de evacuación hacia la salida de emergencia, estos permanecerán con el ocupante asistido hasta el final del trayecto, acompañando al ocupante hasta el exterior o zona de refugio.

Por otra parte, si el perfil que ha notificado la ayuda hacia el perfil que la necesite, no recibe ningún tipo de respuesta, pasará a la siguiente acción siendo en este caso la evacuación independiente del centro.

Cabe destacar en esta Hipótesis, que, a pesar de ser los únicos conocedores del centro, sus estancias, recorridos y salidas gracias a una previa formación e información con respecto a situaciones de emergencia, ignorarán todo tipo de forma de actuar ya recibida, reaccionando de manera arbitraria, sin seguir las pautas dadas para que la evacuación sea lo más eficaz posible. Por ello, tomarán la decisión de seleccionar la salida que en ese preciso momento quiera el propio ocupante, ignorando todo tipo de instrucciones recibidas.

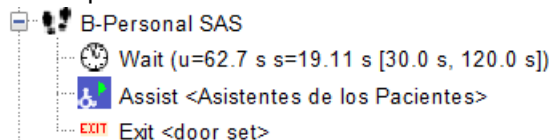


Ilustración 29. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder del Personal SAS.

- **B-Pacientes autónomos.**

Cuando hablamos de pacientes autónomos nos referimos al perfil que acompaña tanto a personas mayores que necesiten de asistencia para su traslado hacia las salidas de evacuación, como personas con movilidad reducida que vayan en bastón y andador y necesiten, al igual que las personas mayores anteriormente mencionadas, asistencia para ser evacuados. Una vez cumplan el tiempo de reacción sobre el aviso de emergencia, de igual forma que el personal SAS, estos enviarán la notificación de ayuda a todos los usuarios que la necesiten, en función de si aceptan la ayuda o no, realizarán una acción u otra. En caso de que la acepten, estos irán en busca del paciente al que deben asistir. Una vez llegado al paciente, habrá un tiempo de preparación de la persona a la que van a asistir (PTA), parámetro anteriormente desarrollado. Por último, comenzarán la evacuación en compañía del usuario al que asiste. Como nos

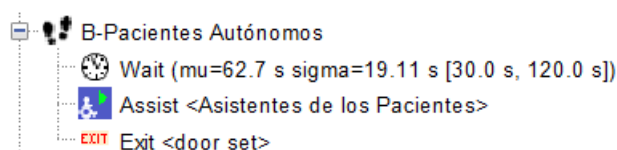


Ilustración 30. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder pacientes autónomos.

encontramos ante la situación más desfavorable, al ser ambos usuarios des conocedores del centro, optarán por el recorrido que han realizado al entran al centro, o por la salida suroeste, que desemboca a la rampa de rehabilitación.

- **B-P.Silla de Ruedas.**

Las personas en sillas de ruedas que necesitan asistencia de un ocupante debido a su movilidad reducida, deberán de aceptar la notificación de asistencia recibida por parte del perfil de uno de los equipos de evacuación asistida que oferte su ayuda. De esta manera, los ocupantes en sillas de ruedas esperarán a ser asistidos en el lugar donde se encuentren. Una vez la persona que los va a asistir llegue al punto donde se encuentran, no podrán comenzar la acción de evacuación hasta haber superado el tiempo de preparación estipulado (PTA), con ayuda de la acción “**Wait Until...**”. Una vez concluida dicha acción, se procederá a trasladar a todas ellas a una zona de refugio, siendo esta anteriormente descrita en apartados anteriores.

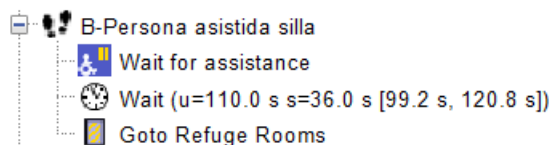


Ilustración 31. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona en silla de ruedas.

- **B-P.Encamado.**

El comportamiento de las personas encamadas será exactamente igual que el de las personas en sillas de ruedas, siendo la única variación el número de asistentes que necesita para el traslado hacia la zona de refugio.

Mientras que para las personas en sillas de ruedas solo se necesita a un asistente, en este caso, para el desplazamiento del paciente, se necesita a dos asistentes. Los encargados de este desplazamiento será primordialmente el personal sanitario, ya que es conocedor del centro y sabe dónde se ubica la zona de refugio.

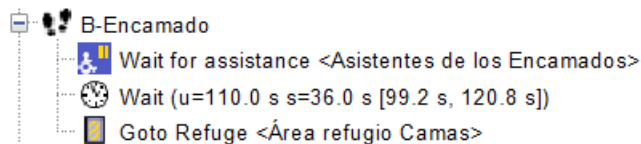


Ilustración 32. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona encamada.

- **B-Pacientes Mayores asistidos, B-Persona con bastón asistida y B-Persona con andador asistido.**

Tanto para los ocupante con perfil de personas mayores que necesitan de asistencia para poder encontrar la forma de evacuar o la señal de emergencia, son capaces de caminar sobre superficies uniformes y desiguales, y subir escaleras con ayuda de otra persona para ser desplazado hacia la salida de evacuación, como los ocupantes con perfil de persona con bastón o andador asistida, los cuales necesitan de otro ocupante para, en esta hipótesis, su traslado hacia el exterior.

Al igual que los ocupantes en sillas de ruedas y encamados, una vez aceptado el aviso de la ayuda solicitada por las personas que van a asistirles, siendo el personal SAS y pacientes autónomos, estos, esperaran su asistencia en el lugar donde se encuentran, siendo necesario un tiempo de preparación previo a la actividad para atender a sus necesidades (PTA). Como acción final, serán dirigidos hacia la salida de evacuación que ellos consideren y opten, ignorando las señales del recorrido de evacuación u órdenes por el personal participe en la actividad.

Asistentes de los Pacientes.	Pacientes/Acompañantes.
	Personal SAS.

Tabla 24. Perfiles pertenecientes a la asistencia a pacientes.

Cabe destacar que en el caso de las persona con andadores, no harán uso de este una vez comience la acción de evacuación, ya que supone un obstáculo, teniendo como alternativa a una persona que servirá de apoyo y los guiará.

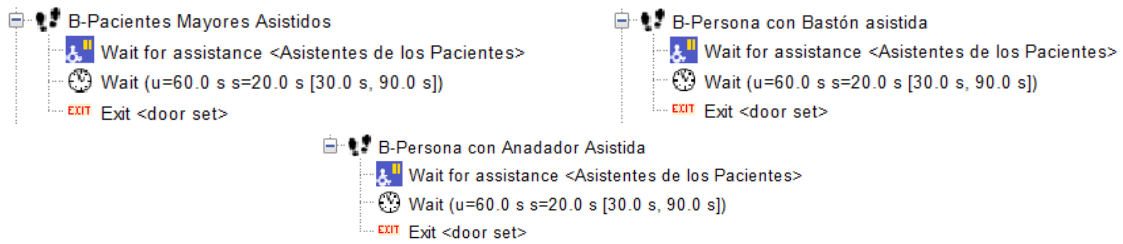


Ilustración 33. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder de personas mayores asistidas, con bastón y andador asistidos.

- **B-Pacientes Mayores.**

Al igual que el resto de los ocupantes que no pertenecen al personal sanitario, los pacientes mayores sin necesidad de asistencia, una vez alcanzado el tipo de reacción, se iniciará la acción de evacuar el centro por la salida que ellos crean más conveniente, ya que no son conocedores del centro y no constan de ninguna formación. De igual forma, para esta hipótesis tampoco harán caso ninguno a las señales de evacuación ni a las indicaciones del personal que participe en dicha actividad de evacuación del centro.

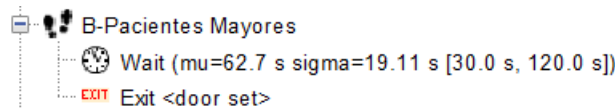


Ilustración 34. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder pacientes mayores.

- **B-Persona con bastón.**

Los ocupantes asignados a este tipo de comportamiento son las personas con bastón que no necesitan de asistencia para ser trasladados hacia una salida de evacuación. Dicho comportamiento se basará en la espera del tiempo de reacción, y una vez este haya concluido, pasarán a la acción final, la de evacuar el centro, tomando las salidas que ellos estimen convenientes ya que al igual que el resto de los ocupantes, menos el personal sanitario, no son conocedores del centro, por lo tanto, dependiendo de la ubicación en la q se encuentren, y la situación, optarán por una salida u otra. Siendo estas salidas anteriormente descritas en el presente trabajo.

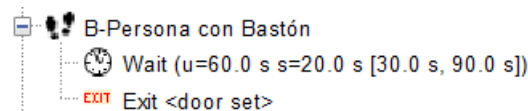


Ilustración 35. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona con bastón.

- **B-Andador.**

Las personas pertenecientes a este comportamiento están asociadas al perfil de personas con andador sin necesidad de asistencia. Al igual que para las personas con bastón, la primera acción de este perfil será la del tiempo de reacción, una vez que el tiempo establecido, ya señalado en apartados anteriores del presente trabajo, pasarán a la siguiente acción, la de evacuación del centro, haciéndola de la misma manera que las personas con andador, tomando la salida más conveniente para ellos en función de la situación y ubicación en la que se encuentren.

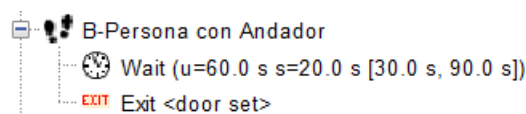


Ilustración 36. Comportamiento Hipótesis 1 en Pathfinder persona con andador.

Comportamientos para la Hipótesis 2.

El planteamiento tomado para generar la Hipótesis 2 será más favorable que la hipótesis 1. Consistirá más o menos como la Hipótesis anterior, con pequeñas variaciones, las salidas de evacuación.

Los comportamientos se dividirán en:

- **B-Asistentes de las Sillas.**

El comportamiento de este tipo de ocupantes, será exactamente igual que el de la hipótesis 1.

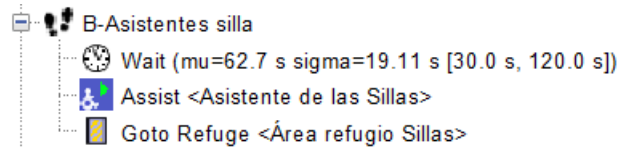


Ilustración 37. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder de asistentes silla.

- **B-Asistentes de los Encamados.**

Mismo perfil y función que la Hipótesis 1.

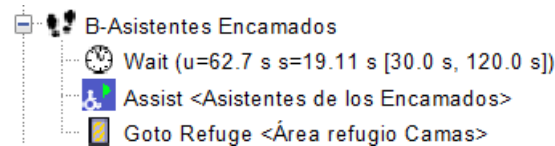


Ilustración 38. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder de asistentes encamado.

- **B-Personal SAS.**

Comportamiento totalmente igual al de la Hipótesis 1, la única variante que existe es en la elección de la ruta de evacuación.

En este caso, una vez cumplido el tiempo de reacción, irán en busca de los ocupantes que hayan aceptado su ayuda para ser evacuados. Una vez llegado al punto donde están los ocupantes que necesitan de su asistencia, esperarán a que se cumpla el tiempo de preparación del paciente a asistir, y posteriormente, como acción final, llevarán a estos al exterior por la salida de emergencia de la rampa de lencería, en caso de que asistan a pacientes mayores, y trasladarán a las personas con movilidad reducida (personas encamadas, en sillas de ruedas, con bastón y andador), hacia la zona de refugio, de manera que estas no entorpezcan con los dispositivos de movilidad las salidas de evacuación.

En el caso de que no asistan a nadie, evacuarán el centro tanto por la salida de emergencia de la rampa de lencería como la salida suroeste de la rampa de rehabilitación.

Al contrario que en el otro caso, el personal sanitario, que se supone que debe de conocer y estar informado sobre las vías y salidas de evacuación y medidas de prevención, seguirá todo tipo de instrucciones dadas previamente, y tomará las decisiones más favorables para la mejora de una evacuación ordenada, fluida y rápida.

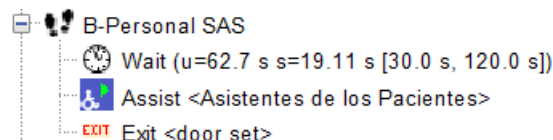


Ilustración 39. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder del Personal SAS.

- **B-Pacientes autónomos.**

Para la Hipótesis 2, este tipo de comportamiento, el cual pertenece al mismo perfil que para los de la Hipótesis 1, actuará de la misma forma, salvo que la salida de evacuación, en caso de que no asistan a ningún tipo de ocupante que necesite de su ayuda, serán las salidas de la puerta principal del centro, por el Sur, y la salida de emergencia suroeste de la rampa de rehabilitación. En caso de que deban de brindar ayuda a los ocupantes que han aceptado la petición, dirigirán a estas personas a la salida de emergencia de la rampa de lencería, evitando que ralenticen el flujo de las personas que evacuan por las escaleras para así llegar hasta la salida de las puertas principales.

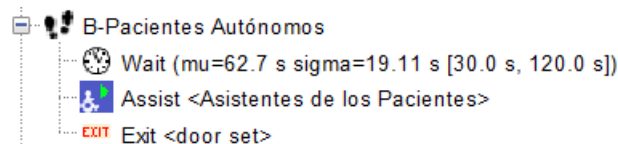


Ilustración 40. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder pacientes autónomos.

- **B-P.Silla de Ruedas.**

Mismo perfil y comportamiento que en Hipótesis 1.

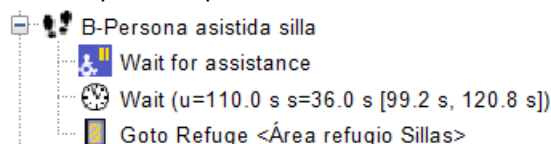


Ilustración 41. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona en silla de ruedas.

- **B-P.Encamado.**

Pertenece al mismo perfil de ocupantes y mismo comportamiento que en la Hipótesis 1.

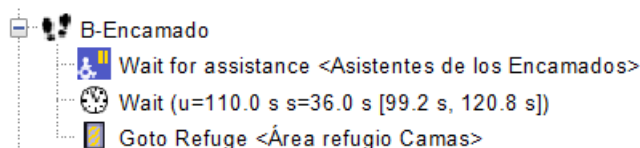


Ilustración 42. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona encamada.

- **B-Pacientes Mayores asistidos, B-Bastón y B-Andador asistido.**

En el comportamiento para estos perfiles, cambian las salidas de evacuación. Para las personas mayores, el ocupante que le asistirá en el traslado para la evacuación del centro, lo guiará hacia la salida de emergencia de la rampa de lencería, o hacia la salida de emergencia suroeste de la rampa de rehabilitación, dependiendo de la ubicación en la que se encuentren. Las personas con bastón asistidas serán guiadas hacia la salida de emergencia de la rampa de lencería, mientras que para las personas con andador asistidas serán guiados hacia la zona de refugio, evitando de esta forma cuellos de botella en la escalera que desemboca en planta baja para salir por las puertas principales del centro.

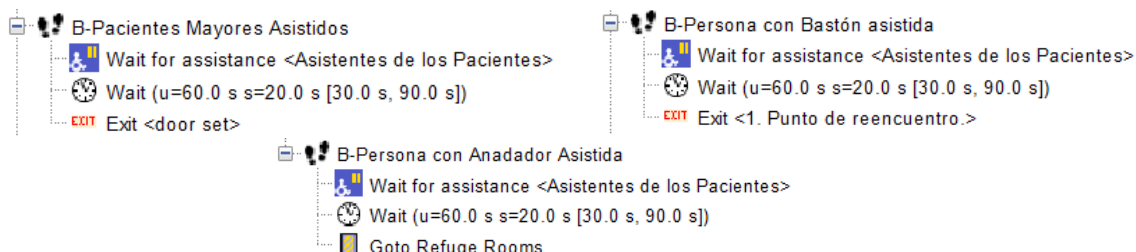


Ilustración 43. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder de personas mayores asistidas, con bastón y andador asistidos.

- **B-Pacientes Mayores.**

Para los perfiles que tenga asociados este tipo de comportamiento, al desconocer el centro, y para no entorpecer la evacuación de los pacientes autónomos, seguirán, por ellos mismos, a un personal sanitario que les notificará y guiará hacia la salida de evacuación, tanto de la rampa de lencería como la salida suroeste de la rampa de rehabilitación.

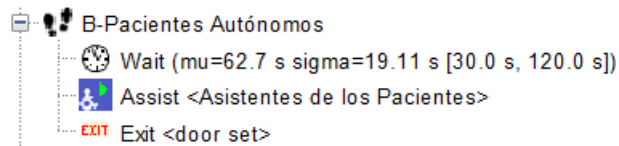


Ilustración 44. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder pacientes mayores.

- **B-Bastón.**

En cuanto a los ocupantes que tengan asignados este comportamiento en la Hipótesis 2, la única variación con respecto a la Hipótesis 1 es la salida el recorrido y la salida de evacuación. Para esta Hipótesis, todas las personas con bastón, seguirán a un personal sanitario, el cual notificará que deben de seguirlo y los guiará hacia la salida de la rampa de lencería y de rehabilitación, dependiendo de la ubicación en la que se encuentren en ese momento.

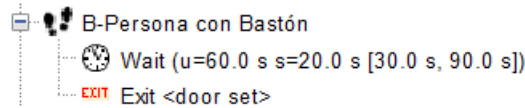


Ilustración 45. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona con bastón.

- **B-Andador.**

Por último, las personas con andador sin necesidad de asistencia para ser trasladados, seguirán el mismo comportamiento que para la Hipótesis 1, variando la acción final. En este caso, seguirán a un personal sanitario, conocedor del centro, el cual los notificará de la situación y los guiará hacia la zona de refugio, a la espera del rescate de las ayudas externas.

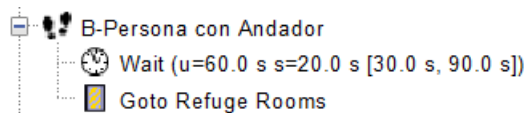


Ilustración 46. Comportamiento Hipótesis 2 en Pathfinder persona con andador.

7. ANÁLISIS DE LAS HIPÓTESIS

ANÁLISIS DE LAS HIPÓTESIS

En primer lugar, se definirá el escenario donde se planteará la situación de emergencia en ambas Hipótesis del presente estudio, cuáles son las circunstancias y factores en cada una de ellas, y, por último, la evaluación de los datos obtenidos en la simulación generada. Para el presente estudio, se plantean dos hipótesis, una de ellas Hipótesis 1, la más desfavorables y la otra, Hipótesis 2, la más favorable.

Los supuestos generales que se han tomado para ambas hipótesis han sido el número de ocupantes en el interior del centro y la hora de evacuación, siendo este, un factor importante, ya que, en función de él, se designará el número total de ocupantes en ese momento, la clasificación de cada uno de ellos, y asignación tanto de los perfiles de cada uno de los ocupantes, como el comportamiento asignado, consiguiendo con esto, la mayor similitud con la realidad.

El horario elegido para la realización de la simulación es en el turno de mañana, en torno a las 11:00 a.m., estipulando de esta forma la ocupación máxima de las zonas a estudiar, siendo el número total de los ocupantes a evacuar de 324 personas.

En el **apartado 6. Planteamiento de la simulación**, se definen y desarrollan todos y cada uno de los factores y parámetros que conllevan la elaboración de las presentes simulaciones (los perfiles de los ocupantes, la ocupación real, plasmada en tablas, y el comportamiento de cada uno de los ocupantes).

Una vez se obtienen los resultados de las Hipótesis, se procederá a estudiar los datos, siendo estos una gráfica del tiempo de evacuación, trayectoria de los ocupantes, densidad de evacuación en las salidas de emergencia, número de ocupantes que atraviesan la salida de emergencia, velocidad de los ocupantes, la acumulación de ocupantes, y como cierre a la simulación, se realiza una tabla resumen con los datos obtenidos y sus conclusiones.



Ilustración 47. Plano de planta Hipótesis 1 y 2.

7.1 Hipótesis 1: Situación más desfavorable en turno de mañana 11:00 a.m.

En la esta Hipótesis, en la simulación aparecen diferentes decisiones y acciones que toman todos y cada uno de los ocupantes del interior de la planta a estudiar, durante la evacuación una vez estos reciban el aviso del caso de emergencia. Ya que partimos del dato en el que todos los ocupantes tomarán la decisión que ellos decidan en ese momento, sin tener en cuenta ningún tipo de señalización, indicación, o si al personal sanitario nos referimos, de información previa dada.

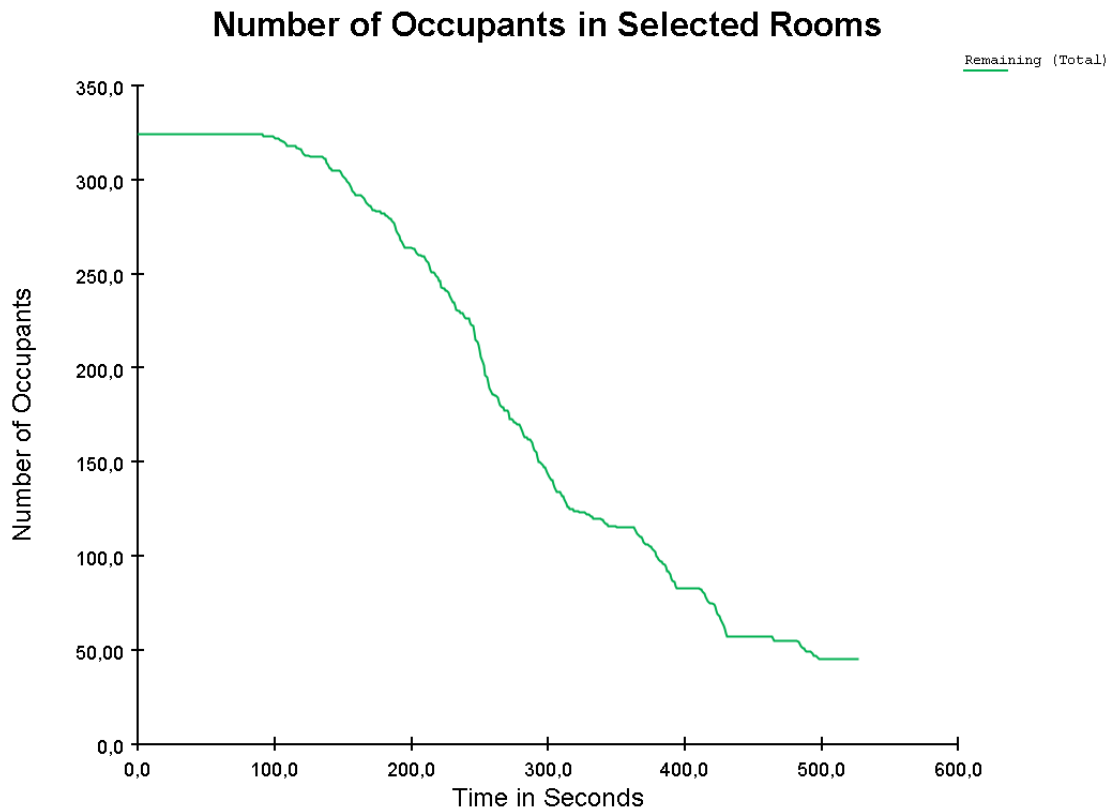
Del total de los ocupantes, el **62.28%** de ellos, se consideran **visitantes**, los cuales desconocen por completo el centro, y con ello los recorridos de evacuación. Esta falta de familiarización respecto al espacio que les rodea conlleva a no tomar la decisión del recorrido más adecuada, siendo la más común la de realizar el mismo recorrido que hicieron a la hora de entrar al centro o la que en ese mismo momento crean que es el recorrido más adecuado, siendo insignificante las características de movilidad o de independencia de cada uno de los ocupantes, empeorando de esta forma, el tiempo de evacuación e incluso el flujo que transcurre por las vías de evacuación, ocasionando cuellos de botellas y la ralentización de la evacuación. El

En cuanto al resto de ocupantes, el **37.36%**, pertenece al personal sanitario que trabaja en el centro. Para esta Hipótesis, este tipo de perfil deberá de estar formado e informado de cómo actuar en caso de emergencia, siendo participes en la evacuación del centro, además de estar familiarizados con él, factor que será ignorado. El personal sanitario actuará como si desconociesen los recorridos de evacuación y tomarán la decisión que vean oportuna en el momento de que se genere la evacuación del centro, seleccionando las salidas que ellos deseen en función de la ubicación en la que se encuentren. El **54.93%** de los ocupantes visitantes, evacuarán el centro saliendo hasta el **exterior** de este, con sus respectivos asistentes, en función del perfil, ya sean personal sanitario como pacientes/acompañantes, mientras que el **7.35%**, se quedará en el interior, ya que irán destinados a una zona de refugio, trasladados hasta allí por el equipo de asistencia asignado a los usuarios que necesiten de otro ocupante para su movilidad.

Del 62.28%, el **16.55%** de los ocupantes visitantes, **necesitarán asistencia** para ser guiados y evacuados hacia una salida de emergencia o zona de refugio, esta apoyo se realizará tanto por los acompañantes de los mismos visitantes, como el personal SAS, teniendo en cuenta, como ya se ha indicado en los párrafos anteriores, que tomarán las salidas que en ese momento vean oportunas, ignorando todo tipo de señalizaciones e indicaciones dadas.

La zona de refugio asignada, se encuentra descrita al principio del **apartado 6.1.1 Descripción del edificio y entorno a estudiar**. Consistirá en el espacio más cercano y accesible posible a las vías de evacuación, siendo esta la manera más fácil para el posterior rescate de estos ocupantes. Además, deberá de aislar a los usuarios, que se encuentre en ese espacio del edificio, de la emergencia dada en ese momento. Se considerará un espacio seguro debido a la resistencia dotada en la estructura en caso de incendio, debiendo cumplir con lo dispuesto en la norma del CTE DB-SI.

7.1.1 Gráfica del tiempo de evacuación.



Gráfica 1. Tiempo de evacuación Hipótesis 1.

En la presente gráfica de la Hipótesis 1, se representa el tiempo que transcurre desde la primera persona en cruzar una de las salidas de evacuación, hasta la última, siendo este intervalo de tiempo un total de 08:18 min. (498 s). La ocupación total estimada en esta franja horaria era de 324 personas, de las cuales, han evacuado con éxito a 279 personas, y las 45 restantes, se encuentran en la zona de refugio asignada, las cuales, deberán de permanecer esperando al personal especializado, de tal manera, que estos acudan a su rescate.

Como ya hemos descrito en el apartado de los parámetros que se les asignan a los ocupantes, respecto al tiempo de reacción, se puede observar en la gráfica como al principio hay un intervalo en el tiempo donde no evacúa nadie el centro. El primer ocupante que reacciona, comienza a moverse y evacua el centro, lo hace a los 01:32 min. (92 s).

Cabe destacar, que las prolongaciones que aparecen en la gráfica, simbolizando que en esos intervalos de tiempo, aún no se ha procedido al abandono del centro, pudiéndose dar esto por el tiempo en el que son debidas tanto a la ayuda asistida de los ocupantes que necesiten de otro ocupante para poder ser desplazados al exterior o a la zona de refugio, o que incluso necesiten de una persona que le haga de guía o le avise de la situación.

7.1.2 Trayectoria de los ocupantes.

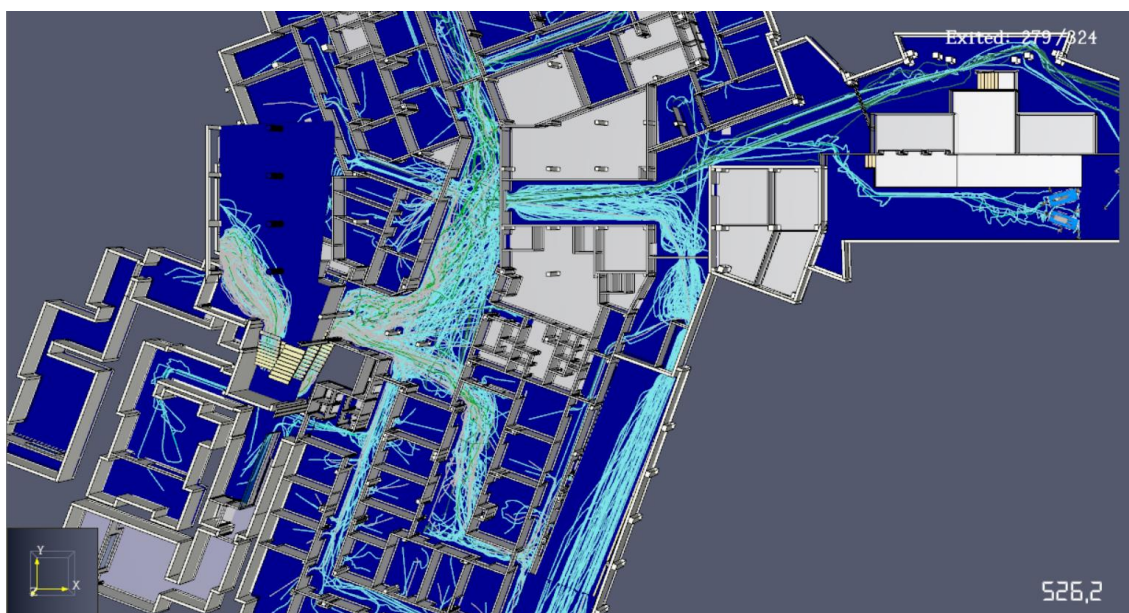


Ilustración 48. Trayectoria de los ocupantes en Pathfinder de la Hipótesis 1.

En esta ilustración se observa el recorrido el cual han realizado los diferentes perfiles de ocupantes. Se diferencian por colores, en función del perfil asignado, el ocupante tendrá un color u otro, siendo el predominante el color gris, ya que representa a los pacientes mayores, junto el ocupante que le asiste, siguiéndole el color azul cian, representado por el personal SAS, el cual engloba tanto al personal que no asiste a ningún tipo de perfil que requiera de asistencia para su traslado, como al personal sí asiste, seguido de los menos frecuentes, como vienen siendo el verde oscuro, personas en silla de ruedas con sus asistentes, y el verde, simbolizando la ruta que realizan las personas con bastón y andador, necesitan o no asistencia para ser evacuados.

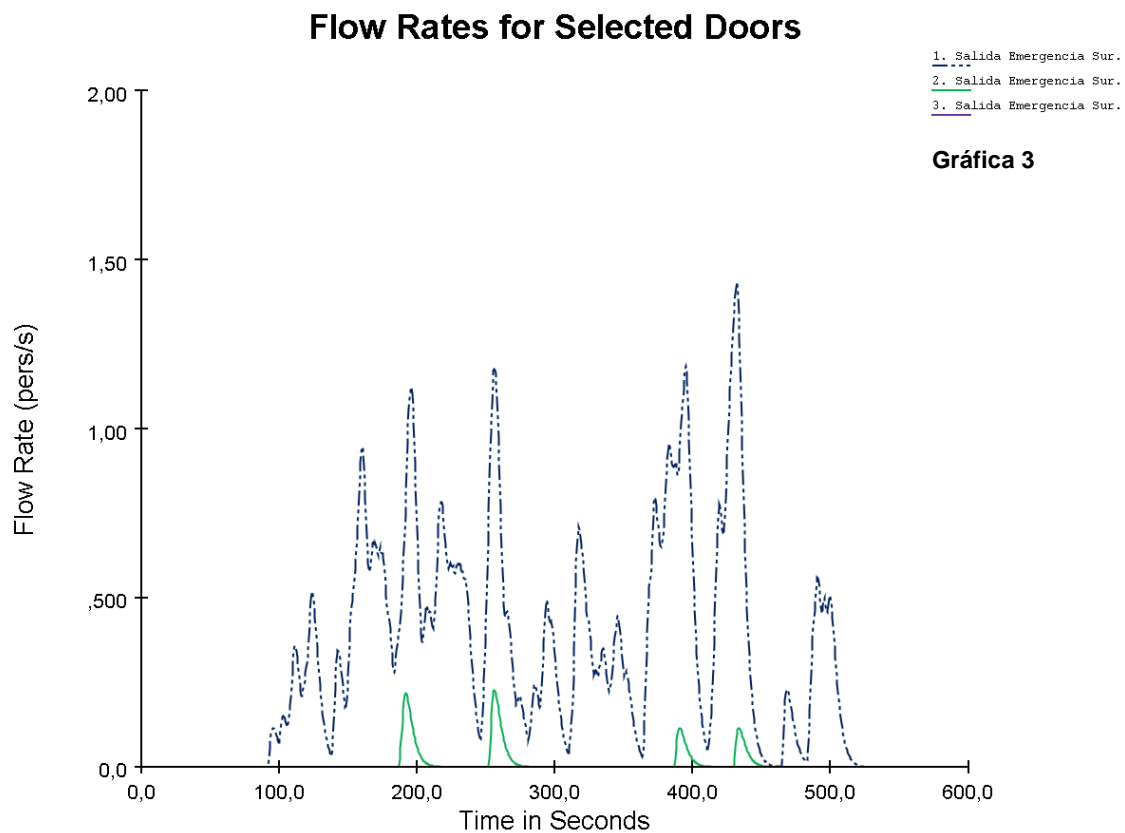
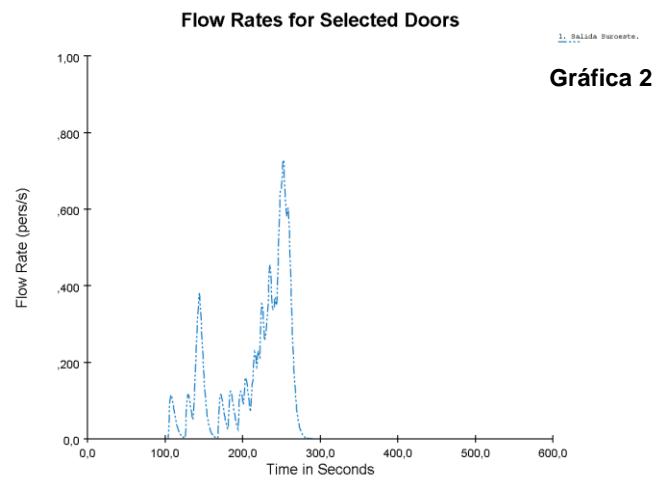
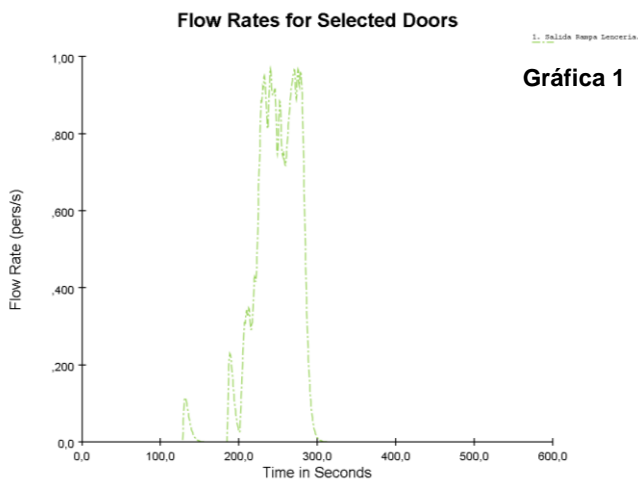
Además de permitirnos ver el recorrido que realizan todos y cada uno de los ocupantes, se puede estimar como es el flujo de evacuación en ciertas zonas del centro.

Gracias a la ilustración obtenida de los resultados de simulación, en general, se podría decir que todos los ocupantes realizan un recorrido limpio, sin cambio de sentido ni decisiones tomadas respecto a la elección de salida, a excepción del personal encargado a asistir a las personas que lo necesiten, cuya trayectoria en algunas ocasiones es más larga y duradera debido a que van en busca del ocupante al que deben de asistir.

Como puntos desfavorables a destacar, se puede señalar los cruces de trayectos de evacuación que se producen, ya que se generan colisiones entre trayectorias de todo tipo de ocupantes.

Por último, se observa como los pacientes encamados tienen una de las mayores trayectorias de evacuación en comparación con el resto de ocupantes. Si a esto le sumamos los factores de velocidad, el tiempo de reacción del personal sanitario que asiste a este tipo de usuarios y el tiempo de preparación del paciente, se comprenderá los datos obtenidos en el apartado anterior, donde todo este conjunto, se traduce a un aumento en el tiempo de evacuación, representado en la “**Gráfica 1**”.

7.1.3 Densidad de evacuación en las salidas de emergencia.



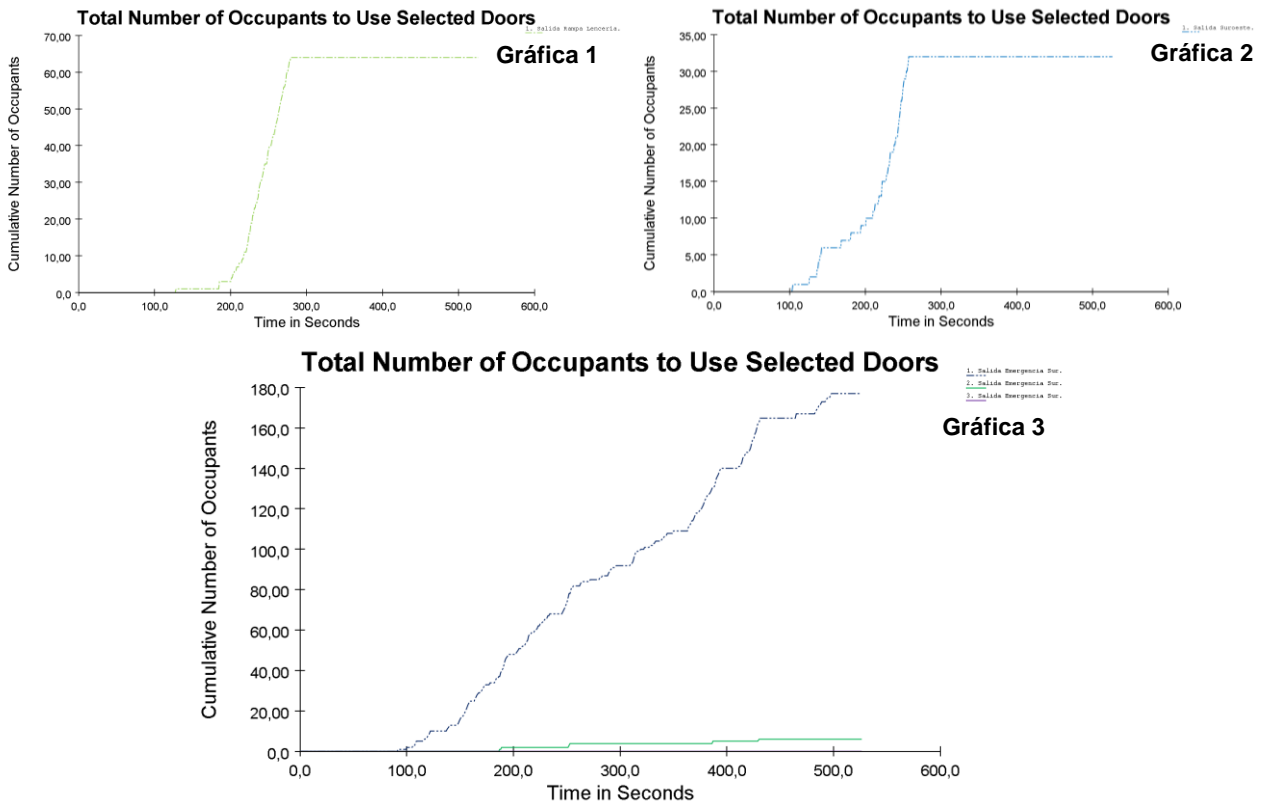
Gráfica 2. Densidad de evacuación en función a la salida para la Hipótesis 1.

En las gráficas presentes, se pueden ver las aglomeraciones máximas de los ocupantes en las salidas de evacuación. Los resultados obtenidos serán en función de las personas/segundos.

En la presente hipótesis, la gran mayoría de los ocupantes han utilizado la salida principal de la planta baja (gráfica 3), siendo esta por la que han estado evacuando los ocupantes, prácticamente, durante toda la simulación, donde el primer usuario en evacuar el centro por ella, fue cuando había transcurrido 01:32 min. (92 s) desde que se hizo el aviso de la emergencia. Al ser la entrada principal y por donde han tenido acceso al centro, al no estar la gran mayoría de los ocupantes familiarizados con él, es la primera opción como recorrido de evacuación que toman, siendo este tipo de usuarios, principalmente, los ocupantes visitantes.

La segunda salida que más tiempo ha sido transcurrida durante la simulación ha sido la que desemboca en la rampa de lencería, orientada al Sureste (gráfica 1), por donde han evacuado todo tipo de ocupantes, pero un número más reducido que para la salida principal de planta baja, debido al desconocimiento de las salidas de evacuación del centro y de que no existe ningún tipo de equipo que intervenga en la actividad para guiar por donde deberían de realizar la evacuación. Por último, la salida menos frecuente es la de la rampa de rehabilitación (gráfica 2), orientada al suroeste, por donde salen mayormente, los usuarios que se encuentran en la zona de medicina nuclear, debido a su proximidad a esta.

7.1.4 Número de ocupantes que atraviesan la salida de evacuación.



Gráfica 3. Número de ocupantes que utilizan la salida de emergencia en Hipótesis 1.

Las gráficas que se observan representan el número de ocupantes que evacuan el centro por las salidas anteriormente descritas, conforme va pasando el tiempo de simulación. Las prolongaciones indican el tramo de tiempo el cual no evacua ningún ocupante.

Las salidas de evacuación de la gráfica 3, son definidas como las salidas principales, ya que los pacientes visitantes al centro han accedido a él por ellas. Al desconocer el centro, la gran mayoría de los pacientes evacuarán por esta salida, siendo esta la más concurrida como vemos reflejada, en comparación con las demás. Por ellas comienza a salir el primer ocupante en el minuto 01:34 (92 s), y el último en el minuto 08:18 (498 s), evacuando un total de 177 ocupantes por una de ellas y por otra 6, haciendo uso 2 de las 3 salidas que engloba esta planta.

La segunda más concurrida es la salida al exterior hacia la rampa de lencería (gráfica 1), siendo el primer evacuado en el minuto 02:08 (128 s) y el último en el 04:39 (279 s), evacuando por ella 64 ocupantes.

Por último, la salida de evacuación menos concurrida es la salida hacia el exterior mediante la rampa de rehabilitación (gráfica 2), siendo esta la menos concurrida debido a que es la más lejana a la zona que se está estudiando. Los ocupantes que evacuaran por ella provienen, generalmente, de la zona de medicina nuclear. El primer evacuado lo hará en el minuto 01:44 (104 s), y el último en el 04:17 (257 s), siendo el flujo que transcurre por esta salida de 32 personas.

7.1.5 Puntos críticos y velocidad de los ocupantes.

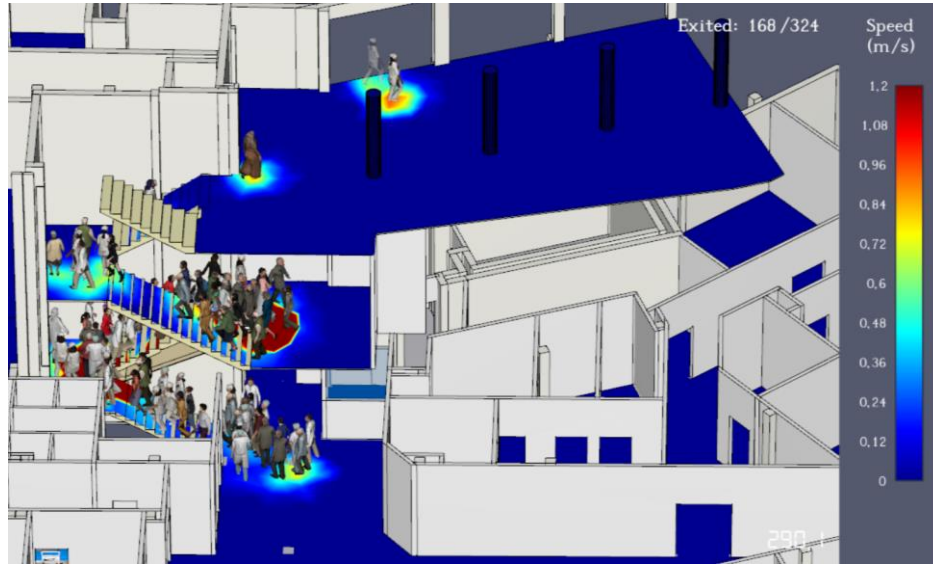


Ilustración 49. Velocidad de los ocupantes en el ascenso de escaleras en Pathfinder de la

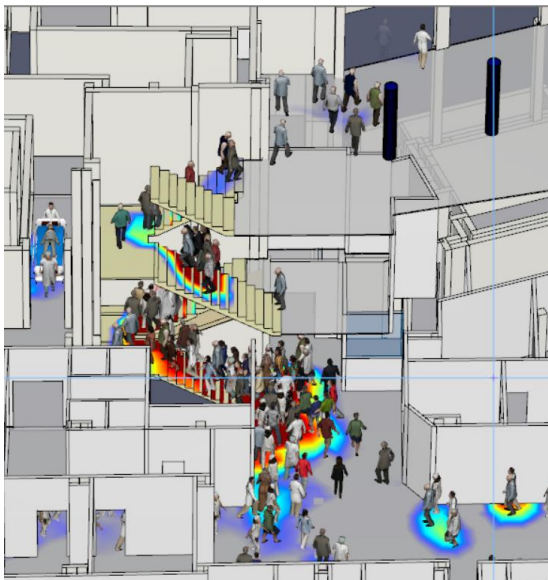


Ilustración 50. Punto crítico (escaleras) en Pathfinder para la Hipótesis 1.

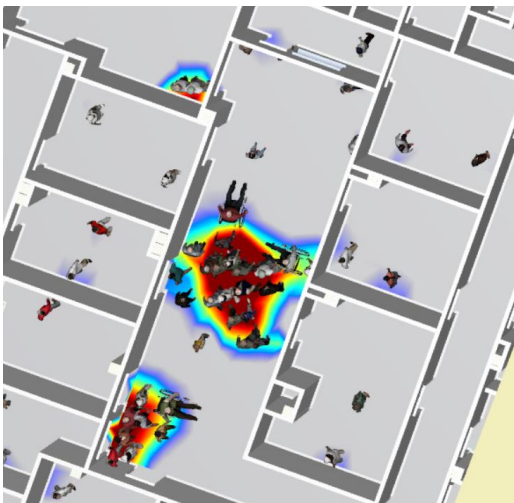


Ilustración 51. Punto crítico (Sala de espera-Oncología) en Pathfinder para la Hipótesis 1.

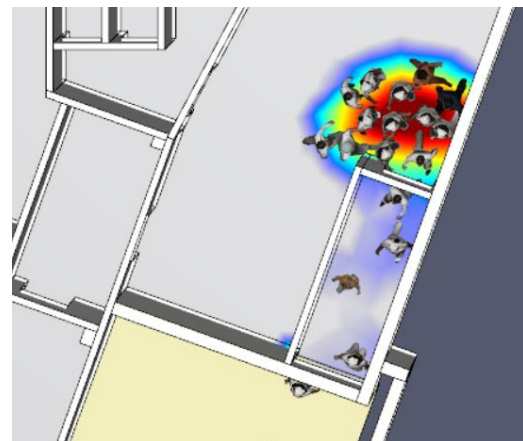


Ilustración 52. Punto crítico (Salida rampa lencería) en Pathfinder para la Hipótesis 1.

Las aglomeraciones en los diferentes puntos de la planta creadas en la simulación, irán relacionadas en todo momento con las velocidades de los ocupantes. Es por ello que el perfil de ocupantes que más tardan en evacuar, son los que deciden hacer la evacuación del centro por la salida principal de la planta baja orientada al Sur, ya que los pacientes mayores y los que tiene movilidad reducida (personas con bastón y andadores), que deciden evacuar por esta salida, deben de enfrentarse al ascenso de dos plantas mediante las escaleras, por lo que al ser la velocidad de este tipo de ocupantes, menor que la de pacientes autónomos y personal sanitario, generan aglomeraciones creando cuellos de botella, obstruccionando la vía de evacuación y ralentizando el ritmo de evacuación de los ocupantes que tienen una velocidad diferente a estos (**Ilustración 49-50**).

Por otro lado, otro de los puntos críticos durante la evacuación de la planta sótano, es la salida hacia el exterior mediante la rampa de lencería (**Ilustración 52**). Se puede observar como el ancho de la puerta de evacuación no es el adecuado para el flujo de personas que transcurren por ella, por este motivo, se genera un taponamiento a la hora de realizar la evacuación por este punto. Habrá periodos de tiempo en la que esta salida esté más concurrida y otros en los que menos, ya que dependerán del flujo de personas que decidan evacuar por esta salida y de la ubicación en la que se encuentren.

Por último, en la sala de espera de la zona de Oncología (**Ilustración 51**), se generan dos punto de obstrucción durante, aproximadamente, 47 segundos, siendo motivo de ello el tiempo de preparación de los ocupantes en silla de ruedas, ya que, al haber dos ocupantes de estas características, obstruyen el paso del resto de ocupantes que necesiten asistencia para su traslado, ya que por el espacio libre que dejan no pueden pasar.

7.1.6 Cuadro resumen de la hipótesis.

Tabla 25. Datos generales obtenidos.

Evacuación General	
Número de ocupantes	324
Tiempo de evacuación	08:18 min. (498 s)
Salidas de emergencia utilizadas	3
Puntos críticos de evacuación	3

Tabla 26. Tiempo máximo de evacuación según la zona.

Tiempo máximo por zona	
RADIOTERAPIA	07:53 min. (473.9 s)
ONCOLOGÍA	07:00 min. (420.8 s)
MEDICINA PREVENTIVA	08:08 min. (488.8 s)
MEDICINA NUCLEAR	05:57 min. (357.7 s)

Tabla 27. Tiempo de llegada y salida a la zona de refugio de los ocupantes asistidos

Zona de refugio	
Número de zonas de refugio	1
Tiempo del 1 ^{er} ocupante en refugio	02:18 min. (138.4 s)
Tiempo del último ocupante en refugio	08:18 min. (498 s)
Tiempo transcurrido entre el 1 ^{er} y último ocupante	05:59 min. (359.6 s)

7.2 Hipótesis 2: Situación más favorable en turno de mañana 11:00 a.m.

En la presente hipótesis, al igual que en la anterior, el **62.28%** del total de los ocupantes son **visitantes**, los cuales no están familiarizados con el centro donde se encuentran, por lo que desconocen los recorridos de evacuación. Esta falta de familiarización respecto al espacio que les rodea conlleva a no tomar la decisión del recorrido de evacuación más adecuada, ocasionando de esta forma empeoramientos en el tiempo de evacuación e incluso el flujo que transcurre por las vías de evacuación, ocasionando cuellos de botellas, obstrucciones y ralentización en la evacuación. Solo el **21.00%** de los ocupantes, son **pacientes autónomos**, los cuales evacuarán el centro por la salida principal de planta baja, ya que el resto de pacientes (pacientes mayores, pacientes mayores asistidos, pacientes con bastón y andador, asistidos o no) efectuarán la evacuación por la salida de emergencia que desemboca tanto en la rampa de lencería como en la rampa de rehabilitación, o serán trasladados a la zona de refugio asignada.

Un **15.10%** del total de los ocupantes, son **visitantes asistidos**, los cuales serán guiados y evacuados hacia una salida de emergencia o zona de refugio. El **1.54%** son ocupantes con movilidad reducida que necesitan de un andador, otro **1.54%** pertenece a los ocupantes con bastón, un **7.70%** de los pacientes mayores con asistencia, **3.70%** para los pacientes en sillas de ruedas y, por último, un **0.62%** para las personas encamadas.

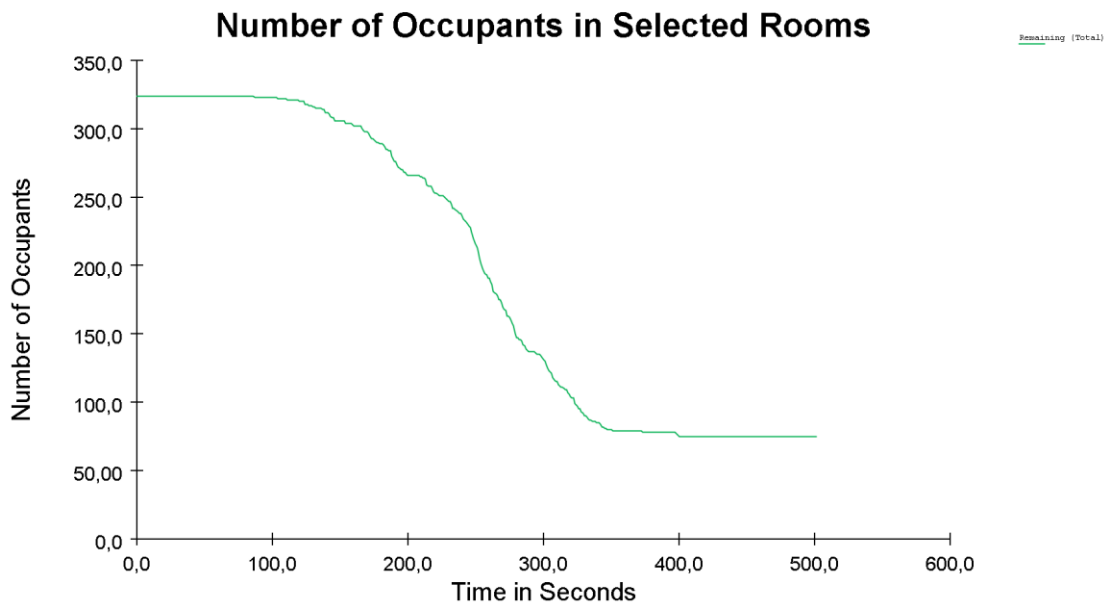
Las personas con andadores que sí necesiten asistencia serán trasladadas, junto a otro ocupante (personal sanitario y familiares/acompañantes) a la zona de refugio asignada. Los ocupantes con bastón asistidos, serán, igualmente, guiados tanto por el personal sanitario como por familiares/acompañantes, los cuales seguirán al personal sanitario que desempeña la misma función, traslado a los ocupantes asistidos a las salidas de emergencia de la rampa de lencería como la de rehabilitación, siendo asistidos de igual forma las personas mayores. Por último, tanto las personas en sillas de ruedas como los encamados necesitarán de asistencia para su traslado hacia la zona de refugio, necesitando a un ocupante para las personas en silla de ruedas y dos para las personas encamadas.

Por otra parte, el **24.38%** de los ocupantes visitantes, como los pacientes mayores (**21.30%**), las personas con bastón (**1.54%**) y andador (**1.54%**), necesitarán de una persona que les haga de guía para trasladarlos hacia las salidas de evacuación y la zona de refugio.

Las personas con andadores que no necesitan de asistencia, una vez sean notificados del aviso de la emergencia y concurrido el tiempo de reacción, seguirán a un ocupante perteneciente al personal sanitario. Este se encargará de notificar su seguimiento a todos los ocupantes con andadores hasta la zona de refugio. De igual forma para los ocupantes con bastón y pacientes mayores, salvo que estos, en vez de ser dirigidos hacia la zona de refugio, evacuarán la planta por la salida de la rampa de lencería y la de rehabilitación.

En cuanto al personal sanitario, además de asistir a los pacientes que necesiten de su ayuda, evacuarán el centro tanto por la salida de emergencia de la rampa de lencería como por la de rehabilitación, siendo esta seleccionada mayormente por el personal ubicado en medicina nuclear.

7.2.1 Gráfica del tiempo de evacuación.



Gráfica 4. Tiempo de evacuación Hipótesis 2.

En la presente gráfica de la Hipótesis 2, se representa el tiempo que transcurre desde la primera persona en cruzar una de las salidas de evacuación, hasta la última, siendo este intervalo de tiempo un total de 06:40 min. (400 s). La ocupación total estimada en esta franja horaria era de 324 personas, al igual que la Hipótesis anterior, de las que han evacuado con éxito a 264 personas, y las 60 restantes, se encuentran en la zona de refugio asignada, las cuales, deberán de permanecer ahí esperando hasta que el personal especializado acuda a su rescate.

Se puede observar como al principio de la gráfica hay una franja de tiempo donde no se efectúa evacuación alguna. Simbolizando el tiempo de reacción asignado a los ocupantes hasta comenzar la primera acción y su movimiento, parámetro ya descrito en apartados anteriores. El primer ocupante que reacciona, comienza a moverse y a evacua el centro a los 01:26 min. (86 s).

Las prolongaciones que aparecen en la gráfica, simbolizan que, en esos intervalos de tiempo, no se ha producido evacuaciones por parte de los ocupantes, pudiéndose dar esto, por el tiempo en el que son debidas tanto a la ayuda asistida de los ocupantes que necesiten de otro ocupante para poder ser desplazados al exterior o a la zona de refugio, o que incluso necesiten de una persona que le haga de guía o le avise de la situación.

7.2.2 Trayectoria de los ocupantes.

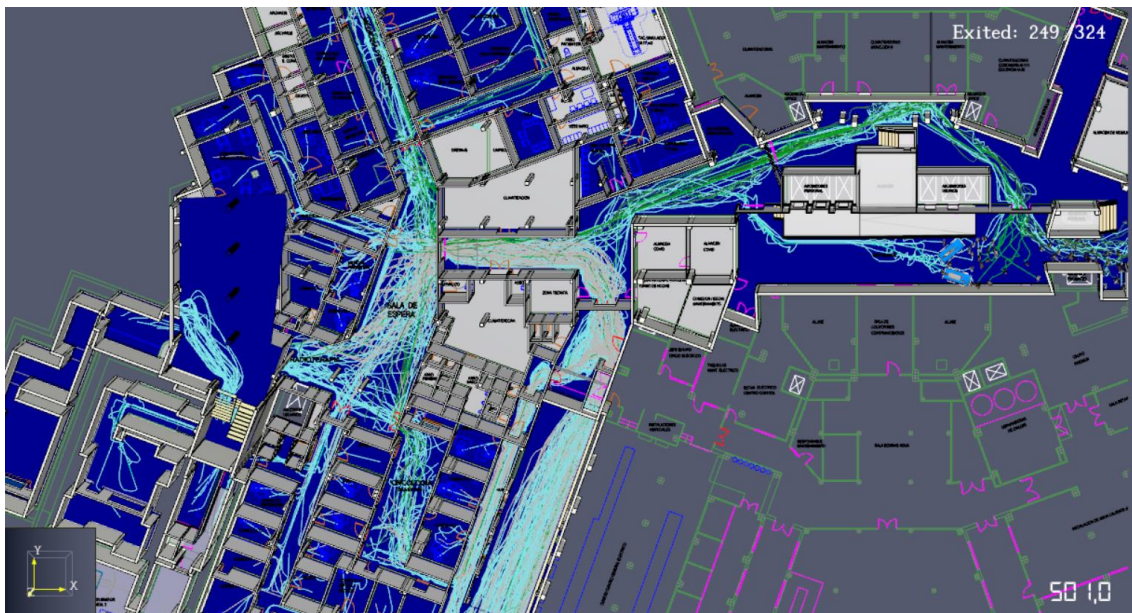


Ilustración 53. Ilustración de la trayectoria de los ocupantes en Pathfinder de la Hipótesis 2.

Gracias a la **Ilustración 53**, se podrá observar el recorrido efectuado por los ocupantes de la planta sótano del centro, diferenciándose cada uno de ellos por colores, siendo los mismos colores asignados para los perfiles de la Hipótesis 1, el gris para los pacientes mayores, sean estos asistidos, junto al ocupante, o no. Como se puede observar, representa a uno de los colores más abundantes en la simulación, siguiéndole el color azul cian, representado por el personal sanitario, el cual engloba tanto al personal que no asiste a ningún tipo de perfil que requiera de asistencia para su traslado, como al personal sí asiste o simplemente guía. Por último, el verde oscuro, personas en silla de ruedas con sus asistentes, y el verde, simbolizando la ruta que realizan las personas con bastón y andador, necesiten o no asistencia para ser evacuados.

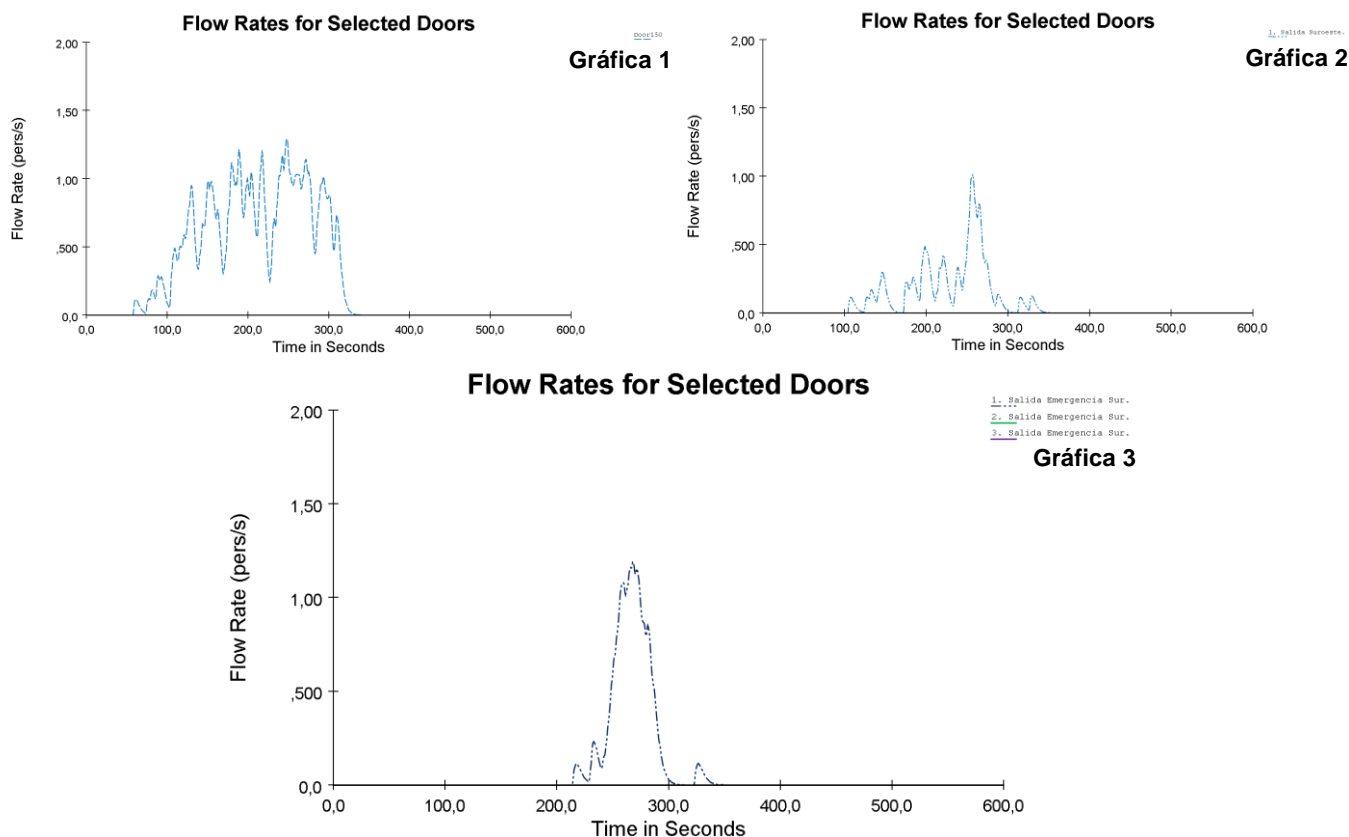
Además de permitirnos ver el recorrido que realizan todos y cada uno de los ocupantes, se puede estimar como es el flujo de evacuación en ciertas zonas del centro. Observándose las aglomeraciones de los ocupantes en las salidas de emergencia.

En función a la ilustración, se puede decir que los resultados de la simulación, en general, son limpios, sin cambios de sentido ni decisiones tomadas respecto a la elección de salida, a excepción del personal encargado a asistir a las personas que lo necesiten, cuya trayectoria, en algunas ocasiones, es más larga y duradera debido a que van en busca del ocupante al que deben de asistir. En cuanto a las situaciones más desfavorables, destacamos los cruces de trayectos que se producen en la evacuación de la planta sótano, generándose choques entre los distintos tipos de ocupantes.

la Hipótesis planteada, los ocupantes autónomos han frecuentado más la salida principal de la planta baja, ya que al ser la entrada por la que han hecho su entrada al centro, es la primera opción como vía de evacuación que toman, debido al desconocimiento de las salidas de emergencias del centro y de cuáles son las que más les conviene.

Por último, al igual que en la Hipótesis 1, los pacientes encamados siguen teniendo uno de los mayores trayectos de evacuación en comparación con el resto de ocupantes. Si a esto le sumamos los factores de velocidad, el tiempo de reacción del personal sanitario que asiste a este tipo de usuarios y el tiempo de preparación del paciente, se comprenderá los datos obtenidos en el apartado anterior, donde todo este conjunto, se traduce a un aumento en el tiempo de evacuación, representado en la "**Gráfica 4**".

7.2.3 Densidad de evacuación en las salidas de emergencia.



Gráfica 5. Densidad de evacuación en función a la salida para la Hipótesis 2.

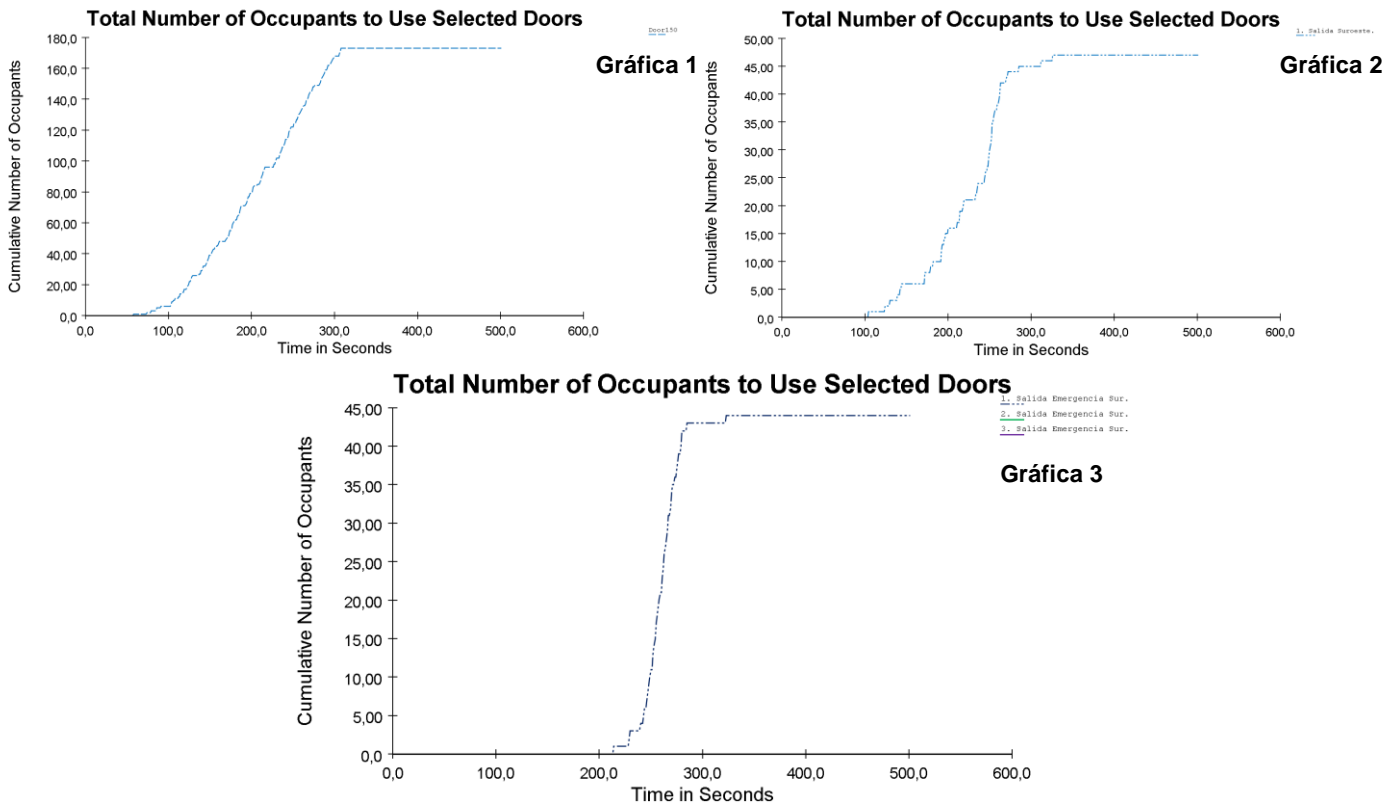
En las presentes gráficas, se pueden ver las aglomeraciones máximas de los ocupantes en las salidas de evacuación. Los resultados obtenidos serán en función de las personas/segundos.

Para la Hipótesis 2, la salida más concurrida respecto a la densidad de los ocupantes, es la de la gráfica 1, la salida hacia el exterior por la rampa de lencería, ya que por ella transcurrirán ocupantes con movilidad reducida, como viene siendo las personas mayores guiadas por una persona perteneciente al equipo del personal sanitario, personas con bastón asistidas, o no, y personal sanitario. El primer usuario en evacuar el centro por ella, fue cuando había transcurrido 00:58 min. (58 s) desde que se hizo el aviso de la emergencia, siendo el pico más alto de densidad en el minuto 04:08 (248 s), con un 1,29 pers/s.

La segunda salida que, con más densidad, es la que da al exterior por la rampa de rehabilitación (gráfica 2), por ella cruzarán mayormente los ocupantes de la zona de medicina nuclear, ya que, esta, es la salida más cercana, en comparación con las demás. El primer evacuado será en el minuto 01:44 (104 s), siendo el pico más alto de densidad en el minuto 04:16 (256,6 s) con un 1,01 pers/s.

Por último, la salida con menos densidad es la de la planta baja (gráfica 3), la cual para acceder hasta ella habrá que ascender desde planta sótano, pasando por la semisótano, por la escalera para llegar hasta la salida de evacuación. El primer evacuado lo hace en el minuto 03:34 (214 s), siendo el pico más alto el de 1,19 pers/s en el minuto 04:28 (268 s).

7.2.3 Número de ocupantes que atraviesan la salida de evacuación.



Gráfica 6. Número de ocupantes que utilizan la salida de emergencia en Hipótesis 2.

Las gráficas representadas plasman el número de ocupantes que evacuan el centro por las salidas descritas en el apartado 6 del presente trabajo. Conforme va pasando el tiempo de simulación, va reflejándose los ocupantes que abandonan el centro. Las prolongaciones que se observan, indican el tramo de tiempo el cual no evacua ningún ocupante.

Para esta Hipótesis, la salida de evacuación más concurrida será la representada en la gráfica 1, la salida que desemboca al exterior mediante la rampa de lencería. El primer ocupante en evacuar el centro por esa salida será el minuto 00:58 (58 s), y el último en el minuto 05:08 (308 s), evacuando un total de 173 ocupantes.

La segunda salida más concurrida será la ubicada en el Suroeste, la cual desemboca a la rampa de rehabilitación (gráfica 2), evacuando, en gran parte a los ocupantes ubicados en la zona medicina nuclear, debido a la proximidad de la zona con la salida, en comparación con las demás. El primer evacuado será en el minuto 01:44 (104 s) y el último en el 05:26 (326 s), evacuando por ella 44 ocupantes.

Por último, la salida de evacuación menos concurrida en este caso, son las salidas ubicadas en la planta baja orientadas al Sur (gráfica 3). Serán las menos evacuadas ya que solamente cruzarán esas salidas los pacientes autónomos que no sean guiados ni asistidos por otra persona para evacuar el centro. Además, debido al desconocimiento con el centro, optarán por la opción de evacuarlo por el mismo recorrido que han efectuado al entrar a él. El primer evacuado lo hará en el minuto 03:34 (214 s), y el último en el 05:26 (326 s), siendo el flujo que transcurre por esta salida de 47 personas.

7.2.4 Puntos críticos y velocidades de los ocupantes.

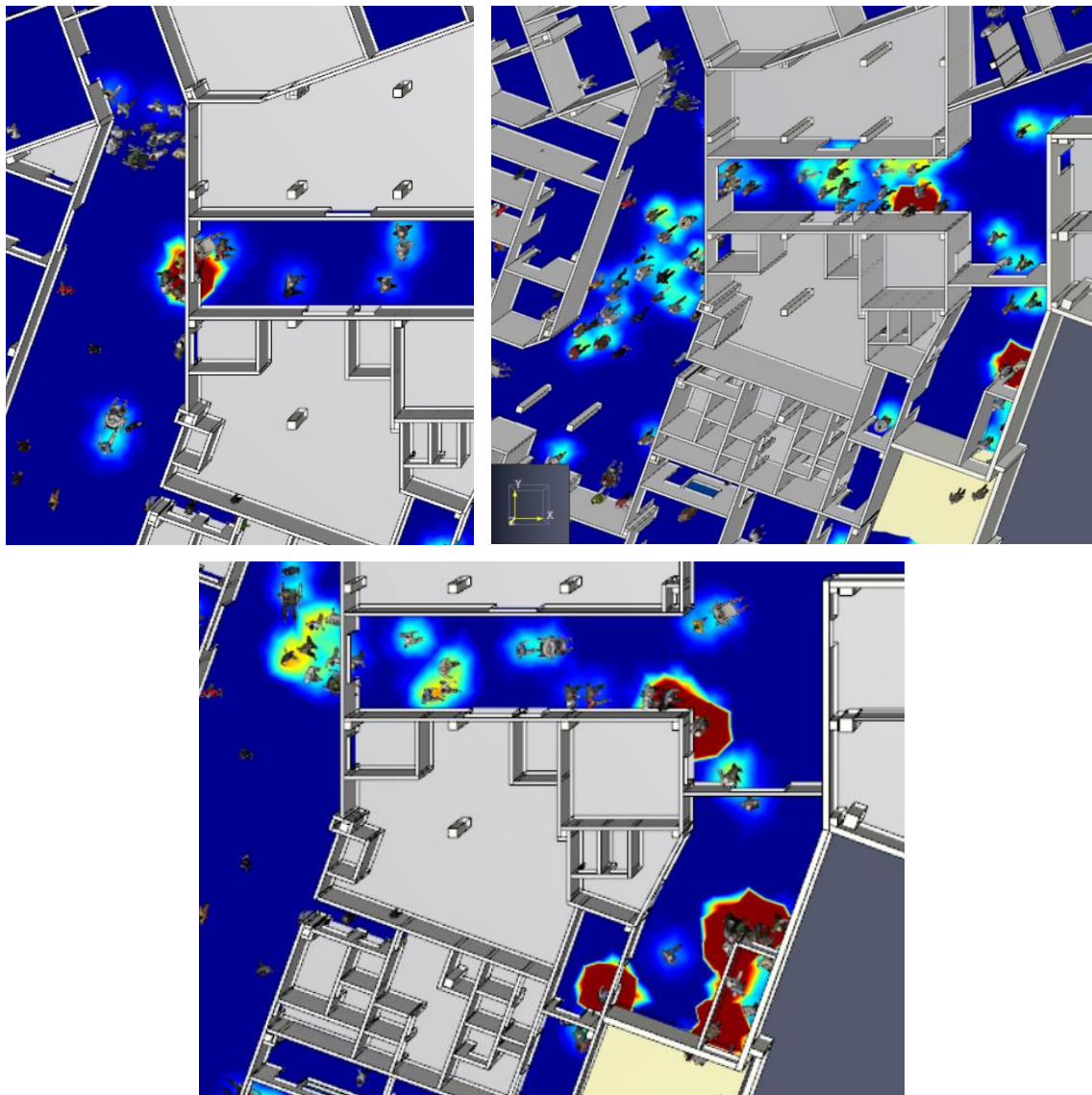


Ilustración 55. Velocidad de los ocupantes en Pathfinder de la Hipótesis 2.

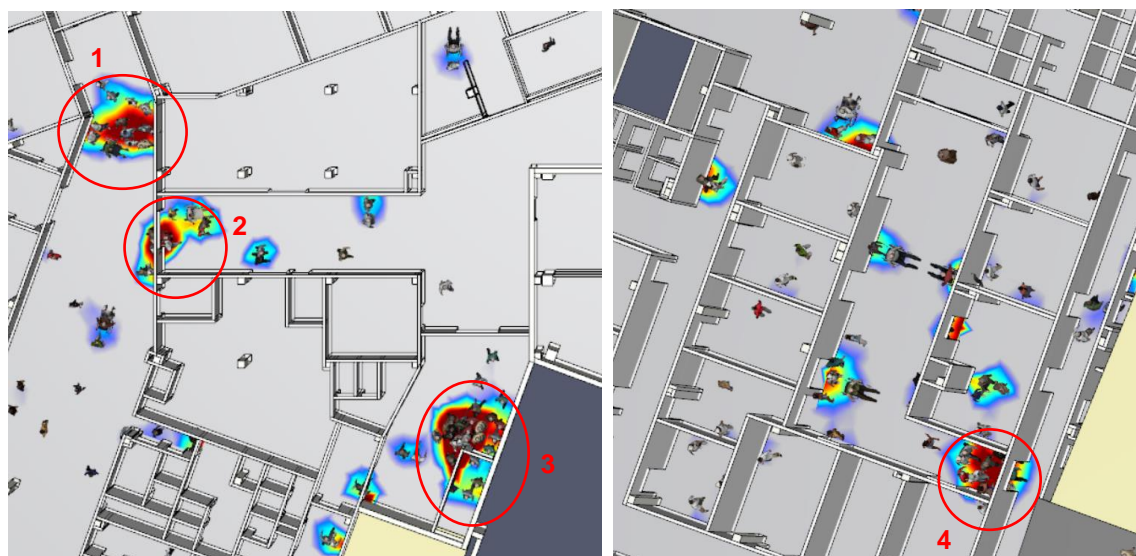


Ilustración 54. Puntos críticos representados en Pathfinder para la Hipótesis 2.

Como bien comentamos en la Hipótesis 1, las aglomeraciones van unidas de la mano con la velocidad de los ocupantes. En función de ellas, las velocidades se verán reducidas, ya que suponen un obstáculo en la vía de evacuación.

Como podemos ver en las **Ilustración 54**, las velocidades se verán reducidas, sobre todo, en los pasillos que llevan tanto a la zona de refugio como a la salida al exterior de la rampa de lencería, ya que la mayoría de los ocupantes que transcurren por esas vías, son tanto pacientes mayores con y sin asistencia, y pacientes con movilidad reducida con y sin asistencia. A pesar de suponer que esta es la Hipótesis más favorable, estos factores afectarán a los resultado, alargando el tiempo de evacuación.

Además, contaremos con varios puntos críticos (**Ilustración 55**), llegando a ocasionar aglomeraciones y cuellos de botella. Estos puntos serán ocasionados tanto en un punto de la sala de espera de radioterapia (1), en la puerta entre la sala de espera de radioterapia y la zona de mantenimiento (2), en la puerta previa a la salida al exterior de la rampa de lencería (3), y por último, en la sala de espera de oncología (4). Ocasionarán aglomeraciones por poco tiempo, por lo que influirán en el tiempo de evacuación de la simulación.

7.2.5 Cuadro resumen de la hipótesis.

Tabla 28. Datos generales obtenidos.

Evacuación General	
Número de ocupantes	324
Tiempo de evacuación	07:52 min. (472 s)
Salidas de emergencia utilizadas	3
Puntos críticos de evacuación	4

Tabla 29. Tiempo máximo de evacuación en función de la zona.

Tiempo máximo por zona	
RADIOTERAPIA	07:52 min. (472 s)
ONCOLOGÍA	04:58 min. (298.2 s)
MEDICINA PREVENTIVA	05:07 min. (307.5 s)
MEDICINA NUCLEAR	06:03 min. (363.5 s)

Tabla 30. Tiempo de llegada y salida a la zona de refugio de los ocupantes asistidos

Zona de refugio	
Número de zonas de refugio	1
Tiempo del 1 ^{er} ocupante en refugio	01:41 min. (101.6 s)
Tiempo del último ocupante en refugio	07:52 min. (472 s)
Tiempo transcurrido entre el 1 ^{er} y último ocupante	06:10 min. (370.4 s)

8. ANÁLISIS CULAITATIVO DE LAS ENTREVISTAS AL PERSONAL TÉCNICO Y SANITARIO.

ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS ENTREVISTAS AL PERSONAL TÉCNICO Y SANITARIO.

Una vez obtenidos los datos de evacuación del centro tras haber generado la simulación, se procede a mostrar dichos datos entre ambas hipótesis tanto al personal técnico como al sanitario, del centro, recibiendo, por su parte, feedback de los resultados de ambas hipótesis y proponiendo opciones de mejora para la optimización del tiempo de evacuación.

9. CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES

En el trabajo realizado se ha conseguido desarrollar una simulación de evacuación que plasma una posible situación de emergencia, en especial en un centro hospitalario, donde realizar simulacros, supone un gran desafío, al igual que algo imposible de realizar y más cuando se trata de un centro con las peculiaridades del escenario a estudiar.

Según el **Real Decreto 393/2007**, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia (Gobierno de España, 2007), para llevar a cabo la implantación de un plan de autoprotección, es necesario la realización de simulacros periódicos, como mínimo uno al año.

En el caso de los edificios hospitalarios no dejan de ser obligatorios, con el objetivo de que los profesionales estén preparados para actuar en caso de emergencia real. Pero el realizar un simulacro en una zona asistencial conllevaría la paralización de la actividad y afectaría sustancialmente al servicio y al paciente que está sometido a tratamiento.

Podemos decir que los objetivos planteados al principio se han conseguido con la elaboración de trabajo realizado:

1. A través de la revisión sistemática realizada, se ha podido comprobar, tras la elección y lectura de varios artículos, que el uso de herramientas de simulación computacional, son empleadas en trabajos científico. De manera que otorgan que los métodos que emplean este Software, son válidos. Es por ello, que para la realización del método del presente trabajo, estos artículos han servido de referencia y guía.

Se ha conseguido demostrar que, aunque la zona analizada no cumpla con los requisitos actuales plasmados en el CTE-SI3, la simulación establece que se consigue la evacuación en un tiempo inferior a 8 minutos en la hipótesis más favorable, donde la evacuación está organizada para que las personas con movilidad reducida evacuen por la rampa con la ayuda y guía del personal sanitario. El tiempo establecido para la llegada de los bomberos es de 8 minutos, dato el cual está incluido en el plan de autoprotección del centro. Con lo cual, el tiempo de evacuación obtenido es suficiente para que la zona esté evacuada y puedan intervenir los equipos de emergencias.

2. Comparando los resultados obtenidos en la hipótesis 2 e hipótesis 1, que en un principio se pensó que sería la 1 menos favorable para la evacuación que la 2, hemos comprobado que los tiempos obtenidos no difieren de forma significativa (hipótesis 1=498 s) (hipótesis 2= 472 s).

Esto nos hace reflexionar que si se realizaran obras de adecuación con objeto de mejorar la compartimentación, incluyendo más sectores de incendios, junto con la creación de vestíbulos de independencia y sistemas de ventilación de control de humos, los tiempos de evacuación disminuirían.

Se podrían implantar compuertas cortafuegos creando nuevos sectores de incendio con vestíbulo de independencia. Una zona donde puede ser factible es junto a la puerta automática de vidrio que separa la sala de espera del distribuidor que dirige a la zona de refugio. Con esto se consigue compartimentar y crear un sector totalmente independiente al de la sala de espera, considerando la salida de planta la nueva puerta colocada optimizando el tiempo de evacuación. Otra opción es adecuar el ancho de las puertas de salida del edificio en función al flujo que transcurre por ellas, y sustituir la escalera abierta actual, por una protegida, según los criterios dispuesto en el Código Técnico de la Edificación.

3. Se ha comprobado que los valores asignados para la velocidad de algunos perfiles de los ocupantes (pacientes encamados), y el tiempo de preparación de los pacientes que

requieren de asistencia son elevados y hacen aumentar los tiempos de evacuación. Durante las visitas realizadas al centro y entrevistas realizadas con el personal técnico y sanitario, los intervalos de tiempo tomados para la simulación, no se asemejan a la realidad.

10. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En el presente apartado se desarrollarán las dificultades enfrentadas durante la elaboración de la presente investigación, de manera que han ralentizado y limitado el tiempo de investigación.

1. Al tratar con un software, Pathfinder, tan amplio respecto a la multitud de funciones y de opciones para generar la evacuación, en muchas ocasiones, ha resultado un tanto difícil la introducción de datos para establecer los parámetros necesarios para simular las hipótesis planteadas.
2. En relación con el apartado anterior, no se ha conseguido hacer uso de todas las variables que el software oferta. A pesar de haber utilizado los parámetros necesarios para la realización de la simulación, podría haberse hecho uso del resto de variables, ya que han sido dejadas por defecto, en función a los dispuesto en el software, por falta de tiempo y familiarización del programa.
3. En el momento en el que seleccionamos la opción de que el software genere tanto los resultados a extraer como la simulación de ambas hipótesis. Al tener el archivo tanta carga e información, el procesador del ordenador portátil utilizado para el presente trabajo, no era capaz de llevar la función seleccionada a cabo, dando constantemente error e impidiendo el avance de la investigación, ya que no había posibilidad de obtener los resultados.

Tras varios intentos, observamos que el procesador de dicho ordenador no era suficientemente potente como para llevar a cabo la función final de obtención de datos, por lo que tuvimos que optar por la opción y oportunidad brindada por el Departamento de Expresión Gráfica. Gracias a su autorización de poder utilizar los ordenadores del laboratorio, finalmente, se pudo extraer tanto la diferentes simulaciones como los resultados de ambas hipótesis.

4. Insuficientes números de simulaciones realizadas, ya que, en el tiempo asignado para la elaboración de este trabajos, se decidió dar prioridad a una buena revisión sistemática enfocada en la validez de los métodos que se han llevado a cabo mediante la simulación computacional.

9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Para concluir el presente estudio, se hará una propuesta sobre futuras líneas de investigaciones, de manera que el tema de investigación empleado en el presente, siga estudiándose y fomentando el uso de simuladores computacionales como una herramienta fiable y de apoyo en el campo de la prevención.

1. Mejora del presente estudio. Mediante la realización de nuevas simulaciones y la introducción de variables.
2. Complementar el estudio mejorado mediante la combinación entre la simulación de evacuación (Pathfinder) y el diseño de un modelo de fuego externo (PyroSim). Siendo este último software del mismo paquete que Pathfinder, de Thunderhead Engineering. De manera que, podría generarse, por ejemplo, una simulación donde se visualizará tanto la evacuación de los ocupantes como la evolución del humo generado por un incendio, todo ello en un mismo escenario.
3. Comparar los resultados de la simulación generada cuando sea posible la realización de un simulacro de evacuación.
4. Continuación de simulaciones en edificios de pública concurrencia, de manera que puedan publicarse dichas investigaciones para así fomentar y poner en conocimiento el uso de este tipo de herramientas tecnológicas, agilizando el estudio de un edificio respecto a situaciones de emergencias.

11. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- 20MINUTOS. (2021). *Detenido un paciente de Covid tras prender fuego a su colchón y originar un incendio en un hospital de Cádiz*. Retrieved April 14, 2023, from <https://www.20minutos.es/noticia/4578987/0/declarado-incendio-planta-covid-hospital-puerta-mar-cadiz/>
- Aguiar, J. (1977). Incendio en el Hospital Infantil de Sevilla. *EL PAÍS*. https://elpais.com/diario/1977/11/23/espana/249087626_850215.html
- Alonso, V. (2014). Egress modelling in health care occupancies. *The Fire Protection Research Foundation, USA*, Retrieved July.
- Alonso-Gutierrez, V., & Ronchi, E. (2016). The Simulation Of Assisted Evacuation In Hospitals. *Fire and Evacuation Modelling Technical Conference, FEMTC*. https://files.thunderheadeng.com/femtc/2016_d2-05-alonso-paper.pdf
- Arup. (2023). *MassMotion: Crowd and pedestrian simulation software*. Arup. <https://www.arup.com/services/digital/massmotion>
- Ayala de Calvo, L. E., & Sepulveda-Carrillo, G. J. (2016). Necesidades de cuidado de pacientes con cáncer en tratamiento ambulatorio. *Enfermería Global*, 16(1), 353–383. <https://doi.org/10.6018/eglobal.16.1.231681>
- Boyce, K. E., Shields, T. J., & Silcock, G. W. H. (1999). *Hacia la caracterización de la ocupación de los edificios para la ingeniería de protección contra incendios: capacidades de las personas discapacitadas que se mueven horizontalmente y en pendiente*.
- Brzezinska, D., Baranski, M., Bryant, P., Haznar-Baranska, A., Brzezińska, D., Barański, M., Bryant, P., & Haznar-Barańska, A. (2022). The safe evacuation of persons from a building operating within COVID-19 restrictions. *BUILDING SERVICES ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY*, 43(4), 461–472. <https://doi.org/10.1177/01436244221074542>
- Cabero Fernández, Á. (2022). EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE AUTOPROTECCIÓN Y ACTUACIÓN DE BOMBEROS MEDIANTE UNA SIMULACIÓN DINÁMICA DE INCENDIO (FDS) Y DE EVACUACIÓN DE PERSONAS EN EL AUDITORIO RIBERAS DEL GUADAIRA (ALCALÁ DE GUADAIRA-SEVILLA). *IdUS (Depósito de Investigación Universidad de Sevilla)*. <https://idus.us.es/handle/11441/136837>
- Coss Bu, R. (2005). *Simulación: un enfoque práctico* (Editorial Limusa S.A. De C.V., Ed.). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iY6dl3E0FNUC&oi=fnd&pg=PA11&dq=simulacion&ots=uLUa2h1ScA&sig=R1a6kXjl0NfoCXCuDs6DGsV6BbM#v=onepage&q=simulacion&f=false>
- D’Orazio, A., Grossi, L., Ursetta, D., Carbotti, G., & Poggi, L. (2020). Egress from a hospital ward during fire emergency. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.18280/ijssse.100101>
- ELCORREO. (2009). *Un muerto en un incendio en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla*. <https://elcorreoweb.es/historico/un-muerto-en-un-incendio-en-el-hospital-virgen-del-rocio-de-sevilla-BCEC151624>
- ELMUNDO. (2008). *Un muerto y 20 evacuados en un incendio en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla*. <https://www.elmundo.es/elmundo/2008/10/16/espana/1224138241.html>

- Fernández Becerra, R. (2009). Desarrollo de las normas contra incendios en España. *Cercha: Revista de Los Aparejadores y Arquitectos Técnicos*, ISSN 2484-1048, Nº. 99, 2009, Págs. 56-62, 99, 56–62.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2984584>
- Florido Cantón, P. (2021). Estudio de la aplicación de tecnologías actuales y la simulación artificial, en planes de autoprotección de edificios de carácter universitario: ensayo de evacuación en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. *IdUS (Depósito de Investigación Universidad de Sevilla)*.
<https://idus.us.es/handle/11441/126716>
- Fruin, J. J., & Strakosch, G. R. (1987). *Pedestrian Planning and Design*. Elevator World.
<https://books.google.es/books?id=vrckAQAAMAAJ>
- Gerges, M., Demian, P., & Adamu, Z. (2021). Customising evacuation instructions for high-rise residential occupants to expedite fire egress: Results from agent-based simulation. *Fire*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/fire4020021>
- Gerges, M., Demian, P., & Adamu, Z. (2021). Customising evacuation instructions for high-rise residential occupants to expedite fire egress: Results from agent-based simulation. *Fire*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/fire4020021>
- Gobierno de España. (1974). Orden de 26 de febrero de 1974 por la que se aprueba la norma tecnológica de edificación NTE-IPF/1974, «instalaciones de protección contra el fuego». *De 2 de Marzo*, Art. 53.
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1974-397
- Gobierno de España. (1978). Constitución Española. *De 29 de Diciembre*, Art. 311.
[https://www.boe.es/eli/es/c/1978/12/27/\(1\)/con](https://www.boe.es/eli/es/c/1978/12/27/(1)/con)
- Gobierno de España. (1978). Real Decreto 2177/1978, de 1 de septiembre, sobre registro, catalogación, inspección de Centros, Servicios y Establecimientos sanitarios. *De 16 de Septiembre*, Art. 222.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1978-23788>
- Gobierno de España. (1979). Orden de 24 de octubre de 1979 sobre Protección Anti-incendios en los Establecimientos Sanitarios. *De 7 de Noviembre*, Art. 267.
[https://www.boe.es/eli/es/o/1979/10/24/\(4\)](https://www.boe.es/eli/es/o/1979/10/24/(4))
- Gobierno de España. (1979). Orden de 25 de septiembre de 1979 sobre prevención de incendios en establecimientos turísticos. *De 20 de Octubre*, Art. 252.
[https://www.boe.es/eli/es/o/1979/09/25/\(2\)](https://www.boe.es/eli/es/o/1979/09/25/(2))
- Gobierno de España. (1981). Real Decreto 2059/1981, de 10 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación «Condiciones de protección contra incendio en los edificios». *De 18 de Septiembre*, Art. 224.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/1981/04/10/2059>
- Gobierno de España. (1982). Real Decreto 1587/1982, de 25 de junio, por el que se modifica la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI-81, sobre condiciones de protección contra incendio en los edificios. *De 21 de Julio*, Art. 173.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/1982/06/25/1587/dof/spa/pdf>
- Gobierno de España. (1985). Orden de 29 de noviembre de 1984 por la que se aprueba el «Manual de Autoprotección para el desarrollo del Plan de Emergencia contra Incendios y de Evacuación de Locales y Edificios». *De 26 de Febrero*, Art. 49.
[https://www.boe.es/eli/es/o/1984/11/29/\(2\)/dof/spa/pdf](https://www.boe.es/eli/es/o/1984/11/29/(2)/dof/spa/pdf)
- Gobierno de España. (1991). Real Decreto 279/1991, de 1 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación «NBE-CPI/91: Condiciones de

- protección contra incendios en los edificios». *De 8 de Marzo*, Art. 58.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1991-6428>
- Gobierno de España. (1995). Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. *De 10 de Noviembre*, Art. 269.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>
- Gobierno de España. (1996). Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, por el que se aprueba la norma básica de la edificación «NBE-CPI/96: Condiciones de protección contra incendios de los edificios». Boletín Oficial del Estado, 261, de 29 de octubre de 1996. *De 29 de Octubre*, Art. 261.
<https://www.boe.es/boe/dias/1996/10/29/pdfs/A32378-32422.pdf>
- Gobierno de España. (2006). Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *De 28 de Marzo*, Art. 74.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-5515>
- Gobierno de España. (2007). Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia. *De 24 de Marzo*, Art. 72. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-6237>
- Gobierno de España. (2007). Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *De 23 de Octubre*, Art. 254. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/10/19/1371>
- Gobierno de España. (2008). ORDEN VIV/1744/2008, de 9 de junio, por la que se regula el Registro General del Código Técnico de la Edificación. *De 19 de Junio*, Art. 148. <https://www.boe.es/eli/es/o/2008/06/09/viv1744>
- Gobierno de España. (2019). *Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SI/DBSI.pdf>
- Gobierno de España. (2022). *Documento Código Técnico de la Edificación*. <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/DocumentosCTE.html>
- Gómez Tapiador, J. Joaquín. (2018). *TFM-Método de evaluación de vías de evacuación tras los efectos de una explosión*. <https://idus.us.es/handle/11441/81573>
- Hu, J.-J., Wu, H.-Y., & Chou, C.-C. (2023). Evacuation Simulation in a Cultural Asset Fire: Impact of Fire Emergency Evacuation Facilities for People with Disabilities on Evacuation Time. *Fire*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/fire6010010>
- Hunt, A., Galea, E. R., & Lawrence, P. J. (2015). An analysis and numerical simulation of the performance of trained hospital staff using movement assist devices to evacuate people with reduced mobility. *Fire and Materials*, 39(4), 407–429. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fam.2215>
- Jiang, A., Mo, Y., & Kalasapudi, V. S. (2022). STATUS QUO AND CHALLENGES AND FUTURE DEVELOPMENT OF FIRE EMERGENCY EVACUATION RESEARCH AND APPLICATION IN BUILT ENVIRONMENT. *JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION*, 27, 781–801. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.038>
- Li, H., Wang, Y., Jiang, J., & Zhou, R. (2022). Metro station evacuation safety assessment considering emergency response. *SIMULATION-TRANSACTIONS OF THE SOCIETY FOR MODELING AND SIMULATION INTERNATIONAL*, 98(10), 919–931. <https://doi.org/10.1177/00375497221095071>

- Ministerio de Sanidad e Igualdad Centro De Publicaciones. (2013). *Unidades asistenciales del área del cáncer. Estándares y recomendaciones de calidad y seguridad*. chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.sanidad.gob.es/organizacion/sns/planCalidadSNS/docs/Cancer_EyR.pdf
- Mott MacDonald. (2023). *About STEPS*. <https://www.steps.mottmac.com/steps-dynamics>
- Muñoz Romero, J. Luis. (2020). *Estudio de la circulación de personas en situaciones de emergencia a través de nuevas tecnologías. Ensayo de evacuación en el Pabellón de Argentina. Actual Conservatorio Profesional de Danza de Sevilla "Antonio Ruiz Soler"*. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/101954/Muñoz_Romero_José%20Luis_G20_PFGGE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nourkojouri, H., Nikkhah Dehnavi, A., Bahadori, S., & Tahsildoost, M. (2023). Early design stage evaluation of architectural factors in fire emergency evacuation of the buildings using Pix2Pix and explainable XGBoost model. *Journal of Building Performance Simulation*. <https://doi.org/10.1080/19401493.2022.2163422>
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Para salvar vidas : hagamos que los hospitales sean seguros en las situaciones de emergencia*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/70008>
- Pathfinder 2023.1 | Thunderhead Support. (2023). Retrieved June 6, 2023, from <https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2023-1/>
- PEMARD. (2023). *EASE - EVAC Fast Design of Acoustic Evacuation Systems*. <https://www.mediterraneanacoustics.com/ease---evac-fast-design-of-acoustic-evacuation-systemsfast-design-of-acoustic-evacuation-systems.html>
- Pérez Ávila, F. (2016). Cinco heridos en un incendio en el hospital de San Lázaro. *DIARIO DE SEVILLA*. https://www.diariodesevilla.es/sevilla/heridos-incendio-hospital-San-Lazaro_0_1037596808.html
- Shannon, R. J. J. D., & Shannon, R. J. J. D. (1976). Modelos de simulación. In *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Vol. SMC-6* (Issue 10). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/TSMC.1976.4309432>
- Tang, G., Zhao, Z., Yu, J., Sun, Z., & Li, X. (2021). Simulation-based framework for evaluating the evacuation performance of the passenger terminal building in a Ro-Pax terminal. *Automation in Construction*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103445>
- Thunderhead Engineering. (2023). *About Us*. <https://www.thunderheadeng.com/about>
- Tinaburri, A. (2022). Principles for Monte Carlo agent-based evacuation simulations including occupants who need assistance. From RSET to RiSET. *FIRE SAFETY JOURNAL*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103510>
- Universidad de Greenwich. (2023). *Exodus - Introduction*. <https://fseg.gre.ac.uk/exodus/>
- Xiao, M., Zhou, X., Pan, X., Wang, Y., Wang, J., Li, X., Sun, Y., & Wang, Y. (2022). Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06211-w>