

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto / Trabajo Fin de Máster

**MODELADO Y SIMULACIÓN
COMPUTACIONAL DE LOS PROCESOS DE
EVACUACIÓN EN CENTROS
HOSPITALARIOS**

(EVACUATION COMPUTER MODELLING IN HOSPITALS)

Para acceder al Título de

**MÁSTER DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

Autor: Javier Cuesta Pinedo;

Director: Dr. Daniel Alvear Portilla

Septiembre - 2013

Agradecimientos

No quería dejar pasar la oportunidad de agradecer al Profesor Jorge Arturo Capote y al Profesor Daniel Alvear por su confianza, apoyo y dirección durante mi dedicación a la investigación de la Seguridad Contra Incendios y Gestión de la Emergencia dentro del Grupo GIDAI. También me gustaría agradecer al Dr. Arturo Cuesta por su orientación y dedicación para llegar a culminar el presente Trabajo Fin de Máster. Tampoco olvido al resto de compañeros del Grupo, que me han ayudado a aprender y superar las dificultades encontradas, así como a Jose por apoyarme y poner a mi disposición los medios necesarios para culminar este Trabajo.

Este Trabajo no hubiese sido posible sin la activa colaboración y participación del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, en particular el Arquitecto Luis Castillo y la Directora de Enfermería Dolores Sierra, que me guiaron en las visitas realizadas al Centro Hospitalario y facilitaron datos fundamentales para la presente línea de investigación.

Presentación

Son muy escasas las referencias en revistas y foros de impacto científico al problema de la evacuación de personas vulnerables en caso de emergencia. La información es aún más escasa para el caso de centros hospitalarios. Los retos evidentes de estos procesos de evacuación han ocasionado la percepción de que estos centros deberían calificarse como “no evacuables”. Sin embargo, la realidad nos indica de forma frecuente que, al igual que cualquier otra edificación, están sometidos a la posibilidad de sufrir situaciones de emergencia que requieren como estrategia de seguridad la evacuación de sus ocupantes (pacientes, acompañantes y personal sanitario).

Los requerimientos normativos tradicionalmente se han orientado a preservar una serie de indicaciones de diseño constructivo, sin determinar el impacto cuantitativo de estos requisitos en el nivel real de seguridad para los usuarios. Así, habitualmente se establece la capacidad y dimensiones mínimas necesarias de los medios de evacuación y las acciones de prevención de riesgos, alarma, evacuación y socorro que deben plasmarse en los planes de autoprotección, obligando a realizar simulacros de emergencia al menos una vez al año para evaluar su eficacia y operatividad.

Actualmente para el análisis del proceso de evacuación se ha venido incorporando el empleo de herramientas de modelado y simulación computacional. Esta es una línea de investigación que ha prosperado ya que permite analizar y disponer de una prognosis de diversos escenarios cuya reproducción y experimentación resultaría costosísima o incluso inviable.

La gran mayoría de los Modelos de Simulación Computacional de Evacuación (MSCE) fueron concebidos para simular la evacuación de recintos de pública concurrencia en los que predomina el proceso que habitualmente se denomina “auto-rescate”, en el que cada ocupante es capaz de emprender las acciones para ponerse a salvo por sí mismo. Pero son muy pocas las aproximaciones al problema de la evacuación en centros hospitalarios, pues es evidente que ese proceso no encaja con las condiciones de evacuación en este tipo de espacios, en los que el usuario requiere apoyo.

Sin duda, resulta necesario el desarrollo de una metodología sólida que permita analizar el proceso de evacuación en este tipo de escenarios mediante la aplicación de herramientas de MSCE. Con todo lo anterior, se presenta el trabajo fin de máster titulado “Modelado y Simulación Computacional de los procesos de evacuación en centros hospitalarios”, cuyos objetivos principales son:

1. Analizar las condiciones y verificar los requerimientos de seguridad en este tipo de complejos edificatorios.
2. Estudiar los factores específicos que influyen en sus procesos de evacuación.
3. Realizar una investigación de campo que permita parametrizar las variables presentes en el proceso de evacuación y disponer de datos de entrada consistentes para las simulaciones.
4. Definir una metodología para el análisis mediante modelado y simulación computacional del proceso de evacuación durante situaciones de emergencia, que pueda ser empleada en algún caso representativo.

Para alcanzar estos objetivos se seleccionó un recinto hospitalario, suficientemente complejo y se realizaron diferentes visitas para recopilar diversa información relativa a su distribución geométrica, ocupación de pacientes, personal y acompañantes, planes de autoprotección y riesgos existentes, simulacros realizados, incidentes producidos, etc., asumiendo las incertidumbres existentes y necesarias.

Los resultados de los trabajos muestran que la aplicación del MSCE a un centro hospitalario proporciona ventajas relativas al estudio de diversos escenarios, estimación sobre el tiempo requerido para una evacuación en condiciones seguras (Required Safe Egress Time RSET), identificación de riesgos y análisis de la efectividad de las distintas estrategias.

Además, el enfoque metodológico planteado puede sentar las bases de nuevos modelos que podrían llegar a ser de utilidad en actividades posteriores para su incorporación a los planes de emergencia e incluso a sistemas de gestión de la emergencia en tiempo real, mejorando su efectividad y estableciendo de forma más concisa las acciones a acometer, siempre con un cierto grado de flexibilidad dadas las múltiples incertidumbres propias en este tipo de edificio y entorno.

Índice General

Presentación.	1
Índice General.	3
Índice de Figuras.	6
Índice de Tablas.	8
Introducción.	10
Capítulo 1. Antecedentes y estado del arte.	13
1. Introducción.	13
2. Antecedentes.	14
2.1. Diseño prescriptivo.	16
2.2. Diseño basado en prestaciones.	17
3. Estado del arte.	21
3.1. Proceso de evacuación “auto-rescate”.	22
3.2. Proceso de evacuación “asistida”.	24
Capítulo 2. Caracterización del proceso de evacuación en centros hospitalarios.	29
1. Introducción.	29
2. Variables que intervienen en el proceso de evacuación.	30
2.1. Tipo de emergencia.	31
2.2. Edificio.	33
2.3. Pacientes.	34
2.4. Personal.	35

2.5. Medios de traslado de pacientes.	36
2.6. Plan de autoprotección y plan de emergencia.	36
3. Incertidumbres.	38
4. Modos de adaptación.	39
Capítulo 3. Recogida de datos y metodología para el modelado y simulación computacional de evacuación en los centros hospitalarios.	42
1. Introducción.	42
2. Tipo de asistencia médica.	43
3. Análisis de las estrategias de evacuación.	47
4. Orden de traslado de los pacientes.	49
5. Caracterización de los ocupantes.	50
6. Equipos de Evacuación.	52
7. Metodología para definir el proceso de evacuación.	53
Capítulo 4. Estudio del proceso de evacuación en una planta de hospitalización.	57
1. Introducción.	57
2. Descripción del modelo computacional.	58
2.1. Tipo de modelo.	59
2.2. Resultados del modelo.	60
2.3. Ecuaciones de movimiento que gobiernan el movimiento.	61
2.4. Incertidumbres del modelo.	64
3. Construcción del modelo computacional.	66
3.1. Geometría.	66
3.2. Ocupación.	67
3.3. Escenarios analizados.	70
3.4. Estrategia de evacuación.	73
4. Resultados de las simulaciones.	75

4.1. Escenario 1.1.	75
4.2. Escenario 1.2.	76
4.3. Escenario 2.1.	78
4.4. Escenario 2.2.	79
Capítulo 5. Estudio del proceso de evacuación en un centro de consultas.	82
1. Introducción.	82
2. Construcción del modelo computacional.	85
2.1. Geometría.	85
2.2. Ocupación.	86
2.3. Escenarios considerados.	87
2.4. Estrategia de evacuación.	89
3. Resultados de las Simulaciones.	89
3.1. Tiempos totales de evacuación.	89
3.2. Tiempos totales de evacuación por plantas.	91
3.3. Uso de salidas.	93
Conclusiones.	95
Referencias.	99
Anexo I. Recopilación de información sobre incendios en centros hospitalarios.	105
Anexo II. Propuesta para la realización de experimentos de evacuación en el Hospital Virtual Valdecilla.	118
Anexo III. Resultados de las simulaciones.	124

Índice de Figuras

Figura 1.	Margen de seguridad definido por los tiempos ASET y RSET.	17
Figura 2.	Proceso de evacuación individual.	22
Figura 3.	Interacciones durante el proceso de evacuación.	23
Figura 4.	Desarrollo de una emergencia.	29
Figura 5.	Organigrama en caso de emergencia interna en centro hospitalario.	37
Figura 6.	Distribución de áreas médicas en Valdecilla Sur.	46
Figura 7.	Medios de evacuación ubicadas en Valdecilla Sur.	46
Figura 8.	Zonas comunes y restringidas en Valdecilla Sur.	48
Figura 9.	Preparación y traslado de paciente por parte de un Equipo de Evacuación.	52
Figura 10.	Esquema secuencial para el proceso de evacuación horizontal.	53
Figura 11.	Proceso de evacuación vertical.	54
Figura 12.	Esquema secuencial para el proceso de evacuación vertical.	56
Figura 13.	Layout y sectorización de la planta tipo de hospitalización.	58
Figura 14.	Discretización realizada en un pasillo de la planta tipo de hospitalización.	66
Figura 15.	Geometría de la planta tipo de hospitalización implementada en el modelo.	67
Figura 16.	Distribución de pacientes según tipología en las habitaciones de la planta tipo de hospitalización.	68
Figura 17.	<i>Locations</i> asignadas a un paciente de tipo PNA 1 y su acompañante.	69
Figura 18.	Escenario 1 para planta tipo de hospitalización.	71
Figura 19.	Escenario 2 para planta tipo de hospitalización.	72
Figura 20.	Estrategia de evacuación para el Escenario 1.1.	73
Figura 21.	Estrategia de evacuación para el Escenario 1.2.	73
Figura 22.	Estrategia de evacuación para el Escenario 2.1.	73
Figura 23.	Estrategia de evacuación para el Escenario 2.2.	74
Figura 24.	Ruta implementada en el modelo para un paciente PNA 1, personal sanitario y acompañante.	74

Figura 25.	Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 1.1.	75
Figura 26.	Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 1.1.	76
Figura 27.	Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 1.2.	77
Figura 28.	Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 1.2.	77
Figura 29.	Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 2.1.	78
Figura 30.	Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 2.1.	79
Figura 31.	Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 2.2.	80
Figura 32.	Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 2.2.	81
Figura 33.	Distribución de áreas y medios de evacuación ubicados en el Nivel 0 del centro de consultas.	83
Figura 34.	Implementación de una escalera en el modelo STEPS.	86
Figura 35.	Tiempos medios de evacuación y Percentil 95.	90
Figura 36.	Progreso de evacuación total de los ocupantes.	90
Figura 37.	Proceso de evacuación por niveles del edificio para el Escenario 1.1.	92
Figura 38.	Uso del acceso principal S-1 para una simulación discreta de cada escenario.	93
Figura 39.	Condiciones de contorno de los experimentos.	118
Figura 40.	Modelo de secuencia temporal de la evacuación de un paciente.	119

Índice de Tablas

Tabla 1.	Tiempos de alarma y pre-movimiento para los centros hospitalarios (categoría D).	21
Tabla 2.	Distribución por plantas del Edificio 2 de Noviembre.	44
Tabla 3.	Velocidades de desplazamiento horizontal [m/s] por tipologías de ocupantes.	51
Tabla 4.	Distribuciones de los tiempos de respuesta y preparación de los pacientes.	51
Tabla 5.	Distancias máximas de los recorridos de evacuación en la planta tipo de hospitalización.	58
Tabla 6.	Factores reductores para las velocidades horizontales del personal sanitario.	69
Tabla 7.	Variables de los escenarios de evacuación en la planta tipo de hospitalización.	70
Tabla 8.	Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 1.1.	75
Tabla 9.	Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 1.2.	77
Tabla 10.	Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 2.1.	79
Tabla 11.	Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 2.2.	80
Tabla 12.	Ancho nominal de los medios de evacuación en el edificio tipo de consultas.	82
Tabla 13.	Niveles de ocupación considerados en el edificio tipo de consultas.	87
Tabla 14.	Resumen de los escenarios de evacuación considerados en el edificio tipo de consultas.	88
Tabla 15.	Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación.	90
Tabla 16.	Porcentaje de ocupantes evacuados en tramos de 5 min desde el inicio de la alarma.	91

Tabla 17.	Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 0.	91
Tabla 18.	Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 1.	91
Tabla 19.	Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 2.	92
Tabla 20.	Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 3.	92
Tabla 21.	Uso total de cada salida para una simulación discreta de cada escenario.	93
Tabla 22.	Incendios ocurridos en centros hospitalarios nacionales.	107
Tabla 23.	Incendios ocurridos en centros hospitalarios internacionales.	114
Tabla 24.	Experimentos Tipo II.	122
Tabla 25.	Tiempo de evacuación por simulación de cada paciente en Escenario 1.1.	124
Tabla 26.	Tiempo de evacuación por simulación de cada paciente en Escenario 1.2.	125
Tabla 27.	Tiempo de evacuación por simulación de cada paciente en Escenario 2.1.	126
Tabla 28.	Tiempo de evacuación por simulación de cada paciente en Escenario 2.2.	127
Tabla 29.	Tiempos de evacuación para Escenario 1.1. en centro de consultas.	128
Tabla 30.	Tiempos de evacuación para Escenario 3.2. en centro de consultas.	131

Introducción

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Máster fue la obtención de metodologías y modelos para la simulación de la población objeto de estudio. Para ello se seleccionaron dos tipos de escenarios: un centro de hospitalización y un centro de consultas. Se realizaron labores de recogida de información y se obtuvieron datos sobre algunas variables determinantes para utilizarlas como entrada en los trabajos de modelado y simulación computacional.

Los resultados permitieron explorar posibilidades de simulación del movimiento y conducta de la población vulnerable de centros hospitalarios en diferentes procesos y escenarios y analizar su impacto en los cálculos sobre el proceso de evacuación.

El contenido del presente trabajo se ha agrupado en cinco capítulos y varios anexos completan el documento, que son:

- **Capítulo 1. Antecedentes y estado del arte.** Este capítulo introduce los métodos de diseño de Seguridad Contra Incendios y Gestión de la Emergencia en centros hospitalarios definidos por la normativa. Además se describe el estado del arte en el estudio de la conducta humana en situación de emergencia y la aplicación de herramientas de modelado y simulación computacional de evacuación, descubriendo la laguna existente en el análisis del proceso de evacuación de personas vulnerables.
- **Capítulo 2. Caracterización del proceso de evacuación en centros hospitalarios.** Se analizan los riesgos, la tipología edificatoria y uso, la ocupación, los medios de traslado para pacientes y los planes de autoprotección existentes en este tipo de edificios, así como las incertidumbres inevitables y los modos de adaptación necesarios para garantizar la seguridad de sus ocupantes.

- **Capítulo 3. Recogida de datos y metodología para el modelado y simulación computacional de evacuación en los centros hospitalarios.** El tercer capítulo recoge los inputs requeridos para la aplicación de las herramientas de modelado y simulación computacional de evacuación en los centros hospitalarios, distinguiendo entre sus diferentes áreas para definir las estrategias de evacuación.
- **Capítulo 4. Estudio del proceso de evacuación en una planta de hospitalización.** En este capítulo se presentan los resultados del análisis de los procesos de preparación y traslado de pacientes en una planta tipo de hospitalización. Se analizaron diferentes escenarios de incendio y estrategias de evacuación, implementando las actividades de los miembros del personal. Se realizaron múltiples simulaciones por escenario a fin de obtener muestras de los tiempos requeridos para la evacuación en condiciones de Seguridad.
- **Capítulo 5. Estudio del proceso de evacuación en un centro de consultas.** El análisis del proceso de evacuación de un edificio tipo de consultas supuso un proceso de “auto-rescate” para la mayoría de los pacientes, con el diseño de diferentes escenarios y simulaciones en función de la familiaridad con el edificio y sus salidas, los sistemas de detección y aviso de incendio, y la preparación del personal.
- **Conclusiones.** Este capítulo recoge las principales conclusiones alcanzadas en el trabajo y los casos de estudio analizados a partir de los resultados obtenidos, aportando algunos aspectos a considerar para la seguridad de las personas vulnerables en centros hospitalario durante la evacuación.
- **Referencias.** Se muestra una relación de los documentos consultados, a modo de referencia, para el desarrollo del trabajo.

- **Anexo I. Recopilación de información sobre incendios en centros hospitalarios.** Este anexo recopila los incendios ocurridos en centros hospitalarios nacionales e internacionales durante la última década, destacando la información más relevante en cuanto a la Seguridad y Gestión de la Emergencia, como la causa, alcance, número de afectados y estrategia adoptada.
- **Anexo II. Propuesta para la realización de experimentos de evacuación en el Hospital Virtual Valdecilla.** Este anexo describe la propuesta para el diseño y desarrollo de un Programa Experimental de Toma de Datos sobre tiempos de preparación y traslado de pacientes en un centro hospitalario, como una de las líneas de continuidad de los futuros trabajos próximos.
- **Anexo III. Resultados de las simulaciones.** A modo de tablas se exponen los resultados de tiempos de evacuación y uso de salidas obtenidas en algunas de las simulaciones realizadas para los casos de estudio de una planta tipo de hospitalización y un centro tipo de consultas.

Capítulo 1. Antecedentes y estado del arte.

1. Introducción.

La normativa española de Seguridad Contra Incendios y Gestión de la Emergencia [1,2] establece una serie de criterios básicos para el diseño constructivo del edificio y sus medios de evacuación, con unas exigencias mínimas relativas a las instalaciones de protección contra incendios y protocolos de actuación en caso de emergencia.

Los edificios y entornos singulares donde las densidades de ocupación son elevadas o donde existe un número importante de personas que requieren la asistencia de otras para alcanzar un lugar seguro ponen de manifiesto la influencia de la conducta humana en situación de emergencia durante el proceso de evacuación, y con ello, las deficiencias prescriptivas.

El nuevo panorama legislativo se dirige hacia un diseño prestacional que considere y se adapte a las particularidades propias de espacios y ocupación en cada edificio, obteniendo así una estimación sobre los tiempos requeridos y disponibles para la evacuación [3].

La aplicación de métodos analíticos aporta buenos resultados en la estimación de estos tiempos para edificios o entornos sencillos. Sin embargo, presenta algunas debilidades al no considerar la interacción real entre todos los factores que intervienen en el proceso de evacuación.

El desarrollo y aplicación de herramientas informáticas avanzadas y fundamentadas en algoritmos matemáticos que representan la conducta humana y sus interacciones aporta resultados mucho más fiables y realistas para edificios o entornos singulares. Estas herramientas también presentan sus debilidades al requerir *inputs* sobre los tiempos de pre-movimiento y velocidades de desplazamiento recogidos en la dispersa bibliografía existente. Otra limitación es la representación de una evacuación “asistida”, donde parte de los ocupantes requieren la asistencia de otros para llevar a cabo el proceso de evacuación, caso de un centro hospitalario.

2. Antecedentes.

El Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico de la Edificación [1], normativa nacional, considera dos tipos de diseño de los edificios para alcanzar la Seguridad de sus ocupantes, un Diseño Prescriptivo o uno Basado en Prestaciones.

El primero, de aplicación general, establece unos valores límites para el diseño constructivo del edificio, sus medios de evacuación y las instalaciones de protección contra incendio en función de la tipología de actividad desarrollada en su interior o la ocupación. Para los centros hospitalarios, caso en el que se centra este Trabajo Fin de Máster, define el *uso hospitalario*, como:

“Edificio o establecimiento destinado a asistencia sanitaria con hospitalización de 24 horas y que está ocupado por personas que, en su mayoría, son incapaces de cuidarse por sí mismas, tales como hospitales, clínicas, sanatorios, residencias geriátricas, etc.” [1]

Dentro de los centros hospitalarios hay zonas que no se corresponden con la definición anterior, y por tanto, según la normativa tendrán que cumplir las especificaciones dadas para su uso, que en última instancia será el *uso administrativo*.

“Las zonas de dichos edificios o establecimientos destinadas a asistencia sanitaria de carácter ambulatorio (despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.) así como a los centros con dicho carácter en exclusiva, deben cumplir las condiciones correspondientes al uso Administrativo” [1]

Otras normativas, como la americana NFPA 101 [4], una de las más avanzadas en la Ingeniería de la Seguridad Contra Incendios, divide a la ocupación de Uso Hospitalario en dos grupos: *Cuidado de la Salud y Ocupación Sanitaria para pacientes ambulantes*.

La primera, el Cuidado de la Salud, se define como la utilizada para ofrecer tratamiento médico o cuidado de cuatro o más personas incapaces de cuidarse por sí mismas, bien por razones de edad, discapacidad física o mental, o bien debido a medidas de seguridad que no están bajo su control. La otra ocupación, la Ocupación Sanitaria para pacientes Ambulatorios, se define como el edificio o parte de un edificio utilizado para brindar, con régimen de pacientes externos, servicios o tratamientos a cuatro o más personas a la vez incapaces de adoptar acciones por sí mismas para salvaguardar su seguridad en caso de emergencia, o bien tratamientos quirúrgicos que requirieran anestesia general.

El otro tipo de diseño, el Diseño Basado en Prestaciones, admite soluciones alternativas a las prescriptivas mediante herramientas avanzadas, siempre y cuando estén científicamente probadas. Países pioneros en esta área, como Estados Unidos y Gran Bretaña, disponen de criterios detallados para este diseño, así como datos cuantitativos y cualitativos para su aplicación registrados en experimentos y simulacros [4,5].

Por otro lado, la normativa española sobre Gestión de la Emergencia incluye a los centros hospitalarios en el *catálogo de actividades* obligadas al análisis y evaluación de riesgos con la consiguiente redacción, implantación y mantenimiento de un Plan de Autoprotección, que otorgue las responsabilidades del personal del centro y defina los protocolos de actuación ante las situaciones de emergencia que pudieran producirse [2]. También obliga a la ejecución de simulacros para el entrenamiento del personal con la periodicidad mínima que fije el propio plan, y en todo caso, al menos una vez al año evaluando sus resultados.

La Autoprotección se define como:

“el sistema de acciones y medidas encaminadas a prevenir y controlar los riesgos sobre las personas y los bienes, a dar respuesta adecuada a las posibles situaciones de emergencia y a garantizar la integración de estas actuaciones con el sistema público de protección civil”.

La implantación del plan de autoprotección en centros hospitalarios comprenderá, al menos, la formación y capacitación del personal, el establecimiento de mecanismos de información al público y la provisión de los medios y recursos precisa para la aplicabilidad del plan. El mantenimiento de su eficacia comprenderá un programa de actividades formativas periódicas para asegurar el mantenimiento de la formación teórica y práctica del personal asignado al plan de autoprotección, definiendo sistemas o formas de comprobación de que dichos conocimientos han sido adquiridos.

2.1. Diseño prescriptivo.

El diseño prescriptivo de la Seguridad Contra Incendios en las zonas de *uso hospitalario* que requieran el traslado de los pacientes (zonas de hospitalización o unidades especiales como quirófanos, UVI, etc.) contiene las siguientes exigencias:

- Estar compartimentadas al menos en dos sectores de incendio y con espacio suficiente para albergar a los pacientes del sector contiguo, contabilizando un área mínima de 2,80 m², 0,93 m² y 0,56 m² por paciente en cama, silla de ruedas y ambulante, respectivamente.
- Identificar los locales de riesgo especial de esta actividad, como almacenes de productos farmacéuticos y clínicos, y zonas de esterilización y almacenes ajenos.
- Densidades de ocupación máxima de 2, 15, 10 y 20 m²/persona en salas de espera, zonas de hospitalización, servicios ambulantes y de diagnóstico, y zonas destinadas a tratamiento de pacientes internados respectivamente. Además se debe tener en cuenta el carácter simultáneo o alternativo de las diferentes zonas, considerando el régimen de actividad y de uso previsto.
- Disponer en cada planta de al menos dos salidas, siendo los recorridos de evacuación desde el interior de una habitación hasta alguna salida de planta inferior a 60 m.

- La anchura mínima de puertas, pasillos o rampas, y escaleras es de 1,05, 2,20, y 1,20 m para permitir el paso de pacientes trasladados en medios auxiliares. Además, las puertas ubicadas en los recorridos de evacuación tienen que abrir en el sentido de evacuación con apertura fácil [6].
- Los recorridos de evacuación se señalizarán de forma clara y visible para todos los ocupantes, siendo accesibles para todos los pacientes con discapacidad [7].
- En todo caso el centro hospitalario contará con un sistema de detección y alarma de incendio, y cuando la altura de evacuación en las zonas de hospitalización y tratamiento intensivo sea superior a 15 m también ascensores de emergencia.

2.2. Diseño basado en prestaciones.

Este tipo de diseño se apoya en uno de los principios básicos de la Ingeniería de Seguridad Contra Incendios, donde para todo edificio el tiempo disponible para la evacuación hasta que se alcanzan los límites de insostenibilidad para la vida humana (Available Safe Egress Time, ASET) tiene que ser mayor que el tiempo necesario para que los usuarios abandonen el edificio en condiciones de seguridad (Required Safe Egress Time, RSET).

El margen de seguridad obtenido es la diferencia entre estos dos tiempos, que tendrá en cuenta las incertidumbres y asunciones adoptadas durante el diseño (Figura 1).

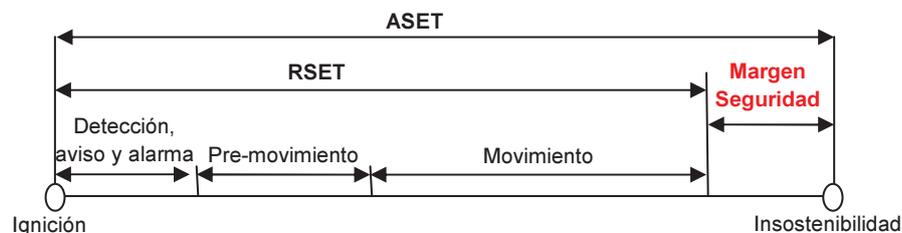


Figura 1. Margen de seguridad definido por los tiempos ASET y RSET.

La evaluación del proceso de evacuación mediante la comparación entre los tiempos ASET y RSET permite variar, e incluso sobrepasar algunas de las restricciones exigidas en el diseño prescriptivo, como la longitud de los recorridos de evacuación o la anchura de las salidas, siempre y cuando la solución alternativa este científicamente fundamentada. Además, se puede utilizar en edificios complejos donde las normas tradicionales no se pueden aplicar correctamente.

La conducta de los ocupantes involucrados en una evacuación depende de un amplio rango de factores, que incluyen las características del edificio (tipo de ocupación, sistema de detección y alarma, gestión de la emergencia y *layout* del edificio), las características de la ocupación (número de ocupantes, nivel de alerta, despiertos o dormidos, y familiaridad con el edificio) y la dinámica del fuego.

Así, la norma británica PD 7974-6:2004. “The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition” [5], diseña los procesos de evacuación y propone cuatro casos básicos de diseño en función de las características de los ocupantes:

- *Caso 1.* Ocupantes despiertos y familiarizados con el edificio y sus sistemas de protección contra incendios.
- *Caso 2.* Ocupantes despiertos y no familiarizados con el edificio y sus sistemas de protección contra incendios.
- *Caso 3.* Ocupantes dormidos y familiarizados con el edificio y sus sistemas de protección contra incendios.
- *Caso 4.* Ocupantes dormidos y no familiarizados con el edificio y sus sistemas de protección contra incendios.

Según los sistemas de detección, aviso y alarma de incendio que puedan existir en un edificio la misma norma plantea tres categorías:

- *Nivel A1*. Detección automática en todo el edificio, activando una alarma general inmediata a los ocupantes de todas las áreas afectadas del edificio.
- *Nivel A2*. Detección automática en todo el edificio proporcionando una pre-alarma al departamento de gestión o seguridad, con un sistema de aviso general activado manualmente mediante una alarma sonora a las áreas afectadas que estén ocupadas y una alarma general después de un tiempo fijado si la pre-alarma no es cancelada.
- *Nivel A3*. Detección automática local y alarma solo cerca del origen del fuego o sin detección automática, con un sistema de aviso general activado manualmente con una alarma sonora en todas las áreas afectadas y ocupadas.

Asimismo, se establecen otros tres niveles o categorías en función de la complejidad del edificio relativa a su evacuación:

- *Nivel B1*. Representa un edificio sencillo rectangular de una planta con pocos recintos y un *layout* sencillo con buena visibilidad de las salidas, cortos recorridos de evacuación y una buena capacidad de los medios de evacuación.
- *Nivel B2*. Corresponde a edificios de varias plantas cuyo diseño está recogido en la normativa y con *layouts* sencillos.
- *Nivel B3*. Aplicado a edificios de varias plantas complejos, constituidos o no por varios edificios en el mismo lugar, con *layouts* y recintos de grandes espacios donde los ocupantes pueden tener dificultades para encontrar las salidas de emergencia (“*wayfinding*”).

Por último, existen otras tres categorías en función de la capacidad del personal del edificio para gestionar la emergencia:

- *Nivel M1.* El personal del edificio está entrenado con una buena práctica en prevención y mantenimiento, ubicación de control en todas las plantas, plan de emergencia y simulacros regulares. Los procedimientos están sujetos a una certificación independiente, incluyendo una auditoría regular con evacuaciones asistidas. Los videos grabados de cualquier incidente o alarma se ponen a disposición de la auditoría. Normalmente este nivel se corresponde con el nivel B1 o B2 y A1.
- *Nivel M2.* Similar al nivel 1, pero con menor cantidad de personal y con posibilidad de no existir un control en todas las plantas. Puede no haber auditoría independiente. Se puede corresponder con los niveles B2 o B3 y A2, y el diseño de los tiempos de evacuación es más conservativo que para los niveles M1.
- *Nivel M3.* Representa a edificios con un sistema de gestión de la emergencia mínimo. No hay auditoría independiente y el edificio puede tener nivel B3 y A3.

Las categorías anteriores, junto a los datos cuantitativos y cualitativos de observaciones en siniestros acontecidos y/o simulacros realizados, permiten establecer unos tiempos de alarma y pre-movimiento para el edificio analizado.

En el caso de los centros hospitalarios la ocupación se caracteriza por albergar un número importante de personas que permanecen sedadas y/o dormidas durante varias horas sin estar familiarizados con los medios de evacuación. Además se produce una mezcla en el grado de movilidad y la edad de los pacientes que dificultan el proceso de evacuación y requieren la asistencia del personal con medios auxiliares para su traslado a un lugar seguro.

En la Tabla 1 se recogen los tiempos proporcionados por la norma británica para el caso de los centros hospitalarios, que también dependen de si existe suficiente personal para asistir a los pacientes o usuarios durante la evacuación en caso de producirse una situación de emergencia. La norma diferencia entre los centros ambulatorios y los hospitalarios, donde el nivel de alerta de los pacientes y la complejidad del edificio es claramente distinto.

	Nivel de alerta	Familiaridad	Sistemas PCI	Edificio	Gestión de Emergencia	Tiempo (min)
Ambulatorios, clínicas, consultas	Despierto	No	A1-A2	B1	M1	0,5-2
	Despierto	No	A1-A2	B1	M2	1-3
	Despierto	No	A1-A3	B1	M3	>15
<i>Para B2 se añade 0,5 min por wayfinding Para B3 se añade 1 min por wayfinding M1 normalmente requerirá una alarma por voz</i>						
Hospitales y Residencias de Ancianos	Dormido	No	A1-A2	B2	M1	5-10
	Dormido	No	A1-A2	B2	M2	10-20
	Dormido	No	A1-A3	B2	M3	>20
<i>Para B3 se añade 1 min por wayfinding M1 normalmente requerirá una alarma por voz</i>						

Tabla 1. Tiempos de alarma y pre-movimiento para los centros hospitalarios (categoría D).[4]

Todas las especificaciones y asunciones utilizadas en el diseño basado en prestaciones se indicarán de forma clara, demostrando que son realistas y sostenibles. Además, el número y las características de ocupantes utilizadas representarán el perfil normal de la población del centro hospitalario [8].

3. Estado del arte.

Los procesos de evacuación de un edificio o infraestructura se dividen tradicionalmente en dos tipos: “auto-rescate” y “asistida”. En el primero, una vez decretada la emergencia los ocupantes se dirigen por su propio pie y toma de decisión hacia la salida, mientras que en el segundo, bien por sus propias limitaciones (de percepción o movimiento) o bien por la complejidad del edificio los ocupantes necesitan esperar a que el personal responsable les dé las indicaciones o asistencia personal necesaria para alcanzar un lugar seguro.

3.1. Proceso de evacuación “auto-rescate”.

Durante los últimos cuarenta años se han realizado multitud de investigaciones y experimentos sobre el proceso de evacuación definido como “auto-rescate”. Así, el tiempo de evacuación total se puede dividir en tres, tiempo de pre-movimiento, tiempo de movimiento y tiempo de espera.

Se han realizado estudios del efecto sobre el tiempo de espera que tienen las congestiones generadas en entornos de elevada ocupación, “*crowd*” [9-11], así como el efecto de la búsqueda de la ruta de salida sobre el tiempo de pre-movimiento previo al desplazamiento hacia la salida, “*wayfinding*” [12-16]. También, el efecto de la velocidad de arrastre sobre el tiempo de movimiento cuando las condiciones del entorno no permiten desplazarse de pie, “*crawlingspeed*” [17-24]. Estos y otros factores ponen de manifiesto su influencia sobre los tiempos de evacuación y la importancia de considerar los procesos de conducta humana para el diseño del edificio y sus medios de evacuación.

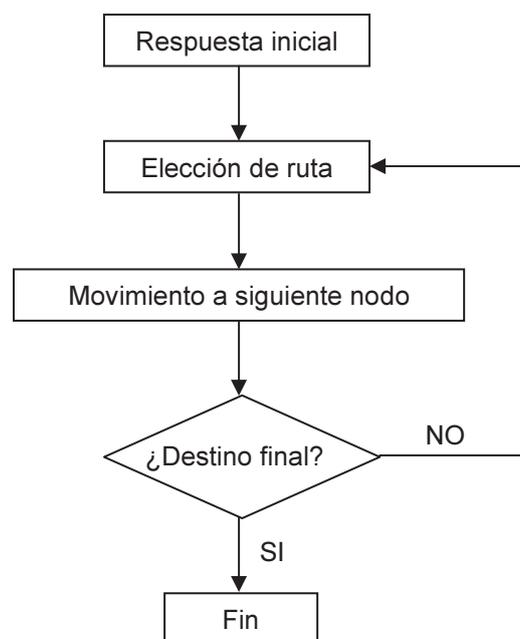


Figura 2. Proceso de evacuación individual.

Para el análisis de todos estos fenómenos han surgido herramientas que tienen el propósito de realizar estimaciones de los tiempos requeridos en la evacuación de instalaciones y edificaciones, los MSCE. El fundamento y metodología de estos modelos varía según los algoritmos implementados y requiere conocer una serie de *inputs* del modelo relativos a la conducta humana en situación de emergencia (ver Figura 2).

Distintos autores han realizado revisiones sobre los MSCE, en las que se distinguen las capacidades y utilidades de los modelos existentes en base a diferentes características, como objetivo de su aplicación, representación del entorno, tipología de ocupación, parámetros conductuales, etc., y las interacciones entre las variables que intervienen (ver Figura 3) [25-27].

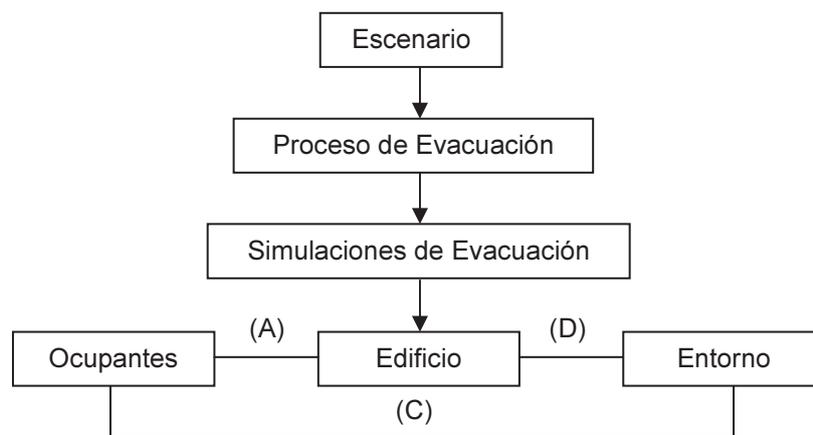


Figura 3. Interacciones durante el proceso de evacuación.

Los datos necesarios para asignar los parámetros de conducta humana en las herramientas de MSCE se pueden obtener de tres fuentes distintas: grabaciones, experimentos de laboratorio y encuestas o entrevistas [28-31]. Sin embargo, la validación de estos modelos presenta una gran limitación debido a que los datos obtenidos se corresponden con unas determinadas características de entorno y ocupación (aspectos temporales, contextuales y realistas) [32-34].

Con el fin de minimizar estas limitaciones o incertidumbres los investigadores y expertos en la temática aportan tres recomendaciones:

- Los datos utilizados y obtenidos en el MSCE deben corresponder a distribuciones estadísticas de probabilidad de las variables necesarias para describir la conducta de evacuación, en lugar de valores medios.
- La toma de datos se debe focalizar en situaciones de evacuación reales con el uso de sistemas de grabación, ya que los datos recogidos en simulacros contienen un alto grado de incertidumbre.
- Los resultados obtenidos se deben presentar como una función de distribución de probabilidad acumulativa, permitiendo establecer valores límite de seguridad con un nivel de confianza dado.

3.2. Proceso de evacuación “asistida”.

Referente al análisis del proceso de evacuación “asistida”, como en el caso de los centros hospitalarios, son muy pocos los trabajos de investigación desarrollados. En este tipo de entorno la ocupación se caracteriza por tener una serie de condicionantes o limitaciones de movimiento que requieren el apoyo del personal para su traslado.

La mayoría de las investigaciones en esta temática se han limitado a un análisis cualitativo de las variables que intervienen y los factores que la definen, sin procurar cuantificarlas. Taaffe et al [35] analizan los factores y complejidades en la evacuación de un centro hospitalario ante diferentes tipos de desastres o amenazas, reclamando la elaboración de planes de emergencia eficaces y distinguiendo una serie de complejidades propias de estos centros. Sternberg [36] destaca las infinitas incertidumbres existentes en la evacuación de un centro hospitalario, requiriendo elaborar planes de emergencia capaces de reducirlas y analizar la efectividad de las actuaciones propuestas.

Sánchez-Palacios [37] propone aplicar un índice de calidad al plan de emergencia, que se cumpla en todo momento y establezca las prioridades de evacuación de los pacientes en todas las áreas del centro hospitalario, como por ejemplo la unidad de cuidados intensivos según sus posibilidades de supervivencia. Schultz et al [38] ofrece una herramienta estandarizada para recoger datos, permitiendo a los investigadores guardar la información sobre la evacuación de un centro hospitalario de forma sistemática, comparar los datos acumulados y mejorar los planes de emergencia. Las principales áreas que registra esta herramienta son la demografía del hospital, descripción de los protocolos de actuación y toma de decisión en caso de emergencia, impacto de una emergencia sobre el funcionamiento del centro, movimiento interno y externo de los pacientes, y recuperación de la normalidad en el centro hospitalario.

La gran mayoría de los MSCE consideran el proceso de “auto-rescate” en el que cada ocupante se pone a salvo por sí mismo y, por lo tanto, no son capaces de simular los procesos de evacuación “asistida”. Esto dificulta su aplicación en los centros hospitalarios, donde se requiere una estrategia sólida y ejecución cuidadosa para trasladar el máximo número de pacientes a un espacio seguro en el menor tiempo posible.

Taaffe et al [39] aplican la simulación computacional para mejorar el plan de evacuación de un centro hospitalario, aunque en realidad el modelo que aplica es uno de tráfico. Este modelo gestiona los medios de transporte (ambulancias) para trasladar a los pacientes desde un hospital a un lugar exterior seguro en caso de una emergencia por huracán. No analiza por tanto el movimiento de los pacientes y personal en el interior del hospital, antes de ser trasladados en vehículos.

Otra aproximación sencilla al cálculo de la evacuación en centros hospitalarios es la propuesta de Golmhammadi y Shimshak [40]. Proponen un modelo analítico basado en la idea de que la aplicación del MSCE es costosa en términos de tiempo. Se asumen tres tipologías de pacientes: Tipo 1 (pacientes ambulantes), Tipo 2 (pacientes no ambulantes que son trasladados en silla de ruedas) y Tipo 3 (pacientes no ambulantes que son trasladados en sus camas).

Asimismo, se asumen dos tipologías de miembros de personal: personal médico y personal no-médico. La estrategia de evacuación está predefinida. Los pacientes de una planta son trasladados a una zona segura (evacuación horizontal) y algunos miembros del personal se quedan con ellos para asistirlos mientras que otros vuelven a las habitaciones para preparar y trasladar al resto de pacientes. Para el traslado de los pacientes del Tipo 3 se asignan dos miembros del personal y para los pacientes del Tipo 2 uno. La estrategia de prioridad de tiempo de evacuación de pacientes se establece con el siguiente orden: Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3. El tiempo de evacuación horizontal (TEH) es el resultado de la suma del tiempo de preparación (TP) y el tiempo de traslado (movimiento) de los pacientes (TM).

$$TP = \frac{P2 \times PT2 + P3 \times PT3}{M + N - B}$$

donde:

P2: Número de pacientes Tipo 2.

P3: Número de pacientes Tipo 3.

PT2: Tiempo de preparación de pacientes Tipo 2.

PT3: Tiempo de preparación de pacientes Tipo 3.

M: Número de miembros del personal médico.

N: Número de miembros del personal no médico.

B: Número de miembros del personal que se quedan con los pacientes.

Por lo tanto, el tiempo de evacuación horizontal de los pacientes Tipo 2 y Tipo 3 es:

$$TEH2 = TP2 + TM2$$

$$TEH3 = TP3 + TM3$$

Los ascensores (evacuación vertical) están reservados para los pacientes Tipo 2 y 3. Para calcular el tiempo de evacuación vertical (TEV) se establece que cuando el número de ascensores disponibles C y ascensores para pacientes Tipo 3 (G) es igual o menor que el número de miembros del personal ($M+N-B$) entonces:

$$G = C - \left(P2 - \left(C + \left[\frac{P2 - C}{C} \right] \times C \right) \right)$$

Por lo tanto el tiempo de evacuación vertical se calcula:

$$TEV = TEH2 + \left[\frac{P2 - C}{C} \right] \times TEH2 + TEH3 + \left[\frac{P3 - G}{C} \right] \times TEH3$$

El modelo permite incorporar diferentes condiciones como el número y tipología de pacientes, el número de miembros del personal y disponibilidad de ascensores. Se trata en definitiva de un modelo determinista que permite obtener una primera aproximación al problema de la evacuación en centros hospitalarios.

Además del modelo EXIT que permite simular el rescate de ocupantes en edificios residenciales [41], uno de los intentos de simular el traslado de personas es el modelo G-HES (Glasgow-Hospital Evacuation Simulator) desarrollado por el Department of Computer Science de la Universidad de Glasgow, UK [43]. Se trata de una versión modificada del modelo GES (Glasgow Evacuation Simulator).

Por el momento el prototipo del modelo distingue dos grupos de pacientes: 1) pacientes ambulantes y 2) pacientes no ambulantes. La estrategia de prioridad de evacuación de pacientes se establece con el siguiente orden: pacientes en inminente peligro, pacientes ambulantes y pacientes no ambulantes. Aunque el modelo establece de forma determinista las prioridades de evacuación de pacientes, permite considerar las variables aleatorias de velocidades de desplazamiento y tiempos de preparación.

En resumen, la aproximación al problema de la evacuación de centros hospitalarios mediante el empleo del MSCE es muy escasa y cuenta con las siguientes limitaciones:

- Falta de datos sobre parámetros como los tiempos de preparación y las velocidades de traslado de los pacientes.
- No reproducen el movimiento de camas o sillas de ruedas.
- No reproducen el impacto de la fatiga en los miembros del personal.
- No representan el desarrollo dinámico de la emergencia ni su impacto en las estrategias. Por ejemplo la propagación del humo a consecuencia de un incendio puede producir un bloqueo en determinadas rutas de evacuación durante el transcurso de la emergencia.

Capítulo 2. Caracterización del proceso de evacuación en centros hospitalarios.

1. Introducción.

Cuando en un centro hospitalario surge humo a través de un pasillo, suena una alarma, se produce un escape de gas, etc., éste entra en un periodo de crisis o emergencia, durante el cual las actividades son alteradas y la toma de decisiones es crucial para el resultado obtenido. Tal y como muestra la Figura 4, en ese momento se adoptan una serie de medidas para tratar de paliar las alteraciones surgidas, de forma que cuando las acciones son insuficientes o no existe tiempo suficiente para desarrollarlas la crisis se convierte en desastre, pudiéndose producir damnificados, daños a la propiedad y suspensión del cuidado de pacientes. El centro hospitalario debe estar preparado para evitar traspasar esa frontera.

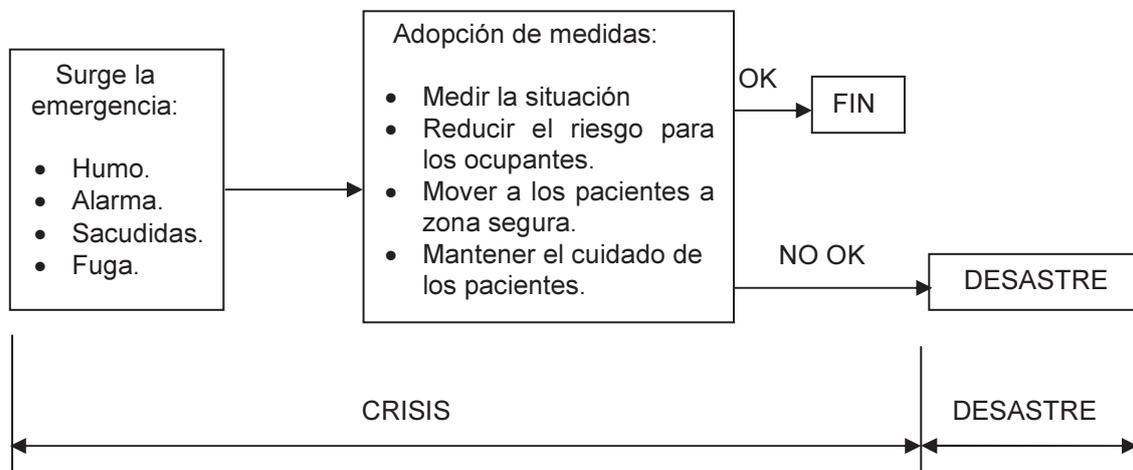


Figura 4. Desarrollo de una emergencia.

Si bien ante una emergencia interna en un centro hospitalario existen voces que señalan que el edificio no puede ser evacuado debido a la vulnerabilidad de sus ocupantes, lo cierto es que puede llegar a necesitarse (ver Anexo I), aunque sea como última medida. La razón argumentada de la dificultad en la evacuación no debe utilizarse para no planificarla, ya que pese a su dificultad y a sus consecuencias, puede evitarse que la crisis se convierta en un desastre.

La decisión de evacuar o no un centro hospitalario en presencia de una emergencia debe valorar, entre otros, los siguientes aspectos:

- Si la magnitud de la emergencia hace necesario evacuar.
- Si el edificio completo debería ser evacuado.
- Como proporcionar el cuidado de la salud continuo a la población.
- Donde se debería evacuar a los pacientes del hospital.

La evacuación debe desarrollarse conforme a una serie de protocolos y procedimientos. Éstos deben tener en cuenta una serie de factores que caracterizan el proceso con el fin de salvaguardar la vida de sus ocupantes y no adelantarse en la toma de decisión de evacuar [43,44]. Para que la evacuación sea verdaderamente eficaz, hay que partir de dos premisas fundamentales, una que sea ordenada y otra que se sigan los protocolos establecidos. Para ello, toda sistemática de evacuación debe constar de:

- Unas normas generales para el personal.
- Una definición de prioridades en función del área a evacuar.
- El tipo de enfermos y la disponibilidad de personal.
- Una metodología del traslado de enfermos según sus características.

2. Variables que intervienen en el proceso de evacuación.

Para entender el proceso de evacuación de los ocupantes de un centro hospitalario (pacientes, visitantes y personal) ante una emergencia interna que así lo requiera es fundamental analizar las variables que lo condicionan.

2.1. Tipo de emergencia.

Toda emergencia tiene su causa y origen, algunas parcialmente predecibles y otras completamente impredecibles, igual que sus consecuencias sobre el edificio, sus instalaciones y su ocupación.

Los centros hospitalarios se enfrentan tanto a desastres causados por la naturaleza como a los provocados intencionadamente o no por el hombre, requiriendo para todos ellos en algunas ocasiones la evacuación de sus ocupantes. Dentro de estos incidentes, que pueden conllevar a la evacuación parcial o total, cabe numerar los desastres naturales, químicos, biológicos, radiactivos, explosivos e incendios.

La vulnerabilidad a estos riesgos, como el de los desastres naturales, será mayor o menor en función de la ubicación en el que se encuentran [45]. Por ejemplo, un hospital ubicado en la zona sur de España presente un riesgo mucho más elevado de sufrir un seísmo que otro ubicado en la zona norte y central.

El origen de la causa que motiva la emergencia en el centro hospitalario puede ser interno o externo. Cuando el origen es externo, como en el caso de los desastres naturales, puede que otros edificios y personas externas al centro también resulten afectados, acudiendo a éste sin conocer si también ha resultado afectado por el desastre. Cuando el origen de la emergencia en el centro hospitalario sea interno los tiempos disponibles para la toma de decisiones son mucho menores.

Otros incidentes, como el incendio en el interior del centro hospitalario son comunes a todos los centros hospitalarios. Investigaciones de Sternberg et al. [46] confirmaron que de los 275 hospitales evacuados entre los años 1971 y 1997 en los Estados Unidos, en más de la mitad lo hicieron por un incidente originado en el interior del edificio, observándose un aumento en el número de evacuaciones por décadas y predominando como causa de evacuación un incendio en el interior, seguido de fugas internas de material peligroso y desastres naturales.

En el Anexo I de este Trabajo de Fin de Máster se recogen la mayoría de los incendios originados en centros hospitalarios dentro y fuera de España durante la última década y que provocaron en algunos casos la evacuación de sus ocupantes. En España, destaca el incendio del Hospital Can Ruti de Badalona en 2007, donde casi 200 pacientes tuvieron que ser evacuados al exterior del edificio. Los pacientes de las plantas más altas fueron trasladados a la azotea del edificio, mientras que otros tuvieron que esperar a las escalas de los bomberos para abandonar el edificio a través de las ventanas.

Aunque las causas de la emergencia que se puede producir en un centro hospitalario son más susceptibles de preverse, sus consecuencias son múltiples y muy variadas. La comunicación interna y externa es uno de los desafíos más comunes durante un proceso de evacuación en los centros hospitalarios, bien por congestión de las líneas o bien por fallo de las instalaciones. Cuando el origen de la emergencia es externo, las personas afectadas pueden soportar ataques de pánico que hagan comunicar con los servicios de emergencia sin llegar a tener una emergencia médica real. Una solución imprescindible para combatir esta consecuencia es disponer de un sistema de apoyo (*back-up*) [47].

Un fallo en el suministro de agua también provoca alteraciones en el servicio del centro hospitalario como consecuencia de falta de limpieza del edificio, lavado de manos, esterilización de instrumentos, desarrollo de radiografías y fallos en el aire acondicionado, etc.

Las consecuencias de evacuar un centro hospitalario van más lejos de la pérdida funcional inmediata de los equipos críticos de soporte vital para los pacientes de diferentes áreas como urgencias, UCI, quirófanos, laboratorios, bancos de sangre, instalaciones de rehabilitación y/o farmacias, implicando también cargas sociales y financieras a la población y la economía de un país. Por eso, se deben adoptar las medidas y medios necesarios para que la emergencia afecte en la menor medida posible a los pacientes del centro y se pueda evitar su evacuación [48,49].

2.2. Edificio.

El diseño arquitectónico y las características constructivas de los centros hospitalarios varían con el servicio médico suministrado, el tamaño de la población a atender y la superficie de terreno disponible para su construcción. En general, las grandes ciudades acogen complejos hospitalarios donde se presta todo tipo de asistencia médica, existiendo múltiples edificios que se han construido en diferentes épocas de acuerdo con el incremento de la población y los servicios ofrecidos.

Además existen centros hospitalarios que ocupan grandes superficies con poca altura, donde en caso de producirse una emergencia que requiera la evacuación facilitará el traslado horizontal de los pacientes. Por el contrario, los centros proyectados en gran altura requerirán el traslado vertical de los pacientes.

Dentro de un complejo hospitalario destacan tres áreas en cuanto al tratamiento, tiempo de permanencia y gravedad de los pacientes, albergando cada una de ellas los recintos propios del uso médico (habitaciones, consultas, salas de espera, quirófanos, etc.), y otros recintos con uso diferente (despachos administrativos, archivo, vestuarios, cocina, cafetería, office, etc.):

- *Área de hospitalización.* Éstas albergan pacientes hospitalizados durante las 24 horas del día, que requieren la vigilancia y cuidado constante por parte del personal médico.
- *Área de consultas o asistencia primaria.* Éstas reciben durante un horario restringido pacientes con cita previa, así como aquellos que requieren el cuidado del personal tras intervenciones y recuperaciones de poco tiempo.
- *Área de urgencias.* Funcionan durante todo el día con pacientes que acuden e ingresan de urgencia, realizando las intervenciones quirúrgicas de gran índole.

Las patologías médicas tratadas en cada una de las áreas varía, y con ellas los pacientes tratados, presentando diferentes particularidades en relación a su capacidad de reacción y movimiento en caso de emergencia.

2.3. Pacientes.

En general, la mayor proporción de pacientes ingresados en un centro hospitalario suelen ser personas mayores, que independientemente de la enfermedad que padecen tienen dificultades de movimiento, requiriendo el apoyo de otras personas (familiares o personal) y/o medios auxiliares para moverse, y más en caso de evacuación.

Normalmente se procede a un “triaje”, es decir, una clasificación de los pacientes en base a diferentes criterios: edad, diagnóstico, consumo de recursos, grado de movilidad, duración de la estancia, etc. [50]. Existen Sistemas de Clasificación de Pacientes (SCP) para las diferentes áreas de un centro, y entre los SCP que se basan en la información disponible a partir de los datos hospitalarios se encuentran: Grupos Relacionados por el Diagnóstico (GRD) [51,52], Disease Staging [53] y Patient Management Categories [54], siendo el primero el de mayor difusión y uso internacional.

Estos SCP tienen como finalidad principal medir la productividad asistencial y el consumo de recursos, para así establecer un “triaje” u orden de atención a los pacientes en las tareas ordinarias del hospital, sin existir un criterio normalizado y oficial que los clasifique en función a su vulnerabilidad en caso de evacuación. Si bien es cierto que esta clasificación, siempre y cuando adaptada, se podría emplear también para medir los recursos de equipamiento y soporte vital necesarios para el traslado de pacientes.

Otra variable para clasificar a los pacientes se refiere a la duración de su estancia en el centro hospitalario, que varía con el área del centro al que acuda según la patología o tratamiento médico soportado, pudiéndose tratar de horas en el caso de consultas o días en el área de hospitalización.

La principal clasificación que caracteriza a los pacientes frente al proceso de evacuación en cuanto a las estrategias de actuación y duración se refiere al grado de movilidad de los pacientes, característica fundamental para el proceso de evacuación parcial o total de un centro hospitalario:

- *Pacientes ambulantes.* Pueden desplazarse por sus propios medios sin requerir la ayuda del personal para su traslado en caso de emergencia.
- *Pacientes con movilidad reducida.* Muestran algún tipo de dificultad para desplazarse por sí solos, necesitando ayuda parcial del personal para su evacuación.
- *Pacientes no ambulantes.* No pueden desplazarse por sus propios medios siendo necesario disponer de personal y medios auxiliares para su traslado.
- *Pacientes conectados a equipos de soporte vital:* En caso de producirse una emergencia que requiera su evacuación se pueden dar dos casos, uno que puedan desconectarse de los equipos de soporte vital transformándose entonces en una de las tipologías anteriores, o en caso contrario el paciente requerirá de personal cualificado que con los medios e instrucciones precisas le movilicen y evacuen a un lugar seguro. Existen casos en los que la gravedad del paciente y el riesgo que implica su movimiento hace necesario que sea trasladado a un lugar seguro en el interior del edificio, denominados refugios de evacuación.

2.4 Personal.

La diversidad de usos y actividades existentes en el interior de un centro hospitalario provoca que convivan trabajadores con distinta profesión (mantenimiento, administración, limpieza, auxiliar, enfermería, medicina, seguridad, etc.) y contrato laboral (subcontratación, temporal, fijo, sustitución por baja, prácticas, etc.).

Esto implica que en una situación de emergencia no todos los trabajadores del centro tengan la misma capacidad y profesionalidad para colaborar en las actividades necesarias que garanticen la seguridad de los pacientes, como por ejemplo la desconexión de la corriente eléctrica, el corte de suministro de gases o la preparación de los pacientes para su posterior traslado.

Además, el número de personal total que se encuentra en el centro varía con el día de la semana, el turno de trabajo y el área médica. Durante los días festivos y el turno de noche el número de personal que se encuentra trabajando en el centro hospitalario es mucho menor que el resto de días y turnos, pudiendo existir incluso zonas completamente desocupadas, como por ejemplo las áreas de consultas.

2.5. Medios de traslado de pacientes.

Con el fin de ahorrar tiempo, riesgos y molestias al paciente, resulta lógico que en caso de producirse una emergencia que requiera el traslado y/o evacuación de los pacientes con movilidad reducida, no ambulantes y/o conectados a equipos de soporte vital se utilicen medios auxiliares como silla de ruedas, camilla o incluso la misma cama en la que se encuentre.

En algunos casos esto no es factible, bien porque el destino de evacuación no tiene superficie suficiente para albergarlos, bien porque se requiera la evacuación vertical, o bien porque no se disponga de forma inmediata del número suficiente de medios auxiliares necesarios. Por esta razón, el personal debe conocer y practicar otras técnicas manuales de traslado (traslado de enfermos por levantamiento, por arrastre directo o por arrastre indirecto).

2.6. Plan de autoprotección y plan de emergencia.

El plan de emergencia es un documento fundamental a la hora de gestionar el proceso de evacuación, que debe ser actualizado cada vez que se produzca cualquier tipo de modificación en el centro hospitalario.

En los primeros instantes de la emergencia el personal y los responsables del centro tienen que decidir y poner en funcionamiento el plan, requiriendo una organización estructurada.

La infinidad de contingencias a las que se enfrenta un centro hospitalario, más o menos previsible, hacen inviable diseñar y redactar un protocolo de actuación por cada una de ellas, resultando imprescindible crear las capacidades y/o habilidades necesarias para actuar de forma efectiva ante cualquier tipo de emergencia.

Estas capacidades se mejoran con la recopilación y diseminación de información a través de sistemas de comunicación, gestión de recursos, gestión de movilidad, formación y entrenamiento en las actuaciones de evacuación parcial y total, dirección del incidente y versatilidad del personal. Por tanto, la mayor vulnerabilidad del plan de autoprotección radica en lograr la viabilidad del mismo con el apoyo del personal para conseguir los conocimientos, destrezas y preparación suficiente, y así superar el trance de la emergencia y poder cumplir sus labores con rapidez y eficacia [55-57].

Todo el personal del centro hospitalario ocupará un puesto dentro del organigrama definido para la actuación ante una emergencia interna. La Figura 5 muestra los equipos que conforman dicho organigrama, con los correspondientes responsables y equipos, desglosándose la relación de dependencia entre todos ellos.

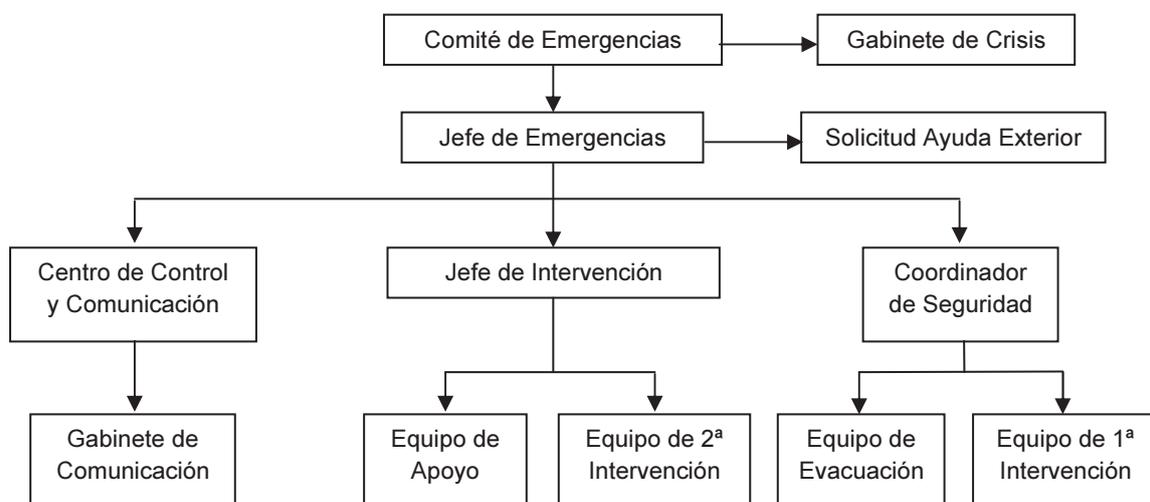


Figura 5. Organigrama en caso de emergencia interna en centro hospitalario.

Los responsables que actúan en el área inmediata a la emergencia se corresponden con el Jefe de Intervención, el Coordinador de Emergencia, el Equipo de 1ª Intervención, el Equipo de 2ª Intervención y el Equipo de Seguridad. Sólo el Coordinador de Emergencia y el Equipo de 1ª Intervención participan de forma directa en las tareas de evacuación de los pacientes y acompañantes localizados en el lugar [58].

El Equipo de 1ª Intervención estará constituido por todo el personal ubicado en el área afectada y se dirigirá a los pacientes más próximos al lugar donde se ha originado la emergencia, siguiendo las instrucciones del Coordinador de Emergencia y los medios de evacuación. El Coordinador de Emergencia será el máximo responsable del área afectada y organizará, aunque no ejecutará, la evacuación cuando le sea indicada.

3. Incertidumbres.

Las variables que caracterizan el proceso de evacuación y traslado de los pacientes a un lugar seguro, e incluso al exterior del edificio, definen las estrategias de evacuación previamente diseñadas y que considerarán las siguientes incertidumbres [36]:

- *Incertidumbre del riesgo.* El riesgo depende de una combinación de frecuencia, intensidad y vulnerabilidad del edificio.
- *Incertidumbre del incidente.* Limitándose a un riesgo concreto, su evolución durante el incidente tiene incertidumbres como la causa de inicio, el momento del día y la ubicación dentro del edificio.
- *Incertidumbre secuencial.* Las crisis están sujetas a una secuencia impredecible de sucesos, como es el caso de desarrollo y propagación de un incendio.

- *Incertidumbres de la información.* Durante la planificación de una emergencia (antes de que se produzca) no se conoce cuál va a ser la información disponible sobre el evento durante la crisis.
- *Incertidumbres sobre las consecuencias.* En las crisis también se produce consecuencias inesperadas que requieren tareas inesperadas para resolverlas.
- *Incertidumbres del efecto cascada.* Esto ocurre cuando, por ejemplo como consecuencia del fallo del sistema eléctrico fallan otros sistemas.
- *Incertidumbre de la organización.* Estas surgen de las características del personal y las administrativas dentro del hospital (capacidad de las personas para hacer su tarea, vacantes de personal, reacciones de estrés, liderazgo y responsabilidad, etc.).
- *Incertidumbres de recursos.* Se refieren a los recursos externos e internos de los que depende el centro hospitalario en caso de una crisis.

4. Modos de adaptación.

Las incertidumbres anteriores implican que los planes de autoprotección sean flexibles según los siguientes modos de adaptación:

- *Consecución y diseminación inteligente de la información.* Consiste en tomar medidas antes del incidente para mejorar la calidad de la información recibida en tiempo real durante una crisis a través del personal localizado en el centro hospitalario y los sistemas de seguridad (cámaras, sensores, etc.). La diseminación inteligente de la información seguirá el organigrama anterior, desde la dirección del incidente a los responsables subordinados, ocupantes del edificio y servicios exteriores de emergencia. Para alcanzar este objetivo es necesario realizar ejercicios y/o simulacros donde la naturaleza del incidente se mantiene ambigua, forzando a los responsables a tomar decisiones en tiempo real.

- *Comunicación.* Nos referimos a los medios técnicos a través de los cuales la información es transmitida y discutida. Se debe prever el fallo de cualquier sistema de comunicación con un sistema de emergencia (*back-up*), y como último recurso con personas designadas para comunicar mensajes (mensajeros). Todo personal participante en las actuaciones ante una emergencia debe estar familiarizado con estos sistemas a través de los simulacros y ejercicios.
- *Gestión de los recursos.* Las decisiones adoptadas durante un incidente se deben ajustar a los recursos disponibles en el centro hospitalario en el momento de la emergencia.
- *Gestión de la movilidad de los pacientes.* Según el incidente y su alcance es necesaria una evacuación parcial o total de los pacientes y horizontal o vertical, dependiendo además de su movilidad y necesidad de equipos auxiliares de soporte vital [59-61].
- *Diseño constructivo del edificio.* El centro hospitalario debe estar preparado para mantener la seguridad de sus ocupantes cuando falle cualquier sistema o instalación como consecuencia de un incidente. Este diseño se corresponde con el diseño prescriptivo definido en las normativas, aunque también se debe tener en cuenta el sentido común para definir los espacios y refugios a los que se trasladarán a los pacientes en caso de evacuación.
- *Dirección del incidente.* Cuando se diseñan las actuaciones contenidas en el plan de autoprotección y emergencia además de valorar y definir las acciones necesarias para afrontar y extinguir el incidente se tendrán en cuenta los cuidados y tratamientos médicos que necesitan los pacientes del centro hospitalario en función de su tipología y necesidades.

- *Versatilidad del personal.* El personal debe ser y/o alcanzar la versatilidad necesaria para seguir de forma competente una mayor variedad de acciones y tomar decisiones en tiempo real.

Resumiendo, el plan de autoprotección ideal es aquel que no es necesario consultar durante el incidente, integrando un plan de adaptabilidad dirigido a reducir las incertidumbres en tiempo real, gestionar todos los participantes de las organizaciones en condiciones ambiguas, y formar y entrenar al personal del centro para la versatilidad de la crisis.

Capítulo 3. Recogida de datos y metodología para el modelado y simulación computacional de evacuación en los centros hospitalarios.

1. Introducción.

Para disponer de datos realistas sobre las condiciones de ocupación y las condiciones de contorno de este tipo de edificaciones, se ha procedido a la recogida y análisis de la información proporcionada por personal del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla sobre la tipología de pacientes y personal en las diferentes zonas de hospitalización del centro, así como a través de distintas visitas y reuniones realizadas al centro hospitalario que facilitaron la labor investigadora.

Cada unidad o servicio de un centro hospitalario albergará pacientes de diferentes tipologías en función del parámetro considerado, resultando imprescindible valorar sus particularidades específicas. Por ejemplo, con respecto a las capacidades locomotrices de los pacientes en los servicios de clínica médica la mayor parte son ambulantes o con movilidad reducida, en los servicios de psiquiatría son ambulantes aunque requerirán la supervisión de personal especializado para su evacuación, en los servicios de cirugía o traumatología son no ambulantes, en las unidades de cuidados intensivos son pacientes conectados a equipos de soporte vital, en quirófanos son inevacuables durante la intervención, etc.

Por norma general, la mayoría de los pacientes se encuentran acompañados por familiares o amigos durante su estancia en el centro. En la práctica el número total de acompañantes en el edificio depende del área y la hora del día. De acuerdo con la información aportada por el Hospital Universitario Marqués de Valdecilla se observa que el número medio de acompañantes por paciente en una zona de consultas durante todo su periodo de funcionamiento es de una persona, mientras que en el área de hospitalización el número varía entre 1, 2 y 0,5 para los turnos de mañana, tarde y noche respectivamente.

Además, el número de personal que trabaja en el centro hospitalario (enfermeras, auxiliares, médicos, administrativos, personal de limpieza, etc.) y que participaría en las labores de evacuación varía en función del turno y día de la semana. Se observó que el número de personal disponible para la preparación y traslado de los pacientes es máximo en los turnos de mañana de días laborables y mínimo en el turno de noche de días festivos. Esto hace que el riesgo aumente durante la noche al incrementarse los tiempos de evacuación.

Por tanto, el análisis del proceso de evacuación de las diferentes áreas de un centro hospitalario mediante el MSCE requiere un análisis pormenorizado de los parámetros que lo caracterizan para diseñar las diferentes estrategias de evacuación y su posterior implementación en el modelo.

2. Tipo de asistencia médica.

Dentro de un centro hospitalario nos encontramos con diferentes áreas, como la de hospitalización y la de consultas. En general, difieren entre ellas con respecto a la configuración constructiva de los recintos, y la tipología y número de pacientes y de personal. Esto supone un proceso de evacuación diferente, y por tanto, unos *inputs* diferentes en los modelos.

Tal y como ocurre en el área de hospitalización del Hospital Marqués de Valdecilla, el Edificio 2 de Noviembre, y con el fin de facilitar el trabajo del personal sanitario, reducir las distancias recorridas al finalizar la jornada laboral y aumentar así la seguridad de los pacientes, las habitaciones en una planta de hospitalización se concentran en torno a un área de control y salas de descanso para el personal.

Los pacientes más delicados de salud dentro de una planta de hospitalización, y por consiguiente se supone con menor capacidad de movimiento, se ubican en las habitaciones más próximas al área de control, para prestar y garantizar un servicio rápido en la asistencia médica.

Esta medida puede llegar a resultar desfavorable para el proceso de evacuación, y por tanto la seguridad del paciente, si el área de control se encuentra alejada del destino de evacuación.

Cumpliendo con la normativa la planta de hospitalización debe estar sectorizada al menos en dos sectores de incendio con sus correspondientes salidas de planta. En caso de que sea necesaria la evacuación de uno de los sectores de la planta de hospitalización, los pacientes ubicados en el sector afectado tienen que ser trasladados al sector contiguo, con una superficie suficiente para albergar a los pacientes trasladados.

Los pacientes se agrupan por especialidades médicas en diferentes zonas o plantas del edificio, tal y como ocurre en el área de hospitalización del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla (ver Tabla 2).

Planta	Uso
Planta 10	Hematología y quimioterapia
Planta 9	Traumatología y cirugía torácica
Planta 8	Cirugía general
Planta 7	Urología y neurocirugía
Planta 6	Digestivo
Planta 5	Cirugía cardiovascular
Planta 4	Oncología y hospital de semana
Planta 3	Cardiología
Planta 2	Psiquiatría
Planta 1	Nefrología y hemodiálisis
Planta 0	Admisión, oficinas y archivos
Planta -1	Cocina
Planta -2	Instalaciones

Tabla 2. Distribución por plantas del Edificio 2 de Noviembre.

Esta distribución de los pacientes supone que en caso de ser necesaria su evacuación el proceso se prolongue durante más tiempo en aquellas zonas que albergan pacientes con mayores problemas de movilidad, que son las zonas de traumatología y cirugía (torácica, general y cardiovascular).

A diferencia de la zona de hospitalización, donde cada sector o zona de hospitalización albergará pacientes con características locomotrices similares, la distribución de los recintos en una zona de consultas se caracteriza por concentrar múltiples salas médicas en torno a una sala de espera para pacientes con capacidades de movimiento diferentes, aunque mayoritariamente ambulantes (ver Figura 6). Dentro de cada especialidad médica existirán varias consultas de atención y algunas de las salas de espera serán compartidas por pacientes y acompañantes de diferentes especialidades médicas.

En general, el intervalo de tiempo consumido por consulta está en torno a los 20 minutos, lo que provoca importantes flujos de entrada y salida de pacientes y acompañantes al edificio. Además, este tipo de entorno presenta un elevado nivel de ocupación, tanto de pacientes y acompañantes como de personal sanitario, lo que supone un número de personal suficiente para atender las tareas de evacuación de todos los pacientes no ambulantes en caso de ser necesario su traslado al exterior.

Durante las visitas realizadas a Valdecilla Sur, edificio de consultas del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, se observó que este tipo de zonas cuentan con un acceso principal, la salida S-1, que da servicio a la entrada y salida de los ocupantes, y desde donde se distribuye a los pacientes hacia las salas de espera de las consultas médicas (ver Figura 7).

Aunque el edificio cuenta con más escaleras y salidas de emergencia distribuidos a lo largo de todo su perímetro es de suponer que los pacientes y acompañantes que acuden a consulta y permanecen en las salas de espera sólo estén familiarizados con el acceso principal, siendo este medio el utilizado mayoritariamente en caso de evacuación. El resto de pacientes y acompañantes que se encuentran en el interior de las consultas serán dirigidos por el personal médico hacia la salida más cercana.

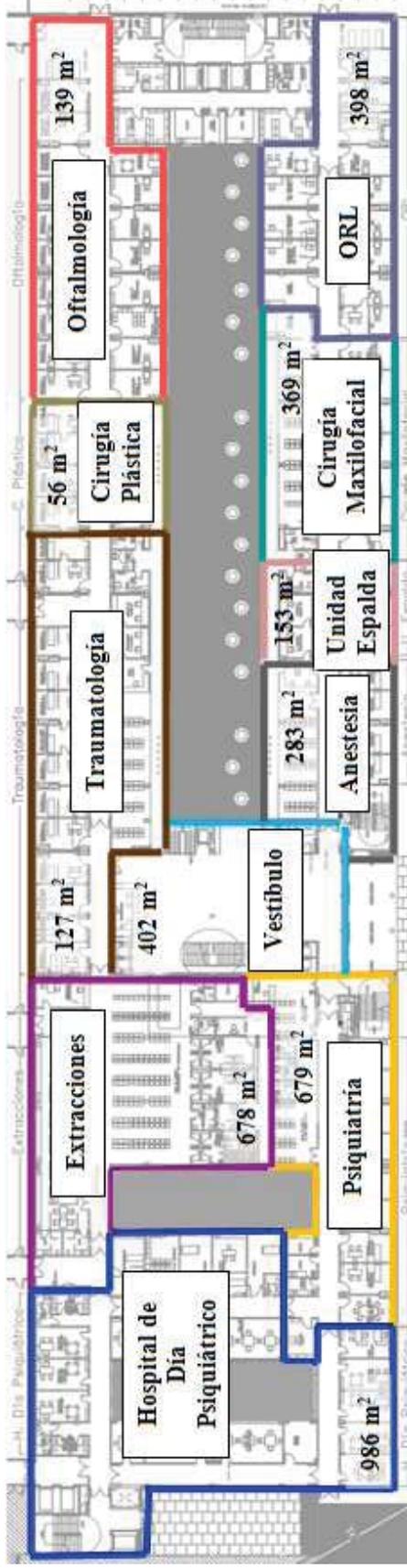


Figura 6. Distribución de áreas médicas en Valdecilla Sur.

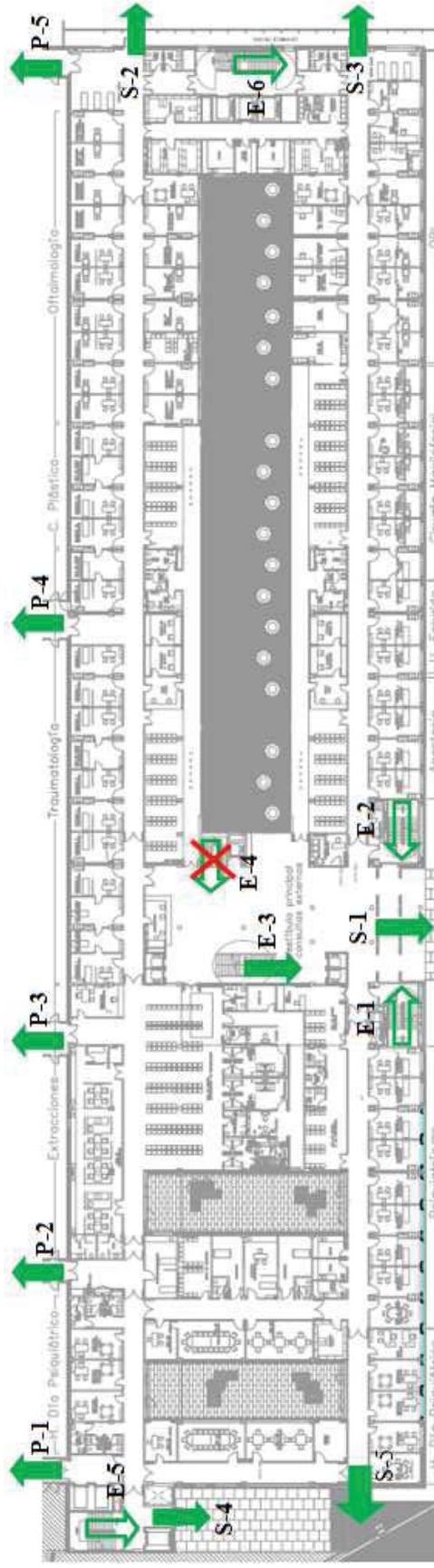


Figura 7. Medios de evacuación ubicados en Valdecilla Sur.

Otro aspecto importante para el análisis del proceso de evacuación en una zona de consultas consiste en conocer las áreas que podríamos considerar de pública concurrencia, y que no prohíben la circulación de los pacientes en condiciones normales. La Figura 8 representa para el caso de Valdecilla Sur en la parte central las zonas comunes por las que transitan los pacientes y acompañantes al acceder al edificio para dirigirse a las diferentes salas de espera existentes según las especialidades tratadas. En el resto del edificio se encuentran las zonas restringidas que albergan las consultas del edificio, y a las que accederán los pacientes y acompañantes dirigidos por el personal cuando son llamados a consulta.

3. Análisis de las estrategias de evacuación.

La evacuación inmediata ante la detección de un fuego a menudo no es posible ni conveniente según el tipo de edificio y sus ocupantes, siendo preferible utilizar estrategias de evacuación por etapas, evacuando progresivamente las partes amenazadas del edificio. Este es el caso de un centro hospitalario, donde siempre que sea posible se utilizará una estrategia de evacuación horizontal, trasladando a los pacientes a un sector contiguo, considerado como refugio temporal.

En los instantes iniciales de una emergencia el personal procederá a una evacuación parcial, trasladando a los pacientes más próximos al riesgo. Así se evitará alterar el funcionamiento global del centro hospitalario y asustar al resto de los pacientes que pueden generar perjuicios adicionales. Cuando el personal destinado a controlar y extinguir el origen de la emergencia no sea capaz de hacerlo entonces se procederá a la evacuación total, donde todos los pacientes que puedan resultar afectados son trasladados al lugar seguro más cercano, y si es necesario al exterior del edificio.

El análisis del proceso de evacuación de un centro hospitalario con MSCE supone el diseño de unas estrategias o procedimientos de actuación en base al orden de prioridad establecido, el tipo y número de pacientes a trasladar, y el tipo y número de personal disponibles para el traslado.

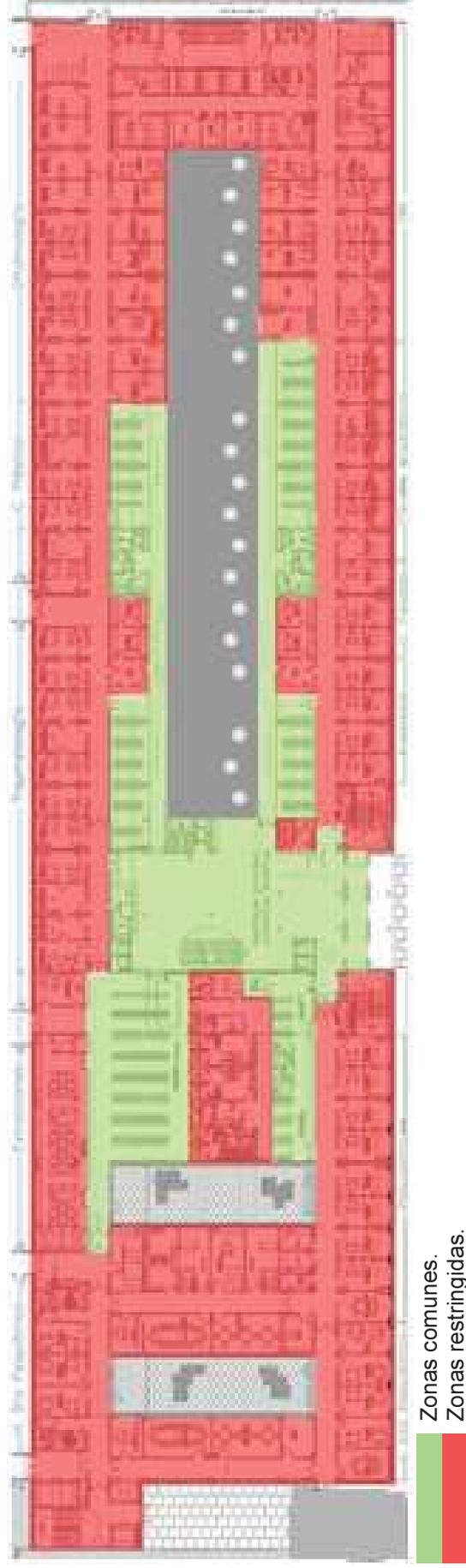


Figura 8. Zonas comunes y restringidas en Valdecilla Sur.

4. Orden de traslado de los pacientes.

Cualquier sistema de “triaje” se basa en una escala de priorización útil, válida y reproducible. El sistema de “triaje” para la evacuación de un centro hospitalario trata de priorizar el traslado de aquellos pacientes con más posibilidades de supervivencia y grado de movilidad, precisando de un menor apoyo de soporte vital. La evacuación inicial de los pacientes con mayor grado de movilidad facilita el posterior traslado de los pacientes no ambulantes. Una vez evacuados todos los pacientes inmediatamente próximos al foco de la emergencia y los pacientes ambulantes, se comienza trasladando a los pacientes no ambulantes más alejados del destino de evacuación para evitar el cansancio del personal y los efectos del humo en los instantes posteriores [62,63].

Aunque la evacuación de un paciente crítico sea la más complicada existe la posibilidad de que ocurra una situación de emergencia en la que no quede más remedio que trasladarlo fuera del centro hospitalario. Por ejemplo, la unidad de cuidados intensivos de un centro hospitalario concentra un número elevado de pacientes críticos, cuya evacuación requiere analizar detenidamente los siguientes aspectos [64-67]:

- Proponer un sistema de clasificación de los pacientes en base al soporte terapéutico que deben recibir, y la situación clínica y necesidad de soporte vital.
- Valorar el sitio del hospital donde se los evacuaría en caso de producirse una emergencia que lo requiera, principalmente siendo evacuación horizontal para los pacientes más graves que necesiten oxigenoterapia, ventilación mecánica y aparataje para soporte hemodinámico.

El “triaje” de los pacientes se debe mantener actualizado e incluir tanto el soporte vital que precisa el paciente como el grupo asistencial al que pertenece. Según la clasificación establecida se definen y calculan los medios de traslado necesarios, así como su disponibilidad y ubicación de almacenamiento.

5. Caracterización de los ocupantes.

La caracterización de los ocupantes en este tipo de edificaciones es un factor clave para el análisis de la seguridad y plantea diferentes incertidumbres y problemas a abordar de cara a la implementación de datos de entrada correctos para los trabajos de simulación. Aunque los datos disponibles en la literatura sobre estas variables son muy escasos.

En primer lugar existen dos perfiles bien diferenciados de ocupantes: los trabajadores, y los pacientes (hospitalizados o eventuales) y acompañantes. Los trabajadores del centro están familiarizados con la geometría y es probable que conozcan las rutas de evacuación. Sin embargo, los pacientes y acompañantes es probable que no estén familiarizados con el entorno y sólo conozcan las zonas no restringidas.

En segundo lugar se presentan problemas para la caracterización de las aptitudes físicas para la evacuación de parte de los pacientes. Y en tercer lugar se plantea el problema del número y distribución de ocupantes presentes. A fin de contar con una referencia real de condiciones de uso final se procedió a la recogida de información en el Hospital Universitario Marqués de Valdecilla.

La base para caracterizar a los ocupantes fue la información facilitada sobre los datos asistenciales por especialidad al año (246 días hábiles), número de profesionales (enfermeros, técnicos, celadores, administrativos y médicos) y horario de actividad tanto en la zona de hospitalización como en la de consultas.

Se observó que en la zona de hospitalización el número de pacientes permanece constante las 24 horas, mientras que en el edificio de consultas las horas de mayor afluencia de pacientes es de 8:15 horas a las 14:30 horas y los datos asumen un acompañante por cada paciente atendido.

Dentro del centro hospitalario se engloban las siguientes tipologías de ocupantes:

- PE. Personal del centro.
- PA. Paciente ambulante.
- PA 1. Paciente ambulante con movilidad reducida.
- PA 2. Paciente ambulante con movilidad muy reducida.
- PNA 1. Paciente no ambulante que debe ser trasladado en silla de ruedas.
- PNA 2. Paciente no ambulante que debe ser trasladado en cama o camilla.

En la Tabla 3 se muestran las velocidades de desplazamiento horizontales según la tipología de ocupantes. Para los miembros del personal (PE) se asumen los valores obtenidos por Fruin [68]. Para las tipologías PA, PA 1 y PA 2 se asumen los valores aplicados por la normativa MSC Circ 1248 [69]. Para las tipologías PNA 1 y PNA 2 se asumen los valores obtenidos experimentalmente en el análisis realizado por la University of Glasgow [42].

Tipología	Ley de distribución de probabilidad	μ [m/s]	σ [m/s]	Rango [m/s]
PE	Normal	1,35	0,25	0,65 – 2,05
PA	Uniforme	1,12	0,28	0,84 – 1,40
PA 1	Uniforme	0,85	0,42	0,64 – 1,06
PA 2	Uniforme	0,73	0,63	0,55 – 0,91
PNA 1	Normal	0,63	0,04	
PNA 2	Normal	0,40	0,04	

Tabla 3. Velocidades de desplazamiento horizontal [m/s] por tipologías de ocupantes.

	Ley de distribución de probabilidad	μ [s]	σ [s]	Máx. [s]	Mín. [s]
Respuesta del personal sanitario [68]	Log-normal	70,8	60	246	0
Preparación para traslado de Pacientes (PNA1) [70]	normal	120	20	180	60
Preparación para traslado de Pacientes (PNA2) [70]	normal	540	120	900	180

Tabla 4. Distribuciones de los tiempos de respuesta y preparación de los pacientes.

Además, a fin de obtener valores razonables sobre el tiempo de preparación de los pacientes en diferentes medios (silla de ruedas y cama o camilla) se realiza una exhaustiva revisión literaria. La Tabla 4 recoge los valores extraídos y que se podrían considerar en el MSCE.

6. Equipos de Evacuación.

El área donde se produce la emergencia limita la cantidad de personal disponible para las tareas de preparación y traslado de pacientes (ver Figura 9), variable con el día de la semana y el turno de trabajo. El personal constituye diferentes Equipos de Evacuación según el grado de dependencia de los pacientes a trasladar y los medios de traslado disponibles (silla de ruedas, cama, camilla, etc.).



*Figura 9. Preparación y traslado de paciente por parte de un Equipo de Evacuación.
(Fuente: <http://fseg.gre.ac.uk/>)*

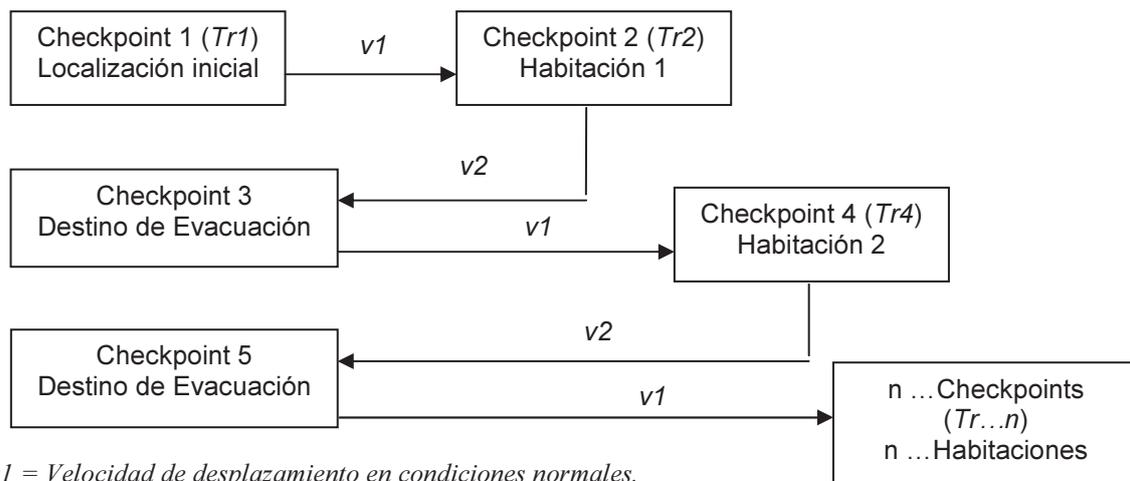
Los integrantes de cada Equipo de Evacuación, como mínimo dos personas, trabajan conjuntamente en las tareas de preparación y traslado de los pacientes. Es necesario analizar la capacidad del personal que constituirá los Equipos de Evacuación para desarrollar cada una de las tareas encomendadas en el proceso de evacuación, proporcionándoles la información y formación necesarias.

Los datos del propio centro hospitalario aportan información sobre el tipo y número de personal presente en cada zona a lo largo del año, información suficiente para conocer el número de Equipos de Evacuación disponibles y su capacidad para la preparación y traslado de pacientes.

7. Metodología para definir el proceso de evacuación.

Las especificidades del proceso de evacuación en hospitales obligan a definir las acciones originadas en estos casos y que no se pueden recoger en los procesos de “*auto-rescate*”. Por ello, se distinguió y definió un esquema secuencial de actuaciones para el caso de una emergencia parcial (evacuación horizontal) y una emergencia general (evacuación vertical), que incluso puede interpretarse a modo de Modelo Conceptual.

El esquema para un procedimiento de evacuación horizontal ante un evento de incendio que constituye una emergencia parcial y que por lo tanto requiere, como medida preventiva, el traslado de pacientes del sector del incendio al sector adyacente, se corresponde con la Figura 10. En cada uno de los *checkpoints* asignados, que conforman los objetivos y ruta de cada agente, por ejemplo una habitación, se puede asignar un tiempo aleatorio que representa los diferentes retardos (preparación del paciente para su traslado, tiempo de respuesta, etc.). De esta forma, cuando el agente accede al *checkpoint* no puede continuar su ruta hasta que transcurre el tiempo de retardo asignado, lo cual permite construir la ruta teniendo en cuenta todas las tareas que tengan que realizar cada uno de los ocupantes, ya sea paciente, acompañante o miembro del personal sanitario.



$v1$ = Velocidad de desplazamiento en condiciones normales.

$v2$ = Velocidad de desplazamiento trasladando al paciente.

$Tr...n$ = Tiempo de retardo.

Figura 10. Esquema secuencial para el proceso de evacuación horizontal.

Además, a cada paciente, en función de sus condiciones de movimiento, se le asigna una velocidad de traslado diferente (v_2) y un tiempo de preparación diferente (Tr) en base a las leyes de distribución de probabilidad definidas previamente (Tabla 3 y 4).

Los miembros que conforman cada Equipo de Evacuación tienen velocidades de desplazamiento y retardos personalizados. No obstante, la implementación de la conducta denominada familiaridad (*family*) produce un comportamiento colectivo de ambos agentes, haciendo que el agente más rápido o que tiene menor tiempo de respuesta espere al agente más lento o con tiempo de respuesta superior. Asimismo, las rutas contienen condiciones (*conditions*) que hasta que no se cumplan no permiten al agente cumplir su siguiente objetivo. Esto se correspondería con la condición introducida en las rutas de los pacientes ubicados en su habitación, donde hasta que el número de personas en la habitación sea cuatro (paciente, acompañante y dos miembros del personal) y transcurra el tiempo de preparación no podrán dirigirse de forma conjunta al destino de evacuación.

En el caso de una emergencia general que requiera la evacuación de múltiples plantas la evacuación se desarrolla por fases de acuerdo con la Figura 11, donde todos los pacientes ubicados en la planta origen del incendio y la inmediata superior e inferior son trasladados a un lugar exterior seguro.

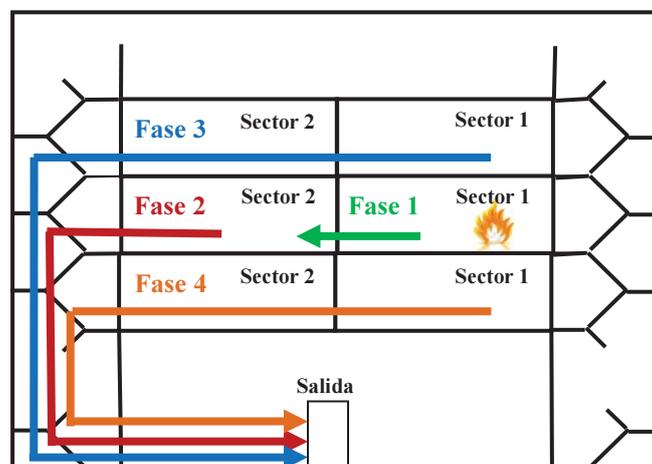


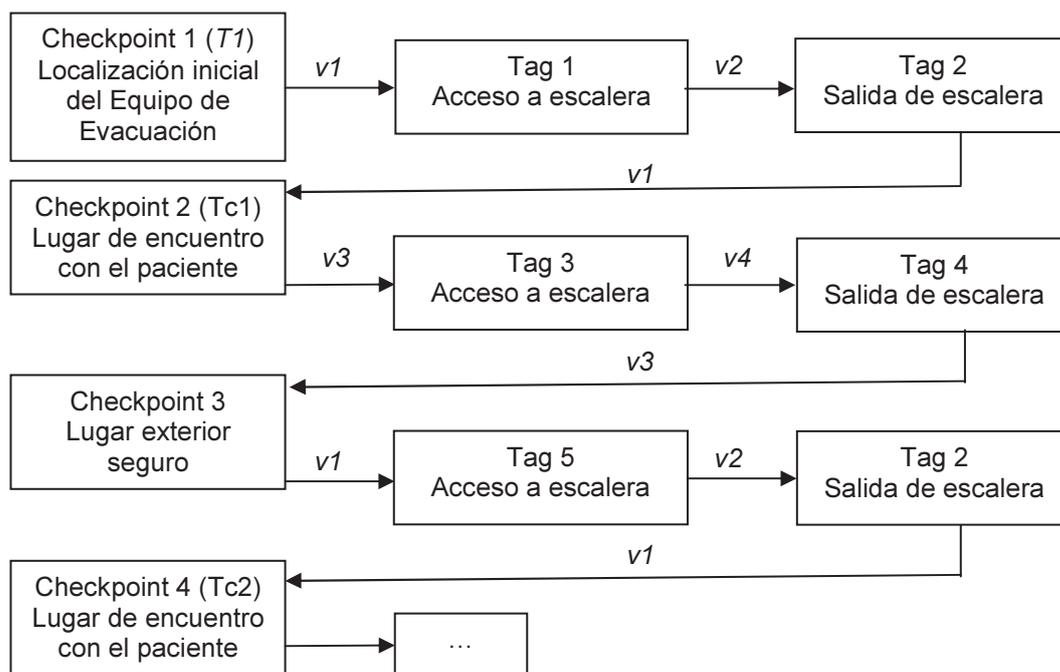
Figura 11. Proceso de evacuación vertical.

Éste es un proceso complejo, en el que existen multitud de pacientes que deben ser asistidos para ser trasladados a un lugar exterior seguro. La estrategia de evacuación planteada consiste en una evacuación controlada y organizada por fases:

- **Fase 1.-** Se detecta el incendio en un sector de la planta afectada, procediéndose a la evacuación horizontal de los pacientes hacia el sector adyacente de la misma planta (evacuación horizontal).
- **Fase 2.-** Se decreta la emergencia general y la necesidad de evacuar la planta origen del incendio, acometiendo la evacuación vertical de todos sus pacientes hacia un lugar exterior seguro y avisando a los servicios de emergencia exteriores del suceso para que acudan al lugar del siniestro. Mientras tanto el personal de las plantas inmediatamente superior e inferior comienza a desarrollar las tareas necesarias de preparación para la evacuación de los pacientes situados en dichas plantas.
- **Fase 3.-** Completada la evacuación de los pacientes ubicados en la planta donde se origina el incendio se procede a la evacuación vertical de la planta inmediatamente superior hacia las plantas inferiores que conducen al exterior del edificio.
- **Fase 4.-** Por último y una vez finalizadas las fases anteriores se procede a la evacuación vertical de los pacientes de la planta inmediatamente inferior hacia las plantas inferiores que conducen al exterior del edificio.

El Modelo Conceptual diseñado para el proceso de evacuación vertical en caso de una emergencia general se corresponde con la Figura 12. Se asume que los Equipos de Evacuación que trasladan verticalmente a los pacientes mientras el resto de los Equipos se dedican al traslado horizontal se encuentran inicialmente en una zona alejada de la planta origen del incendio (*checkpoint 1*), donde permanecen hasta que se decreta la emergencia general y transcurre el tiempo de llegada de los bomberos (*TI*).

Llegado este momento los Equipos de Evacuación dedicados al traslado vertical de los pacientes acceden a la planta donde se origina el incendio a través de las escaleras con su velocidad de movimiento horizontal y vertical en condiciones normales ($v1$ y $v2$), y se dirigen al lugar de encuentro con el paciente (*checkpoint 2*). Se produce el retardo correspondiente al traspaso del paciente a una camilla especial de evacuación ($Tc1$), para después volver a acceder y descender la escalera con la velocidad asignada a la tipología de paciente trasladado ($v3$ y $v4$), y dirigirse a un lugar exterior seguro. Finalizado el traslado completo de un paciente los Equipos de Evacuación vertical repiten el proceso de rescate con los demás pacientes ubicados en las plantas origen del incendio y las inmediatamente superior e inferior.



- $v1$ = Velocidad de desplazamiento en condiciones normales.
- $v2$ = Velocidad de desplazamiento ascendente en condiciones normales.
- $v3$ = Velocidad de desplazamiento horizontal trasladando al paciente.
- $v4$ = Velocidad de desplazamiento descendente trasladando al paciente.
- $T1$ = Tiempo que transcurre hasta que se declara la emergencia general.
- $Tc1$ = Tiempo de traspaso a camilla especial de evacuación.

Figura 12. Esquema secuencial para el proceso de evacuación vertical.

Capítulo 4. Estudio del proceso de evacuación en una planta de hospitalización.

1. Introducción.

Este capítulo analiza el proceso de evacuación horizontal de los pacientes ubicados en una planta tipo de hospitalización. Esta zona de los centros hospitalarios alberga pacientes que en su mayoría requiere la asistencia del personal para su traslado a un lugar seguro, aunque nos encontramos con diferentes porcentajes en la tipología de pacientes según la patología médica.

Una de las tareas que quedó pendiente, debido a las complicaciones propias de gestión en este tipo de actividades, fue la realización de experimentos que permitieran obtener datos sobre las variables implicadas en la evacuación. A pesar de eso, las diferentes actividades de recopilación de información han permitido obtener criterios adecuados para afrontar los trabajos de simulación. En el Anexo II se presenta el diseño experimental propuesto.

Para la realización de un caso de estudio, se ha definido una planta tipo de hospitalización con forma rectangular de dimensiones 66,50 x 35,36 m, con una zona de acceso para los familiares y acompañantes.

La planta de hospitalización dispone de tres sectores de incendio con dos escaleras de emergencia protegidas en el extremo oeste (EM-1) y este (EM-2) (ver Figura 13) con anchura suficiente para el traslado de los pacientes. Los sectores 1 y 2 están conectados por dos pasillos longitudinales y paralelos en los que se encuentran distribuidas las habitaciones.

El Sector 1 contiene la sala de estar para los pacientes y acceso de los visitantes (con un área total de 230 m²). El Sector 2 y el Sector 3 tienen una superficie total de 530 y 848 m² respectivamente, y albergan un total de 24 habitaciones (7 en el Sector 2 y 17 en el Sector 3).

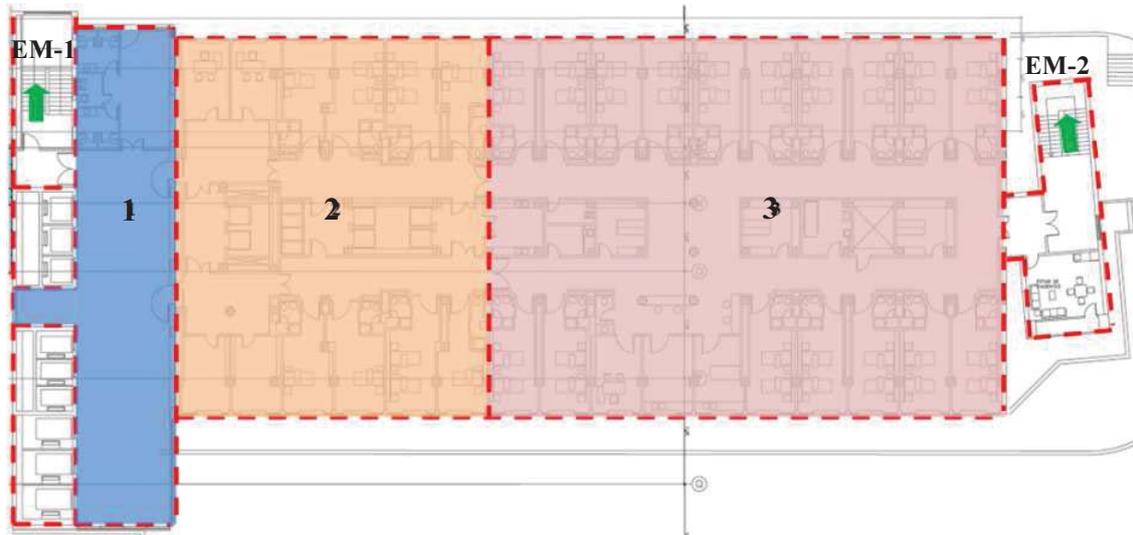


Figura 13. Layout y sectorización de la planta tipo de hospitalización.

Las distancias máximas del recorrido de evacuación desde el punto más alejado hasta alguna salida de sector se corresponden con Tabla 5, sin superar en ningún caso los valores límites exigidos en la normativa.

Sin embargo, en caso de ser necesario el traslado horizontal de los pacientes del Sector 3 a otro sector, se considera como estrategia más plausible su traslado hacia el Sector 1, ya que éste constituye una zona con suficiente espacio para albergar a los pacientes (175,52 m² de superficie útil) y con acceso directo a la escalera EM-1, en caso de necesidad de una evacuación vertical. En este caso la longitud del recorrido de evacuación es de 62 m, superándose los límites establecidos en la norma.

Sector Origen	Sector Destino	Distancia (m)
2	1	20,2
2	3	20,2
3	2	26,8

Tabla 5. Distancias máximas de los recorridos de evacuación en la planta tipo de hospitalización.

2. Descripción del modelo computacional.

El modelo empleado es STEPS (Simulation of TransientEvacuation and PedestrianmovementS), desarrollado por la compañía Mott MacDonal, UK [71].

Aunque ningún modelo de carácter comercial es capaz de superar las limitaciones para este tipo de problemas, se eligió este modelo porque con el modo “*normal conditions*” permite la implementación del Modelo Conceptual mediante la asignación de diferentes tareas ajustadas a rutas y sub-rutas para cada uno de los agentes (miembros del personal, pacientes y acompañantes), pudiendo simular las tareas de traslado de pacientes. Además, permite implementar variables aleatorias sobre los tiempos de respuesta y/o preparación de los pacientes y las velocidades de desplazamiento y/o traslado en función de leyes de distribución de probabilidades.

A continuación se presentan las principales características y ecuaciones de gobierno de este modelo.

2.1. Tipo de modelo.

STEPS tiene como propósito simular a los ocupantes en una situación normal (*normal conditions*) o de emergencia (*evacuation*) dentro de diferentes tipos de edificios. Se trata de un modelo que reproduce el movimiento de los ocupantes a través de la geometría de los edificios y determinados aspectos de la conducta humana: distribución de los tiempos de respuesta y pre-movimiento, características de los ocupantes, factor de paciencia, conductas colectivas y conocimiento de salidas. El modelo considera a los ocupantes de forma individualizada y permite al usuario definir a cada persona o grupos de personas en la simulación.

Asimismo, permite que los ocupantes tengan una visión individualizada del entorno en el que se mueven, ya que el usuario puede asignar determinados objetivos o puntos de control a cada ocupante o grupo de ocupantes como salidas u otros espacios.

También el usuario puede asignar a cada ocupante o grupo de ocupantes un nivel de conocimiento de las salidas durante la evacuación con fracciones que oscilan entre el nivel 0 y 1 de conocimiento. El nivel 0 indica un desconocimiento total de la salida mientras que el nivel 1 indica un conocimiento total de la salida.

STEPS podría clasificarse como un MSCE que, además de reproducir el movimiento de los ocupantes hacia las salidas, también reproduce determinados aspectos de la conducta humana, que incluyen procesos de decisión y actitudes o acciones determinadas según las condiciones de la emergencia.

El modelo, de red fina, divide la geometría implementada en una cuadrícula de celdas, donde para todo instante cada celda sólo puede ser ocupada por un agente. Para el modo “*normal conditions*” los agentes se dirigen hacia los objetivos conforme a las rutas o sub-rutas asignadas por el usuario. Mientras que para el modo “*evacuation*” los agentes se dirigen hacia las salidas en función a una puntuación asignada para cada destino resultado de los siguientes factores:

- Menor distancia a la salida.
- Familiaridad con la salida.
- Número de ocupantes alrededor de la salida.
- Número de vías de salida.

2.2. Resultados del modelo.

Este modelo fue desarrollado con la finalidad de servir como herramienta de estudio y análisis del movimiento y comportamiento de los ocupantes en una situación de emergencia y determinar las condiciones de seguridad para los ocupantes de un edificio durante la evacuación.

Con este modelo es posible analizar determinados aspectos del fenómeno de la evacuación aportando datos sobre tiempos de evacuación, flujos a través de las salidas, áreas de congestión, distancias de recorrido y velocidades de desplazamiento. La visualización en 3D de las simulaciones, permite al usuario observar de una forma clara y nítida las zonas de congestión, cuellos de botella o zonas de cola en la edificación analizada durante la evacuación.

Esta visualización permite al usuario navegar por la geometría del escenario de evacuación y realizar un diagnóstico rápido de las incidencias durante la evacuación determinando las zonas de riesgo para los ocupantes y los posibles problemas que se ocasionarían en una situación real de emergencia.

El método de validación del modelo viene dado por su comparación con análisis empíricos y trabajos de campo realizados en el pasado sobre el estudio del movimiento y comportamiento de los ocupantes (simulacros, ejercicios de evacuación y experimentos), así como, frente a los resultados de los métodos analíticos establecidos en diferentes normativas.

2.3. Ecuaciones de movimiento que gobiernan el modelo.

La conducta del agente se considera como analogía funcional, dado que la población global está sujeta al mismo conjunto de ecuaciones de movimiento. La toma de decisiones en el modelo no depende de ciertas premisas ni circunstancias de la evacuación, sino del movimiento y la velocidad de desplazamiento de los agentes afectados por la disponibilidad de la próxima celda o cuadrícula. Cada celda del sistema de cuadrículas tiene un determinado valor, o potencial, desde cada punto particular del edificio que moverá a los agentes en una dirección determinada (salidas, puntos de control, etc.). Los agentes siguen el mapa potencial hacia la menor puntuación con cada paso o celda. El potencial de la ruta puede verse alterado por variables como paciencia, atractivo de las salidas y familiaridad del ocupante con el edificio especificadas por el usuario.

La velocidad de desplazamiento de los ocupantes puede ser introducida por el usuario o por defecto del modelo. Pero un aspecto importante es cómo el programa representa el movimiento de los ocupantes en situaciones de altas densidades, congestión y cola. El proceso de decisión se divide en 2 fases:

1. Escoger la salida u objetivo al que dirigirse.

Al especificar una salida, STEPS calcula mediante algoritmos la tabla potencial que facilitará la menor distancia de cada celda a la salida. El potencial para las celdas de salida es 0 y el programa recorre cada celda adyacente para calcular su potencial. Si el programa avanza a una celda utilizando un movimiento diagonal agregará (valor del tamaño de la cuadrícula * $\sqrt{2}$) al potencial actual de la celda, y si el programa avanza a una celda que utiliza un movimiento horizontal o vertical, agregará al valor del tamaño de cuadrícula al potencial actual de la celda. Cuando los ocupantes deciden qué ruta tomar y utilizar para salir, escogen la ruta con la menor puntuación. Si múltiples rutas tienen la misma puntuación, los ocupantes escogen aleatoriamente entre ellas. STEPS utiliza un algoritmo de puntuación para cada agente hacia el objetivo que se divide en las siguientes etapas:

- Tiempo necesario para alcanzar el objetivo $T_{rec} = \frac{D}{W}$

D: distancia al objetivo (obtenido de la tabla de distancias previa).

W: velocidad de desplazamiento (*walking speed*).

- Tiempo necesario de cola en el objetivo $T_{cola} = \frac{N}{F}$

N: número de personas hacia el objetivo antes del individuo.

F: flujo del objetivo (personas/segundo).

- Ajuste de tiempo de desplazamiento tomado al considerar el tiempo que no se ha recorrido actualmente para llegar al final de la cola

$$T_{ajus\ rec} = \frac{D2}{W}$$

D2: distancia potencial del individuo anterior.

- Cálculo del tiempo real necesario para llegar al final de la cola

$$T_{real\ rec} = T_{rec} - T_{ajus\ rec}$$

- Ajuste de tiempo de cola considerando la gente que va a salir mientras la

personas caminan $T_{ajus\ cola} = \frac{N}{F}$

F: número de personas haciendo cola en el objetivo durante $T_{real\ rec}$

- Cálculo del tiempo real de cola $T_{real\ cola} = T_{cola} - T_{ajust\ cola}$

- Incorporar niveles de paciencia

$$C_{ajust\ cola} = 1 - C_{paciencia} \cdot \frac{0.5 \cdot Paciencia}{0.5}$$

Paciencia: introducido por el usuario (>0.5 paciente, <0.5 impaciente).

$C_{paciencia}$: coeficiente entre 0 y 1 introducido por el usuario.

$$T_{estimado\ cola} = T_{real\ cola} \cdot C_{ajus\ cola}$$

- Cálculo de la puntuación final $T_{total} = T_{real\ rec} \cdot C_{rec} + T_{estimado\ cola} \cdot C_{cola}$

C_{rec} : coeficiente entre 0 y 1, introducido por el usuario.

C_{cola} : coeficiente entre 0 y 1, introducido por el usuario.

2. Encontrar cómo moverse hacia la salida u objetivo elegido.

En cada celda o cuadrícula, el individuo tiene 8 posibles decisiones que rodean la misma y la decisión de donde ir se basa en cuál de las celdas adyacentes tienen el menor potencial. El ocupante se mueve en función de la ruta establecida y calculada por el modelo previamente, que es el camino más corto hacia el objetivo.

2.4. Incertidumbres del modelo.

Todo modelado de evacuación requiere datos sobre las características de los ocupantes, sus acciones durante la evacuación, retrasos que pueden suceder, velocidad de desplazamiento para diferentes tipos de ocupantes, etc., que resultan necesarios para elaborar los *inputs* del modelo y calcular los tiempos globales para una evacuación. Los parámetros de mayor repercusión son:

- El tiempo que ocurre entre la activación de la alarma de incendio y el inicio del movimiento de evacuación, incluido el tiempo de preparación y traslado de los pacientes.
- Velocidad de traslado de pacientes en diferentes tipos de superficies y con diferentes aptitudes físicas.
- La variedad de acciones específicas que la ocupación pueda realizar antes y durante la evacuación, repercutiendo en el tiempo necesario de evacuación.
- Efectos de las obstrucciones en las rutas de evacuación, que pueden causar retrasos o bloquear la evacuación.

La valoración de todas estas variables permite un acercamiento sobre las pautas de comportamiento y movimiento de los ocupantes durante la evacuación. Sin embargo, no deja de constituir una herramienta de representación aproximada de la realidad. Como ya se ha mencionado anteriormente, el comportamiento humano en caso de emergencia se encuentra determinado y condicionado por diversos factores psicológicos, cognitivos, sensoriales, sociales, culturales, de los cuales no disponemos de información detallada y sobre los cuales no actúa ninguna regla fija. Como en todo modelo de simulación computacional, las variables de salida se ven afectadas por las variables de entrada, y en este sentido son diversas las incertidumbres a las que se enfrenta el usuario para analizar el proceso de evacuación.

Tal y como se ha indicado anteriormente un soporte para tales incertidumbres lo constituyen, por un lado, los trabajos de campo y experimentos empíricos realizados por investigadores que aportan datos cuantitativos y cualitativos sobre el movimiento y comportamiento humano, susceptibles de aplicación en las interpretaciones de las variables introducidas en el modelo, y por otro lado, los cálculos y consideraciones aplicados por las normas prescriptivas. Los primeros son limitados y los segundos no dejan de constituir una mera aproximación de aplicación genérica.

Aparte de estas incertidumbres propias del proceso de evacuación el modelo también cuenta con determinadas limitaciones funcionales. Aunque STEPS tiene la habilidad de modelar grupos de personas que se buscarán unos a otros antes de evacuar y que permanecerán juntos durante la simulación, no reproduce la formación de grupos emergentes durante las actuaciones de evacuación, ni comportamientos altruistas o acciones de personas asistiendo a personas discapacitadas.

El modelo tampoco considera la variación individualizada de la velocidad en los agentes, la cual se puede ver afectada por la fatiga durante los procesos de evacuación prolongados en el tiempo.

Por último, el modelo no considera los efectos de manifestaciones propias del incendio como la toxicidad o la falta de visibilidad que repercuten en diferentes grados en el movimiento y conducta de los ocupantes durante la evacuación. Tampoco permite reproducir la influencia de determinados factores externos en el comportamiento humano durante el proceso de evacuación.

STEPS no puede incorporar procesos de decisión y acciones realizadas por los ocupantes o grupos de ocupantes en función de las condiciones del entorno y de la percepción del riesgo (existencia de humo, localización del incendio, influencia de otras personas). Estas conductas deben ser reproducidas a través de las variables de entrada que son introducidas por el propio usuario.

3. Construcción del modelo computacional.

A continuación se explica el procedimiento seguido para la implementación de los *inputs* considerados en el modelo STEPS para la simulación computacional de una planta tipo de hospitalización.

3.1. Geometría.

Para implementar la planta tipo en el modelo se importan los planos CAD en formato DXF con la construcción geométrica de los diferentes recintos. El modelo crea automáticamente una red discreta de celdas con dimensiones 0,5 x 0,5 metros (ver Figura 14).

Las celdas pueden ser transitadas por los ocupantes siempre que no sean ocupadas por la geometría importada, la cual actúa como obstrucciones (*blockages*) que anulan las correspondientes celdas.

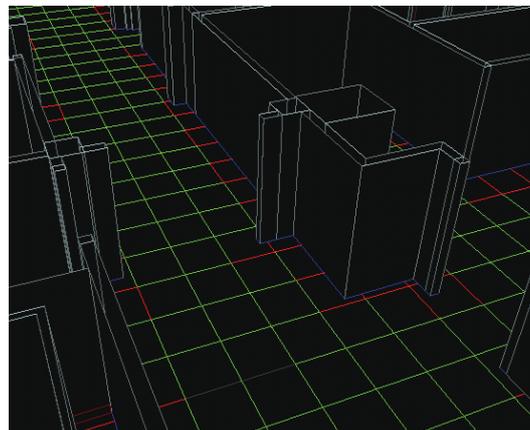


Figura 14. Discretización realizada en un pasillo de la planta tipo de hospitalización.

A continuación se procede a la construcción en 3D de la geometría mediante los objetos (*items*) creados automáticamente por el modelo y correspondientes a la geometría de los planos importados. Variando sus dimensiones y propiedades se construyeron los elementos correspondientes a las paredes, puertas, camas, etc. (ver Figura 15).



Figura 15. Geometría de la planta tipo de hospitalización implementada en el modelo.

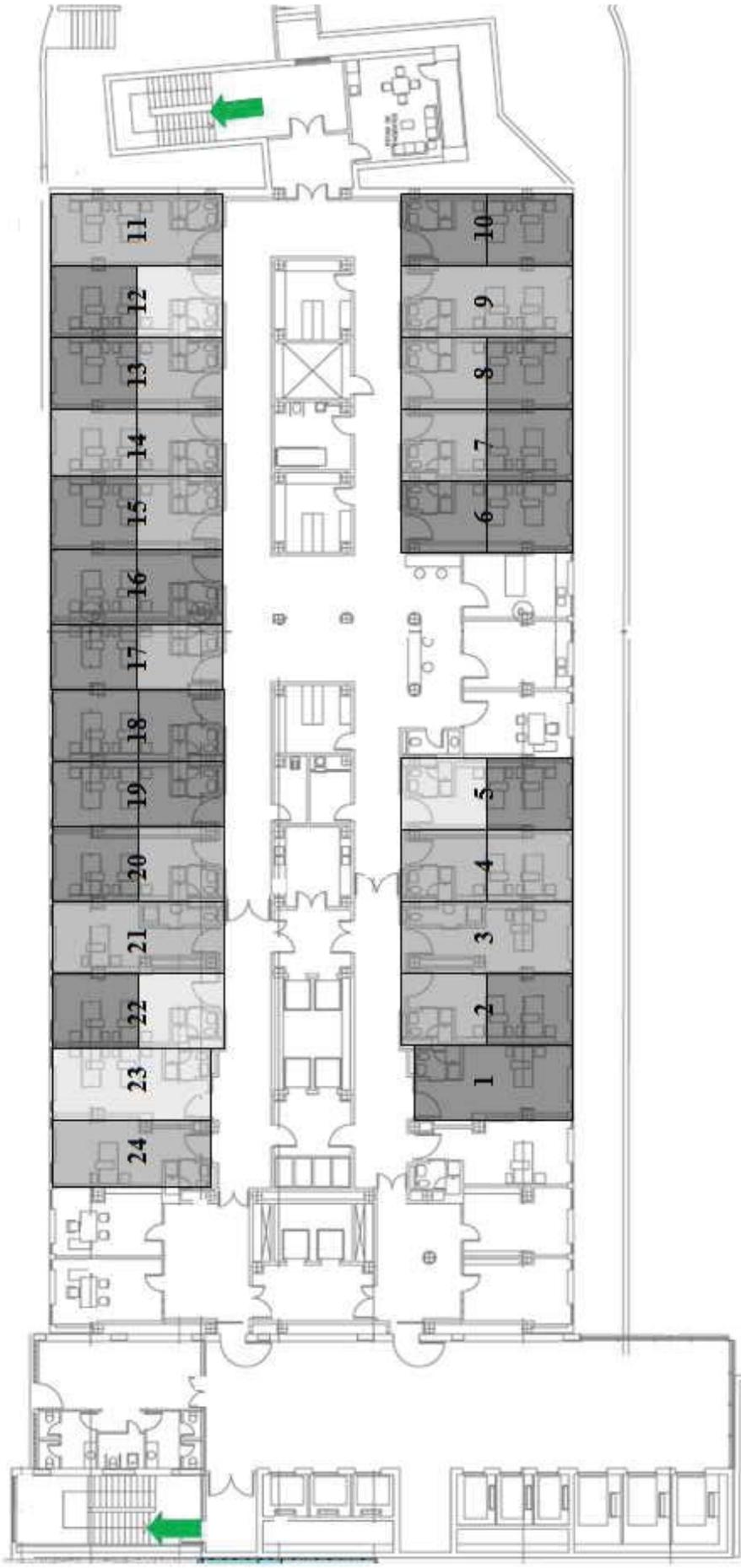
3.2. Ocupación.

Se asume que la planta tipo de hospitalización dispone de 24 habitaciones, 7 individuales y 17 dobles, con 21 pacientes PNA 2, 16 pacientes PNA 1 y 4 pacientes PA.

La incertidumbre sobre la distribución de los pacientes en las habitaciones se resuelve mediante un generador de números aleatorios que asigna la habitación de cada paciente y da como resultado la distribución representada en la Figura 16.

Dado que el personal localizado en una planta tipo de hospitalización varía según el día de la semana y el turno asumo que conforme al número de pacientes a atender el máximo y mínimo número de personal ubicado en la planta tipo debe ser de 14 y 5 personas respectivamente.

También asumo que cada Equipo de Evacuación está compuesto por dos miembros del personal. De esta forma, la situación más favorable queda representada con un total de 7 Equipos de Evacuación y la más desfavorable con 3.



- PA (Paciente ambulante).
- PNA 1 (Paciente no ambulante que puede ser trasladado en silla de ruedas).
- PNA 2 (Paciente no ambulante que debe ser trasladado en cama).

Figura 16. Distribución de pacientes según tipología en las habitaciones de la planta tipo de hospitalización.

Para la implementación de los agentes en el modelo se crean diferentes tipologías de ocupantes (*people types*) según sus características de velocidad horizontal mediante distribuciones estadísticas (ver Tabla 3). De este modo, en cada una de las simulaciones cada individuo tendrá una velocidad de desplazamiento distinta.

Además, resulta necesario asignar unos factores reductores a las distribuciones de velocidad del personal sanitario para representar el traslado de los pacientes en distintos medios, tal y como muestra la Tabla 6.

	Factor
Paciente trasladado en silla de ruedas (PNA1)	0,46290
Paciente trasladado en cama (PNA2)	0,29629

Tabla 6. Factores reductores para las velocidades horizontales del personal sanitario.

Una vez definidas las tipologías de ocupantes y sus distribuciones de velocidad en el modelo (*people types*), se crean los grupos de personas (*people groups*), que definen el número total de agentes para cada tipología.

También se definen las distribuciones estadísticas para los tiempos de preparación y decisión (ver Tabla 4), para después asignarlas a los agentes (*people events*). La Figura 17 muestra como al comienzo de la simulación el modelo ubicará a los agentes (*people groups*) en las áreas previamente definidas en el plano (*locations*).

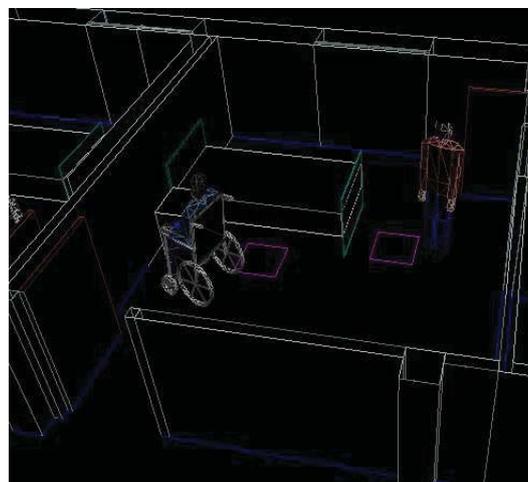


Figura 17. Locations asignadas a un paciente de tipo PNA 1 y su acompañante.

3.3. Escenarios analizados.

Se consideraron dos escenarios de incendio. El Escenario 1 representa un incendio en una zona de vertedero en el Sector 2, tal y como muestra la Figura 18. La estrategia de evacuación consiste en el traslado de los pacientes del Sector 2 hacia el Sector 1. El número total de pacientes a trasladar es 9, de todos ellos 2 son pacientes ambulantes (PA), otros 4 que requieren traslado en silla de ruedas (PNA1) y 3 en su propia cama (PNA2).

El Escenario 2 representa un incendio en un almacén del Sector 3 y el traslado de pacientes hacia el Sector 2 teniendo como destino final el Sector 1, tal y como se muestra en la Figura 19. La elección de esta estrategia se debe a que el Sector 3 alberga un número elevado de pacientes encamados y que el Sector 1 tiene una superficie con capacidad suficiente para albergar a todos los pacientes trasladados, suponiendo que cada paciente encamado (PNA 2) requiere una superficie de 2,17 m² (1,06 m x 2,05 m). El número total de pacientes a trasladar en este escenario es 32, 2 de ellos ambulantes (PA), 12 no ambulantes a trasladar en silla de ruedas (PNA1) y 18 no ambulantes que requieren ser trasladados en su propia cama (PNA2).

La Tabla 7 recoge de forma resumida los escenarios de evacuación considerados en función de las variables consideradas: origen del incendio y destino de evacuación, número y tipología de pacientes a trasladar, y número de Equipos de Evacuación constituidos según turno de trabajo.

Escenario	Sector origen de incendio	Sector destino de evacuación	Nº pacientes a evacuar			Nº Equipos de Evacuación (turno)
			PA	PNA1	PNA2	
1.1	2	1	2	4	3	7 (mañana)
1.2	2	1	2	4	3	3 (noche)
2.1	3	1	2	12	18	7 (mañana)
2.2	3	1	2	12	18	3 (noche)

Tabla 7. Variables de los escenarios de evacuación en la plantatipo de hospitalización.

Se realizaron un total de 25 simulaciones por escenario a fin de capturar variaciones en los potenciales resultados.

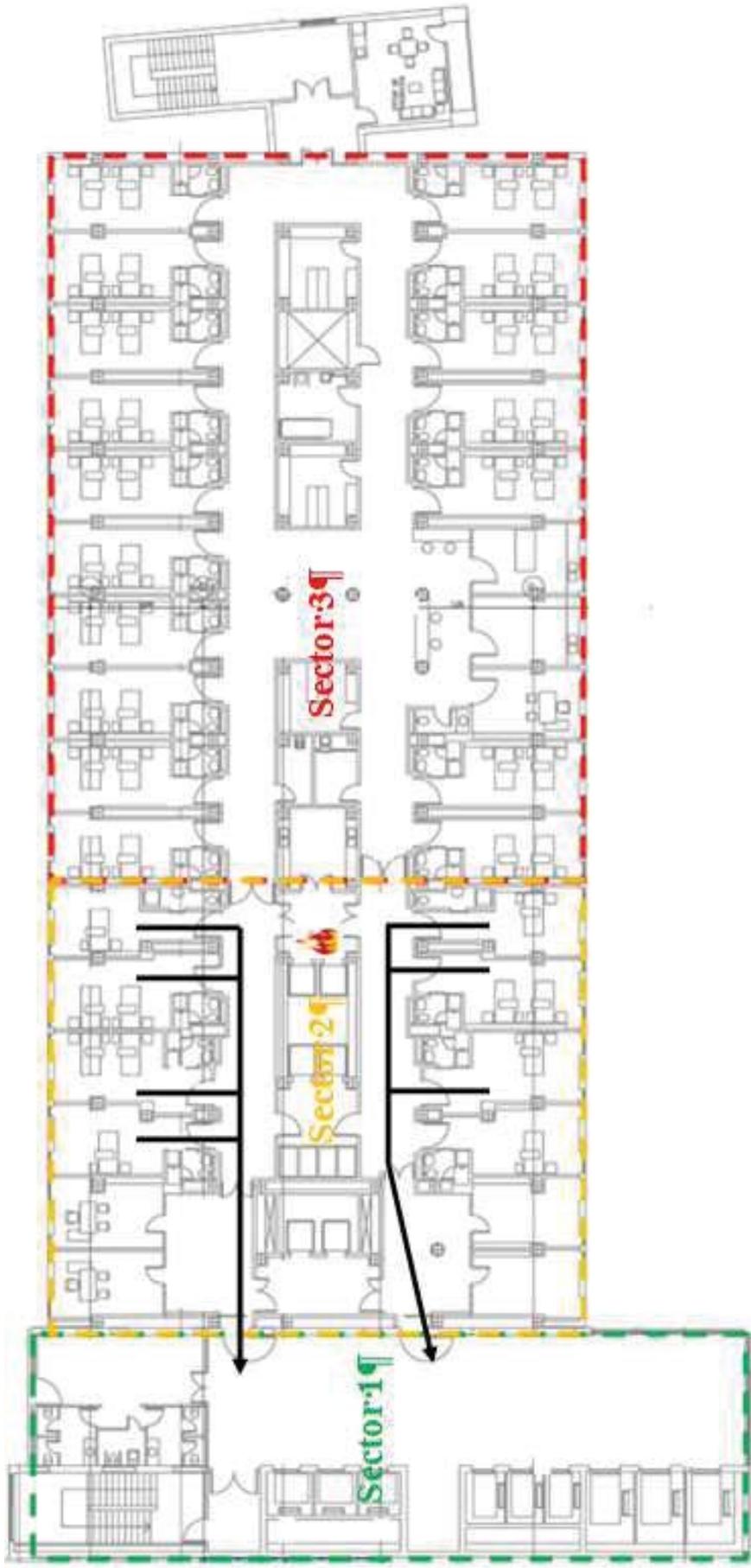


Figura 18. Escenario 1 para planta tipo de hospitalización.

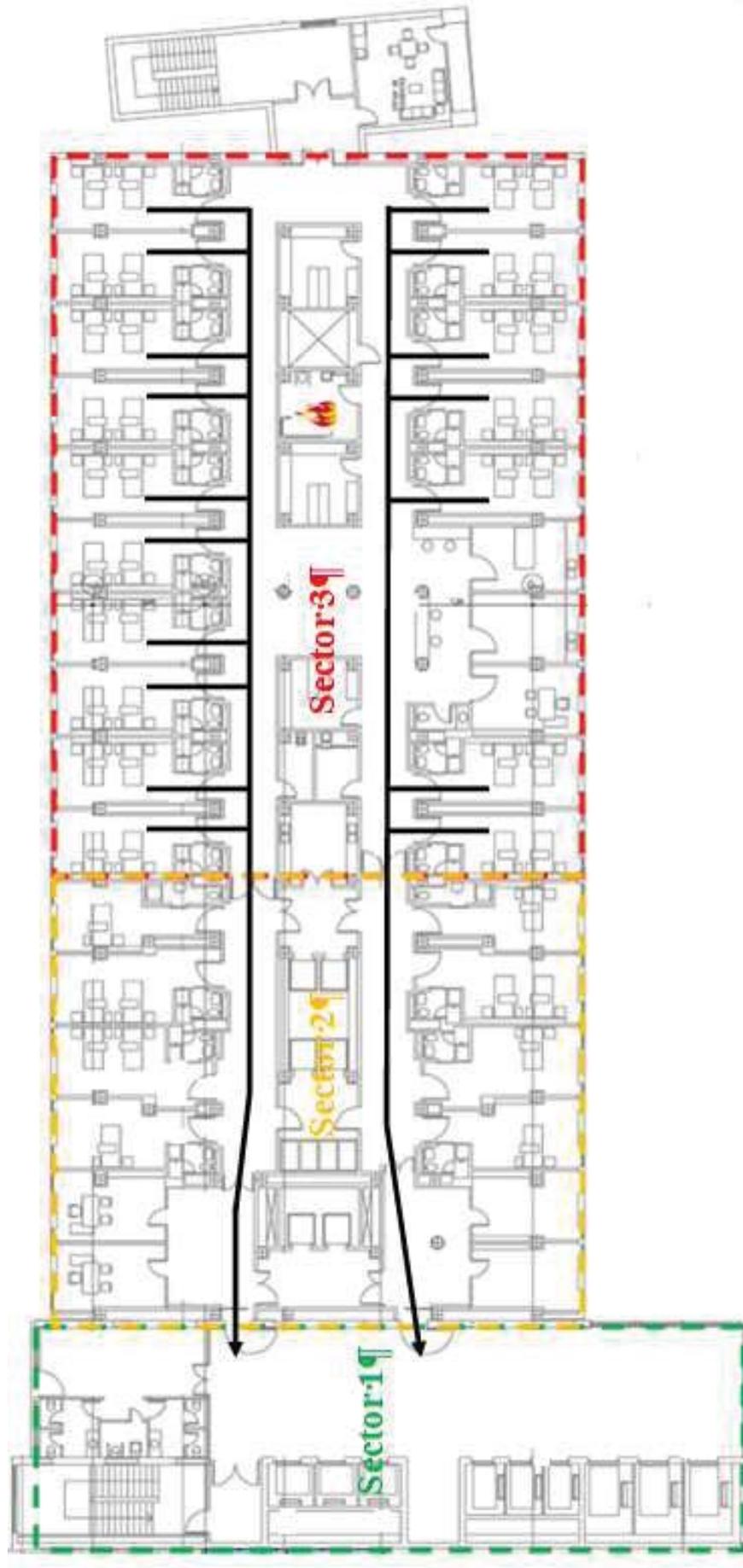


Figura 19 Escenario 2 para planta tipo de hospitalización.

3.4. Estrategia de evacuación.

Intentando ser realistas he asumido que en caso de ser necesario evacuar a los pacientes de una planta de hospitalización, sus acompañantes (familiares, amigos, etc.) permanecerán junto a ellos para colaborar en las tareas de evacuación. Sin embargo, también entiendo que en ocasiones estas personas pueden llegar a ser un obstáculo para que el proceso de evacuación se ejecute de forma rápida y eficaz, e incluso puede haber pacientes que no se encuentren acompañados. Por esta razón, finalmente asumí que durante el proceso de evacuación cada paciente permanece acompañado por una persona, aunque ésta no participa en las tareas de preparación y traslado de pacientes.

De acuerdo con el criterio anteriormente comentando, las estrategias de evacuación implementadas por escenario se muestran en las Figuras 20-23. Estas estrategias representan la constitución de los Equipos de Evacuación según el número de personal disponible, que una vez decretada la emergencia y reunidos deciden acudir a las habitaciones de los pacientes para proceder a la evacuación asistida de los pacientes.

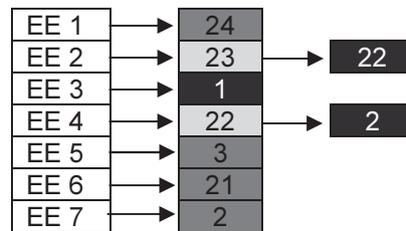


Figura 20. Estrategia de evacuación para el Escenario 1.1.



Figura 21. Estrategia de evacuación para el Escenario 1.2.

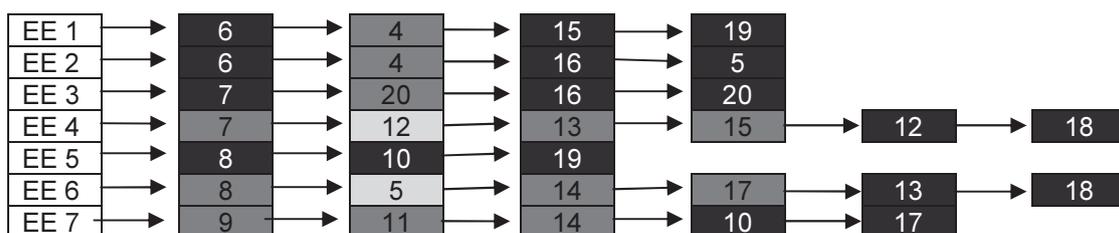


Figura 22. Estrategia de evacuación para el Escenario 2.1.

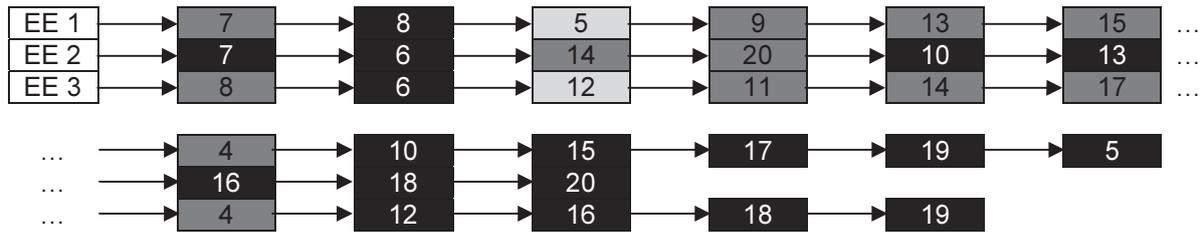


Figura 23. Estrategia de evacuación para el Escenario 2.2.

Con respecto al orden de evacuación de los pacientes en el Escenario 2.1 a modo de ejemplo se observa claramente como los Equipos de Evacuación priorizan el traslado de los pacientes próximos al foco de incendio (habitaciones 6, 7, y 8), independientemente de su grado de movilidad. Una vez desalojados éstos, continúan trasladando al resto de pacientes según su grado de movilidad y ubicación. Primero a los pacientes ambulantes y no ambulantes Tipo 1 más alejados del destino de evacuación y por último a los no ambulantes Tipo 2.

La gran diferencia entre el número total de pacientes a trasladar en función del sector donde se localiza la emergencia pone de manifiesto la gravedad de un incendio en el Sector 3. En este caso las distancias que deben recorrer los Equipos de Evacuación para trasladar a los pacientes hasta el destino de evacuación (Sector 1) son máximas, y además el número máximo de pacientes a preparar y trasladar por cada Equipo de Evacuación es de 6 en día laborable y turno de mañana, y 12 en día festivo y turno de noche. El modelo permite la asignación de tareas ajustadas a rutas y sub-rutas para cada uno de los agentes (*routes*) (ver Figura 24).



Figura 24. Ruta implementada en el modelo para un paciente PNA 1, personal sanitario y acompañante.

4. Resultados de las Simulaciones.

A continuación se exponen los resultados de cada escenario de acuerdo con la ubicación del foco del incendio, el número de personal y pacientes, y las estrategias adoptadas.

4.1. Escenario 1.1.

En este escenario participan 14 miembros del personal (7 Equipos de Evacuación) para trasladar un total de 9 pacientes desde el Sector 2 al Sector 1. En la Figura 25 se muestra la estrategia adoptada y en la Tabla 8 los tiempos requeridos para evacuar a los pacientes.

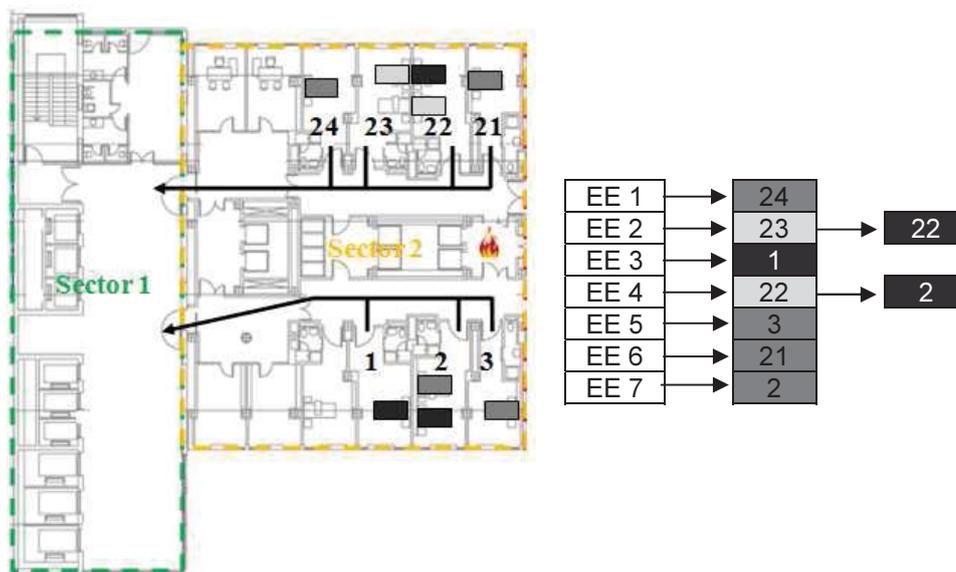


Figura 25. Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 1.1.

Equipo de Evacuación	Nº, tipología y orden de los pacientes evacuados	Tiempo de evacuación (min:s)		
		Mínimo	Medio	Máximo
EE1	PNA 1	3:00	4:03	5:39
EE2	PA – PNA 2	8:01	12:14	17:12
EE3	PNA 2	6:54	10:05	15:02
EE4	PA – PNA 2	5:53	6:43	15:43
EE5	PNA 1	2:02	3:48	5:29
EE6	PNA 1	2:15	3:38	4:54
EE7	PNA 1	2:41	3:43	6:53

Tabla 8. Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 1.1.

Los casos más desfavorables se produjeron en las habitaciones 2 y 22 con pacientes PNA 2. No obstante, cada Equipo de evacuación se encargó de preparar y trasladar a uno de estos pacientes con mayores dificultades. Esto supuso que estos pacientes abandonaron el Sector 2 en un tiempo por debajo de los 18 minutos en todos los casos simulados.

En la Figura 26 se muestra el histograma, y la distribución de probabilidad acumulada de los tiempos totales de evacuación. El tiempo medio empleado por los 7 Equipos de Evacuación fue de 13 min y 33 s.

Los resultados se encuentran en un rango entre los 12 y 18 min. No obstante, a efectos de seguridad, se establece como referencia el percentil 95 que indica que con un nivel de confianza de 0,95 los tiempos totales de evacuación son menores o iguales a 16 min y 35 s.

Características estadísticas	
Media	13 min 33 s
Desv. Est.	1 min 38 s
Máx.	17 min 12 s
Mín.	11 min 17 s
Perc. 95	16 min 35 s

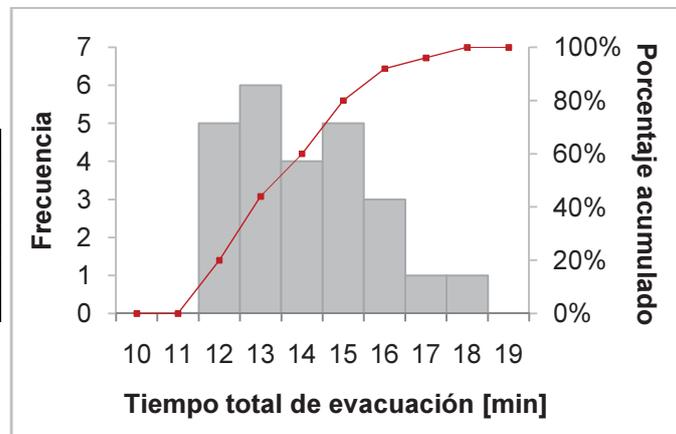


Figura 26. Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 1.1.

4.2. Escenario 1.2.

En este escenario se reproduce la misma situación de incendio que en el Escenario 1.1 pero en el turno de noche con un total de 3 Equipos de Evacuación disponibles. En la Figura 27 se muestra la estrategia adoptada y en la Tabla 9 los tiempos medios, mínimos y máximos requeridos por cada uno de los Equipos de Evacuación para evacuar a los pacientes.

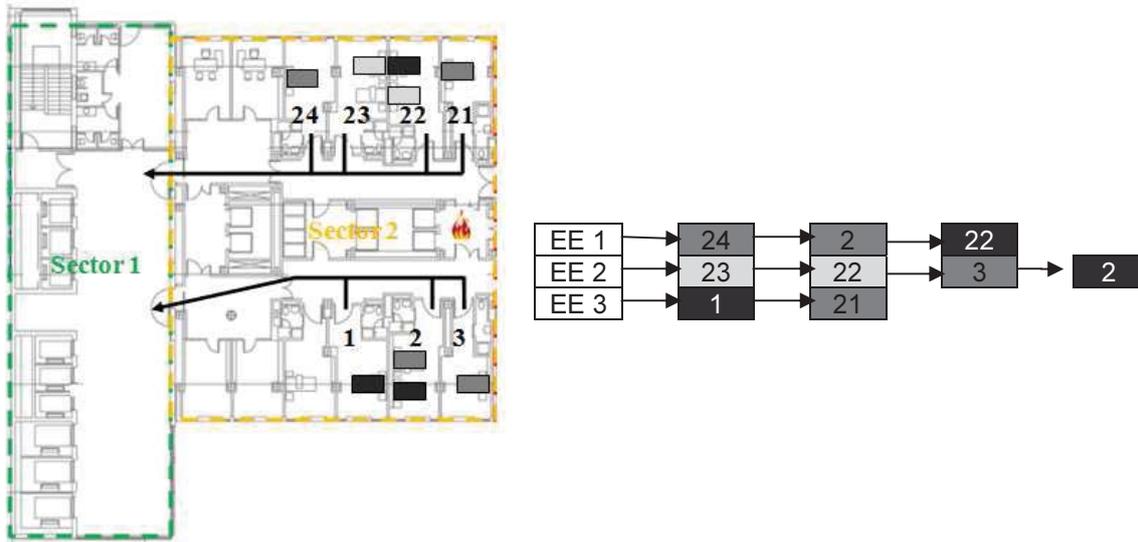


Figura 27. Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 1.2.

Equipo de Evacuación	Nº, tipología y orden de los pacientes evacuados	Tiempo de evacuación (min:s)		
		Mínimo	Medio	Máximo
EE1	PNA 1 – PNA 1 – PNA 2	10:11	16:39	19:57
EE2	PA – PA - PNA 1 – PNA 2	12:49	16:30	20:05
EE3	PNA 2 – PNA 1	5:23	6:49	9:10

Tabla 9. Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 1.2.

Los resultados indicaron que los 3 Equipos de Evacuación emplearon, en la gran mayoría de los casos, menos de 20 min para desalojar a todos los pacientes del Sector 2. En la Figura 28 se muestra el histograma, y la distribución de probabilidad acumulada de los tiempos totales de evacuación.

Características estadísticas	
Media	17 min 41 s
Desv. Est.	1 min 53 s
Máx.	20 min 5 s
Mín.	14 min 27 s
Perc. 95	19 min 55 s

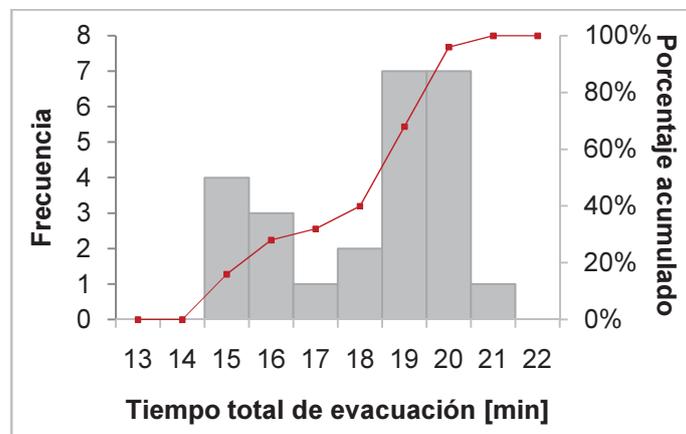


Figura 28. Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 1.2.

El tiempo medio empleado por los 3 Equipos de Evacuación participantes fue de 17 min y 41 s. El percentil 95 fue de 19 min y 55 s. Por lo tanto se puede afirmar que en un 95 % de los casos los tiempos totales de evacuación requeridos para trasladar a los pacientes considerados del Sector 2 al Sector 1 en las condiciones del Escenario 1.2 son menores e iguales a ese tiempo.

4.3. Escenario 2.1.

En el Escenario 2.1 se plantea la necesidad de evacuar a un total de 32 pacientes del Sector 3 hasta el Sector 1 con 7 Equipos de Evacuación, tal y como muestra la Figura 29. En la Tabla 10 se muestran los tiempos medios, mínimos y máximos requeridos por cada uno de los Equipos de Evacuación para evacuar a todos los pacientes ubicados en el Sector 3.

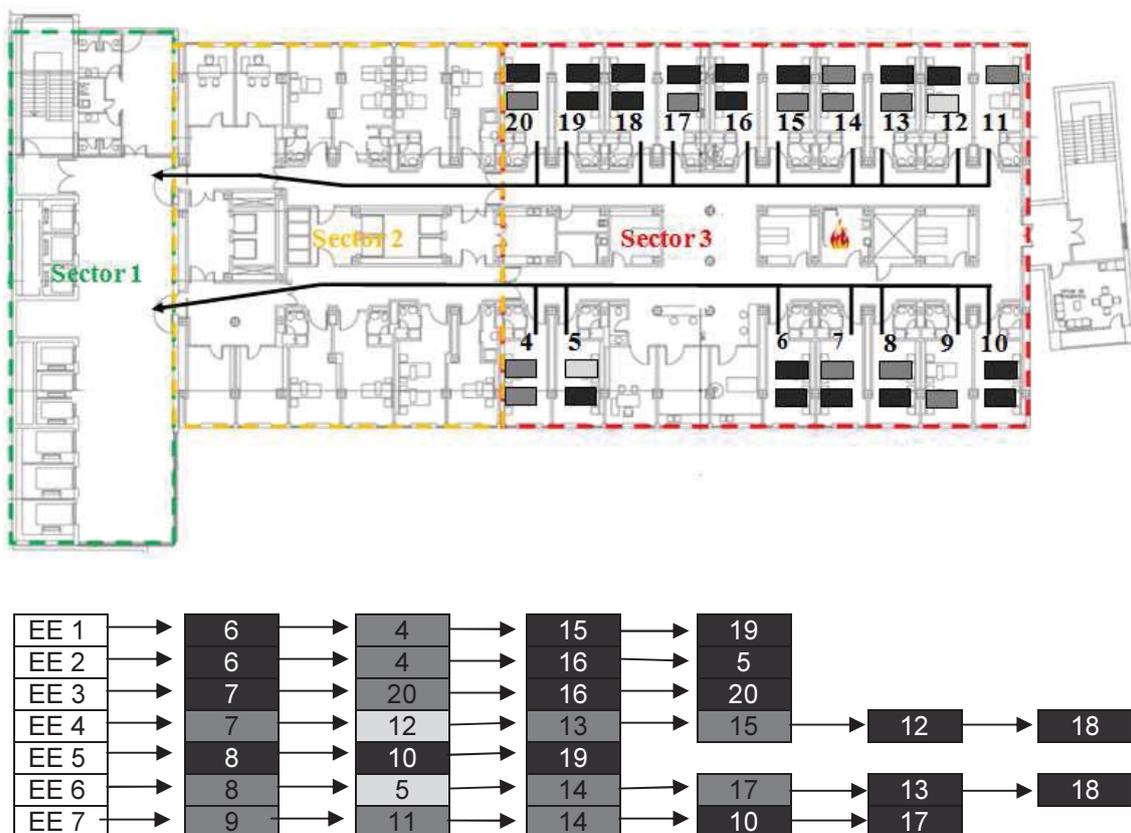


Figura 29. Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 2.1.

Equipo de Evacuación	Nº, tipología y orden de los pacientes evacuados	Tiempo de evacuación (min:s)		
		Mínimo	Medio	Máximo
EE1	PNA 2 – PNA 1 – PNA 2 – PNA 2	32:53	39:18	46:35
EE2	PNA 2 – PNA 1 - PNA 2 – PNA 2	31:16	38:32	45:54
EE3	PNA 2 – PNA 1 - PNA 2 – PNA 2	34:38	38:52	43:56
EE4	PNA 2 – PA – PNA 1 – PNA 2- PNA 2	29:20	35:17	42:57
EE5	PNA 2 – PNA 2- PNA 2	28:18	34:37	39:54
EE6	PNA 2 – PA – PNA 1 – PNA 1 – PNA 2 – PNA 2	33:54	40:01	46:50
EE7	PNA 1 – PNA 1 – PNA 1 – PNA 2 – PNA 2	28:57	36:54	46:44

Tabla 10. Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 2.1.

Los resultados indicaron, en los casos más desfavorables, que los 7 Equipos de Evacuación no superaron los 47 min para desalojar a los 32 pacientes del Sector 3 con tiempos medios que oscilaron entre los 34 y 40 min. La Figura 30 muestra como el tiempo requerido para preparar y trasladar a todos los pacientes hasta el Sector 1 no superó en ningún caso los 46 min y 50 s.

Los resultados obtenidos aportaron un tiempo medio de evacuación de 43 min y 3 s y un percentil 95 de 46 min y 42 s, pudiéndose afirmar que en el 95 % de los casos el tiempo total de evacuación es menor o igual que ese valor.

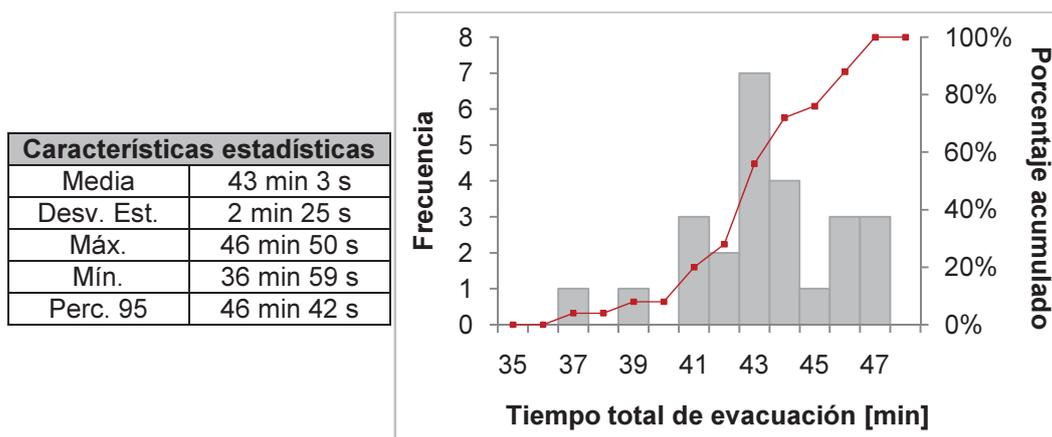


Figura 30. Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 2.1.

4.4. Escenario 2.2.

En la Figura 31 se muestra la estrategia y en la Tabla 11 los tiempos medios, mínimos y máximos obtenidos.



Figura 31. Ubicación de pacientes y estrategia de evacuación adoptada en el Escenario 2.2.

Equipo de Evacuación	Nº, tipología y orden de los pacientes evacuados	Tiempo de evacuación (min:s)		
		Mínimo	Medio	Máximo
EE1	PNA 1 – PNA 2 – PA – PNA 1 – PNA 1 – PNA 1 – PNA1 – PNA 2 – PNA 2 – PNA 2 – PNA 2 – PNA2	1:15:40	1:33:16	1:49:25
EE2	PNA 2 – PNA 2 - PNA 1 - PNA 1 – PNA 2	1:19:29	1:30:36	1:40:16
EE3	PNA 1 – PNA 2 – PA – PNA 1 – PNA 1 – PNA 1 – PNA1 – PNA 2 – PNA 2 – PNA 2 – PNA 2	1:14:34	1:24:24	1:39:41

Tabla 11. Tiempos medios, mínimos y máximos empleados por los Equipos de Evacuación en el Escenario 2.2.

Este escenario representa las condiciones más desfavorables con el menor número de miembros del personal para la evacuación del Sector 3. Los Equipos de Evacuación 1, 2 y 3 tuvieron que encargarse de preparar y trasladar a un total de 12, 9 y 11 pacientes no ambulantes respectivamente. La situación de este escenario plantea las mayores distancias de recorrido desde el Sector 3 al 1. Por esta razón, los tiempos empleados por cada Equipo de Evacuación fueron superiores a una hora.

En la Figura 32 se muestra el histograma y la distribución de probabilidad acumulada de los tiempos totales de evacuación obtenidos en el Escenario 2.2. Los resultados indicaron que en las condiciones planteadas en este escenario los tiempos totales de evacuación son, con un nivel de confianza de 0,95, menores o iguales a 1 h 48 min y 7 s.

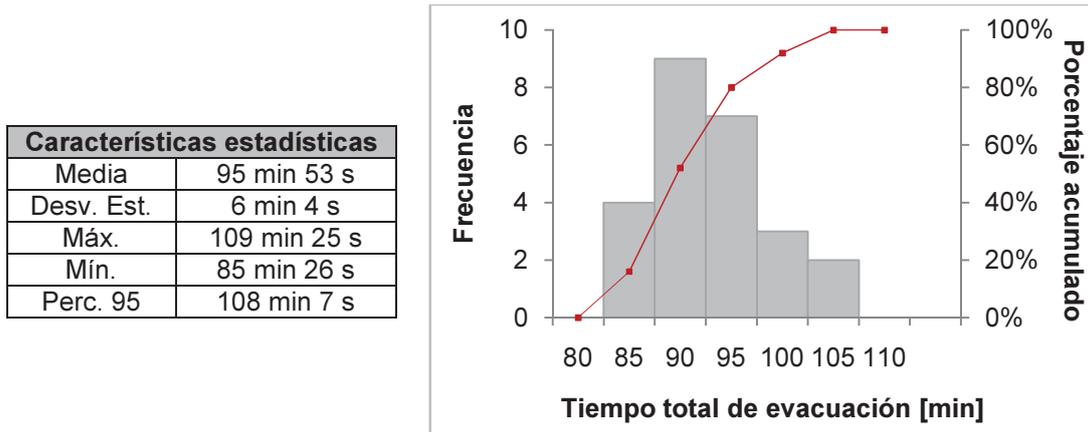


Figura 32. Distribución de los tiempos totales de evacuación del Escenario 2.2.

Capítulo 5. Estudio del proceso de evacuación en un centro de consultas.

1. Introducción.

Este capítulo corresponde con el análisis del proceso de evacuación de un centro de consultas. El edificio tipo considerado consta de 4 plantas o niveles sobre rasante. El edificio dispone de un único acceso principal para el acceso y salida de pacientes y acompañantes, salida S-1, ubicado en el Nivel 0 (ver Figura 33). Al acceder al edificio se encuentra una escalera central (E-3) que comunica todas las plantas y que distribuye a los ocupantes hacia las salas de espera de las distintas especialidades médicas. El edificio tipo tiene un total 18 de salas de espera, 6 en el Nivel 0, 5 en el Nivel 1, 5 en el Nivel 2 y 2 en el Nivel 3.

Además del acceso principal, existen 4 salidas de emergencias directas al exterior en el Nivel 0 (S-2, S-3, S-4 y S-5), distribuidas en los extremos del edificio. Algunos niveles cuentan con unos pasillos que comunican con un edificio adyacente, 5 en el Nivel 0 (P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5), 3 en el Nivel 1 (P-9, P-10 y P-11) y 1 en el Nivel 2 (P-12). Las plantas del edificio se encuentran conectadas mediante 4 escaleras de emergencia (E-1, E-2, E-5 y E-6).

Las anchuras nominales de todos los medios de evacuación cumplen con la normativa vigente [1] y quedan recogidas en la Tabla 12.

Medio de evacuación	Ancho nominal (m)
S-1	5,60
S-2, S-3, S-4, S-5	1,90
P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6, P-12	2,10
P-7, P-9	2,00
P-8, P-10, P-11	1,90
E-1, E-2	1,40
E-3	2,70
E-5	1,95
E-6	2,18

Tabla 12. Ancho nominal de los medios de evacuación en el edificio tipo de consultas.

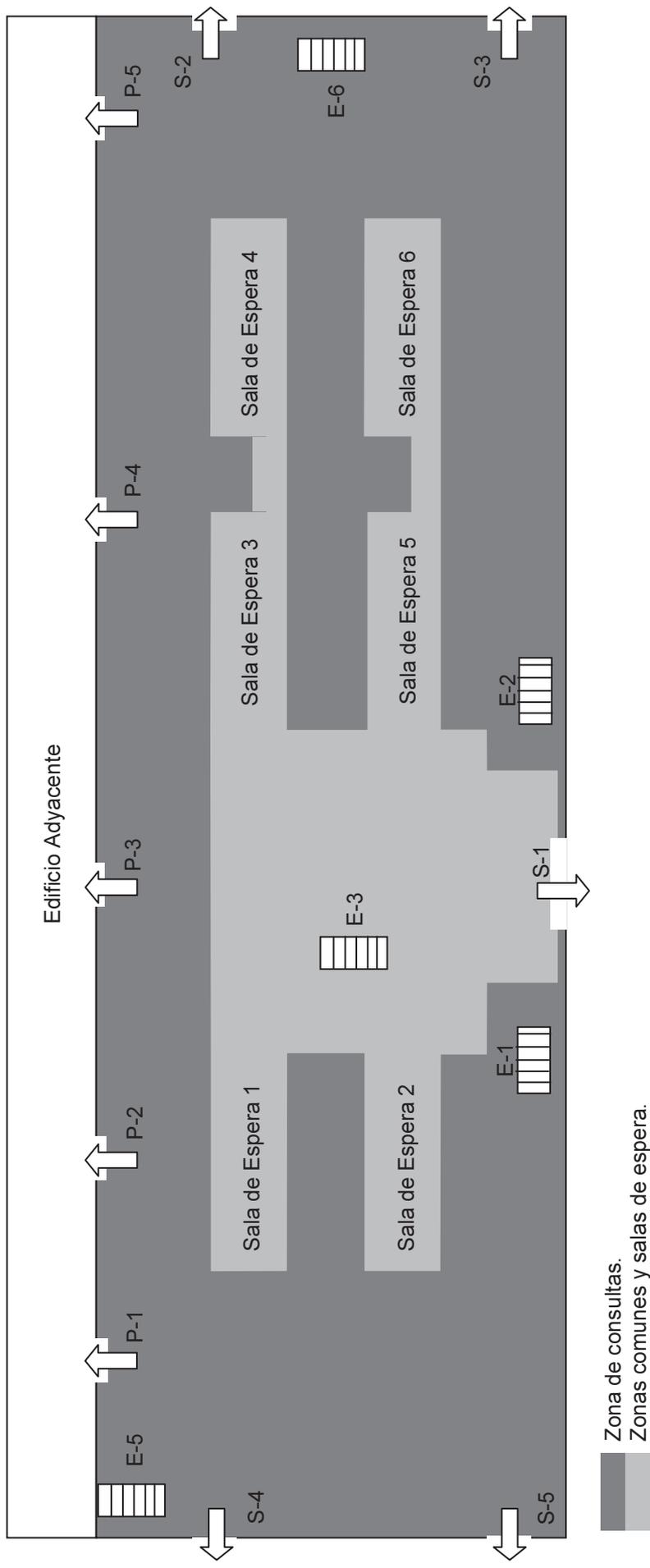


Figura 33. Distribución de áreas y medios de evacuación ubicados en el Nivel 0 del centro de consultas.

En la mayor parte del centro los pacientes son ambulantes, aunque también se distinguen las zonas donde requieren apoyo para su deambulación, bien por apoyo de una persona o un medio de traslado (silla de ruedas o cama). Esto se debe a que cuando el paciente está o acude a consulta puede que se le aplique un tratamiento que limite su capacidad de movimiento. Destacan las siguientes áreas:

- Radiología: Pacientes que requieren apoyo para desplazarse. (Nivel 0)
- Espera de pacientes ambulancia: Paciente que requieren camilla y/o silla.(Nivel 0)
- Hospital de día quirúrgico: Pacientes sedados que requieren camilla porque están hospitalizados.(Nivel 1)
- Litotricia: Pacientes sedados que requieren camilla. (Nivel 1)
- Escopias digestivo: Pacientes sedados que pueden requerir camilla y/o silla de ruedas.(Nivel 1)
- Oncología: Paciente que pueden requerir silla de ruedas. (Nivel 2)
- Unidad del dolor: Pacientes sedados que pueden requerir camilla y/o silla de ruedas. (Nivel 2)
- Hospital de día médico: Pacientes con tratamiento endovenoso que pueden requerir camilla y/o silla de ruedas. (Nivel 2)

Para estas zonas se asume que la mitad de los pacientes tendrán que ser trasladados en silla de ruedas y la otra mitad en cama o camilla. El personal permanece constante a lo largo de todas las horas de funcionamiento de las consultas, salvo algunas donde se reduce levemente en las últimas horas de funcionamiento.

El número de profesionales que se encuentran trabajando durante las primeras horas incluye enfermeros, técnicos, celadores, administrativos y médicos, y están distribuidos por las diferentes zonas del edificio (consultas, admisión, áreas administrativas, áreas de descanso, áreas de admisión, etc.). En caso de producirse una emergencia que requiera la evacuación total del edificio, el personal dirigirá a los pacientes y acompañantes a las salidas, realizando también las tareas de preparación y traslado de pacientes que lo requieran.

La estrategia de evacuación analizada es una evacuación total en la que todos los ocupantes del edificio deben acceder a un espacio exterior seguro, bien por sus propios medios o bien con la ayuda del personal.

2. Construcción del modelo computacional.

De nuevo el modelo empleado para el análisis es el modelo STEPS [71], gracias a su posibilidad de representar los diferentes procesos de evacuación en este caso de estudio (“auto-rescate” y “asistida”). En este caso se asume que existe suficiente personal para preparar y trasladar a los pacientes, tratándose el proceso de evacuación principal del edificio como uno de “auto-rescate”, donde la mayoría de los pacientes y acompañantes se dirigen por sí mismos hacia las salidas, mientras que el resto de pacientes no ambulantes son asistidos por el personal.

2.1. Geometría.

Se procedió inicialmente a implementar las características geométricas de los diferentes espacios contenidos en un centro de consultas. En este proceso las diferentes plantas o niveles del edificio tipo quedaron bajo el dominio computacional que discretiza el espacio mediante un mallado de celdas (0,5 x 0,5 m) a través de las cuales se desplazan los ocupantes. Cada ocupante sólo puede ocupar una celda, y aquellas que entran en contacto con paredes no pueden ser ocupadas.

Posteriormente se definieron las escaleras que comunican los diferentes niveles mediante la creación de planos, definiendo sus entradas y salidas en función de si el uso es descendente o ascendente (Figura 34).

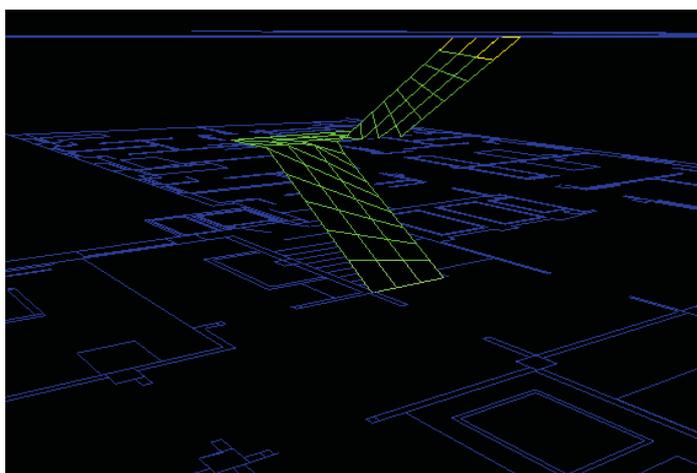


Figura 34. Implementación de una escalera en el modelo STEPS.

Además, se implementaron las salidas del edificio, ubicadas en las diferentes plantas, así como las salidas a través de los pasillos de comunicación. Para todas ellas y las escaleras, se definió su ancho efectivo de acuerdo a los criterios establecidos en el SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [8]. La capacidad de las entradas y salidas en las escaleras y accesos al edificio fue implementada cumpliendo con los datos en la NFPA 130 [72], tomando 0,925 y 1,490 pers/s por m de ancho de paso respectivamente. Para finalizar la implementación de la geometría del edificio tipo en el modelo se construyeron los elementos constructivos y materiales contenidos en el edificio.

2.2. Ocupación.

En la Tabla 13 se muestran los niveles de ocupación considerados para los cuatro niveles del centro de consultas. Las tipologías de pacientes PNA 1 y PNA 2 se encuentran localizadas en las zonas más sensibles descritas anteriormente, mientras que el resto de pacientes ambulantes (PA, PA 1 y PA 2) se encuentran distribuidos en las salas de espera y consultas correspondientes.

Nivel	Personal	Pacientes + Acompañantes	Total
0	146	486	632
1	150	386	536
2	141	583	724
3	27	282	309
Total		1737	2201

Tabla 13. Niveles de ocupación considerados en el edificio tipo de consultas.

Respecto a los tiempos de pre-movimiento para pacientes, acompañantes y personal se consideraron dos tipos en función del sistema de alarma, la preparación del personal y la eficacia del plan de emergencia de acuerdo con la normativa británica PD 7964-6:2004 [5]. En el primer caso, supuesto de que el personal esté perfectamente preparado (pre-movimiento 1) se implementó una distribución de probabilidad normal de media 90 s y desviación 15 s, mientras que para el caso de que el personal no esté tan preparado (pre-movimiento 2) la media fue 120 s y la desviación 20 s.

En los casos donde los pacientes necesitan asistencia del personal para ser trasladados se consideró una distribución de tiempo de pre-movimiento diferente que considerase el tiempo de preparación, siendo para el primer caso (pre-movimiento 1) una distribución normal de media 255 s y desviación estándar de 20 s para los pacientes PNA 1, y una media de 675 s y desviación estándar de 70 s para los pacientes PNA 2. En el supuesto de que el personal no esté tan preparado y el plan de emergencia no sea tan eficaz (pre-movimiento 2) se implementó una distribución normal de media 300 s y desviación estándar de 20 s para los pacientes PNA 1, y de media 720 s y desviación estándar de 70 s para los pacientes PNA 2.

2.3. Escenarios analizados.

Se puede definir escenario de evacuación como el lugar (recinto, establecimiento, dependencia, zona o área) que de forma real o potencial se encuentra afectado por una situación de emergencia y que debe ser abandonado por las personas que lo ocupan. El escenario de evacuación implica el entorno físico y social y las circunstancias que rodean a los ocupantes.

Su diseño, por lo tanto, consiste en la descripción de las características de los ocupantes, el entorno, la dinámica de las posibles situaciones de emergencia e identificar los aspectos clave que afectan las conductas de evacuación y los tiempos necesarios para culminar este proceso.

En este sentido, en las normativas PD 7974-6-6 [5] y la ISO/16738 [73] se proponen unas categorías diferentes de escenarios de evacuación en función de los ocupantes (estado de alerta, familiaridad y densidad de ocupación) y la complejidad del edificio. El escenario objeto de análisis en este caso de aplicación es un centro de salud que puede integrar tanto uso administrativo, de pública concurrencia u hospitalario. Teniendo en cuenta éstas y la caracterización del proceso de evacuación de un edificio de consultas se valoró una emergencia general que requiriese la evacuación total del edificio al exterior. Considerando la incertidumbre en la familiaridad de la ocupación con las salidas, la existencia de áreas restringidas a los pacientes y acompañantes, y el grado de entrenamiento del personal se plantearon 3 escenarios distintos, variando dichos factores, tal y como recoge la Tabla 13.

Escenario	Familiaridad	Áreas restringidas	Entrenamiento del personal
1.1	Total	No	Bueno
2.1	Parcial	No	Bueno
2.2	Parcial	No	Regular
3.1	Parcial	Si	Bueno
3.2	Parcial	Si	Regular

Tabla 14. Resumen de los escenarios de evacuación considerados en un edificio tipo de consultas.

El primer escenario (Escenario 1.1) es una situación ideal en la que la ocupación total del edificio conoce todas las salidas, rigiéndose su movimiento por el criterio de mínimas distancias. Para el segundo escenario (Escenarios 2.1 y 2.2) la ocupación solo está familiarizada con los accesos y salidas habituales, aunque su movimiento en el interior del edificio no se encuentra limitado. Por último, los Escenarios 3.1 y 3.2 representan el proceso de evacuación en caso de que los pacientes y acompañantes que se encuentran en el edificio no estén familiarizados con las salidas de emergencia, y además su movimiento en el interior del edificio se encuentra limitado por las áreas restringidas descritas anteriormente.

Se realizaron un total de 100 simulaciones por escenario a fin de obtener las muestras sobre los tiempos totales de evacuación.

2.4. Estrategia de evacuación.

Se asume que cuando se active el sistema de alarma, parte del personal acudirá a las zonas comunes para dirigir a los pacientes y acompañantes al exterior. El personal que esté trabajando dentro de las consultas conducirá al paciente y su acompañante hacia la salida, mientras que el resto de personal dirigirá a las personas localizadas en las salas de espera hacia las salidas y acudirá a preparar y trasladar a los pacientes dependientes, asumiendo que existe suficiente personal para prepararlos y trasladarlos en un único viaje.

3. Resultados de las simulaciones.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en los diferentes escenarios con el modelo sobre los tiempos totales de evacuación, tiempos de evacuación por plantas y uso de salidas, Además, en el Anexo III se recogen algunos de los resultados extraídos del modelo para las simulaciones llevadas a cabo.

3.1. Tiempos totales de evacuación.

En la Tabla 15 se presentan las características estadísticas de los resultados alcanzados sobre los tiempos de evacuación totales del edificio tipo de consultas en cada uno de los escenarios considerados, obteniendo así unas estimaciones realistas sobre los tiempos en caso de una situación de emergencia. En la Figura 35 se representan gráficamente los tiempos medios de evacuación y el Percentil 95, a fin de contar con un margen de seguridad razonable, pudiendo predecir que, en el 95 % de los casos y en función de los resultados obtenidos en la evacuación total del edificio, requeriría un periodo de tiempo igual o inferior a los valores representados.

Escenario	Distribución Estadística	Media [s]	Desviación Estándar [s]	Percentil 95% [s]
1.1	Normal	1141,98	28,25	1189,00
2.1	Normal	1245,44	35,53	1309,05
2.2	Normal	1280,45	33,50	1336,05
3.1	Estimación	1148,07	24,56	1195,25
3.2	Estimación	1193,49	22,73	1236,00

Tabla 15. Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación.

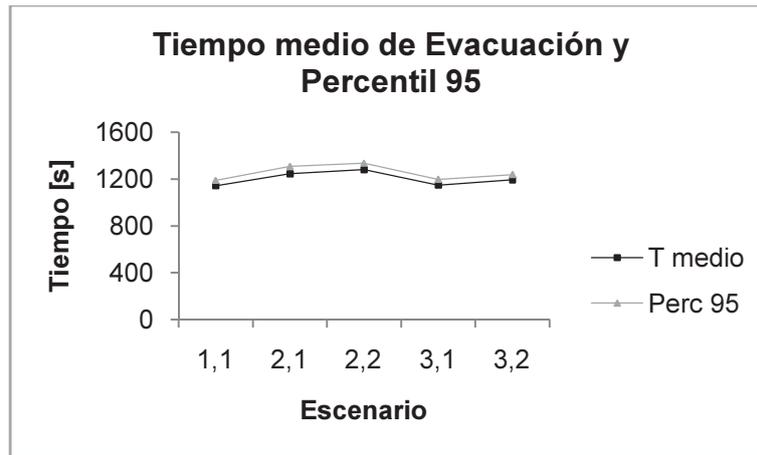


Figura 35. Tiempos medios de evacuación y Percentil 95.

En la Figura 36 se muestra una comparativa del número de ocupantes evacuados frente al tiempo en los diferentes escenarios considerados. Es posible observar cómo las curvas de evacuación siguen la misma trayectoria en los todos los escenarios. Inicialmente se produce un ritmo de evacuación alto, hasta los 480 s aproximadamente, correspondiente al proceso de evacuación de los ocupantes que pudieron abandonar el edificio por sí mismos. Posteriormente, la curva de evacuación se suaviza y el ritmo decrece debido al proceso de traslado de los pacientes no ambulantes.

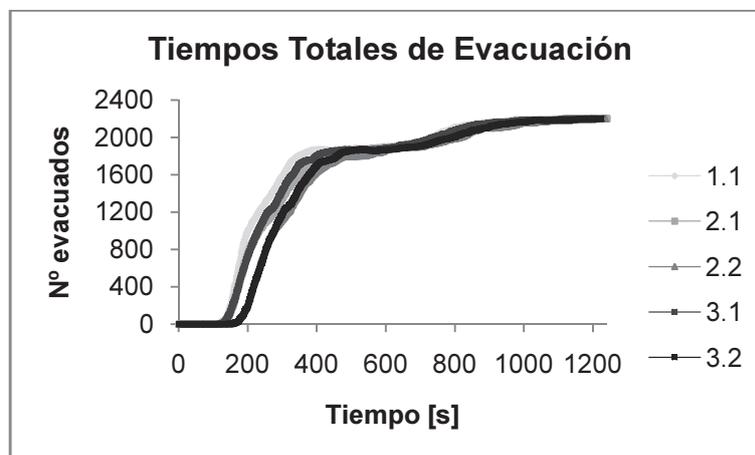


Figura 36. Progreso de evacuación total de los ocupantes.

Esto puede apreciarse claramente en la Tabla 16, en donde se muestra el porcentaje de ocupantes evacuados en tramos de 5 min desde la notificación de la emergencia. Los resultados indican que durante los primeros 5 min el porcentaje de evacuados es muy cercano o superior al 50 % y posteriormente, tras 10 min desde el inicio de la alarma, el porcentaje de ocupantes evacuados es superior al 80 %. A partir de los 15 min más de un 90 % de los ocupantes han accedido a un espacio exterior seguro. El resto de ocupantes que permanecen en el interior se corresponde con pacientes no ambulantes y los miembros del personal encargados de trasladarlos al exterior del edificio.

Minutos desde la alarma	Escenario				
	1.1	2.1	2.2	3.1	3.2
5	67 %	57 %	46 %	60 %	47 %
10	86 %	84 %	82 %	85 %	82 %
15	91 %	92 %	90 %	93 %	91 %

Tabla 16. Porcentaje de ocupantes evacuados en tramos de 5 min desde el inicio de la alarma.

3.2. Tiempos totales de evacuación por plantas.

A continuación se exponen las características estadísticas sobre los tiempos de evacuación para las cuatro plantas del edificio en las simulaciones realizadas para cada uno de los escenarios (ver Tablas 17-20).

Escenario	Distribución Estadística	Media [s]	Desviación Estándar [s]	Percentil 95% [s]
1.1	Normal	1141,98	28,25	1189,00
2.1	Normal	1245,44	35,53	1309,05
2.2	Normal	1280,45	33,50	1336,05
3.1	Estimación	1148,07	24,56	1195,25
3.2	Estimación	1193,49	22,73	1236,00

Tabla 17. Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 0.

Escenario	Distribución Estadística	Media [s]	Desviación Estándar [s]	Percentil 95% [s]
1.1	Normal	1033,76	24,73	1075,05
2.1	Normal	1124,31	32,27	1182,15
2.2	Normal	1162,46	30,40	1213,00
3.1	Normal	1039,71	26,86	1081,05
3.2	Normal	1085,96	23,00	1125,25

Tabla 18. Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 1.

Escenario	Distribución estadística	Media [s]	Desviación Estándar [s]	Percentil 95% [s]
1.1	Normal	947,65	23,01	986,25
2.1	Normal	1017,59	29,31	1072,20
2.2	Normal	1058,29	29,92	1108,10
3.1	Normal	948,14	27,16	991,10
3.2	Estimación	1001,98	41,78	1036,10

Tabla 19. Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 2.

Escenario	Distribución Estadística	Media [s]	Desviación Estándar [s]	Percentil 95% [s]
1.1	Log-Normal	241,71	9,34	258,00
2.1	Normal	306,31	12,57	324,05
2.2	Normal	355,77	14,77	378,05
3.1	Estimación	306,95	17,12	337,05
3.2	Normal	356,66	14,85	383,20

Tabla 20. Características estadísticas de los tiempos totales de evacuación del Nivel 3.

El proceso de evacuación por plantas fue muy similar en todos los escenarios con un rápido proceso de evacuación de la ocupación del edificio durante los próximos 6 minutos y posteriormente un ritmo de evacuación más lento que se corresponde con los pacientes no ambulantes.

Tal y como se muestra en la Figura 37, en el caso del Nivel 1 el ritmo de evacuación fue más lento y paulatino debido al acceso más limitado de ocupantes a las escaleras, ya ocupadas por ocupantes provenientes de los niveles superiores. Por el contrario, el Nivel 3 es el más rápido en evacuar debido a que la ocupación es menor y no se realizan tratamientos que limiten la capacidad de movimiento de los pacientes.

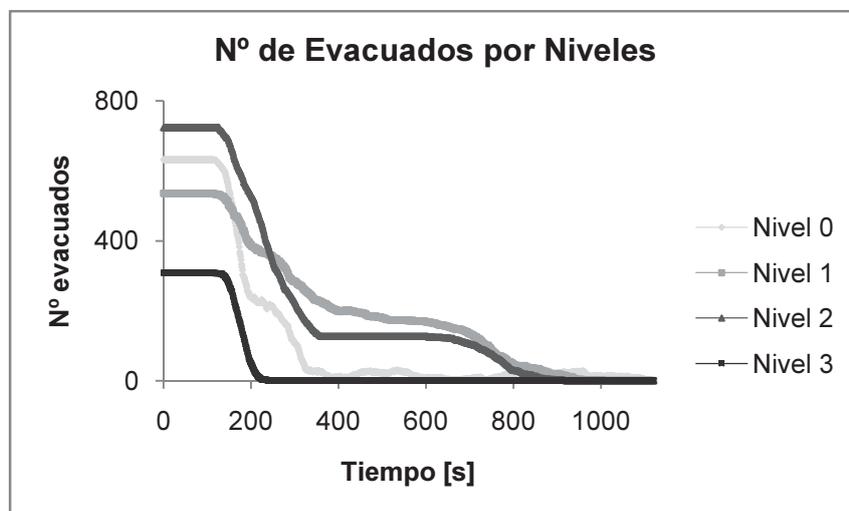


Figura 37. Proceso de evacuación por niveles del edificio para el Escenario 1.1.

3.3. Uso de salidas.

En las simulaciones una vez decretada la emergencia y transcurrido el tiempo de pre-movimiento los ocupantes se dirigen hacia las salidas del edificio. En todos los escenarios considerados la salida más utilizada por parte de pacientes, acompañantes y personal es el acceso principal (S-1).

Sin embargo, el mayor uso de esta salida se produce en los Escenarios 2 y 3, donde los ocupantes tienen una conocimiento parcial del resto de salidas, observando así una disminución en el uso del resto de salidas con respecto al Escenario 1 (ver Tabla 21). Destaca el Escenario 3.1, donde el uso de salidas se aproxima al Escenario 1.1, caso ideal. Esto se debe a que el escenario representa las mejores condiciones y más realistas con respecto el entrenamiento del personal, áreas restringidas y familiaridad con las salidas.

Escenario	Salida													
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-9	P-10	P-11	P-12
1.1	873	41	330	302	27	0	85	170	98	9	42	106	13	104
2.1	1397	22	185	161	15	0	25	105	52	5	23	56	7	147
2.2	1431	22	184	159	15	0	18	112	45	5	23	56	7	123
3.1	1097	48	307	262	44	0	24	108	53	8	59	40	14	137
3.2	1123	44	308	265	44	0	24	111	54	10	56	38	13	110

Tabla 21. Uso total de cada salida para una simulación discreta.

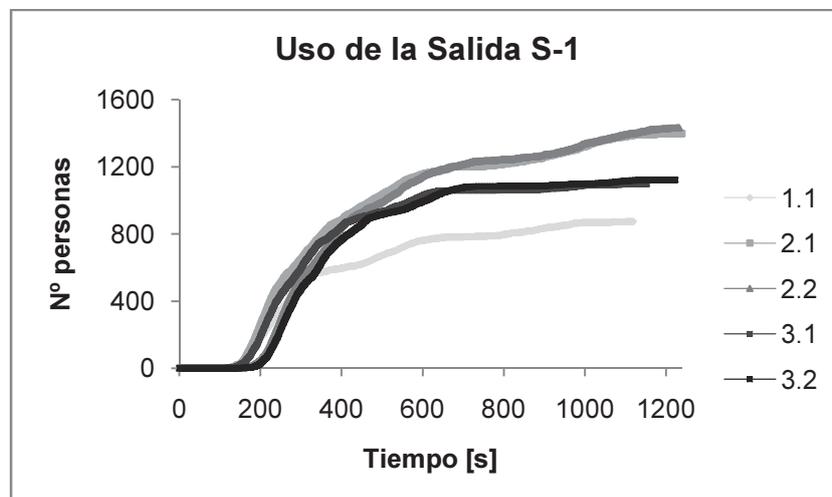


Figura 38. Uso del acceso principal S-1 para una simulación discreta de cada escenario.

La Figura 38 representa el uso del acceso principal para una simulación discreta de cada escenario considerado. A partir de los 180 s (3 min) los ocupantes empiezan a abandonar el edificio por esta salida (S-1) de forma casi lineal hasta aproximadamente los 380 s (5 min y 20 s), donde el flujo de personas a través de la salida se ve ralentizada debido al traslado y evacuación de los pacientes no ambulantes.

Conclusiones.

El marco normativo de Seguridad ha cambiado permitiendo utilizar técnicas más avanzadas – de tipo prestacional – que favorecen la innovación y permiten alcanzar soluciones aceptables a la gestión de la emergencia en entornos singulares, donde las exigencias prescriptivas no son suficientes. Las técnicas de modelado y simulación computacional de evacuación se emplean ampliamente para este tipo de diseño y sus algoritmos y bases fundamentales principalmente se sustentan en un proceso de evacuación de “auto-rescate”, donde los agentes se dirigen hacia las salidas una vez decretada la emergencia.

El proceso de evacuación de un centro hospitalario, sin embargo, se caracteriza por un entorno singular de una evacuación “asistida” de los pacientes y está sometido a una serie de factores e incertidumbres que aunque se intuyen, se desconocen hasta que ésta tiene lugar. La comunidad científica ha trabajado poco en el análisis del proceso de evacuación de este tipo de población que podemos definir como vulnerable, es decir, que no es capaz de afrontar un proceso de evacuación por sí misma en condiciones de Seguridad.

El principal objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster fue abordar este problema identificado sobre el modelado de la conducta humana durante el proceso de evacuación en los centros hospitalarios: la representación de los procesos de evacuación donde personas vulnerables con limitaciones físicas y/o cognitivas que requieren ser dirigidas o directamente trasladadas hacia un espacio seguro en caso de emergencia. Las autoridades y responsables de la Seguridad pueden verse beneficiados por este enfoque en el que se pueden especificar los niveles de confianza con que un escenario puede ser evacuado y establecer los riesgos aceptables.

Después de revisar las bases fundamentales del modelado y simulación computacional de evacuación y caracterizar el proceso de evacuación durante una situación de emergencia dentro de un centro hospitalario se observó inicialmente que no era posible representar/simular estos procesos con dichas herramientas, por lo que se han propuesto métodos para ello, superando estas limitaciones.

A partir de la modificación del modelo de evacuación STEPS en condiciones de movimiento normal, se analizaron dos tipos de escenarios comunes de centros hospitalarios: la evacuación de una planta de hospitalización y la de un centro de consultas.

Se observó que en la planta de hospitalización se producen muchas situaciones y tareas de preparación y traslado de los pacientes más deficitarios, lo que implica procesos de evacuación “asistida”. En este contexto la organización y coordinación de las actividades de los miembros del personal resultan claves para la Seguridad de los pacientes. En el edificio de consultas se produce una situación mixta en la que hay pacientes visitantes que requieren ser guiados y pacientes que directamente requieren una preparación y traslado por parte del personal.

El análisis del proceso de evacuación de una planta tipo de hospitalización en caso de incendio pone de manifiesto su complejidad y la necesidad de una estrategia sólida y ejecución cuidadosa. El principal objetivo consiste en trasladar al máximo número de pacientes a un espacio seguro en el menor tiempo posible. Dentro de esta consigna se perfilan dos estrategias: evacuación horizontal y evacuación vertical.

La primera estrategia consiste en el desalojo del sector foco de incendio a un sector contiguo. El traslado de pacientes se realiza de forma horizontal ocasionándoles las menores molestias posibles. Cuando las condiciones de Seguridad en la planta del hospital son potencialmente críticas y comprometen la Seguridad de los pacientes, se aplica la estrategia de evacuación vertical.

Se han realizado estimaciones sobre los tiempos requeridos para la evacuación horizontal de los pacientes ante diferentes situaciones de incendio y con diferente número de miembros del personal disponibles. Las tipologías de pacientes asumidas fueron las más desfavorables posibles, con un alto porcentaje de pacientes no ambulantes (PNA), dentro de un número realista.

Los resultados han mostrado la diversidad de escenarios y condiciones posibles. Los factores clave detectados han sido la localización del incendio y consecuentemente el número de pacientes a evacuar por sector y el número de miembros del personal disponible. Otro factor clave es el destino de evacuación, que debe contar con suficiente espacio para albergar un gran número de pacientes y con la posibilidad de acceso directo a los medios de evacuación disponibles para acometer una posible evacuación vertical.

La gran diferencia entre el número total de pacientes a evacuar según el sector afectado y la ubicación del destino de evacuación pone de manifiesto el potencial peligro de un incendio en los sectores más alejados. En este caso las distancias que deben recorrer los Equipos de Evacuación para trasladar a los pacientes hasta el destino de evacuación son máximas, y además el número máximo de pacientes a preparar y trasladar por cada Equipo de Evacuación es mínimo en día laborable y turno de mañana, y máximo en día festivo y turno de noche. Esta última situación supone que los tiempos requeridos para la evacuación de los pacientes puedan alcanzar y superar 1 hora, pudiendo quedar comprometida la Seguridad de los últimos pacientes en ser desalojados del sector origen de incendio.

El área de consultas de un centro hospitalario alberga un elevado número de pacientes y visitantes con diferentes grados de dependencia y limitaciones de movimiento para dirigirse a un lugar seguro en caso de incendio. Estos aspectos se han tenido en cuenta en los trabajos de simulación. Los resultados aportaron información sobre el porcentaje total de la ocupación evacuado en determinados intervalos de tiempo. Los datos indicaron que a los 15 min prácticamente el edificio estaba evacuado por más de un 90% de la ocupación inicial.

El problema en este tipo de edificaciones y actividades son los pacientes no ambulantes que deben ser preparados y trasladados para la evacuación y que suponen un incremento en el tiempo requerido para la evacuación. En definitiva, se puede concluir afirmando que, las hipótesis iniciales sobre la conducta de los ocupantes (que sirvieron para determinar los diferentes escenarios de evacuación) basados en el coeficiente de familiaridad y en los diferentes tiempos de pre-movimiento, no tuvieron el impacto esperado.

El mayor impacto para la Seguridad siguió siendo la existencia de pacientes no ambulantes que requirieron ser preparados y trasladados por los miembros del personal. Una interpretación adecuada de estos procesos permite afrontar las incertidumbres sobre el proceso de evacuación en este tipo de actividad para una adecuada implementación de las variables relevantes en las herramientas de modelado y simulación computacional de evacuación.

El uso de estas herramientas avanzadas, permiten mejorar la eficacia operativa real de los planes de autoprotección y de las acciones del personal del centro hospitalario durante la intervención, así como revisar las soluciones previstas del plan y facilitar el adiestramiento del personal. Estas herramientas permiten

- 1) analizar diferentes situaciones de emergencia y estrategias de evacuación,
- 2) realizar estimaciones realistas sobre el resultado de diferentes procedimientos aplicados, y
- 3) plantear mejoras que aseguren la eficacia de las acciones del personal durante la intervención y verificar su viabilidad.

A pesar de los avances presentados sin precedentes en el campo del modelado y simulación computacional de evacuación, queda mucho por hacer. En primer lugar, es necesario contar con más y mejores datos sobre los procesos implicados en las tareas de preparación y traslado de pacientes. En segundo lugar, los modelos de evacuación actuales presentan limitaciones siendo necesario el desarrollo de modelos específicos capaces de representar los procesos relevantes implicados en la evacuación.

Referencias

- [1] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el *Código Técnico de la Edificación – Documento Básico Seguridad en caso de Incendio. Anejo A: Terminología*.
- [2] 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*. BOE núm. 72 de 24 de marzo de 2007.
- [3] Tavares, R. M., “*Evacuation processes versus evacuation models: “Quo Vadimus?”*”, Fire Technology, Vol 45, Nº 4, pp 419-430, (2008).
- [4] NFPA 101 *Código para la Seguridad de la Vida Humana contra Incendios en Edificios y Estructuras*. (2009).
- [5] PD 7974-6:2004. “*The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition*.”, British Standards Institute, London, 2004.
- [6] UNE-EN 1125:2009. *Herrajes para la edificación. Dispositivos antipánico para salidas de emergencia accionadas por barra horizontal. Requisitos y métodos de ensayo*.
- [7] UNE 23034:1988. *Seguridad contra incendios. Señalización de seguridad. Vías de evacuación*.
- [8] Nelson, H. E. and Mowrer, F. W. “*SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter: Emergency Movement*”, Third Edition, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, USA, 2002.
- [9] Chow, W.K., “*Waiting time for evacuation in crowded areas*”, Building and Environment Journal, Vol.42, Nº 10, pp. 3757-3761, (2007).
- [10] Chow WK, Li J. “*Possibility of using a time constant in fire codes for smoke management in atria*”. Journal of Fire Sciences; Vol 18 Nº 2, pp 130–50, (2000).
- [11] Chow WK, Wong LT., “*Thermal environment design of atria in the Hong Kong Special Administrative Region: a survey study*”, Architectural Science Review, Vol 42, Nº 4, pp 235-251 (1999).

- [12] Herman, J.F., Norton, L.M., Klein, C., “*Childrens distance estimates in a large-scale environment*”, Environment and Behaviour, Vol 18, pp 533-558. (1986).
- [13] Moeser, S.D., “*Cognitive mapping in a complex building*”, Environment and Behaviour, Vol 20, pp 21-49 (1988).
- [14] Marchand, B., “*Pedestrian traffic planning and the perception of the urban environment*”, Environment and Planning A, Vol 6(5), pp 491-507, (1974).
- [15] Lo, S.M., Huang, H.C., Wang, P., Yuen, K.K. “*A game theory based exit selection model for evacuation*”, Fire Safety Journal, Vol 41, pp 364-369, (2006).
- [16] Lovas, G., “*Models of wayfinding in emergency evacuations*”. European Journal of Operational Research, Vol 105, pp 371-389 (1998).
- [17] Bryan, J.L., “*Smoke as a Determinant of Human Behavior in Fire Situation*”, University of Maryland, College Park, (1977).
- [18] Wood, P.G., “*Survey of behavior in fires*”, in: D. Canter (Ed.), Fires and Human Behavior, Wiley, UK, pp. 83–95, (1980).
- [19] Jin, T., “*Visibility through fire smoke*”, J. Fire Flammability, Vol 9, pp 135–155, (1978).
- [20] Jin, T, Yamada, T., “*Experimental study of human behavior in smoke filled corridors*”, in: T. Wakamatsu, Y. Hasemi, A. Sekizawa, P. Seeger, P. Pagni, C. Grant (Eds.), Proceedings of the Second International Symposium on Fire Safety Science, Tokyo, Japan, pp. 511–520, (1989).
- [21] Kady, R., & Davis, J. “*The effect of occupant characteristics on crawling speed in evacuation*”. Fire Safety Journal, Vol 44, pp 451-457, (2009).
- [22] Muhdi, R., Davis, J., Blackburn, T., “*Improving occupant characteristics in performance-based evacuation modeling*”, in: Proceedings of the HFES 50th Annual Meeting, San Francisco, CA, ,pp. 1199–2003, (2006).
- [23] Nagai, R., Fukamachi, M., Nagatani, T. “*Evacuation of crawlers and walkers from corridor through an exit*”, Physica A, Vol 367, pp 449–460 (2006).
- [24] Nagai, R., Fukamachi, M., Nagatani, T., “*Experiment and simulation for counter-flow of people going on all four*”, Physica A, Vol 358, pp 516–528, (2005).
- [25] Gwynne, S., Galea, E.R., Owen, M., Lawrence, P.J., & Filippidis, L., “*A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment*”, Building and Environment, Vol 34, pp 741-749 (1999).

- [26] Kuligowski, E., “*Review of 28 egress models*”. Proceedings of Building Occupational Movement during Fire Emergencies Workshop, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory: Gaithersburg, MD NIST Special Publication 1032, pp 68-90, (2004).
- [27] Santos, G. & Aguirre, B. “*A critical review of emergency evacuation simulation models*”. Proceedings of Building Occupational Movement during Fire Emergencies Workshop, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory: Gaithersburg, MD. NIST Special Publication 1032, pp 27-52, (2004).
- [28] Fahy, R., “*Avaliable data and input into models*”. Proceedings of Building Occupational Movement during Fire Emergencies Workshop, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory: Gaithersburg, MD NIST Special Publication 1032, pp 62-67, (2004).
- [29] Jin, Y., “*Studies on human behavior and tenability in fire smoke*”, Fire Safety Science- Proceedings of the Fifth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, pp 3-21. (1997).
- [30] Best, R., “*The Beverly Hills Supper Club Fire*”, National Fire Protection Association, Boston, MA. (1977).
- [31] Fahy, R. & Proulx, G., “*A study of occupant behavior during the World Trade Center evacuation*”. Conference Proceedings of the Seventh International Interflam Conference, Interscience Communications Ltd, pp 793-802, (1996).
- [32] Galea, E. & Gwynne, S. “*Principles and Practices of Evacuation Modeling*” (6th edn London, UK: CMS Press), pp 9. (2005).
- [33] Galea ER, “*Validation of evacuation models*”. Paper No. 97/IM/22. CMS Press, University of Greenwich, Greenwich.
- [34] Averill, J. D., Reneke, P and Peacock, D. “*Required Safe Egress Time: Data and Modeling*”. 7th International Conference on Performance-Based and Fire Safety Design Methods, National Institute of Standards and Technology (NIST), pp 301-311 (2008).
- [35] Taaffe, K. M., Kohl, R., Kimbler, D.L. “*Hospital evacuation: issues and complexities*”. Proceedings of the 37th conference on Winter simulation (2005).
- [36] Sternberg, E., “*Planning for Resilience in Hospital Internal Disaster*”, Prehospital Disaster Medicine. Vol 18 (4), pp 291-300 (2003).

- [37] Sánchez-Palacios, M., Torrent, R. L., Santana-Cabrera, L., Martín García, J.A., Campos, S.G., Carrasco de Miguel, V. “*Plan de evacuación de la unidad de cuidados intensivos: ¿un nuevo indicador de calidad?*”. *Medicina Intensiva*, Vol 34, pp 198-202 (2009).
- [38] Schultz, C. H., Koenig, K. L., Auf der Heide, E.: “*Benchmarking for hospital evacuation: A critical data collection tool*”. *Prehospital Disaster Medicine*. Vol20(5), pp 331–342 (2005).
- [39] Taaffe, K., M. Johnson, M. and Steinmann, D., “*Improving hospital evacuation planning using simulation*”. In *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, eds. L.F. Perrone, F.P. Wieland, J. Liu, B.G. Lawson, D.M. Nicol, and R.M. Fujimoto, pp 509–515 (2006).
- [40] Golmohammadi, D. and Shimshak, D., “*Estimation of the evacuation time in an emergency situation in hospitals*”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol 61, pp 1256-1267, (2011).
- [41] Levin, B.M., “*EXITT-A Simulation Model of Occupant Decisions and Actions in Residential Fires*”, *Proceedings of the Second International Symposium on Fire Safety Science*, pp 561-570, Tokio, Japan, (1989).
- [42] Johnson, C.W. “*Using Computer Simulations to Support A Risk-Based Approach For Hospital Evacuation*”, Technical Report, University of Glasgow (2005).
- [43] Pan American Health Organisation. “*Do we evacuate our hospitals prematurely?*” *Disasters: Preparedness and Mitigation* Vol. 85 (2001). Available at <http://www.paho.org/Project.asp>
- [44] Joint Commission on the Accreditation of Healthcare Organizations: *Accreditation Manual for Hospitals*, Oak Brook Terrace, III, 2005, Joint Commission.
- [45] Bagaria, J., Heggie, C., Abrahams, J., Murray, V., “*Evacuation and Sheltering of Hospitals in Emergencies: A Review of International Experience*”, *Prehospital Disaster Medicine*, Vol. 24(5), pp 461-467 (2009).
- [46] Sternberg, E., Lee, G. C., Huard, D., “*Counting crises: US hospital evacuations, 1971-1999*”. *Prehospital Disaster Medicine*, Vol. 19, pp. 150-157 (2004).
- [47] Klein, K. R., Rosenthal, M. S., Klausner, H. A. “*Blackout 2003: Preparedness and Lessons learned from the Perspectives of Four Hospitals*”. *Prehospital Disaster Medicine*, Vol. 20(5), pp. 343-349 (2005).

- [48] World Health Organization, Pan American Health Organization, International Strategy for Disaster Reduction and World Bank. *“Hospitals safe from disasters: Reduce Risk, Protect Health Facilities, Save Lives”*. 2008-2009 World Disaster reduction Campaign.
- [49] Pan American Health Organisation. *“Should a hospital be evacuated? Hospitals in disaster: Handle with Care Conference”*. San Salvador 8-10 July 2003 (Discussion guide). Available at http://www.disaster-info.net/hospital_disaster/background.htm. Accessed April 2009.
- [50] González Guerrero, J. L. *“Sistemas de clasificación de pacientes”*. Revista Española de Geriatria y Gerontología. Vol. 35(5), pp. 254-256 (2000).
- [51] Fetter, P. B., Shin, Y., Freeman, J. L., Averill, R. F., Thompson, J. D. *“Case Mix Definition by Diagnosis-Related Groups”*. Medicine Care, Vol. 18(Supl) pp. 1-53 (1980).
- [52] Averill, R. F., Mullin, R. I., Steinbeck, B. A., Elia, E. D., Anderman, S., Ray, K., Barnet, R. *“AP-DRGs definition manual”*. Connecticut: 3M editores; (1993).
- [53] Gonella, J. S., Hornbrook, M. C., Louis, D. Z. *“Staging of disease: a Case Mix measurement”*. JAMA, Vol. 251 pp. 637-644 (1984).
- [54] Young, W., Kohler, S., Kowalski, J. *“PMC patient severity scale: derivation and validation”*. Health Serv Res, Vol. 29 pp. 367-390 (1994).
- [55] Auf der Heide, E. *“Disaster Response: Principles of Preparation and Coordination”*. St. Louis, MO: CV Mosby, pp 34-35 (1989).
- [56] Morales, N., *“Plan Hospitalario para Desastres”*. Lima (Perú): OGDN, (2000).
- [57] PAHO-OPS/OMS. *“Hospitales Seguros: Una Responsabilidad Colectiva”*, New Zeland (2005). Disponible en: www.helid.desastres.net.
- [58] Meca, A. *“Organización del hospital en emergencias internas”*. Seguridad en un hospital: Manual de Seguridad. ISBN 9788490040874. Ed. Tirant lo Blanch (2011).
- [59] Staines, R. *“Patients evacuated following mental health unit fire”*. Available at www.nursingtimes.net/whats-new-in-nursing/patients-evacuated-following-mental-health-unit-fire/1898709.article
- [60] Crichton, M., Flin, R. *“Training for emergency management: Tactical decision games”*. Journal of Hazardous Materials, Vol. 88 (2-3) pp. 255-266 (2001).

- [61] Jon, R. Gildea and Stuart Etengoff, “*Vertical Evacuation Simulation of Critically Ill Patients in a Hospital*”. Prehospital and Disaster Medicine, Vol. 20 pp. 243-248 (2005).
- [62] Society of Critical Care Medicine Ethics Committee. “*Consensus statement on the triage of the critically ill patients*”. JAMA. Vol. 271 pp. 1200-1203 (1994).
- [63] “*Hospital Evacuation Protocol*”. New York Center for Terrorism Preparedness and Planning, March (2006).
- [64] Carey, M. G.. “*Smoked out: Emergency evacuation of an ICU*”. Amj Nurs, Vol. 107 pp. 54-57 (2007).
- [65] Cybulski, P. “*Evacuation of a critical care unit*”. Dynamics, Vol. 14 pp. 21-23 (2003).
- [66] Manion, P, Golden, I.J. “*Vertical evacuation drill of an intensive care unit: Design, implementation, and evaluation*”. Disaster Mangement Response, Vol. 2 pp. 14-19 (2004).
- [67] Schultz, R., Pouletsos, C., Combs, A. “*Considerations for emergencies & disasters in the neonatal intensive care unit*”. MCN Am J Matern Child Nurs, Vol. 33 pp. 204-210 quiz 211-212 (2008).
- [68] Fruin J. J., “*Service Pedestrian Planning and Design*”, MAUDEP, Elevator World Educational Services Division, Mobile, Alabama, 1971, reprinted 1987.
- [69] MSC Circ. 1248, Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships International Maritime Organization, 2002.
- [70] Gwynne, S. “*The collection and Analysis of Pre-evacuation times derived from evacuation trials and their application to evacuation modeling*”, Fire Technology, Vol. 39, N° 2, pp. 173-195, (2003).
- [71] *STEPS Simulation of Transient and Pedestrian movements*: User Manual, unpublished, available with egress model from Mott MacDonald.
- [72] NFA 130 “*Standard for Fixed Guideway Transit Systems and Passenger Rail Systems*”. National Fire Protection Association (2007).
- [73] ISO/TR 16738: 2009 “*Fire-safety Engineering- Technical Information on Methods for Evaluating Behaviour and Movement of People*”, Switzeland (2009).

Anexo I. Recopilación de información sobre incendios en centros hospitalarios.

Para todos los incendios recopilados en este anexo y registrados en centros hospitalarios nacionales e internacionales durante la última década el 52% son consecuencia de un cortocircuito eléctrico en alguna de sus instalaciones, el 25% son provocados intencionadamente o no por el personal o pacientes y los restantes se originan por obras de mantenimiento o rehabilitación y por accidentes en las cocinas.

La mayoría de las víctimas mortales se corresponden con los siniestros provocados por los propios pacientes en su habitación y pertenecientes al área de psiquiatría. Además, aunque está prohibido fumar en muchos casos el personal encuentra lugares escondidos, causando incendios por colillas mal apagadas.

Las horas en las que tuvieron lugar los incendios no predominan en ninguno de los turnos de trabajo. También se confirma la aleatoriedad de la ubicación del foco de incendio pudiendo resultar afectados todo tipo de pacientes, desde niños recién nacidos en incubadoras hasta pacientes críticos en los quirófanos o en la unidad de cuidados intensivos.

Los colchones de las habitaciones y los materiales de las radiografías (archivos) presentan una elevada carga de combustible y el humo generado es muy tóxico. En la mayoría de los siniestros el fuego queda confinado en el lugar de origen, aunque el humo se propaga rápidamente hacia los sectores colindantes y el resto del edificio a través de los conductos de ventilación. Este humo en ocasiones se propaga a los medios de evacuación (salidas y escaleras) limitando el traslado de los pacientes.

En todos los siniestros prima la evacuación parcial y horizontal de los pacientes ubicados en las inmediaciones del incendio y los expuestos a los efectos del humo, adoptando también medidas de confinamiento para minimizar la entrada de humo (cierre de la ventilación y sellado de puertas y ventanas).

En caso de continuar el riesgo el personal sanitario procede a la evacuación horizontal y vertical de todos los pacientes a un lugar seguro, que en muchos casos, casi el 45%, significa abandonar el edificio.

Algunas de las ventanas del centro hospitalario no están disponibles para los pacientes (atornilladas o cerraduras), como en el área de psiquiatría, lo cual en caso de incendio supone un riesgo al impedir la entrada de aire limpio y dificultar la evacuación, salvo que el personal la abra o alguien la rompa. Además, en algunos de los incendios se produce el corte del suministro eléctrico y de los medios de comunicación, requiriendo medios alternativos para resolver la situación y trasladar a los pacientes (linternas, móviles, etc.).

El máximo responsable, normalmente el gerente del centro hospitalario, activa el Plan de Emergencias y declara la situación de crisis, adoptando inmediatamente las medidas y protocolos de seguridad previstos en el Plan. La demora en la toma de decisión en la activación del Plan pone en riesgo la Seguridad de los pacientes y el personal, y además causa un desconcierto e incertidumbre ante las actuaciones a realizar. También se observa como los Planes de Emergencia no contemplan con exactitud las actuaciones durante el proceso de evacuación dejando a merced del personal clínico del paciente la decisión de los equipos que es necesario mantener y los riesgos que se deben asumir en las zonas más vulnerables como la unidad de cuidados intensivos o los quirófanos.

Los incendios acontecidos en centros hospitalarios de países en vías de desarrollo ponen de manifiesto las deficiencias en los sistemas de protección contra incendios (alarma y detección de incendio, medios de extinción, etc.) y los medios de evacuación (salidas de emergencia bloqueadas, número insuficiente de salidas, medios auxiliares para traslado de pacientes, etc.), llegando a incumplir en algunos casos la normativa. Igualmente se identifica una falta de formación del personal en la toma de decisión y las tareas de preparación y traslado de pacientes. Por el contrario, en lugares como Londres destaca la presencia de camillas debajo de cada cama del centro para facilitar la evacuación de los pacientes no ambulantes.

Tabla 22. Incendios ocurridos en centros hospitalarios nacionales.

Hospital	Fecha	Causa y foco	Evacuación	Heridos	Tiempos
1. Hospital de Mérida (Mérida)	Noviembre 2002	Cortocircuito en ordenador de archivo de Planta Sótano (junto a Urgencias)	Evacuación al exterior de Urgencias (4 pacientes) y evacuación horizontal del ala sobre archivo de las 4 plantas superiores(150 pacientes)	No se producen heridos aunque 4 pacientes que estaban en Urgencias son trasladados en helicóptero a otro hospital	Los bomberos tardan 10 h en extinguir el fuego y tienen dificultades para acceder por el humo producido
2. Hospital Psiquiátrico de Mérida (Mérida)	Diciembre 2003	Presuntamente provocado en un almacén de archivos	No se requiere evacuación de pacientes	No se producen heridos	Los bomberos tardan casi 2 h en sofocar las llamas
3. Complejo Hospitalario de Pontevedra (Pontevedra)	Mayo 2004	El incendio de una nave alcanza otra donde se almacena archivos de pacientes	No se requiere evacuación de pacientes porque no los hay	No se producen heridos	La nave termina completamente calcinada
4. Hospital La Fe (Valencia)	Enero 2005	Cortocircuito en aire acondicionado de archivo	No se requiere evacuación de pacientes porque están separados	No se producen heridos	
5. Hospital Central (Alicante)	Abril 2006	Cortocircuito en hornos de la cafetería de planta baja	Evacuados todas las personas de esta planta, impidiendo el acceso a las personas que llegan	No se producen heridos	El humo se propaga a través de los conductos hasta la 7ª Planta y los bomberos tardan 3 h en extinguir y sobre todo ventilar las plantas
6. Hospital Central de Asturias (Oviedo)	Octubre 2006	Incendio en sala de consultas externas	No se requiere evacuación de pacientes	No se producen heridos	Cuando llegan los bomberos el fuego está extinguido pero hay mucha acumulación de humo
7. Hospital de Jerez de La Frontera (Cádiz)	Diciembre 2006	Incendio en las freidoras de la cocina	No se requiere evacuación de pacientes	No se producen heridos	Fuego extinguido por el personal

8. Hospital Psiquiátrico de Mérida (Mérida)	Diciembre 2006	Incendio provocado en un almacén por una persona para forzar su internamiento	No se requiere evacuación de pacientes porque el pabellón está separado	No se producen heridas	
9. Miguel Servet (Zaragoza)	Enero 2007	Obras de ampliación en el exterior del edificio	Evacuación horizontal de plantas 7, 8 y 9	No se producen heridas	Se decreta alarma general y en 30 min el incendio es extinguido por los bomberos
10. Hospital Rafael Méndez (Murcia)	Enero 2007	Incendio en freidora de cocina de personal ubicada debajo de la Planta Baja	Evacuación de la cafetería y algunas dependencias próximas	No es necesaria la evacuación porque el fuego queda controlado en esa zona	El personal intenta extinguir el fuego, aunque son los bomberos quienes lo extinguen y ventilan
11. Hospital de Jerez de La Frontera (Cádiz)	Febrero 2007	Incendio en un aparato del laboratorio de la Planta Baja que propaga el humo a través de conductos y huecos	Evacuación horizontal y al exterior de las 3 primeras plantas y la mitad de la cuarta (270 personas entre pacientes y personal)	No se producen heridas	3 horas tardan los bomberos en extinguir y ventilar, siendo la planta baja más afectada
12. Val D'Hebron (Barcelona)	Septiembre 2007	Fuga de gasoil en generadores	Evacuación horizontal y vertical de la cuarta planta a otras dependencias (150 pacientes)	No se producen heridas entre los pacientes y dos bomberos heridos leves por golpes	El incendio es sofocado en tres horas por los bomberos y sin suministro eléctrico durante más de 12 h
13. Can Ruti (Badalona)	Diciembre 2007	Coilla mal apagada en sótano	Evacuación horizontal y vertical a exterior y azotea (200 pacientes)	No se producen heridas	40 min para controlar el fuego y 5 h para extinguirlo
14. Marqués de Valdecilla (Santander)	Febrero 2008	Cortocircuito en sótano	Evacuación horizontal (40 pacientes)	No se producen heridas	Incendio sofocado por los bomberos
15. Son Llàtzer (Mallorca)	Junio 2008	Cortocircuito en cuartaplanta	Evacuación horizontal y vertical de 60 pacientes	Ningún paciente herido, pero responsable de mantenimiento y una auxiliar intoxicación leve	2 h y 30 min después de declararse el incendio los pacientes vuelven a las habitaciones

16. Virgen del Rocío (Sevilla)	Octubre 2008	Provocado por paciente de psiquiatría en la habitación	47 pacientes evacuados al exterior	1 paciente muerto (el autor) y un policía herido leve (intoxicación)	Los bomberos llegan en 10 min tras el aviso
17. Val D'Hebron (Barcelona)	Febrero 2009	Soldadura en obras de mantenimiento en el 2º sótano	Evacuación del servicio de Urgencias y traslado de pacientes a zonas aisladas del humo	No se producen heridos entre los pacientes	Los bomberos tardan 45 min en apagarlo
18. Hospital de Cabueñes (Gijón)	Febrero 2009	Un paciente se queda dormido mientras fuma en una habitación doble	Evacuación de toda la planta	1 herido grave por quemaduras (el compañero de habitación)	El fuego es apagado por el personal pero hay que ventilar toda la planta
19. General de L'Hospitalet (Llobregat)	Febrero 2009	Provocado por paciente en habitación de 3ª planta	Evacuación horizontal de 30 pacientes en 3ª planta y 24 en 4ª planta	1 paciente herido grave (el autor del incendio)	
20. Son Llatzer (Mallorca)	Marzo 2009	Cortocircuito en un monitor de hemodiálisis de una habitación de la 3ª planta	Evacuación a otra planta de las habitaciones cercanas (10 pacientes)	2 heridos leves por inhalación de humo	Los bomberos tardan casi una hora en extinguir y ventilar
21. Rafael Méndez en Lorca (Murcia)	Marzo 2009	Paciente en habitación de Medicina Interna de la segunda planta	Evacuación horizontal y vertical para desalojar la segunda planta (20 habitaciones y 41 pacientes)	11 personas intoxicadas, dos de ellas enfermeros	2ª planta evacuada en 10 min y detectado el incendio se activan inmediatamente los planes de emergencia internos y externos
22. Hospital Clínico Virgen de la Victoria (Málaga)	Marzo 2009	Incendio iniciado en sábana de habitación de Unidad de Agudos de Psiquiatría	28 pacientes de esa planta y personal trasladados a otra estancia de la misma	2 personas heridas levemente por intoxicación	Los bomberos tardan 1 h en extinguir y ventilar la planta afectada
23. Hospital Civil (Ceuta)	Marzo 2009	Cortocircuito en el área de Laboratorios de la planta principal	No se evacua ningún paciente	No se producen heridos	Incendio rápidamente extinguido por el Servicio de Vigilancia y Seguridad una vez detectado

24. Hospital Aita Menni de Arrasate (Mondragón, Guipúzcoa)	Abril 2009	Iniciado en la lavandería después de terminar la jornada laboral	Evacuados una parte de los pacientes próximos a la lavandería a lugares seguros	No se producen heridas	El fuego es extinguido por el personal, y los bomberos 1 h después terminan de ventilar
25. Hospital General (Alicante)	Mayo 2009	Incendio iniciado en el cuarto de basuras	No es necesaria la evacuación de pacientes	Nadie resulta herido	El fuego es sofocado por el personal, mientras que los bomberos solo ventilan
26. General de L'Hospitalet (Llobregat)	Junio 2009	Cortocircuito en primera planta	Evacuación horizontal y vertical de 150 pacientes en las plantas 2ª, 3ª y 5ª. Confinamiento de pacientes graves en 4ª planta. Evacuación a exterior de 30 pacientes	Ningún paciente muerto y tres heridos leves por inhalación de humo y cortes de personal sanitario y policía local	Tiempo transcurrido durante la evacuación de 15 min
27. Hospital Psiquiátrico de Mérida (Mérida)	Junio 2009	2 incendios provocados en habitaciones de pacientes con una diferencia de 8 h	El 1º requiere el traslado sólo de los pacientes cercanos (15 pacientes), mientras el 2º los pacientes de toda la ala (42 pacientes)	En el 1º resulta herido por quemaduras el autor del incendio, mientras que en el 2º nadie resulta herido	Fuego detectado por el detector de incendios, pacientes desalojados por el personal y extinción del fuego y ventilación de humo por parte de los bomberos
28. Hospital Clínico Virgen de la Victoria (Málaga)	Julio 2009	Incendio en freidora de la cocina de personal y extendido a la campana de extracción	No se requiere evacuación ni reubicación de pacientes	3 heridos del personal por inhalación	El humo se propaga por la campana de extracción alcanzando la 5ª planta
29. Hospital General (Alicante)	Julio 2009	Incendio en cuadro eléctrico de despacho de 1ª Planta	El Plan de Emergencias requiere el desalojo de las oficinas de la planta	No se producen heridas	El fuego es sofocado por los trabajadores
30. Centro Hospitalario Padre Menni de Valladolid (Valladolid)	Septiembre 2009	Incendio provocado en la habitación de un paciente	37 pacientes evacuados pertenecientes a la planta incendiada	1 herido por inhalación de humo (autor del incendio)	Mucha cantidad de humo que hace desalojar la planta
31. Hospital General de Elche (Elche)	Enero 2010	Cortocircuito en almacén de ropa sucia de la 2ª Planta	Traslado de todos los pacientes a la escalera de emergencia, aunque al final no es necesario evacuar	3 heridos por intoxicación (todos trabajadores)	El equipo de 1ª intervención intenta sofocar el fuego, traslada pacientes y activa el Plan de Emergencia

32. Basurto (Bilbao)	Marzo 2010	Cortocircuito en planta sótano	Evacuación horizontal en primera planta (14 pacientes)	No se producen heridos	Fuego sofocado por el personal
33. Hospital General (Alicante)	Marzo 2010	Colilla mal apagada en cuarto de ropa sucia de 4ª Planta (neonatos)	No se evacua a nadie, ni personal ni pacientes	No resulta nadie herido	El personal sofoca el fuego, avisa a los bomberos y activa el Plan de Emergencia
34. Chuac (La Coruña)	Septiembre 2010	Cortocircuito en enchufe de sala junto a consultas externas (4ª planta)	Evacuación al exterior de los pacientes ubicados en la consulta junto al incendio	No se producen heridos	Activación de plan de emergencia interior y aviso a servicios externos
35. Xeral (Vigo)	Septiembre 2010	Contenedor de residuos ubicado en el exterior	No se evacua a ningún paciente	No se producen heridos	El incendio es sofocado por el personal de seguridad
36. San Jorge (Huesca)	Septiembre 2010	Colilla mal apagada en sala de tanatorio (planta baja)	No se evacua ningún paciente	No se producen heridos aunque se detiene sistema de climatización y se activa el plan de bioseguridad en quirófanos	
37. Donostia (San Sebastián)	Septiembre 2010	Obras de mantenimiento en sótano	No se evacua a ningún paciente, aunque se bloquean 4 plantas	No se producen heridos	Incendio sofocado por personal antes de llegar los bomberos
38. Hospital del Mar (Barcelona)	Diciembre 2010	Paciente fumando en habitación doble de la 5ª planta	13 pacientes de la misma planta evacuados a zona segura	1 paciente muerto (el autor) y 3 personas heridas leves	El incendio es apagado por el personal antes de llegar los bomberos
39. Hospital General (Alicante)	Diciembre 2010	Incendio en 5ª Planta (cirugía cardiaca) como consecuencia de corte eléctrico en zona climatizadora	No es necesario evacuar, aunque se desalojan a los familiares de la entrada	No resulta nadie herido	El sistema de detección y extinción de incendios funciona perfectamente

40. Hospital Central de Asturias (Oviedo)	Diciembre 2010	Coilla mal apagada en ase de la 9ª planta	No se evacua a nadie	No resulta nadie herido	Personal de otras plantas dan el aviso al percatarse del humo
41. Residencia Cantabria (Santander)	Marzo 2011	Cortocircuito en la cafetería de la planta baja	No se evacua a ningún paciente	No se producen heridos	Incendio producido de madrugada por lo que la cafetería está vacía
42. Marqués de Valdecilla (Santander)	Mayo 2011	Paciente fumando en habitación de 2ª planta (psiquiatría)	Evacuación horizontal a vestíbulo de pacientes en 2ª, 3ª y 4ª planta	No se producen heridos	La unidad de psiquiatría tiene habitaciones herméticas, obligando a los bomberos a romper y desatorillar ventanas para ventilar
43. Hospital Clínico (Valencia)	Junio 2011	Incendio en un laboratorio del semisótano de la Facultad de Medicina, anexo al hospital	Como medida preventiva se evacuan 70 personas, de ellas 50 estudiantes (biblioteca) y 15 o 20 de personal y limpieza	No resulta nadie herido	El humos se propaga por los conductos de ventilación
44. Benito Menni (Valladolid)	Agosto 2011	Coilla mal apagada en habitación de 3ª Planta (psiquiatría)	Evacuación horizontal de los 21 pacientes en el sector afectado a otras habitaciones	2 heridos por crisis de ansiedad e inhalación de humo	Suena la alarma, se activa el protocolo de emergencia y el fuego solo afecta a la habitación origen del incendio
45. Hospital General (Alicante)	Marzo 2012	Incendio en un aparato del cuarto de mantenimiento de la UCI en la 2ª Planta	El personal coloca toallas mojadas en las puertas para evitar el paso de humo y en la UCI algunos pacientes son trasladados a otro box de la misma planta	No resulta nadie herido	El incendio es sofocado por los bomberos y su intervención dura aproximadamente 1 h y 30 min
46. Joan XXIII (Tarragona)	Junio 2012	Incendio en un cañizal próximo y cambio en dirección de viento	50 personas entre pacientes y personal de consultas y gerencia		Plan de autoprotección y medidas de confinamiento activados para evitar la entrada de humo (cierre de ventanas, conductos aire)

47. Hospital de Puerto Real (Cádiz)	Julio 2012	Incendio en cocina de la cafetería, afectando a la freidora y campana, generándose gran cantidad de humo	No es necesario evacuar a ningún paciente	No resulta nadie herido	Personal de mantenimiento intenta apagar el aunque al final son los bomberos quienes lo apagan y ventilan con ERAs
-------------------------------------	------------	--	---	-------------------------	--

Tabla 23. Incendios ocurridos en centros hospitalarios internacionales

Hospital	Fecha	Causa y foco	Evacuación	Heridos	Tiempos
1. Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia (Carabobo, Venezuela)	Marzo 2001	Incendio producido por un obrero que se encuentra haciendo labores de reparación de techo	Evacuación de todo el hospital (200 pacientes), casi todo madres, y recién nacidos	No se producen heridos	El fuego destruye todo el hospital
2. Hospital Psiquiátrico, Dmitrovski (Moscú, Rusia)	Diciembre 2005	Presuntamente el incendio fue provocado por paciente	Casi todos los pacientes pudieron ser evacuados	7 personas mueren y 12 resultan herida por quemaduras graves	6 min después de llamarlos, los bomberos acuden al lugar del siniestro, pero tardan horas en extinguirlo debido al difícil acceso al agua (1km de distancia)
3. Hospital de Rehabilitación de drogadictos y alcohólicos (Moscú, Rusia)	Diciembre 2006	Un paciente prende fuego a un líquido inflamable en la cantina, situada en la 2ª planta y rápidamente el humo se extiende al resto	Se evacúa una parte muy pequeña de los pacientes, todo ello bastante difícil por las rejas. Las alarmas no suenan	45 mujeres mueren, casi todas por inhalación de humo y estando dormidas	El personal tarda más de 2h en llamar a los bomberos, quienes sofocan el fuego en menos de 1h y salvan a más de 200 pacientes atrapados
4. Hospital Psiquiátrico de Taiga (Siberia)	Diciembre 2006	Fuego intencionado por un paciente		8 personas mueren y 16 resultan heridas	
5. Hospital San Lucas (Monterrey, Méjico)	Octubre 2007	Cortocircuito 2ª planta		No se producen heridos	
6. Hospital Royal Marsden (Londres)	Enero 2008	Incendio comienza en el tejado, en una sala que contiene la instalación de aire acondicionado	Evacuación completa del hospital (UCI y quirófanos, incluyendo un paciente que estaba siendo operado)	No se producen heridos	En 28 minutos se completa la evacuación. La evacuación es facilitada por la presencia de camillas debajo de cada cama

7. Hospital Universitario College London (Londres)	Junio 2008	Se incendia el sótano de un edificio vacío del complejo hospitalario y destruye conducciones eléctricas.	Los pacientes hospitalizados no son evacuados, ni las consultas canceladas. Sólo 3 cesáreas de emergencia son derivadas	No se producen heridos	En 3h los bomberos extinguen el incendio
8. Hospital Great Ormond Street (Londres)	Septiembre 2008	Se incendia la 5ª planta, el humo se extiende por todo el hospital y poco después estalla una bomba de oxígeno que hace colapsar el techo	23 niños con afecciones cardíacas y respiratorias son evacuados verticalmente al no ser posible la evacuación horizontal	4 bomberos afectados por inhalación de humo	2 min después de alarma, comienza la evacuación. 6 min tardan en llegar los bomberos
9. Hospital Psiquiátrico Chase Farm (Londres)	Octubre 2008	Se incendia el tejado del edificio	Se evacúa a todos los pacientes al extremo opuesto del edificio, y tras declararse incidente grave, se evacúa al exterior	No se producen heridos	90 min en evacuar pacientes al exterior y los bomberos llegan en 10min. Al menos 12h más tarde consiguen extinguir las llamas.
10. Northwick Park Hospital (Londres)	Febrero 2009	Incendio en un cuarto eléctrico de una planta localizada debajo de un ala del bloque de la sala principal. Humo se extiende por pasillos	Evacuación parcial (123 pacientes) y horizontal en ciertas áreas. Poco después, evacuación a todos los niveles a St.Mark's (conectado por pasillos)	No se producen heridos. Ciertos casos de ansiedad durante el incidente.	En 15 min desde alarma comienza evacuación y se lleva a cabo en 23min. Casi 3h tardan en extinguir el incendio
11. Hospital Rubén Darío (Méjico)	Marzo 2009	Flamazo en el área de la cocina y posterior humareda	No es necesaria la evacuación ni traslado preventivo	No se producen heridos	En 20 min los bomberos extinguen el fuego
12. Hospital Wycombe (Londres)	Julio 2009	Incendio en la cocina del hospital		No se producen heridos	
13. Abril 2010. Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia (Carabobo, Venezuela)	Abril 2010	Se incendia 1ª planta (Zona de Emergencias de Maternidad)	Evacuación de 80 pacientes (60 hospitalizados y 20 de urgencia) al aparcamiento y salas de espera	No se producen heridos	

14. Hospital de Zona 33 del IMSS (Monterrey, Méjico)	Junio 2011	Incendio conducto ropa sucia, área de lavandería	1000 personas entre pacientes, personal y familiares	8 heridos por crisis de ansiedad e intoxicación por humo	20 minutos en sofocar el fuego
15. Hospital Español (Balvanera, Argentina)	Agosto 2011	Cortocircuito en el cuadro eléctrico del sótano	Evacuación del lugar por presencia de humo	No se producen heridos	
16. Hospital Regional de especialidades (Nuevo León, Méjico)	Septiembre 2011	Se desconoce la causa, inicio en el sótano.	Evacuación de los pacientes y recién nacidos ubicados en el área de Urgencias de la 1ª planta y familiares de la planta baja a una plaza ubicada en la salida principal (70 pacientes)	No se producen heridos	Cuando llegan los bomberos, incendio ya controlado por el personal.
17. Hospital Metropolitano (Monterrey, Méjico)	Noviembre 2011	Cae una chispa de material de soldadura sobre fibra de vidrio en un conducto de aire.	Evacúan a toda la 1ª y 4ª planta hacia las 2ª y 3ª	No se producen heridos	30 minutos hasta que se sofoca el incendio
18. Hospital de AMRI (Calcuta, India)	Diciembre 2011	Se incendia material inflamable del sótano	80 pacientes son evacuados y recatados	90 muertes (84 pacientes) la mayoría por asfixia	Los bomberos llegan 2 o 3 horas después del inicio. Varias horas después queda sofocado.
19. Hospital Wycombe (Londres)	Diciembre 2011	Incendio en una oficina, que queda devastada		No se producen heridos	
20. Hospital Teodoro Álvarez (Buenos Aires, Argentina)	Enero 2012	Incendio 2ª planta, zona de archivo	Pacientes son trasladados a otros centros	No se producen heridos	
22. Hospital Santa Lucía (Balvanera, Argentina)	Enero 2012	Incendio de aparato de aire acondicionado del quirófano mientras está siendo reparado.	Evacuación total de pacientes y personal	1 operario muerto y otro herido por quemaduras	
23. Hospital General "José María Rodríguez" (Ecatepec, Méjico)	Junio 2012	Cortocircuito	10 menores del área de cunas son trasladados a otro área más segura	No se producen heridos	Bomberos proceden a ventilar zona afectada

24. Residencia Geriátrica (Floresta, Argentina)	Junio 2012	Incendio en la 1ª planta del edificio		2 ancianas muertas por asfixia y 22 heridos	
25. Hospital Universitario Pedro Ernesto (Rio de Janeiro, Brasil)	Junio 2012	Se incendia material inflamable en un depósito y se extiende a varias plantas	Evacuación de cerca de 100 pacientes	1 paciente muerto por inhalación de humo	Los bomberos tardan casi 3 h en controlar las llamas

Anexo II. Propuesta para la realización de experimentos de evacuación en el Hospital Virtual Valdecilla.

1. Propuesta y objetivos.

La evacuación de los pacientes en centros de hospitalización es una tarea compleja que requiere una toma de decisiones adecuada y una ejecución cuidadosa y efectiva. Uno de los trabajos que se plantea dentro de las siguientes actuaciones es la realización de experimentos de diseño ad-hoc que permitan recoger nuevas variables clave. Para ello, en este documento preliminar se recoge la propuesta para la realización de experimentos de evacuación de pacientes en el Hospital Virtual Valdecilla. Los experimentos tienen los siguientes objetivos:

- Obtener datos cuantitativos sobre las diferentes tareas de evacuación.
- Analizar las posibilidades de inclusión en el Hospital Virtual Valdecilla de un protocolo de adiestramiento del personal para la evacuación de los pacientes.

2. Condiciones de contorno.

Los experimentos se realizarán, en las instalaciones del Hospital Virtual Valdecilla. En los experimentos se trata de realizar mediciones sobre el proceso de evacuación de zonas de hospitalización. Para ello se propone la habilitación de dos estancias reproduzcan las condiciones presentes en las habitaciones (dimensiones, mobiliario, equipamiento, etc.). Estas habitaciones deberán conectar con un pasillo continuo tal y como se muestra en el ejemplo de la Figura 39.

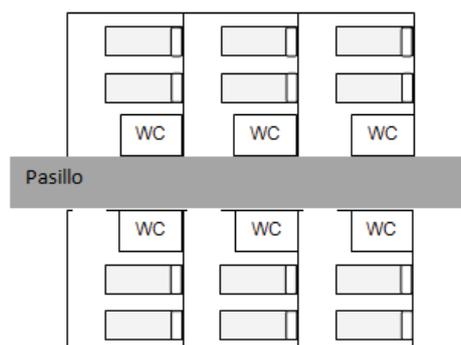


Figura 39. Condiciones de contorno de los experimentos.

3. Participantes.

3.1. Personal.

El número de participantes y sus características se establecerán en función de las condiciones más realistas posibles que se presentan en las plantas de hospitalización (turnos, responsabilidades, etc.).

3.2. Pacientes Simulados.

Será necesario utilizar “actores” que representen y adopten diferentes grados de movilidad. Inicialmente, a efectos de la evacuación, se considerarán las siguientes tipologías de pacientes:

- PA.- Paciente ambulante.
- PNA1.- Paciente no ambulante que puede ser trasladado en silla de ruedas.
- PNA2.- Paciente no ambulante que debe ser trasladado en cama.

4. Variables.

El principal parámetro de seguridad en caso de emergencia es el tiempo de evacuación. Tal y como se muestra en la Figura 40, el tiempo de evacuación de un paciente es la suma de dos componentes temporales básicos denominados pre-movimiento y movimiento.

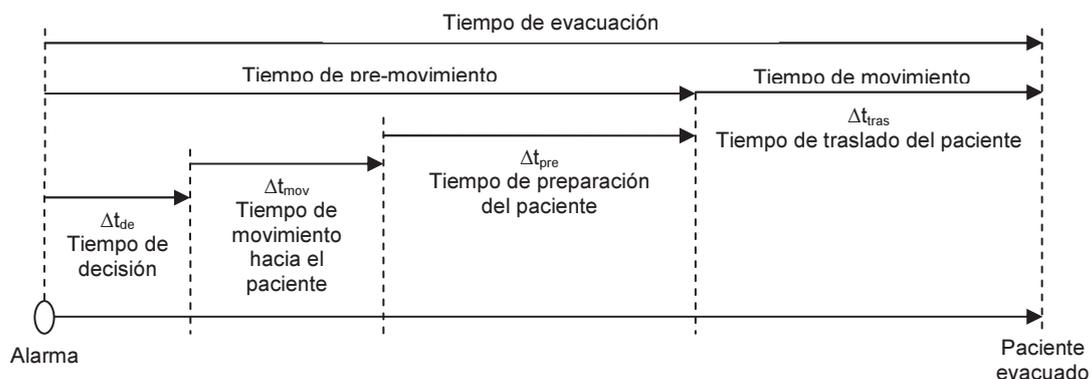


Figura 40. Modelo de secuencia temporal de la evacuación de un paciente.

El pre-movimiento incluye las siguientes variables:

- Δt_{dec} (tiempo de decisión).- Esta variable se corresponde con las tareas de los miembros del personal previas al inicio de la evacuación (detección, confirmación, comunicación y coordinación de los Equipos de Evacuación).
- Δt_{mov} (tiempo de movimiento).- Esta variable se corresponde al tiempo empleado en recorrer la distancia desde el origen de los miembros del personal hasta la habitación a una velocidad de desplazamiento. Asimismo, en el caso de que los Equipos de Evacuación trasladen a más de un paciente, esta variable se corresponde con el tiempo empleado en recorrer la distancia desde la zona de destino de evacuación hasta la siguiente habitación.
- Δt_{pre} (tiempo de preparación).- Esta es una variable crítica y se corresponde con el tiempo requerido en la realización de diferentes tareas por los miembros del personal que permitan habilitar un paciente para su traslado cómodo y seguro hacia la zona destino de evacuación. Esta variable depende del estado, características y tipología del paciente (PA, PNA1 o PNA2) así como del número y características de los miembros del personal (experiencia, rol, etc.).

El movimiento incluye la siguiente variable:

- Δt_{tras} (tiempo de traslado).- Esta variable se corresponde al tiempo empleado en recorrer la distancia desde la habitación del paciente hasta la zona destino de evacuación a una velocidad de desplazamiento. Esta variable depende del estado, características y tipología del paciente (PA, PNA1 o PNA2), del modo de traslado empleado (cama, camilla, silla de ruedas, etc.) y del número de miembros del Equipo de Evacuación. El traslado puede realizarse, asimismo, en superficies horizontales (evacuación parcial) o en escaleras (evacuación total).

5. Tipos de experimentos propuestos.

Se considerarán dos tipos de experimentos:

- Tipo I.- Actuaciones de un Equipo de Evacuación sobre un paciente.
- Tipo II.- Actuaciones de varios Equipos de Evacuación sobre varios pacientes.

5.1. Experimentos Tipo I.

En este tipo de experimentos se realizarán mediciones sobre el tiempo empleado por un Equipo en preparar y trasladar tres tipologías de pacientes (PA, PNA1 y PNA2). Se proponen diez miembros del personal divididos en cinco Equipos de Evacuación (EE1, EE2, EE3, EE4 y EE5) compuestos por dos miembros cada uno. Por tanto, en los Experimentos Tipo I se realizarán un total de tres test de forma individual para cada uno de los cinco Equipos de Evacuación. Se estima que el tiempo total medio de duración para estos experimentos es de unas 2 horas.

5.2. Experimentos Tipo II.

En este tipo de experimentos se realizarán mediciones sobre el tiempo empleado por dos Equipos de Evacuación trabajando de forma conjunta en la preparación y traslado de cuatro pacientes de diferentes tipologías. Para ello será necesario contar dos habitaciones.

Los diez miembros del personal serán divididos en cuatro Equipos de Evacuación (EE1, EE2, EE3 y EE4) nuevamente compuestos por dos miembros cada uno. En este caso se modificarán los componentes de cada Equipo respecto a los experimentos anteriores. Se formará, asimismo, un Equipo de Intervención (EEI), compuesto por otros dos miembros, que se encargará de las tareas de coordinación de la evacuación.

Tal y como se muestra en la Tabla 24, en los Experimentos Tipo II se realizarán un total de dos test. En cada uno de los test participan dos Equipos de Evacuación coordinados por el Equipo de Intervención. El tiempo estimado de duración es de 1,5 horas.

Test	Equipos de Evacuación	Nº y tipología de pacientes		
		PA	PNA1	PNA2
1	EE1 y EE2	1	2	1
2	EE3 y EE4	0	2	2

Tabla 24. Experimentos Tipo II.

6. Método de recopilación de datos.

Para la adquisición de datos se emplearán los equipos del Laboratorio de Análisis Conductual del Grupo GIDAI. Los equipos están compuestos por:

- 24 video-cámaras fijas.
- 12 video-cámara domo.
- 36 soportes extensibles.
- 15 video-cámaras GoPro con sus respectivas fijaciones.
- Sistema RTLS (Real Time Location System).

Se ubicarán video-cámaras en cada una de las habitaciones y en los pasillos. Se tomarán video-grabaciones de todos los test realizados. El procesamiento de imágenes (frame by frame) permitirá medir las variables implicadas, obtener sus muestras estadísticas y las leyes de distribución de probabilidad a las que se ajustan para su implementación en las herramientas de modelado y simulación computacional.

Asimismo, las video-grabaciones permitirán realizar un análisis exhaustivo sobre las acciones acometidas por los Equipos de Evacuación e Intervención, identificar posibles errores y proponer mejoras.

7. Conclusiones.

Este documento es un estudio preliminar sobre los experimentos de evacuación que pueden realizarse utilizando las instalaciones, personal y medios disponibles en el Hospital Virtual Valdecilla.

La infraestructura mínima necesaria para la realización de los experimentos es de dos habitaciones (con dos camas cada una) que conecten con un pasillo, al final del cual se establecerá la zona de destino seguro de evacuación.

El número máximo de participantes es de diez miembros del personal y cuatro pacientes simulados.

El tiempo medio estimado de duración de todo el programa de experimentos es de 3,5 horas.

Las variables definidas anteriormente son una aproximación preliminar al problema de evacuación de pacientes. Se prevé una mejor precisión en la definición de variables contando con las experiencias de los agentes más directamente implicados (criterios clínicos y organizativos). En este sentido resultaría necesario mantener una serie de reuniones que permitan precisar un diseño experimental más ajustado a la realidad del fenómeno objeto de estudio.

Esta experiencia piloto permitiría definir las posibilidades de inclusión de un curso de actuaciones de evacuación y el empleo de futuras aplicaciones con herramientas de simulación para un adiestramiento adecuado del personal ante situaciones de emergencia en las zonas de hospitalización.

Anexo III. Resultados de las simulaciones.

1. Planta tipo hospitalización.

Tabla 25. Tiempo de evacuación por simulación de cada paciente en Escenario 1.1.

Nº Simul.	Habitación								
	1 PNA2	2 PA	2 PNA2	3 PNA1	21 PNA1	22 PA	22 PNA2	23 PA	24 PNA1
1	565	161	676	257	294	217	704	144	240
2	655	162	827	249	188	158	737	69	189
3	784	185	643	194	179	95	742	144	320
4	750	174	605	176	203	67	554	69	189
5	703	189	737	190	218	103	725	73	215
6	902	181	353	198	167	147	910	276	229
7	437	385	734	173	209	148	599	82	239
8	596	192	578	233	216	112	857	94	288
9	502	229	757	288	250	84	600	64	180
10	545	413	678	237	175	77	862	124	190
11	494	169	677	161	199	93	519	73	271
12	622	253	943	256	257	159	870	255	267
13	414	300	806	257	201	66	506	93	229
14	638	171	546	257	159	84	704	109	294
15	553	192	739	170	192	188	855	240	339
16	698	194	673	189	135	84	1008	116	218
17	438	218	692	164	201	135	677	84	208
18	593	176	712	319	209	67	634	73	256
19	494	193	733	122	287	103	898	235	194
20	514	200	636	258	288	57	795	132	213
21	658	214	759	329	199	92	481	75	297
22	885	261	740	250	233	89	1032	156	239
23	532	280	876	289	244	79	607	57	260
24	593	176	926	303	294	194	676	97	219
25	558	310	530	190	243	95	804	120	294

Tabla 26. Tiempo de evacuación por simulación de cada paciente en Escenario 1.2.

Nº Simul.	Habitación								
	1 PNA2	2 PA	2 PNA2	3 PNA1	21 PNA1	22 PA	22 PNA2	23 PA	24 PNA1
1	586	780	834	263	422	104	1185	69	226
2	568	549	1084	434	385	259	1086	226	215
3	868	737	1115	328	439	182	957	149	277
4	716	781	889	324	410	148	1175	115	253
5	529	760	1005	332	372	184	1082	150	174
6	583	790	1083	364	409	164	986	123	219
7	626	781	1031	285	363	118	1013	78	192
8	694	866	1063	312	350	115	1154	86	175
9	646	834	991	279	550	116	1129	68	377
10	450	645	1128	427	323	269	651	230	166
11	475	613	992	279	339	143	896	109	171
12	477	710	766	356	452	215	1159	180	240
13	578	773	965	362	382	199	1074	164	171
14	984	836	1205	301	410	133	1028	102	213
15	769	877	992	295	526	109	1082	75	382
16	516	696	883	242	519	108	921	80	317
17	519	715	875	272	408	122	748	89	202
18	961	837	1160	285	399	117	1127	83	229
19	655	887	1129	336	425	180	1197	143	257
20	544	741	760	267	431	98	880	65	204
21	619	859	942	436	385	249	951	199	196
22	906	865	1186	251	361	106	872	73	178
23	593	824	860	316	391	154	873	124	246
24	731	904	940	287	388	107	929	67	211
25	382	577	867	360	380	167	831	121	180

Tabla 27. Tiempo de evacuación por simulación por simulación de cada paciente en Escenario 2.1.

Nº Sim	Habitación																															
	4 PNA1 (1)	4 PNA1 (2)	5 PA	5 PNA2 (1)	6 PNA2 (1)	6 PNA2 (2)	7 PNA1	7 PNA2	8 PNA1	8 PNA2	9 PNA1	10 PNA2 (1)	10 PNA2 (2)	11 PNA1	12 PA	12 PNA2	13 PNA1	13 PNA2	14 PNA1 (1)	14 PNA1 (2)	15 PNA1	15 PNA2 (1)	16 PNA2 (1)	16 PNA2 (2)	17 PNA1	17 PNA2 (1)	18 PNA2 (1)	18 PNA2 (2)	19 PNA2 (1)	19 PNA2 (2)	20 PNA1	20 PNA2
1	633	975	300	1876	369	710	230	388	195	715	260	1515	1637	545	373	1836	599	1477	492	795	827	1597	1214	1509	722	2341	2094	2490	2316	2584	660	2193
2	785	809	268	2171	523	580	270	653	175	1109	270	1209	1622	637	472	1764	677	1527	471	947	953	1532	1443	1624	704	2372	2227	2810	2035	2121	937	2078
3	827	920	326	2037	573	681	222	616	210	665	319	1447	1500	618	370	1448	600	1433	488	885	889	1695	1247	1495	770	2454	2221	2270	2247	2310	869	2324
4	852	1037	408	2527	614	750	259	764	285	758	260	1401	1606	579	364	1339	515	1622	612	902	751	1368	1674	1841	835	2505	1973	2505	1698	1973	1039	2345
5	828	1114	244	2575	565	824	237	745	157	574	201	1210	1298	482	404	1530	598	1358	445	687	853	1347	1663	1871	666	1737	1998	2457	2171	2266	1081	2568
6	529	1043	320	2526	244	732	247	614	195	738	304	1521	1737	567	440	1709	729	1377	537	783	1004	1182	1697	1700	777	2553	1919	2527	2026	2258	955	2433
7	836	915	347	2562	590	670	224	619	241	496	260	1374	1520	564	363	1318	565	1449	548	839	797	1231	1608	1694	789	2195	1959	2065	2036	2056	945	2264
8	845	1118	378	1991	593	881	263	582	218	496	227	1284	1360	445	414	1537	629	1683	612	702	886	1813	1281	1535	891	1898	2307	2317	2217	2295	843	2246
9	1017	1018	256	2288	711	749	174	652	163	544	216	1398	1486	468	336	1752	580	1168	431	724	841	1963	1466	1590	594	2297	1864	2532	1987	2756	885	2379
10	823	896	279	2099	546	637	172	582	170	740	201	1130	1357	481	335	1495	549	1360	469	710	841	1697	1497	1558	690	1757	1938	2411	2129	2559	849	2292
11	782	884	287	2526	500	523	199	788	174	592	282	1331	1525	633	345	1326	551	1228	477	930	832	1290	1679	1934	719	2229	1977	2045	1962	2199	1081	2569
12	426	977	358	2228	193	685	195	731	222	398	243	1251	1346	485	373	1456	579	1321	542	702	882	1136	1528	1737	791	1822	2121	2187	1941	2020	1031	2636
13	942	984	482	2193	687	751	142	589	325	804	241	1557	1810	623	262	1388	457	1741	736	981	685	1646	1426	1652	996	2804	2119	2600	2391	2447	881	2124
14	1007	1070	326	2434	641	797	190	950	194	615	277	1318	1846	692	359	1578	537	1335	545	1090	804	1979	1712	1835	802	2725	2049	2349	1989	2568	1211	2518
15	762	817	301	2040	524	565	307	654	161	845	472	1528	1674	719	479	1856	688	1494	484	1006	949	1247	1430	1501	713	2321	2491	2517	1787	2218	966	2179
16	919	1016	333	2324	586	802	279	586	176	673	228	1455	1672	543	421	1353	622	1540	566	833	866	1727	1640	1716	838	2720	2275	2312	2394	2795	890	2322
17	756	888	429	1928	512	636	195	773	252	615	166	1271	1427	441	349	1316	555	1585	654	716	796	1602	1314	1630	970	1984	2197	2299	2032	2412	1056	2346
18	956	1052	414	2345	637	759	364	735	262	570	228	1379	1413	519	494	1873	657	1606	603	803	904	1666	1614	1736	874	2042	2577	2625	2072	2491	1034	2428
19	895	1146	591	2754	592	791	270	683	413	694	199	1247	1641	450	412	1621	589	1678	708	846	875	1479	1639	1997	1134	1992	2441	2596	2028	2388	973	2365
20	902	1089	353	2058	618	797	172	574	223	783	190	1292	1350	445	327	1657	547	1433	541	663	796	1782	1415	1554	783	1967	2286	2424	2207	2520	852	2359
21	753	893	287	2152	611	641	142	628	183	740	227	1457	1497	549	303	1682	522	1156	454	822	775	1464	1384	1474	663	2384	1760	2562	2146	2474	900	2087
22	926	1138	273	2693	689	808	145	800	174	802	256	1526	1798	537	236	1341	429	1422	461	853	610	1597	1777	1960	670	2123	1951	2034	2228	2648	1094	2532
23	876	948	388	2451	634	649	189	727	261	623	242	1307	1454	476	312	1421	529	1506	583	719	756	1678	1549	1575	834	2077	2281	2346	2110	2316	1069	2136
24	797	1011	242	2604	508	700	445	661	125	593	302	1399	1489	538	589	1877	835	1259	424	791	1063	1652	1628	1683	647	2105	1897	2530	1877	2276	1062	2449
25	774	913	306	2171	580	620	199	340	146	541	196	1294	1367	466	306	1330	460	1551	531	737	676	1204	1267	1594	799	1945	2013	2219	1888	1993	619	2122

Tabla 28. Tiempo de evacuación por simulación de cada paciente en Escenario 2.2.

Nº Sim	Habitación																																
	4 PNA1 (1)	4 PNA1 (2)	4 PA	5 PNA2 (1)	5 PNA2 (2)	6 PNA2 (1)	6 PNA2 (2)	7 PNA1	7 PNA2	8 PNA1	8 PNA2	9 PNA1	10 PNA1 (1)	10 PNA2 (2)	11 PNA1	12 PA	12 PNA2	13 PNA1	13 PNA2	14 PNA1 (1)	14 PNA1 (2)	14 PNA1	15 PNA1	15 PNA2	16 PNA1 (1)	16 PNA2 (2)	17 PNA1	17 PNA2	18 PNA1 (1)	18 PNA2 (2)	19 PNA1 (1)	19 PNA2 (2)	20 PNA1
1	1843	1936	956	5302	814	1543	167	743	167	825	1158	2521	2770	1205	981	2653	1431	3632	1493	1893	1648	3221	3369	4443	1690	3909	3794	5303	4385	4661	2181	6016	
2	1856	2094	1159	5379	901	1299	215	669	148	991	1342	2542	2799	1189	1025	2093	1649	3606	1443	1651	1885	3568	2725	4148	1651	4280	3333	5039	4041	4781	1901	5660	
3	1940	2056	1069	5976	919	1343	200	665	167	880	1273	2490	3015	1271	1070	2709	1557	3172	1496	1623	1827	3710	3481	3793	1730	4568	4117	4296	4642	5367	1831	5068	
4	2046	2398	1242	5994	992	1559	179	790	226	998	1462	2771	3063	1347	1152	2636	1793	3372	1599	1863	2136	4065	3430	4217	1820	4837	4234	5206	5017	5402	2110	5995	
5	2072	2094	1071	5350	836	1395	206	626	201	844	1276	2482	2540	1269	1064	2785	1586	3218	1574	1676	1820	3288	3425	3884	1830	4168	4208	4705	4748	4870	2139	5658	
6	2256	2354	1073	6557	1068	1364	294	669	353	817	1306	2620	3117	1537	1286	2953	1644	3425	1671	1840	1952	4188	3746	4103	2101	5026	4525	4612	5066	5981	1867	5408	
7	1723	1958	895	4540	877	1190	154	466	177	765	1085	2346	2376	1294	1036	2681	1296	3250	1506	1550	1513	2905	3686	4019	1747	3396	4418	4487	3865	5064	1733	5141	
8	1731	2136	947	4823	899	1255	176	580	264	809	1117	2225	2501	1340	1115	2876	1351	3376	1555	1607	1542	2828	3460	3998	1883	3608	3957	4747	4185	4672	1817	5517	
9	2397	2486	1316	5869	1095	1291	352	618	433	1110	1542	2658	3222	1621	1347	2927	1861	3346	1617	1947	2166	3949	3654	3953	2242	4646	4417	4808	5152	5422	1856	5428	
10	1893	2031	1002	5823	760	1248	185	757	265	785	1193	2298	2845	1169	949	2560	1502	3238	1441	1582	1781	3715	3472	3871	1698	4451	4307	4602	5018	5108	1854	5264	
11	2050	2140	1099	5468	919	1463	252	323	237	907	1314	2567	2655	1351	1128	2679	1591	3491	1651	1739	1833	3613	3510	4132	1913	4166	4190	4940	4752	4960	1949	5530	
12	1854	1979	1083	5629	843	1033	229	413	205	916	1279	2252	2599	1191	995	2522	1503	3072	1298	1426	1727	3344	3039	3836	1658	1640	3929	3752	4138	4468	4474	1227	4769
13	1807	2677	1542	6565	799	1332	488	490	185	1322	1768	2637	3671	1164	943	2343	2095	3338	1366	1638	2389	4392	3036	4245	1611	5017	3577	5080	4049	5787	1937	5612	
14	1819	2115	1097	5126	733	836	227	410	246	902	1294	2079	2580	1126	907	2541	1599	2873	1054	1410	1871	3372	3207	3546	1640	3929	3752	4138	4468	4474	1227	4769	
15	2129	2177	1180	5723	849	1567	404	627	203	997	1420	2718	3038	1316	1070	2744	1683	3330	1607	1851	1952	3829	3624	3924	1885	4343	3461	4590	4581	5192	2065	5289	
16	1715	2034	1072	5456	721	1572	160	715	177	871	1240	2655	2854	1094	873	2111	1532	3582	1314	1877	1802	3505	2897	4217	1528	4206	3566	4944	4181	4739	2118	5552	
17	1945	2446	1334	6205	844	1654	252	697	231	1077	1545	2804	3077	1219	1037	2787	1879	3640	1500	1957	2193	3803	3409	4289	1754	4600	4194	5303	4836	5633	2176	5788	
18	1791	1968	1105	5041	797	1107	249	709	174	953	1295	2493	2593	1181	957	2369	1557	3293	1385	1432	1787	3349	3098	4073	1605	3990	3736	4704	4225	4515	1677	5386	
19	1895	1919	1038	5237	805	1535	192	798	213	900	1230	2389	2630	1208	965	2723	1438	3487	1467	1807	1672	3424	3695	4320	1713	3906	4460	4434	4606	5165	1980	5546	
20	1678	1942	1007	5663	616	1602	189	815	197	841	1203	2647	2880	1014	795	2298	1471	3550	1244	1863	1704	3358	2989	4174	1471	4204	3672	4924	4438	5002	2092	5702	
21	1834	2053	1123	5677	728	1463	255	737	203	932	1319	2695	2696	1137	931	2476	1605	3458	1387	1736	1856	3520	3131	4180	1635	4111	3919	4772	4717	4879	1980	5282	
22	1565	2324	711	4774	1172	1353	149	557	371	557	877	2103	2360	1569	1341	2871	1105	3236	1679	1832	1338	2796	3595	3988	2117	3379	4384	4653	4103	4794	1929	5281	
23	2317	2446	1324	6196	1024	1220	168	525	289	1087	1556	2495	3024	1511	1251	3060	1906	3215	1508	1805	2191	3727	3858	4020	2071	4590	4509	4876	5293	5325	1775	5408	
24	1869	2186	1008	5924	1522	840	141	689	181	718	1242	2637	2728	1164	987	2627	1608	3394	1420	1786	1932	3492	3358	4099	1660	4294	4009	4560	4367	5026	2048	4972	
25	1461	2208	1136	5591	602	1293	177	628	159	921	1359	2701	2806	911	738	2204	1703	3343	1648	1703	1952	3461	2643	4204	1293	4048	3325	4799	3817	4924	1923	5525	

2. Centro de consultas.

Tabla 29. Tiempos de evacuación para Escenario 1.1. encentro de consultas

Nº Sim.	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	T total evacuación
1	1119	1004	919	238	1119
2	1212	1088	975	255	1212
3	1150	1046	966	243	1150
4	1127	1038	960	234	1127
5	1115	1013	924	237	1115
6	1173	1035	953	234	1173
7	1120	1069	919	246	1120
8	1132	1034	948	235	1132
9	1148	1032	953	235	1148
10	1173	1007	986	242	1173
11	1182	1075	993	251	1182
12	1128	1019	936	238	1128
13	1120	1021	932	244	1120
14	1124	1011	914	239	1124
15	1144	1038	945	234	1144
16	1146	1057	980	250	1146
17	1127	1028	942	231	1127
18	1175	1072	992	231	1175
19	1164	1066	980	258	1164
20	1094	996	915	228	1094
21	1133	1037	953	240	1133
22	1136	1039	954	235	1136
23	1129	1031	951	251	1129
24	1129	1028	951	235	1129
25	1199	1081	980	252	1199
26	1180	1070	975	245	1180
27	1167	1044	951	252	1167
28	1150	1040	943	234	1150
29	1172	1045	947	244	1172
30	1153	1049	969	243	1153
31	1111	1008	933	237	1111
32	1098	1000	927	246	1098
33	1142	1041	966	248	1142
34	1160	1011	970	241	1160
35	1101	1014	948	267	1101
36	1111	993	902	237	1111

Tabla 29. Tiempos de evacuación para Escenario 1.1. encuentro de consultas (cont.)

37	1162	1067	984	232	1162
38	1101	987	903	255	1101
39	1115	1012	919	242	1115
40	1149	1047	959	247	1149
41	1156	1057	970	223	1156
42	1105	1004	919	243	1105
43	1219	1084	962	234	1219
44	1136	1045	965	240	1136
45	1177	1075	991	239	1177
46	1091	997	912	234	1091
47	1089	993	909	246	1089
48	1111	1005	933	246	1111
49	1148	1038	955	245	1148
50	1189	1076	994	234	1189
51	1180	1058	964	234	1180
52	1164	1052	966	243	1164
53	1095	986	908	229	1095
54	1130	1037	955	232	1130
55	1149	1034	947	232	1149
56	1105	1014	934	250	1105
57	1177	1057	965	252	1177
58	1134	1028	943	240	1134
59	1145	1015	931	240	1145
60	1149	1048	960	240	1149
61	1117	1012	917	243	1117
62	1156	1046	952	231	1156
63	1117	1005	921	226	1117
64	1115	987	911	252	1115
65	1136	1025	944	225	1136
66	1163	1055	977	240	1163
67	1205	1072	952	261	1205
68	1188	1089	1003	245	1188
69	1167	1060	967	243	1167
70	1105	1010	927	262	1105
71	1110	996	925	258	1110
72	1139	1021	938	229	1139
73	1189	1066	959	230	1189
74	1146	1046	958	252	1146
75	1133	1019	931	238	1133
76	1136	1045	966	231	1136
77	1124	1027	946	233	1124

Tabla 29. Tiempos de evacuación para Escenario 1.1. encentro de consultas (cont.).

78	1138	1045	964	237	1138
79	1139	1029	947	255	1139
80	1126	1004	915	242	1126
81	1115	1021	941	273	1115
82	1154	1047	964	255	1154
83	1144	1048	971	240	1144
84	1140	1035	943	241	1140
85	1127	1017	935	236	1127
86	1143	1028	940	258	1143
87	1140	1027	927	244	1140
88	1183	1069	970	242	1183
89	1167	1053	966	235	1167
90	1170	1026	917	241	1170
91	1139	1037	950	250	1139
92	1113	1013	930	243	1113
93	1152	1040	964	229	1152
94	1172	1030	929	251	1172
95	1112	1016	933	242	1112
96	1140	1017	920	228	1140
97	1153	1046	957	238	1153
98	1136	1023	925	246	1136
99	1134	1024	939	241	1134
100	1095	1004	924	243	1095

Tabla 30. Tiempos de evacuación para Escenario 3.2. encentro de consultas.

Nº Sim.	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	T total evacuación
1	1223	1115	1020	379	1223
2	1206	1086	991	342	1206
3	1212	1110	1032	368	1212
4	1189	1091	1005	356	1189
5	1172	1074	989	359	1172
6	1183	1073	993	372	1183
7	1188	1093	1017	361	1188
8	1182	1078	998	349	1182
9	1189	1073	992	340	1189
10	1201	1097	1007	394	1201
11	1206	1097	1013	366	1206
12	1174	1078	995	351	1174
13	1183	1063	976	347	1183
14	1195	1089	1000	391	1195
15	1188	1086	997	345	1188
16	1181	1083	992	358	1181
17	1242	1124	1020	356	1242
18	1269	1156	1051	392	1269
19	1167	1071	988	342	1167
20	1180	1068	967	369	1180
21	1169	1064	973	360	1169
22	1192	1089	999	370	1192
23	1177	1067	985	357	1177
24	1262	1141	1036	357	1262
25	1201	1107	1026	355	1201
26	1200	1102	1016	336	1200
27	1207	1101	1010	355	1207
28	1163	1043	966	331	1163
29	1197	1079	988	355	1197
30	1257	1133	1038	354	1257
31	1160	1076	943	357	1160
32	1236	1140	1009	364	1236
33	1171	1064	981	366	1171
34	1190	1077	991	340	1190
35	1195	1080	991	334	1195
36	1213	1110	1031	355	1213

Tabla 30. Tiempos de evacuación para Escenario 3.2. encentro de consultas(cont.)

37	1200	1070	964	366	1200
38	1191	1078	991	348	1191
39	1233	1130	1052	353	1233
40	1206	1104	1025	341	1206
41	1195	1092	1010	358	1195
42	1216	1112	1034	355	1216
43	1168	1072	991	372	1168
44	1194	1103	1024	361	1194
45	1178	1071	978	349	1178
46	1215	1097	999	353	1215
47	1182	1076	1008	336	1182
48	1182	1063	967	353	1182
49	1157	1047	969	359	1157
50	1182	1091	1012	341	1182
51	1159	1060	980	377	1159
52	1181	1079	992	370	1181
53	1173	1055	960	383	1173
54	1236	1122	1024	361	1236
55	1201	1082	992	335	1201
56	1199	1083	994	372	1199
57	1170	1072	973	349	1170
58	1188	1071	994	362	1188
59	1206	1078	1008	381	1206
60	1174	1036	940	337	1174
61	1160	1061	987	356	1160
62	1149	1042	965	367	1149
63	1193	1096	1007	356	1193
64	1205	1093	1007	361	1205
65	1171	1066	975	350	1171
66	1162	1045	969	358	1162
67	1194	1086	1010	357	1194
68	1167	1072	1347	377	1167
69	1200	1090	1008	387	1200
70	1154	1067	956	352	1154
71	1163	1059	981	378	1163
72	1194	1089	998	332	1194
73	1202	1077	984	388	1202
74	1185	1058	961	369	1185
75	1183	1074	997	348	1183
76	1180	1081	994	379	1180
77	1217	1111	978	344	1217

Tabla 30. Tiempos de evacuación para Escenario 3.2. en centro de consultas (cont.).

78	1196	1078	971	339	1196
79	1205	1109	1025	366	1205
80	1205	1088	1002	359	1205
81	1223	1110	1024	358	1223
82	1201	1111	1036	354	1201
83	1182	1044	964	341	1182
84	1192	1094	1009	359	1192
85	1192	1086	1006	340	1192
86	1205	1114	1034	368	1205
87	1220	1105	1005	380	1220
88	1191	1093	1007	339	1191
89	1193	1079	980	344	1193
90	1202	1098	1007	367	1202
91	1192	1061	981	357	1192
92	1185	1075	984	337	1185
93	1181	1096	1022	342	1181
94	1228	1125	1045	359	1228
95	1187	1068	992	334	1187
96	1183	1101	1029	328	1183
97	1225	1119	1027	355	1225
98	1166	1066	991	334	1166
99	1213	1109	1029	346	1213
100	1197	1078	997	346	1197