Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Diseño de protocolo de evacuación para personas con discapacidad en organizaciones

Proyecto presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniero de Producción

Autores

Valentina De Marino Barros
Agustina Lecuna Báez
Tomás Würth Troche

Tutores

Mario Furest
Patricia Quintana
Milton Vázquez

Montevideo, agosto de 2026

Resumen

Las situaciones de emergencia ponen a prueba la capacidad de una institución para proteger a la totalidad de su comunidad. El presente trabajo parte de una constatación: el edificio principal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Udelar) cuenta con habilitación vigente de la Dirección Nacional de Bomberos, pero su sistema de evacuación no contempla la diversidad funcional de quienes lo habitan. Ante esta brecha, la investigación diseña un sistema integral de gestión de evacuaciones que incorpora la inclusión de personas con discapacidad como eje transversal, del cual no se identificaron antecedentes equivalentes en el ámbito nacional.

La investigación se estructuró en seis etapas: la revisión del marco normativo nacional e internacional en materia de evacuación, accesibilidad y gestión de emergencias; el relevamiento de buenas prácticas en instituciones internacionales de referencia; un diagnóstico institucional mediante un instrumento de evaluación que confrontó la situación del edificio con los estándares relevados; el diseño del sistema de evacuación, que comprende la priorización de los escenarios de emergencia mediante una matriz de riesgo y la definición de la estructura organizativa del equipo de emergencia; la elaboración de los documentos operativos del sistema y la estimación del tiempo de evacuación del edificio central mediante un modelo de capacidad de flujo, resuelto a través de dos métodos complementarios, el cálculo analítico directo y la simulación de eventos discretos.

El sistema resultante se articula en cuatro componentes articulados: el protocolo de evacuación inclusivo, que establece la estructura organizativa, los criterios de activación y el sistema de comunicación; nueve procedimientos de evacuación específicos para los escenarios de emergencia priorizados, elaborados bajo una estructura común que garantiza autonomía de consulta; las especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad, que definen técnicas de asistencia y pautas de comunicación para cinco perfiles funcionales (discapacidad física, sensorial visual, sensorial auditiva, cognitiva y psicosocial); y un modelo de Plan Personal de Evacuación de Emergencia (PEEP) adaptado al contexto institucional.

El sistema se completa con un conjunto de recomendaciones comunicacionales, organizativas y de infraestructura. El principal aporte de esta investigación consiste en transformar el cumplimiento normativo básico en un sistema de gestión de evacuaciones implementable con los recursos actualmente disponibles o mediante inversiones de baja magnitud, que incorpora la diversidad funcional como criterio central del diseño y cuya arquitectura modular resulta transferible a otros edificios universitarios e instituciones del país.

Palabras clave: evacuación inclusiva, gestión de emergencias, accesibilidad, Plan Personal de Evacuación de Emergencia (PEEP), discapacidad, tiempo de evacuación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

Agradecimientos

A nuestros tutores, Mario Furest, Patricia Quintana y Milton Vázquez, por la orientación, el rigor y el compromiso sostenidos a lo largo de todo el proyecto. Sus observaciones y su permanente disposición fueron fundamentales para dar forma y concreción a este trabajo.

A Adrián Santos, por la generosidad de compartir su tiempo, su experiencia y su conocimiento del edificio de la Facultad de Ingeniería. Su colaboración y la documentación que puso a nuestra disposición, enriquecieron significativamente esta investigación.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, por facilitarnos el acceso a la información necesaria para el desarrollo del proyecto y por abrir sus puertas a una temática de especial relevancia para su comunidad.

Finalmente, a nuestras familias y seres queridos, por el apoyo, la paciencia y el aliento constante durante todo el recorrido académico que culmina en este trabajo.

Índice

1. Introducción **11**
- 1.1. Contexto y antecedentes . . . 11
- 1.2. Justificación de la importancia del proyecto . . . 12
- 1.3. Alcance . . . 13
  - 1.3.1. Limitaciones del alcance . . . 14
- 1.4. Objetivos . . . 14
  - 1.4.1. Objetivo general . . . 14
  - 1.4.2. Objetivos específicos . . . 14
- 1.5. Metodología . . . 15
  - 1.5.1. Revisión normativa, teórica y bibliográfica . . . 15
  - 1.5.2. Relevamiento de buenas prácticas internacionales . . . 15
  - 1.5.3. Diagnóstico institucional . . . 15
  - 1.5.4. Diseño del sistema de evacuación . . . 15
  - 1.5.5. Elaboración de los documentos operativos . . . 16
  - 1.5.6. Análisis cuantitativo del tiempo de evacuación . . . 16

2. Marco Legal **17**
- 2.1. Ley N.º 18.418 Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad . . . 17
- 2.2. Ley N.º 18.651 Protección Integral de las Personas con Discapacidad . . . 17
- 2.3. Decreto N.º 350/022 . . . 17
- 2.4. Decreto N.º 372/023 . . . 17
- 2.5. Instructivos Técnicos de la Dirección Nacional de Bomberos . . . 18

3. Marco Teórico **19**
- 3.1. Estándares internacionales de seguridad y evacuación . . . 21
  - 3.1.1. NFPA 101: Life Safety Code . . . 21
  - 3.1.2. Normas ISO aplicables . . . 21
- 3.2. Normativa técnica nacional de accesibilidad . . . 22
- 3.3. Guías operacionales especializadas . . . 22
- 3.4. Fundamentos para la estimación cuantitativa del tiempo de evacuación . . . 22
  - 3.4.1. El proceso de evacuación . . . 23
  - 3.4.2. Modelos hidráulicos . . . 23
  - 3.4.3. Modelos de simulación de eventos discretos . . . 25

4. Discapacidad **27**
- 4.1. Evolución del concepto de discapacidad . . . 27
- 4.2. Discapacidad en el contexto uruguayo . . . 27
- 4.3. Categorización de la discapacidad y su adopción en la gestión de emergencias 28
  - 4.3.1. Discapacidad física . . . 29
  - 4.3.2. Discapacidad sensorial visual . . . 30
  - 4.3.3. Discapacidad sensorial auditiva . . . 30
  - 4.3.4. Discapacidad cognitiva . . . 30
  - 4.3.5. Discapacidad psicosocial . . . 30
- 4.4. Implicancias de evacuación por perfil funcional . . . 31

5. Estado del arte **33**
- 5.1. Criterios de selección de los casos de referencia . . . 33
  - 5.1.1. Estados Unidos . . . 33
  - 5.1.2. Reino Unido . . . 34
  - 5.1.3. España . . . 34
  - 5.1.4. Australia . . . 35

5.1.5. México . . . 35
5.2. Síntesis de buenas prácticas internacionales identificadas . . . 35
5.2.1. Planes Personales de Evacuación de Emergencia . . . 36
5.2.2. Estructura institucional permanente . . . 36
5.2.3. Asistentes entrenados y sistemas de acompañamiento . . . 37
5.2.4. Áreas de refugio y dispositivos de evacuación asistida . . . 37
5.2.5. Alarmas multisensoriales y comunicación accesible . . . 37
5.2.6. Simulacros inclusivos y capacitación continua . . . 37
5.2.7. Protocolos diferenciados por escenario . . . 38
5.3. Antecedentes en el contexto nacional . . . 38
5.4. Antecedentes de métodos de estimación del tiempo de evacuación . . . 39
5.4.1. Aplicaciones de métodos de cálculo directo . . . 39
5.4.2. Modelación mediante eventos discretos en MATLAB/SimEvents . . . 39
5.4.3. Aplicación del enfoque al presente trabajo . . . 40

6. Diagnóstico Institucional 41
6.1. La Facultad de Ingeniería: contexto y comunidad . . . 41
6.1.1. Reseña institucional . . . 41
6.1.2. Conjunto edilicio . . . 42
6.1.3. Comunidad universitaria . . . 42
6.2. Caracterización edilicia . . . 43
6.2.1. Edificio Central . . . 43
6.2.2. Cuerpo Norte . . . 44
6.2.3. Cuerpo Sur . . . 45
6.3. Infraestructura y equipamiento actual de emergencia . . . 45
6.4. Protocolo de actuación ante emergencias vigente . . . 46
6.5. Evaluación del cumplimiento respecto de los estándares de referencia . . . 46
6.6. Análisis de resultados e identificación de brechas . . . 49

7. Priorización y clasificación de escenarios 51
7.1. Matriz de riesgo y priorización . . . 51
7.1.1. Criterios de evaluación . . . 51
7.1.2. Evaluación de riesgo de los escenarios seleccionados . . . 52
7.2. Escenarios adicionales descartados . . . 53
7.3. Definiciones operativas de los escenarios seleccionados . . . 54
7.4. Variantes de los escenarios según su magnitud y evolución . . . 55
7.4.1. Incendio o principio de incendio . . . 55
7.4.2. Amenaza de bomba o artefacto explosivo . . . 55
7.4.3. Amenaza de tirador activo . . . 56
7.4.4. Fenómeno meteorológico severo . . . 56
7.4.5. Derrame de productos químicos peligrosos . . . 56
7.4.6. Fuga de gas . . . 56
7.4.7. Inundación, anegamiento u otro evento de origen hídrico . . . 56
7.4.8. Sismo u otro evento geológico . . . 56
7.5. Clasificación de los procedimientos según la respuesta inicial . . . 57

8. Diseño del protocolo de evacuación inclusivo 59
8.1. Alcance del protocolo . . . 59
8.2. Consideraciones de diseño del protocolo . . . 59
8.3. Estructura del equipo de emergencia . . . 60
8.3.1. Comité de gestión de emergencias . . . 60
8.3.2. Líderes de evacuación . . . 60
8.3.3. Líderes de piso . . . 61
8.3.4. Brigada de evacuación . . . 61

8.3.5. Personal de vigilancia . . . 61
8.3.6. Roles de apoyo . . . 61
8.4. Criterios de activación del protocolo . . . 61
8.5. Comunicación institucional de la emergencia . . . 63
8.5.1. Coordinación interna del equipo de emergencia . . . 64
8.5.2. Alerta a los ocupantes del edificio . . . 64
8.6. Cierre operativo de la emergencia . . . 65
8.7. Capacitación y simulacros . . . 65

9. Diseño de los procedimientos de evacuación 67
9.1. Consideraciones de diseño de los procedimientos . . . 67
9.2. Estructura común de los procedimientos . . . 68
9.3. Diagrama de flujo general de los procedimientos . . . 69
9.4. Etapas de los procedimientos de evacuación inmediata . . . 70
9.4.1. Activación de la alarma . . . 70
9.4.2. Comunicación de la emergencia . . . 70
9.4.3. Evacuación . . . 71
9.4.4. Llegada al punto de encuentro . . . 71
9.4.5. Cierre de la emergencia y reinicio de actividades . . . 71
9.5. Etapas de los procedimientos de resguardo con evacuación diferida . . . 71
9.5.1. Activación de la alerta . . . 71
9.5.2. Resguardo inmediato . . . 72
9.5.3. Monitoreo de la situación . . . 72
9.5.4. Evacuación diferida . . . 72
9.5.5. Llegada al punto de encuentro y cierre de la emergencia . . . 72

10. Diseño de las especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad 73
10.1. Consideraciones de diseño de las especificaciones . . . 74
10.2. Principios rectores de la asistencia . . . 74
10.2.1. Preservación de la autonomía . . . 74
10.2.2. Comunicación diferenciada por perfil . . . 74
10.2.3. Anticipación del bloqueo . . . 74
10.3. Decisiones de diseño por perfil funcional . . . 75
10.3.1. Discapacidad física . . . 75
10.3.2. Discapacidad sensorial visual . . . 75
10.3.3. Discapacidad sensorial auditiva . . . 75
10.3.4. Discapacidad cognitiva . . . 75
10.3.5. Discapacidad psicosocial . . . 76

11. Diseño del Plan Personal de Evacuación de Emergencia 77
11.1. Consideraciones de diseño . . . 77
11.2. Alcance y criterio de aplicación . . . 78
11.3. Estructura . . . 78
11.4. Proceso de elaboración . . . 79
11.5. Caso práctico de aplicación . . . 80
11.6. Vigencia y difusión . . . 81

12. Análisis cuantitativo del tiempo de movimiento 83
12.1. Objetivo del análisis . . . 83
12.2. Alcance y selección del recorrido crítico . . . 83
12.3. Hipótesis y simplificaciones del modelo . . . 84
12.3.1. Hipótesis sobre la ocupación . . . 84
12.3.2. Hipótesis sobre la infraestructura . . . 84

12.3.3. Criterio de conservadurismo 84
12.4. Datos de entrada 84
12.4.1. Dimensiones del recorrido crítico 85
12.4.2. Ocupación por nivel 86
12.4.3. Velocidades de desplazamiento 86
12.5. Escenarios evaluados 86
12.6. Descomposición del recorrido y formulación aplicada 87
12.7. Método 1: estimación del tiempo de movimiento mediante cálculo directo . 88
12.7.1. Desarrollo de resultados obtenidos 89
12.8. Método 2: estimación del tiempo de movimiento mediante simulación de eventos discretos 91
12.8.1. Modelado en SimEvents 91
12.8.2. Configuración de los escenarios en SimEvents 93
12.8.3. Resumen de resultados 98
12.9. Análisis de resultados de ambos métodos 98
12.9.1. Diferencia de magnitud 98
12.9.2. Diferencia de sensibilidad 99
12.9.3. Implicancia para la evacuación inclusiva 99

13. Recomendaciones para el fortalecimiento del sistema 101
13.1. Mejoras comunicacionales 101
13.2. Mejoras organizativas 102
13.3. Mejoras de infraestructura 104
13.4. Visualización conceptual de las mejoras propuestas 106

14. Conclusiones y proyección del sistema 109
14.1. Cumplimiento de los objetivos 109
14.2. Conclusiones principales 109
14.2.1. La inclusión requiere planificación previa 110
14.2.2. La respuesta debe adaptarse al escenario 110
14.2.3. La configuración del recorrido condiciona el tiempo de movimiento . 110
14.2.4. La heterogeneidad de movilidad modifica el tiempo de finalización . 111
14.2.5. La evacuación inclusiva como enfoque para fortalecer la respuesta general 111
14.3. Proyección del sistema 111
14.3.1. Implementación y validación mediante simulacros 112
14.3.2. Implementación del registro de PEEP 112
14.3.3. Mejoras de infraestructura 112
14.3.4. Extensión del modelo cuantitativo 112
14.3.5. Extensión a otros edificios de la Facultad de Ingeniería 112
14.3.6. Extensión a otras instituciones 113
14.4. Reflexión final 113

Apéndice A. Scripts de simulación de los escenarios 119

Glosario

A continuación se presentan las definiciones de los términos y siglas utilizados a lo largo del presente trabajo.

Cuadro 1: Glosario de términos y siglas utilizados en el documento.

Término / Sigla	Definición
ADA	*Americans with Disabilities Act*. Ley estadounidense de 1990 que establece los estándares de accesibilidad y prohíbe la discriminación por discapacidad.
ANSI	*American National Standards Institute*. Organismo estadounidense que coordina el desarrollo de normas técnicas voluntarias.
Áreas de refugio	Espacios estructuralmente seguros, resistentes al fuego y comunicados con el exterior, ubicados dentro del edificio para que personas que no puedan evacuar por sus propios medios permanezcan en resguardo hasta recibir asistencia.
AS 3745	*Australian Standard 3745: Planning for emergencies in facilities*. Norma australiana para la planificación de emergencias en edificios e instalaciones.
Brigada	Equipo institucional capacitado para la respuesta operativa ante emergencias dentro del edificio.
Brigadista	Integrante de la brigada de emergencia encargado de ejecutar las acciones operativas de asistencia, evacuación y apoyo durante una situación de emergencia.
Buddy System	Sistema de asistencia mediante el cual una persona previamente designada acompaña y asiste a otra durante una evacuación.
Capacidad de paso	Cantidad máxima de personas que puede atravesar un punto de paso por unidad de tiempo, determinada en el modelo a partir del ancho disponible y del coeficiente de circulación.
Caudal de evacuación	Cantidad de personas que atraviesa una sección determinada del recorrido de evacuación por unidad de tiempo.
Cc – Coeficiente de circulación	Parámetro utilizado para determinar la capacidad de paso en función del ancho disponible de un punto restringido, expresado en personas por segundo y por metro de ancho [personas/(s·m)].
CIF	Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud, aprobada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2001.
DEA	Desfibrilador Externo Automático. Dispositivo médico utilizado para restablecer el ritmo cardíaco en casos de paro cardíaco.
DHS	*Department of Homeland Security*. Departamento de Seguridad Nacional de Estados Unidos.
DNB	Dirección Nacional de Bomberos del Uruguay. Organismo responsable de regular y supervisar las condiciones mínimas de seguridad contra incendios y emergencias en el territorio nacional.

Continúa en la página siguiente.

Continuación de la Tabla 1.

Término / Sigla	Definición
Entidad	Elemento individual que circula a través de un modelo de eventos discretos. En la simulación desarrollada en este trabajo, cada entidad representa a un ocupante del edificio.
EPP	Equipo de Protección Personal. Conjunto de elementos destinados a proteger al usuario de riesgos específicos durante una intervención, tales como guantes, antiparras, máscara o mameluco.
FEMA	*Federal Emergency Management Agency*. Agencia federal estadounidense para la gestión de emergencias.
FIFO	*First In, First Out*. Disciplina de gestión de colas según la cual la primera entidad que ingresa es la primera en salir. Es el criterio adoptado para ordenar a los ocupantes en las colas del modelo de simulación.
FING	Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.
HSE	*Health and Safety Executive*. Organismo del Reino Unido responsable de la regulación y aplicación de la salud y seguridad en el lugar de trabajo.
INE	Instituto Nacional de Estadística del Uruguay.
INUMET	Instituto Uruguayo de Meteorología. Organismo oficial uruguayo responsable de los servicios meteorológicos.
ISO	*International Organization for Standardization*. Organización Internacional de Normalización, encargada de la elaboración de normas técnicas consensuadas a nivel global.
Líder de Evacuación	Rol institucional con la responsabilidad de coordinar la respuesta general ante una emergencia y tomar las decisiones operativas durante el evento.
Líder de Piso	Rol institucional con la responsabilidad de coordinar la respuesta en un sector o piso específico del edificio y reportar al Líder de Evacuación.
NFPA	*National Fire Protection Association*. Organización internacional de referencia en normas técnicas de prevención y respuesta ante incendios y otras emergencias.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PAP	Primeros Auxilios Psicológicos. Conjunto de técnicas de apoyo inmediato destinadas a reducir el impacto psicológico inicial de una situación crítica, promoviendo la seguridad, la calma y el afrontamiento de las personas afectadas.
PDCA	*Plan–Do–Check–Act*. Ciclo de mejora continua de cuatro fases: Planificar, Ejecutar, Verificar y Actuar.

Continúa en la página siguiente.

Continuación de la Tabla 1.

Término / Sigla	Definición
PEEP	*Personal Emergency Evacuation Plan.* Plan Personal de Evacuación de Emergencia. Documento individual que establece las medidas específicas necesarias para garantizar la evacuación segura de una persona que requiere asistencia durante una emergencia.
PEEP activo	Plan Personal de Evacuación de Emergencia vigente, validado y registrado institucionalmente para una persona que requiere asistencia durante una evacuación.
Perfil de movilidad	Clasificación utilizada en el modelo para diferenciar ocupantes según su velocidad de desplazamiento. En el análisis realizado se consideran perfiles de velocidad normal y velocidad reducida.
Punto de encuentro	Lugar exterior seguro y previamente definido donde se reagrupan los ocupantes evacuados de un sector o del edificio completo.
Punto de paso restringido	Sector del recorrido de evacuación cuya capacidad de circulación se encuentra condicionada por el ancho disponible y que puede dar lugar a la formación de colas.
RCB	Reanimación Cardíaca Básica. Conjunto de maniobras para restablecer las funciones vitales ante un paro cardiorrespiratorio.
Refuge area	Término en inglés equivalente a área de refugio. Concepto utilizado en el marco normativo del Reino Unido y Estados Unidos.
Run–Hide–Fight	Esquema de respuesta ante tirador activo: Correr, Esconderse y Pelear, desarrollado por el *Department of Homeland Security* de Estados Unidos.
SimEvents	Herramienta integrada en MATLAB/Simulink para el modelado y simulación de sistemas de eventos discretos, utilizada en este trabajo para representar el movimiento y la interacción de los ocupantes durante la evacuación.
Simulación de eventos discretos	Método de simulación en el que la evolución de un sistema se representa mediante eventos que ocurren en instantes determinados y modifican su estado.
Simulacro inclusivo	Ejercicio práctico de evacuación que incorpora la participación activa de personas con discapacidad con el objetivo de validar procedimientos, identificar barreras y mejorar el sistema de respuesta.
Tiempo de incorporación	Tiempo requerido para que los ocupantes de un nivel alcancen el punto en el que se incorporan al flujo principal de evacuación.
Tiempo de movimiento	Tiempo comprendido entre el inicio del desplazamiento de los ocupantes y la llegada del último ocupante considerado al punto de encuentro.
Tiempo de servicio	Tiempo durante el cual una entidad es procesada por un servidor del modelo. En los puntos de paso restringido se utiliza para representar la capacidad de descarga asociada al ancho disponible.

Continúa en la página siguiente.

Continuación de la Tabla 1.

Término / Sigla	Definición
Tiempo de tránsito	Tiempo requerido por una entidad para recorrer un tramo del recorrido de evacuación, determinado en función de la longitud del tramo y de su velocidad de desplazamiento.
Udelar	Universidad de la República. Principal universidad pública del Uruguay.
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México.
UNAPDI	Unidad de Atención para Personas con Discapacidad de la UNAM. Estructura institucional permanente para la gestión de la inclusión en el ámbito universitario mexicano.
UNIT	Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Organismo nacional responsable de la elaboración y difusión de normas técnicas.
Vigilancia	Personal institucional responsable del control de accesos, monitoreo del edificio y primera respuesta ante situaciones de emergencia.
Whole Community	Enfoque promovido por FEMA que concibe a toda la comunidad como un actor activo en la preparación, respuesta y recuperación ante emergencias, incluyendo explícitamente a las personas con discapacidad.

Capítulo 1

1. Introducción

El presente capítulo contextualiza el problema abordado en esta investigación y presenta los elementos que orientan su desarrollo. En él se describen los antecedentes y la relevancia del tema, se define el alcance del trabajo, se establecen los objetivos perseguidos y se expone la metodología utilizada para el diseño del sistema de evacuación inclusivo propuesto.

1.1. Contexto y antecedentes

La concepción de la discapacidad ha experimentado una evolución significativa a lo largo de las últimas décadas. Este proceso ha implicado un cambio desde enfoques centrados en la deficiencia, que entendían la discapacidad como una condición individual de naturaleza médica o patológica, hacia una visión basada en los derechos humanos, la equidad y la interacción entre las personas y las barreras presentes en su entorno, de acuerdo con los principios establecidos por la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [1].

Este cambio de paradigma ha sido impulsado por movimientos sociales, organismos internacionales y marcos normativos que han promovido la inclusión como principio rector para la construcción de sociedades más justas e igualitarias.

En este contexto, la discapacidad ha dejado de ser entendida exclusivamente como una condición médica para ser reconocida como el resultado de la interacción entre las personas y las barreras físicas, comunicacionales, sociales e institucionales que limitan su participación plena y efectiva en igualdad de condiciones. Esta perspectiva ha impulsado el desarrollo de políticas públicas orientadas a promover la accesibilidad universal, el diseño inclusivo, la igualdad de oportunidades y la eliminación de las barreras que generan discriminación, principios incorporados al marco jurídico nacional mediante la Ley N.º 18.651 [2, 3]. Estas políticas se han incorporado progresivamente en ámbitos como la educación, el transporte, la salud, el empleo y el urbanismo.

No obstante, uno de los ámbitos en los que este enfoque aún presenta importantes desafíos es la gestión del riesgo y, en particular, la planificación de la respuesta ante situaciones de emergencia. Si bien la inclusión ha adquirido creciente relevancia en distintos contextos institucionales, numerosos procedimientos de evacuación continúan basándose en procedimientos generales que no contemplan adecuadamente las necesidades derivadas de las distintas discapacidades físicas, sensoriales, cognitivas o psicosociales, pese a las recomendaciones establecidas en estándares internacionales como el Código de Seguridad Humana NFPA 101 [4] y la norma ISO 21542 sobre accesibilidad del entorno construido [5]. Como consecuencia, las personas con discapacidad pueden enfrentar barreras adicionales durante una evacuación, incrementando su nivel de exposición al riesgo en situaciones donde el tiempo de respuesta resulta crítico.

En Uruguay existen normas y reglamentaciones vinculadas a la accesibilidad, la protección contra incendios y la planificación ante emergencias. Sin embargo, hasta el momento no se dispone de lineamientos técnicos nacionales que desarrollen de manera específica procedimientos de asistencia para personas con discapacidad durante una evacuación. Si bien el marco normativo vigente establece requisitos generales para la seguridad contra incendios, los planes de evacuación y las condiciones edilicias, no aborda de forma integral

los aspectos operativos, organizativos y humanos necesarios para garantizar una evacuación inclusiva, tal como se observa en el Decreto N.º 350/022 [6] y en la Guía para la elaboración de planes de evacuación de la Dirección Nacional de Bomberos [7].

La escasez de antecedentes formales específicos en materia de evacuación inclusiva pone de manifiesto la necesidad de desarrollar herramientas que permitan incorporar de manera sistemática las necesidades de las personas con discapacidad en la planificación de la respuesta ante emergencias. En este contexto, el presente trabajo tiene como finalidad elaborar un conjunto de procedimientos y especificaciones de asistencia que contribuyan a fortalecer la gestión de emergencias en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, promoviendo una respuesta más segura, accesible e inclusiva.

1.2. Justificación de la importancia del proyecto

La necesidad de desarrollar procedimientos específicos para la evacuación de personas con discapacidad responde tanto a fundamentos normativos como a criterios técnicos y sociales. Garantizar que todas las personas puedan evacuar de manera segura constituye un componente esencial de una gestión integral de emergencias y de la protección efectiva del derecho a la vida, la integridad física y la igualdad de oportunidades.

En este sentido, la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, ratificada por Uruguay mediante la Ley N.º 18.418, establece la obligación de los Estados de adoptar las medidas necesarias para asegurar que las personas con discapacidad puedan ejercer plenamente sus derechos humanos y libertades fundamentales en igualdad de condiciones con las demás personas [1, 8].

En este marco, el desarrollo de procedimientos y especificaciones de asistencia para una evacuación inclusiva representa no solo una exigencia derivada del marco normativo vigente, sino también un compromiso ético con la protección de los derechos humanos. Permitir que todas las personas, independientemente de sus capacidades físicas, sensoriales, cognitivas o psicosociales, puedan evacuar de manera segura, autónoma y digna constituye una condición esencial para garantizar la igualdad de derechos y la no discriminación [1, 2].

La magnitud de la población potencialmente beneficiaria refuerza la urgencia de esta iniciativa. El Censo de 2023 del *Instituto Nacional de Estadística* (INE) registra que aproximadamente el 29 % de la población uruguaya presenta alguna forma de discapacidad permanente [9]. Esta proporción aumenta significativamente en los grupos de mayor edad: alcanza el 26,3 % entre quienes tienen 75 años o más, y el 12,7 % entre quienes tienen entre 65 y 74 años [9]. En el ámbito universitario, la Universidad de la República registraba 203.150 estudiantes activos en 2025 [10], entre los cuales se encuentra una proporción relevante de personas con discapacidad permanente o transitoria, así como personas mayores, mujeres embarazadas y personas con limitaciones funcionales temporales.

Actualmente, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República dispone de un protocolo general de actuación ante emergencias. Sin embargo, dicho instrumento no incorpora procedimientos específicos para la asistencia de personas con discapacidad durante una evacuación, lo que evidencia una oportunidad de mejora respecto de las recomendaciones contenidas en la NFPA 101 [4] y en la norma ISO 21542:2021 [5], orientadas a promover entornos accesibles e inclusivos.

La Ley N.º 18.651 establece, en sus artículos 68, 69 y 76, la obligación de eliminar barreras físicas en edificios de uso público y de adaptar progresivamente las instalaciones existentes conforme a las normas técnicas del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT) [2]. En materia de organización institucional ante emergencias, los Instructivos Técnicos N.º 16 y N.º 19 de la Dirección Nacional de Bomberos establecen los requisitos mínimos para la elaboración de planes de evacuación e incorporan consideraciones específicas para personas con movilidad reducida [11, 12]. En este contexto, la adecuación

del protocolo de evacuación de la Facultad de Ingeniería representa una oportunidad para incorporar criterios de accesibilidad e inclusión que fortalezcan la preparación institucional frente a situaciones de emergencia.

La implementación de procedimientos y especificaciones de asistencia para una evacuación inclusiva contribuye no solo al cumplimiento del marco normativo vigente, sino también al fortalecimiento de la gestión del riesgo, la reducción de situaciones de vulnerabilidad y la protección efectiva de toda la comunidad universitaria. Asimismo, proporciona herramientas operativas que permiten mejorar la preparación institucional y facilitar una respuesta coordinada ante emergencias, promoviendo entornos más seguros, accesibles e inclusivos para todas las personas.

1.3. Alcance

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema integral de gestión de evacuaciones ante emergencias para el edificio principal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. La inclusión de personas con discapacidad constituye un eje transversal del diseño y se integra en cada uno de los componentes del sistema, conforme a los principios establecidos por la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [1] y por la normativa nacional vigente [2].

El sistema se articula en cuatro componentes complementarios: el *protocolo de evacuación inclusivo*, documento rector que establece el marco organizativo y los lineamientos generales de la respuesta ante emergencias; nueve *procedimientos de evacuación específicos*, uno por cada escenario considerado; las *especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad*, que desarrollan los procedimientos diferenciados para cada perfil de discapacidad; y el *Plan Personal de Evacuación de Emergencia* (PEEP), instrumento de planificación individualizada para personas que requieren asistencia específica.

Los nueve escenarios considerados son: incendio o principio de incendio; amenaza de bomba o artefacto explosivo; sismo u otro evento geológico; fenómeno meteorológico severo; derrame de productos químicos peligrosos; fuga de gas; inundación, anegamiento u otro evento de origen hídrico; amenaza de tirador activo; y falla o bloqueo de ascensor con ocupantes.

Para definir los perfiles de discapacidad considerados, se adopta una categorización operativa basada en los marcos conceptuales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), adaptada a las necesidades de la gestión de emergencias [3]. Se contemplan cinco categorías: discapacidad física, sensorial visual, sensorial auditiva, cognitiva y psicosocial. Cada una implica requerimientos específicos en términos de alerta, comunicación y asistencia durante la evacuación, los cuales se desarrollan en las especificaciones de asistencia y se integran de forma transversal en cada procedimiento.

El trabajo comprende asimismo la estimación del tiempo de evacuación del edificio central, sector que concentra la mayor complejidad operativa del conjunto por su desarrollo en diez niveles con una única escalera interior. La estimación se realiza mediante un modelo de capacidad de flujo aplicado al recorrido más desfavorable del edificio, resuelto a través de dos métodos complementarios, el cálculo analítico directo y la simulación de eventos discretos, y evaluado bajo tres escenarios de cálculo que combinan distintas condiciones de ocupación y de velocidad de desplazamiento. Su propósito es evaluar el desempeño de la infraestructura vigente e identificar los factores que condicionan la duración del desplazamiento.

El enfoque adoptado permanece abierto a futuras actualizaciones, en tanto el concepto de discapacidad y las prácticas de gestión inclusiva de emergencias se encuentran en permanente evolución [1, 3].

1.3.1. Limitaciones del alcance

El sistema diseñado se circunscribe al edificio principal de la Facultad de Ingeniería, compuesto por el edificio central, el cuerpo norte y el cuerpo sur. Si bien los fundamentos conceptuales, el marco normativo y los criterios de diseño son transferibles a otros edificios de la institución, su adaptación específica queda fuera del alcance de esta tesis y constituye una línea de trabajo futuro.

Por otra parte, la Facultad de Ingeniería no dispone actualmente de un registro centralizado y actualizado de las personas con discapacidad que integran su comunidad universitaria, lo que limita la posibilidad de caracterizar con precisión a la población destinataria del sistema. Esta carencia constituye en sí misma uno de los hallazgos del diagnóstico y motiva una de las recomendaciones del proyecto: la implementación de un registro institucional de PEEPs que permita gestionar de forma efectiva la asistencia individualizada en futuros eventos de emergencia.

El sistema desarrollado constituye una propuesta académica de protocolo de evacuación inclusivo y tiene como finalidad proporcionar una base técnica, organizativa y operativa para una eventual implementación institucional. Por lo tanto, no constituye un plan de evacuación formalmente aprobado ni sustituye el proyecto de protección contra incendios requerido por la Dirección Nacional de Bomberos.

1.4. Objetivos

A partir del problema identificado y del alcance definido, se establecen los objetivos que orientan el desarrollo de la presente investigación. Estos se organizan en un objetivo general, que expresa el propósito central del trabajo, y en un conjunto de objetivos específicos que guían las distintas etapas del diseño y desarrollo del sistema de evacuación inclusivo propuesto.

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema integral de gestión de evacuaciones ante situaciones de emergencia para el edificio principal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, contemplando los distintos escenarios de emergencia relevantes para la institución e integrando la inclusión de personas con discapacidad como eje transversal del diseño.

1.4.2. Objetivos específicos

I. Identificar y analizar la normativa nacional e internacional vigente en materia de evacuación inclusiva, accesibilidad y gestión de emergencias.

II. Evaluar el protocolo de evacuación actualmente vigente en la Facultad de Ingeniería, identificando limitaciones estructurales, organizativas y operativas, con especial atención a la inclusión de personas con discapacidad.

III. Caracterizar los escenarios de emergencia relevantes para el edificio principal y definir los criterios técnicos que deberán cumplir cada procedimiento específico.

IV. Diseñar el *protocolo de evacuación inclusivo*, los procedimientos específicos por escenario, las *especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad* y los demás instrumentos que integran el sistema, tomando como base la normativa vigente, los estándares técnicos internacionales y las buenas prácticas relevadas.

V. Desarrollar un modelo de *Plan Personal de Evacuación de Emergencia* (PEEP) adaptado al contexto institucional de la Facultad de Ingeniería.

VI. Estimar la componente de movimiento del tiempo de evacuación del edificio central mediante un modelo de capacidad de flujo, resuelto por cálculo analítico directo y por simulación de eventos discretos, bajo las condiciones de infraestructura actuales, e identificar los factores que condicionan dicho tiempo.

VII. Proponer mejoras comunicacionales, organizativas y de infraestructura que potencien la efectividad del sistema diseñado.

1.5. Metodología

La investigación adopta un enfoque metodológico predominantemente cualitativo, orientado a diagnosticar las limitaciones del sistema de evacuación vigente en la Facultad de Ingeniería y a diseñar un sistema integral que contemple la diversidad funcional de toda la comunidad universitaria. Este enfoque se complementa con herramientas de análisis cuantitativo aplicadas a aspectos específicos del proyecto, particularmente en la priorización de escenarios mediante una matriz de riesgo y en la estimación del tiempo de evacuación del edificio central mediante un modelo de capacidad de flujo.

La investigación se estructura en seis etapas secuenciales:

1.5.1. Revisión normativa, teórica y bibliográfica

La primera etapa comprende el relevamiento y análisis del marco legal nacional aplicable, la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [1], Ley N.º 18.651 [2] y el Decreto N.º 350/022 [13], los instructivos técnicos de la DNB [11, 12], de los estándares técnicos internacionales en materia de seguridad y accesibilidad, NFPA 101 [4], ISO 21542:2021 [5], ISO 23601:2009 [14], UNIT 200 [15] y UNIT 1026 [16], y del marco conceptual sobre discapacidad proporcionado por la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) [3]. Esta etapa establece los fundamentos normativos y conceptuales sobre los cuales se construye el resto del trabajo.

1.5.2. Relevamiento de buenas prácticas internacionales

La segunda etapa consiste en el análisis comparativo de experiencias en gestión de evacuaciones inclusivas en instituciones de educación superior de referencia internacional: Estados Unidos, Reino Unido, España, Australia y México. El relevamiento se orienta a identificar buenas prácticas potencialmente transferibles al contexto de la Facultad de Ingeniería en cuatro dimensiones: estructura institucional permanente, planificación individualizada mediante PEEP, infraestructura de apoyo a la evacuación, y capacitación y simulacros inclusivos.

1.5.3. Diagnóstico institucional

La tercera etapa comprende la evaluación del estado actual de la Facultad de Ingeniería en materia de accesibilidad y preparación ante emergencias. Incluye la caracterización edilicia de los tres sectores del edificio principal, la evaluación de la infraestructura y el equipamiento de emergencia disponible, el análisis del plan de evacuación vigente y consultas con referentes institucionales. Los hallazgos se sistematizan mediante un instrumento de evaluación que confronta la situación observada con los requisitos de los estándares de referencia, identificando brechas en tres dimensiones: comunicacional, organizativa y operativa.

1.5.4. Diseño del sistema de evacuación

A partir de los hallazgos del diagnóstico y de las buenas prácticas relevadas, se desarrolla el sistema integral de gestión de evacuaciones. Esta etapa incluye la selección y

priorización de los nueve escenarios de emergencia contemplados mediante una matriz de riesgo que cruza probabilidad de ocurrencia e impacto potencial, la definición de la estructura organizativa del equipo de emergencia y sus roles, los criterios de activación y comunicación diferenciados por escenario, y los lineamientos generales de la respuesta inclusiva. Esta etapa se desarrolla en el Capítulo 7 en lo referido a la selección y priorización de escenarios, y se completa en el Capítulo 8 con la definición de la estructura organizativa, los criterios de activación y los mecanismos de comunicación, en tanto estos últimos constituyen simultáneamente el contenido central del primer componente operativo elaborado en la etapa siguiente.

1.5.5. Elaboración de los documentos operativos

La quinta etapa consiste en la elaboración de los cuatro componentes del sistema. El *protocolo de evacuación inclusivo* establece el marco organizativo y procedimental general. Los nueve *procedimientos de evacuación específicos* desarrollan la respuesta ante cada escenario identificado, siguiendo una estructura común que garantiza coherencia y autonomía operativa de cada documento. Las *especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad* detallan los procedimientos diferenciados para cada uno de los cinco perfiles de discapacidad considerados. El *Plan Personal de Evacuación de Emergencia* (PEEP) provee el instrumento de planificación individualizada para personas que requieren asistencia específica.

1.5.6. Análisis cuantitativo del tiempo de evacuación

La sexta etapa consiste en la estimación de la componente de movimiento del tiempo de evacuación del edificio central bajo sus condiciones de infraestructura actuales. Comprende el relevamiento de las dimensiones de las vías de evacuación y de los datos de ocupación por nivel, la selección del recorrido crítico, la definición de los escenarios de cálculo y la aplicación del modelo de capacidad de flujo presentado en la Sección 3.4.2, resuelto tanto por cálculo analítico directo como por simulación de eventos discretos. Los resultados obtenidos permiten identificar los puntos de la red de evacuación que condicionan el tiempo total y aportan evidencia para las recomendaciones formuladas.

Capítulo 2

2. Marco Legal

El presente capítulo reúne el marco jurídico nacional e internacional que sustenta el desarrollo del sistema de evacuación inclusivo propuesto. Se analizan las principales normas, decretos e instrumentos técnicos aplicables en materia de discapacidad, accesibilidad, educación inclusiva y gestión de emergencias, identificando los fundamentos legales que respaldan la elaboración de procedimientos específicos para la asistencia de personas con discapacidad durante una evacuación.

2.1. Ley N.º 18.418 Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad

La Ley N.º 18.418 (2008) incorpora al ordenamiento jurídico uruguayo la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad de las Naciones Unidas. La Convención reconoce a las personas con discapacidad como sujetos plenos de derecho y establece la obligación de los Estados de adoptar las medidas necesarias para garantizar su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás personas, eliminando o reduciendo las barreras físicas, comunicacionales, sociales e institucionales que puedan limitarla [1, 8]. En materia de gestión de emergencias, estos principios implican diseñar procedimientos de evacuación que garanticen la seguridad, la accesibilidad y la dignidad de todas las personas, independientemente de su condición funcional.

2.2. Ley N.º 18.651 Protección Integral de las Personas con Discapacidad

La Ley N.º 18.651 (2010) establece un sistema integral de protección de las personas con discapacidad, orientado a garantizar su atención, rehabilitación e integración plena en la vida social, educativa y laboral [2]. En materia de accesibilidad, los artículos 68, 69 y 76 establecen la obligación de suprimir barreras físicas en edificios de uso público y de adaptar progresivamente las instalaciones existentes conforme a las normas técnicas del *Instituto Uruguayo de Normas Técnicas* (UNIT). Esta obligación constituye uno de los fundamentos normativos para promover entornos construidos accesibles y para desarrollar procedimientos institucionales que favorezcan una evacuación segura e inclusiva.

2.3. Decreto N.º 350/022

El Decreto N.º 350/022 (2022) aprueba el protocolo de actuación para garantizar el derecho a la educación inclusiva de las personas con discapacidad, en reglamentación de la Ley N.º 18.651 y la Ley N.º 18.437 [13]. Como instrumento aplicable a los centros de educación pública, establece lineamientos de accesibilidad comunicacional y organizativa relevantes para la Facultad de Ingeniería como institución educativa de la Universidad de la República. Su vigencia refuerza la obligación institucional de contemplar las necesidades específicas de las personas con discapacidad en la planificación, organización y prestación de los servicios educativos, principios que resultan plenamente aplicables al diseño de procedimientos institucionales de respuesta ante emergencias.

2.4. Decreto N.º 372/023

El Decreto N.º 372/023 reglamenta la Ley N.º 15.896 relativa a las medidas de protección contra incendios y constituye el principal marco normativo nacional en materia de

prevención, seguridad contra incendios y habilitación de edificios por parte de la Dirección Nacional de Bomberos [6].

El decreto establece las condiciones generales que deben cumplir las edificaciones respecto a las medidas de protección contra incendios, los sistemas de detección y alarma, los medios de evacuación y las responsabilidades de los titulares de los establecimientos. Asimismo, reconoce a los Instructivos Técnicos de la Dirección Nacional de Bomberos como documentos complementarios para la aplicación de los requisitos reglamentarios.

Si bien el decreto no desarrolla procedimientos específicos para la evacuación de personas con discapacidad, constituye el principal instrumento reglamentario nacional sobre el cual se apoyan los planes institucionales de emergencia y evacuación, sirviendo de fundamento normativo para la implementación de medidas de seguridad acordes con las características de cada establecimiento.

2.5. Instructivos Técnicos de la Dirección Nacional de Bomberos

La Dirección Nacional de Bomberos (DNB) es el organismo competente en materia de regulación de las condiciones mínimas de seguridad contra incendios y evacuación en edificios públicos y privados del Uruguay. Si bien no existe una norma específica sobre evacuación inclusiva, los instrumentos técnicos vigentes proporcionan el marco general sobre el cual deben elaborarse los planes institucionales de emergencia y evacuación.

La *Guía para la Elaboración de Planes de Emergencia y Evacuación* [7] establece los contenidos mínimos de un plan institucional de emergencia y evacuación: identificación de riesgos, designación de responsables, rutas de evacuación, puntos de encuentro, sistemas de aviso y simulacros periódicos. El Instructivo Técnico N.º 16 incorpora explícitamente la consideración de personas con discapacidad y movilidad reducida, exigiendo medidas compensatorias cuando se detectan ocupantes que no pueden evacuar por sus propios medios [11]. El Instructivo Técnico N.º 19 establece las condiciones técnicas de las salidas de emergencia: dimensiones mínimas, señalización, accesibilidad y condiciones de uso seguro [12].

Capítulo 3

3. Marco Teórico

El presente capítulo sistematiza el marco normativo y técnico, tanto internacional como nacional, que fundamenta el diseño del sistema desarrollado en esta tesis. Su propósito es presentar los principales estándares, normas y guías que sirven de base para las decisiones técnicas adoptadas a lo largo del trabajo, así como los modelos de cálculo que sustentan la estimación del tiempo de evacuación del edificio.

A partir de esta revisión se identifican los principales estándares, normas y guías que sirven de fundamento para el diseño del sistema propuesto. En las secciones siguientes se presentan aquellos instrumentos cuya aplicación resulta más relevante para la evacuación inclusiva en el contexto de la Facultad de Ingeniería.

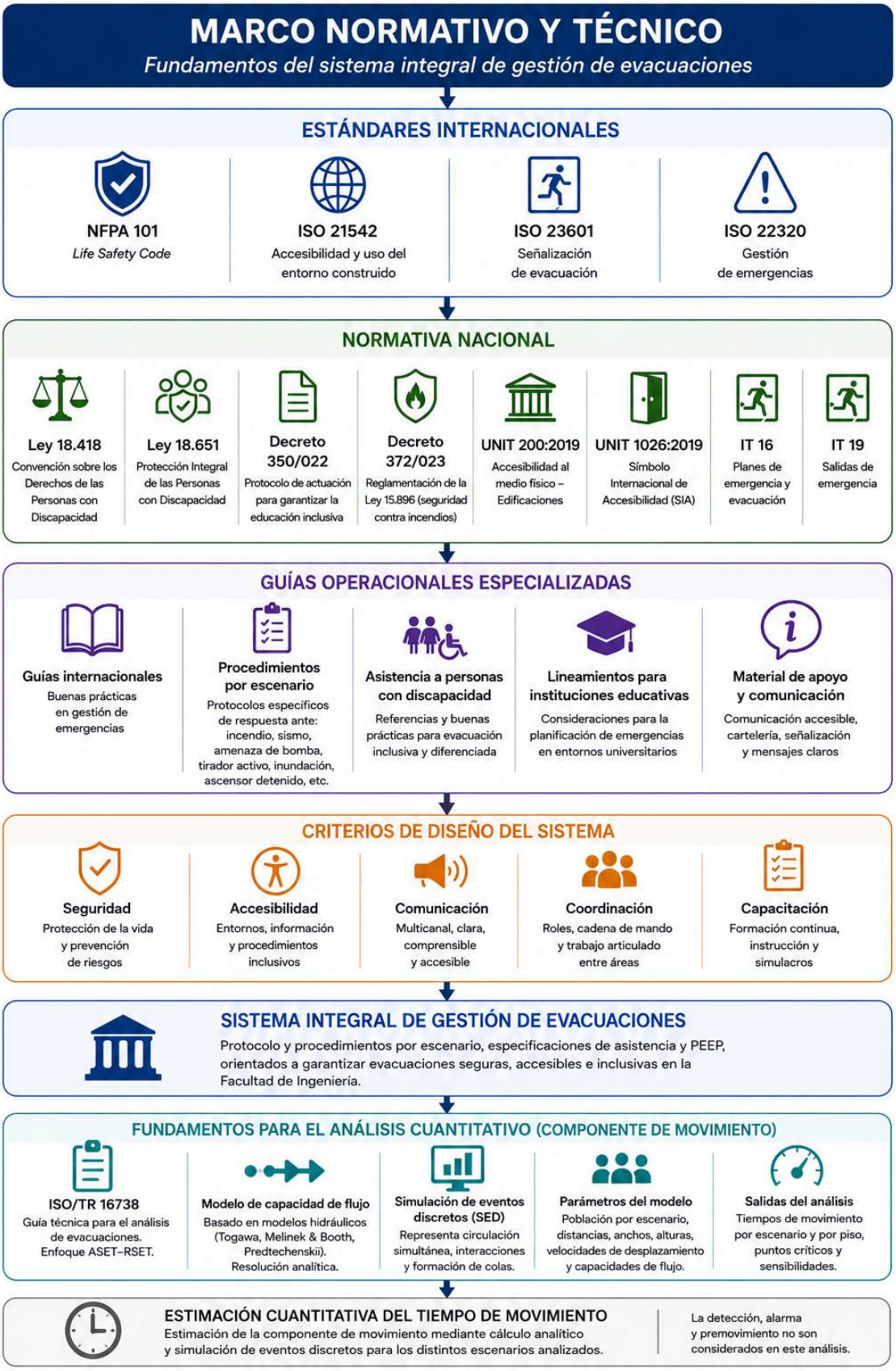

Figura 1: *Estructura del marco normativo y técnico que fundamenta el sistema integral de gestión de evacuaciones desarrollado en esta tesis. Fuente: Elaboración propia.*

3.1. Estándares internacionales de seguridad y evacuación

Los principales estándares internacionales en materia de seguridad, accesibilidad y gestión de emergencias proporcionan los criterios técnicos que sustentan el diseño del sistema propuesto. En esta sección se presentan las normas de mayor relevancia para la evacuación inclusiva, destacando aquellos principios que fueron considerados durante el desarrollo de la presente investigación.

3.1.1. NFPA 101: Life Safety Code

La *National Fire Protection Association* (NFPA) es la organización internacional de referencia en el desarrollo de normas técnicas para la prevención y mitigación de riesgos vinculados a incendios y emergencias. Su estándar NFPA 101: *Life Safety Code* establece las disposiciones fundamentales para la protección de las personas en edificaciones, e incorpora de forma explícita principios de accesibilidad universal que reconocen la diversidad funcional de los ocupantes [4].

Entre los principios de mayor relevancia para este trabajo se destacan cuatro. En primer lugar, la exigencia de rutas de egreso accesibles: libres de obstáculos, adecuadamente dimensionadas y señalizadas, de modo que permitan la evacuación autónoma o asistida de todas las personas. En segundo lugar, el concepto de *Areas of Refuge* (áreas de refugio), espacios estructuralmente seguros e incomunicados del foco de riesgo donde las personas que no puedan evacuar por sus propios medios aguardan asistencia en condiciones de seguridad. En tercer lugar, la implementación de sistemas de notificación multicanal que combinen señales sonoras, visuales y táctiles, asegurando que la alerta llegue a personas con discapacidad sensorial. En cuarto lugar, la señalización accesible, con criterios de contraste visual, tipografía legible y pictogramas normalizados que garanticen la orientación de todos los ocupantes durante una evacuación.

3.1.2. Normas ISO aplicables

La *International Organization for Standardization* (ISO) elabora normas técnicas consensuadas orientadas a garantizar la calidad, la seguridad y la eficiencia en productos, servicios y procesos. En el marco de esta investigación se consideran tres normas ISO con aplicación directa al diseño de sistemas de evacuación inclusivos.

- **ISO 21542:2021 Accesibilidad y uso del entorno construido.** Esta norma establece requisitos y recomendaciones para el diseño y construcción de entornos físicos accesibles, abarcando el acceso a edificios, la circulación interior y la evacuación ante emergencias [5]. Sus disposiciones cubren rutas de circulación, puertas de paso, rampas, escaleras, ascensores, señalización y áreas de espera protegidas, con criterios dimensionales específicos que garantizan el uso seguro y autónomo por personas con movilidad reducida, discapacidad visual o cognitiva. En el contexto de evacuación, la norma promueve sistemas de señalización multimodal, visual, táctil y auditiva, y exige que las rutas de egreso sean continuas, sin barreras y adecuadas para el desplazamiento con silla de ruedas. Esta norma fue adoptada nacionalmente por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas como UNIT-ISO 21542:2021, lo que le confiere carácter técnico de referencia en el ordenamiento nacional.

- **ISO 23601:2009 Señalización de evacuación.** Esta norma establece los principios de diseño para los planos de evacuación exhibidos en instalaciones públicas y lugares de trabajo [14]. Define criterios de legibilidad universal para la comunicación de rutas de escape, equipamiento de seguridad y puntos de encuentro, con especificaciones sobre escala, uso del color, simbología y ubicación. Su aplicación es directamente relevante para el diseño de la señalética de evacuación contemplada en el sistema propuesto,

en particular para garantizar que los planos de evacuación sean comprensibles para personas con discapacidad cognitiva o con bajo dominio del idioma.

- **ISO 22320:2018 Gestión de emergencias.** Esta norma establece los requisitos para la gestión de incidentes de emergencia, incluyendo la estructura de mando, los flujos de comunicación y la coordinación entre actores durante una respuesta [17]. Constituye el marco conceptual sobre el cual se define la estructura organizativa de la brigada de evacuación y los mecanismos de coordinación incorporados en el Protocolo de Evacuación Inclusivo.

3.2. Normativa técnica nacional de accesibilidad

En Uruguay, las normas técnicas elaboradas por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT) adaptan al contexto nacional diversos criterios internacionales sobre accesibilidad. Las normas seleccionadas constituyen la principal referencia técnica para el diseño de entornos accesibles y complementan el marco internacional presentado anteriormente.

- **UNIT 200:2026 Accesibilidad al medio físico** establece requisitos para el diseño de edificios y espacios de uso público, garantizando que puedan ser utilizados de forma segura y autónoma por personas con movilidad reducida [15]. Define parámetros dimensionales para circulaciones, rampas, puertas, sanitarios y otros componentes del entorno construido que inciden directamente sobre la capacidad de evacuación de personas con discapacidad física.

- **UNIT 1026:2019 Accesibilidad / Señalización** fija parámetros para la señalética inclusiva, con criterios de contraste visual, tipografía accesible, pictogramas normalizados e información en relieve y braille cuando corresponde [16]. Su aplicación se extiende a las señales de evacuación, los planos de rutas y la identificación de áreas de resguardo.

3.3. Guías operacionales especializadas

Además de las normas técnicas, este trabajo incorpora lineamientos de guías operacionales especializadas que aportan criterios de actuación para escenarios específicos de emergencia. A diferencia de los estándares ISO y UNIT, cuyo carácter es prescriptivo y orientado al diseño del entorno construido, estas guías son documentos técnicos de carácter procedimental que describen cómo actuar ante emergencias concretas.

En el ámbito nacional, los Instructivos Técnicos N.º 16 y N.º 19 de la DNB constituyen la referencia operacional de mayor relevancia, al establecer los requisitos mínimos para los planes de evacuación institucionales y las condiciones técnicas de las salidas de emergencia, con consideraciones explícitas para personas con discapacidad o movilidad reducida [11, 12]. En el ámbito internacional, se incorporan guías especializadas de organismos de referencia en gestión de emergencias, cuyos lineamientos fundamentan los procedimientos específicos por escenario desarrollados en este sistema.

3.4. Fundamentos para la estimación cuantitativa del tiempo de evacuación

Los métodos de estimación del tiempo de evacuación provienen de la ingeniería de seguridad contra incendios, disciplina que estudia el comportamiento y el movimiento de las personas durante una emergencia [18]. La componente de movimiento de estos métodos describe el desplazamiento de los ocupantes por las vías de evacuación con independencia de la causa que origina la emergencia, por lo que resulta aplicable a los distintos escenarios contemplados en este sistema.

El presente trabajo estima esa componente de movimiento mediante el modelo de capacidad de flujo, perteneciente a la familia de los modelos hidráulicos, que asimila el desplazamiento de las personas al flujo de un fluido a través de una red de conductos [18]. Este modelo admite dos vías de resolución complementarias, ambas incluidas en el Capítulo 12: una resolución analítica de cálculo directo, que caracteriza cada tramo del recorrido y permite identificar los puntos que limitan la capacidad del sistema, y una simulación de eventos discretos, que integra el flujo a lo largo del tiempo y estima la duración del proceso considerando el movimiento simultáneo de los ocupantes.

3.4.1. El proceso de evacuación

En la ingeniería de seguridad contra incendios, el desplazamiento de los ocupantes no se considera un evento instantáneo, sino un proceso que se desarrolla en el tiempo desde que se origina la emergencia hasta que las personas alcanzan un lugar seguro. Este proceso se descompone en etapas sucesivas: la detección del incidente, la emisión de la alarma, el pre-movimiento, entendido como el intervalo de reconocimiento y respuesta en el que las personas interpretan la señal e inician la evacuación, y el movimiento propiamente dicho. Esta descomposición proviene de los manuales de referencia de la especialidad [18] y se encuentra sistematizada en el informe técnico ISO/TR 16738:2009 [19]. La suma de las duraciones de todas las etapas constituye el tiempo requerido para la evacuación en condiciones de seguridad (RSET), que debe resultar inferior al tiempo disponible determinado por la evolución del siniestro (ASET) para que la evacuación sea segura [19].

De esta descomposición, las etapas de detección, alarma y pre-movimiento dependen de factores organizativos: los métodos de notificación, la señalización de las vías y la preparación de los ocupantes, sobre los que actúan la estructura de roles, los mecanismos de comunicación y las instancias de capacitación definidas en el sistema propuesto. La etapa de movimiento, en cambio, admite un cálculo teórico a partir de las dimensiones de las vías y del número de personas que las utilizan. El análisis cuantitativo desarrollado en esta tesis estima esta última componente y no comprende las etapas previas del proceso.

3.4.2. Modelos hidráulicos

Los modelos hidráulicos caracterizan las vías de evacuación por su longitud y su ancho, y tratan los puntos de paso restringido, tales como puertas, accesos a escaleras y salidas, como los elementos que limitan la capacidad del sistema. Su fundamento empírico proviene del estudio del flujo peatonal en edificios, que estableció las relaciones entre la densidad de ocupación, la velocidad de circulación y el flujo a través de las vías. Entre los trabajos que dieron origen a estas formulaciones se encuentran los de Togawa [20] y los de Predtechenskii y Milinskii [21], cuyas expresiones para el cálculo del tiempo de evacuación fueron posteriormente sistematizadas y consolidadas como método de referencia en la ingeniería de seguridad contra incendios [18].

Particularmente, una de las formulaciones desarrollada por Togawa [20], expresa el tiempo de movimiento mediante fórmulas de cálculo directo con parámetros establecidos empíricamente, y lo descompone en dos componentes.

La primera es el **tiempo de tránsito**, requerido para recorrer una distancia:

$$t_t = \frac{l}{v} \tag{1}$$

donde l es la distancia a recorrer, considerando el recorrido real de circulación y no la distancia en línea recta, y v es la velocidad de desplazamiento.

En la formulación empleada, v se adopta como la velocidad máxima de circulación, alcanzable en condiciones de baja densidad de ocupación. Esta elección es consistente con la estructura del modelo: la reducción de la velocidad por congestión no se representa en

el término de tránsito, sino que queda contenida en el término de embudo, asociado a los puntos de paso restringido. Estas velocidades máximas, tabuladas según el tipo de vía a partir de la consolidación empírica del estudio del flujo peatonal en edificios, provienen del modelo hidráulico del SFPE Handbook [18]. Para la circulación horizontal por pasillos, rampas y puertas se adopta $v = 1{,}19$ m/s. Para la circulación vertical en escalera se adopta $v = 0{,}85$ m/s, valor correspondiente a la geometría de peldaño del edificio, con contrahuella y huella del orden aproximado de 0,20 y 0,25 m. Las velocidades adoptadas corresponden al desplazamiento en descenso, coincidente con el sentido de evacuación del caso de estudio.

La segunda es el **tiempo de embudo**, generado en cada punto de paso de ancho limitado donde confluye un grupo de personas:

$$t_e = \frac{P}{C_c \cdot A} \tag{2}$$

donde P es el número de personas que acceden al paso y A es su ancho. El parámetro C_c es el coeficiente de circulación, que representa el flujo máximo por unidad de ancho del paso. Su valor también se encuentra tabulado por el SFPE Handbook, donde se lo identifica como flujo específico máximo para puertas y pasos de ancho limitado, con valor de 1,3 personas/(m·s) [18].

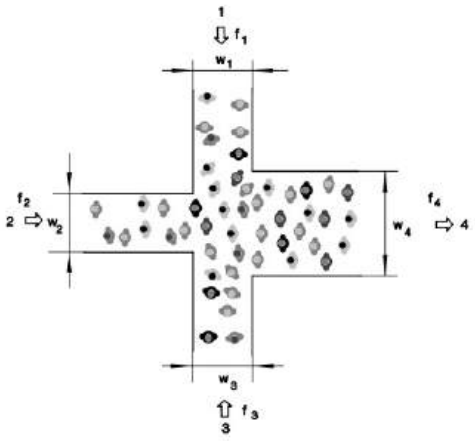

Figura 2: *Confluencia de flujos de evacuación y formación de un efecto de embudo en una zona de circulación, producto de la incorporación simultánea de personas provenientes de diferentes direcciones. Fuente: Casadesús Pursals [22], p. 118.*

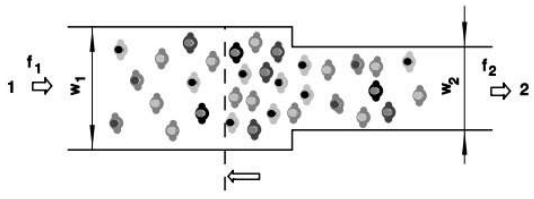

Figura 3: *Formación de un efecto de embudo ante una reducción de la sección de circulación, que limita la capacidad de paso del flujo de evacuación. Fuente: Casadesús Pursals [22], p. 121.*

El **tiempo neto de evacuación de un recinto** resulta de la suma de ambas componentes:

$$t_{ev} = \frac{P}{C_c \cdot A} + \frac{l}{v} \tag{3}$$

Las dimensiones de las vías y la capacidad de ocupación de cada nivel, propias del caso de estudio, se detallan en el Capítulo 12, donde se aplica esta formulación.

3.4.3. Modelos de simulación de eventos discretos

Los modelos de simulación de eventos discretos representan un sistema cuyo estado no cambia de forma continua, sino en instantes puntuales del tiempo denominados eventos [23]. Entre un evento y el siguiente, el estado del sistema permanece constante; cada evento, como la llegada de una entidad, el inicio o la finalización de una operación, actualiza ese estado y determina los eventos futuros. Esta forma de representación resulta adecuada para sistemas en los que un conjunto de elementos circula a través de recursos de disponibilidad limitada.

Una de las estructuras características de este tipo de modelos es la red de colas, en la que entidades individuales recorren una sucesión de servidores de capacidad determinada [23]. Cuando una entidad requiere un servidor que se encuentra ocupado, espera en una cola hasta que el recurso queda disponible. Las colas no se establecen de antemano, sino que se forman cuando la cantidad de entidades que llega a un servidor supera su capacidad de procesamiento, y se disuelven cuando esa demanda disminuye. La magnitud de las esperas y la evolución del sistema en el tiempo resultan, del propio funcionamiento de la red.

Aplicado al movimiento de personas, este paradigma permite representar a cada ocupante como una entidad que recorre las vías de evacuación, y a los puntos de paso restringido como servidores cuya capacidad regula el avance del flujo. A diferencia del cálculo directo, que obtiene el tiempo total como suma de las duraciones de cada tramo, la simulación de eventos discretos reproduce la circulación simultánea de los ocupantes por distintos puntos del recorrido, de modo que el desplazamiento de unas personas se superpone en el tiempo con el de otras.

Capítulo 4

4. Discapacidad

La discapacidad constituye un concepto en permanente evolución que trasciende la definición clínica tradicional. Comprender su evolución conceptual, su clasificación internacional y su configuración en el contexto uruguayo resulta fundamental para sustentar el enfoque inclusivo adoptado en el presente trabajo.

4.1. Evolución del concepto de discapacidad

La concepción de la discapacidad ha experimentado una transformación significativa a lo largo de las últimas décadas, desplazándose desde un enfoque basado en la deficiencia individual hacia una comprensión integral centrada en los derechos humanos y la interacción entre las personas y su entorno.

El modelo tradicional, denominado *modelo médico*, concebía la discapacidad como una condición individual de naturaleza patológica que debía ser tratada o rehabilitada. Bajo este enfoque, la responsabilidad de adaptación recaía exclusivamente sobre la persona afectada [3].

A partir de la segunda mitad del siglo XX, esta visión fue desplazada progresivamente por el *modelo social*, según el cual la discapacidad no reside en la persona sino en las barreras físicas, comunicacionales, sociales o institucionales, que el entorno impone y que impiden la participación plena en igualdad de condiciones. Esta perspectiva fue consolidada internacionalmente con la aprobación de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad de las Naciones Unidas en 2006, ratificada por Uruguay en 2008 mediante la Ley N.º 18.418 [1, 8].

El enfoque actual, sustentado en el modelo de derechos humanos, reconoce a las personas con discapacidad como sujetos plenos de derecho y establece la obligación institucional de eliminar las barreras del entorno, en lugar de exigir la adaptación de la persona a un entorno excluyente.

Este principio rige el diseño de políticas públicas, orienta la elaboración de instrumentos normativos como la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad [1] y constituye uno de los fundamentos conceptuales del presente trabajo.

4.2. Discapacidad en el contexto uruguayo

Desde el punto de vista normativo, Uruguay cuenta con un marco legal relativamente consolidado en materia de discapacidad. La Ley N.º 18.651 de Protección Integral de las Personas con Discapacidad y su Decreto N.º 350/022 establecen las obligaciones institucionales en materia de accesibilidad física, comunicacional y organizativa [2, 13]. Sin embargo, este marco no aborda de forma específica las particularidades de la evacuación en emergencias, lo cual constituye una de las brechas que el presente trabajo busca resolver.

En el ámbito universitario, la magnitud de la población potencialmente destinataria es significativa, considerando que el 29 % de la población uruguaya presenta alguna forma de discapacidad permanente (véase la Sección 1.2). Esta prevalencia se refleja necesariamente en la comunidad de la Universidad de la República, que contaba con 203.150 estudiantes activos en 2025 [10]. A esta población se suman personas mayores, embarazadas y personas con lesiones temporales, configurando un universo destinatario amplio para cualquier política de inclusión institucional, y, en particular, para el diseño de un sistema de evacuación inclusivo como el propuesto en este trabajo.

4.3. Categorización de la discapacidad y su adopción en la gestión de emergencias

La *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud* (CIF), aprobada por la *Organización Mundial de la Salud* (OMS) en la 54.ª Asamblea Mundial de la Salud en el año 2001 [3], constituye el marco de referencia internacional para la descripción del funcionamiento humano y sus restricciones. La CIF reemplaza el modelo lineal de causalidad directa, enfermedad como causa exclusiva de discapacidad, por un esquema multidimensional que considera la interacción entre las funciones y estructuras corporales, las actividades, la participación social y los factores contextuales del entorno [3].

En consecuencia, la discapacidad no se define por la condición clínica en sí misma, sino por la combinación de las limitaciones funcionales de la persona y las características del entorno en que se desenvuelve [1]. Esta conceptualización permite identificar con precisión los factores ambientales modificables, entre ellos, las barreras arquitectónicas, los sistemas de comunicación y los procedimientos institucionales, susceptibles de intervención para reducir la situación de discapacidad.

En el presente trabajo, la CIF opera como el marco clasificatorio sobre el cual se estructura la categorización operativa de las discapacidades adoptada en el sistema de evacuación diseñado. Su uso tiene carácter instrumental: no se trata de clasificar personas, sino de definir con precisión los requerimientos de asistencia asociados a cada perfil funcional durante una evacuación de emergencia.

La Figura 4 resume esta evolución conceptual y muestra cómo la CIF sirve de base para la categorización funcional adoptada en el presente trabajo.

Figura 4: *Evolución conceptual de la discapacidad y su traducción operativa para el diseño del sistema de evacuación inclusivo. Fuente: Elaboración propia.*

4.3.1. Discapacidad física

Comprende las deficiencias en las funciones y estructuras del aparato locomotor y neuromuscular que limitan la capacidad de desplazarse, mantener posturas corporales o manipular objetos [3].

A efectos operativos, se distinguen dos subcategorías con implicancias de asistencia diferenciadas [1]:

- **Personas con movilidad reducida que se desplazan sin silla de ruedas**: pueden presentar velocidad de desplazamiento reducida, dificultad para salvar escalones y desniveles, imposibilidad de recorrer distancias prolongadas sin descanso, y dificultad para operar puertas con mecanismo de retorno.
- **Personas usuarias de silla de ruedas manual o eléctrica**: presentan imposibilidad de utilizar escaleras sin asistencia, riesgo de vuelco en terrenos irregulares y dependencia total de terceros para la evacuación vertical.

4.3.2. Discapacidad sensorial visual

Comprende las deficiencias en las funciones visuales que abarcan desde la baja visión hasta la ceguera total en uno o ambos ojos [3]. En el contexto de una emergencia, las principales dificultades se asocian a la imposibilidad de percibir señales visuales de alarma, la desorientación en rutas no habituales y la dificultad para detectar obstáculos en condiciones de humo u oscuridad. Estas circunstancias requieren sistemas de comunicación complementarios al canal visual y asistencia para el desplazamiento por rutas de emergencia no familiares. Cuando la persona utiliza perro guía, su separación del animal durante la evacuación está expresamente prohibida [1].

4.3.3. Discapacidad sensorial auditiva

Comprende las deficiencias en las funciones auditivas que abarcan desde la disminución parcial de la audición hasta su pérdida total en uno o ambos oídos, incluyendo a quienes utilizan prótesis auditivas o implantes cocleares [3]. Durante una emergencia, las personas con discapacidad auditiva pueden no percibir las alarmas sonoras ni recibir instrucciones verbales del equipo de emergencia. El dispositivo de apoyo puede verse comprometido durante el evento, lo que refuerza la necesidad de sistemas de alerta multisensorial que incluyan componentes visuales y, cuando sea posible, vibratorios.

4.3.4. Discapacidad cognitiva

Comprende las deficiencias en las funciones mentales globales y específicas que afectan el funcionamiento intelectual, el razonamiento, la planificación, la comprensión y la conducta adaptativa [3]. En el contexto universitario, esta categoría incluye, entre otras condiciones, la discapacidad intelectual, el Trastorno del Espectro Autista (TEA), el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) y los trastornos específicos del aprendizaje, como la dislexia, todos comprendidos dentro de trastornos del neurodesarrollo con afectación de funciones ejecutivas [24]. Durante una emergencia, las personas con discapacidad cognitiva pueden presentar dificultades para interpretar señales de evacuación, riesgo de bloqueo o reacciones de pánico, y resistencia a seguir instrucciones no habituales. La asistencia requiere acompañamiento directo y comunicación clara, simple y reiterativa por parte del equipo de emergencia.

4.3.5. Discapacidad psicosocial

Comprende las deficiencias en las funciones mentales que regulan el comportamiento, las emociones y la interacción social, que pueden manifestarse de forma continua o intermitente [3]. El carácter intermitente de estas condiciones implica que una persona puede no requerir asistencia en situaciones ordinarias y, sin embargo, necesitarla ante el estrés agudo que impone una emergencia. En ese escenario, el evento puede precipitar episodios de ansiedad, crisis de pánico, reacciones disociativas o alteraciones en la percepción del riesgo. Algunos casos pueden estar mediados por medicación psicoactiva cuyo efecto incide directamente en la capacidad de respuesta [24]. La asistencia requiere contención emocional, comunicación calmada y acompañamiento permanente durante el desplazamiento y en el punto de encuentro.

Las cinco categorías presentadas no agotan la diversidad funcional presente en una comunidad universitaria. Personas mayores, mujeres embarazadas, personas con lesiones temporales e individuos afectados por estrés agudo durante el evento pueden enfrentar dificultades equivalentes a las de personas con discapacidad reconocida [1], tal como se sistematiza en la sección 4.4. Por este motivo, el enfoque adoptado en el presente trabajo no se restringe a quienes cuentan con un diagnóstico formal, sino que concibe la evacuación inclusiva como principio transversal del diseño, con alcance beneficioso para la totalidad de la comunidad universitaria.

4.4. Implicancias de evacuación por perfil funcional

La interacción entre los perfiles funcionales de la comunidad universitaria y las condiciones que impone un escenario de evacuación de emergencia genera barreras específicas que requieren respuestas de asistencia diferenciadas. La tabla que se presenta a continuación sistematiza dichas barreras por categoría funcional e identifica, para cada una, la población sin discapacidad que puede enfrentar dificultades equivalentes en condiciones adversas.

La identificación de población equivalente para cada perfil funcional no es un dato accesorio: evidencia que las barreras de evacuación tienen carácter estructural y no individual, y fundamenta la decisión de diseñar el sistema con un enfoque universal orientado a la diversidad funcional de la totalidad de la comunidad universitaria.

Cuadro 2: Implicancias para la evacuación según el perfil funcional considerado.

Perfil funcional	**Principales implicancias para la evacuación**	**Personas sin discapacidad con necesidades similares**
Física (movilidad reducida, sin silla de ruedas)	Velocidad de desplazamiento reducida. Dificultad para salvar escalones y desniveles. Imposibilidad de recorrer distancias prolongadas sin descanso. Dificultad para abrir puertas pesadas o con mecanismo de retorno.	Personas mayores. Mujeres embarazadas. Personas con lesiones temporales.
Física (usuaria de silla de ruedas)	Imposibilidad de utilizar escaleras sin asistencia. Dificultad en pasillos y puertas estrechas. Riesgo de vuelco en terrenos irregulares. Dependencia total de terceros para la evacuación vertical.	Personas con lesiones temporales o permanentes de miembros inferiores.
Sensorial visual	Dificultad para percibir señales visuales de alarma. Desorientación en rutas de emergencia no habituales. Dificultad para detectar obstáculos en condiciones de humo u oscuridad.	Personas en condiciones de humo denso. Personas que han perdido sus anteojos durante la emergencia.

Continúa en la página siguiente.

Continuación del Cuadro 2.

Perfil funcional	**Principales implicancias para la evacuación**	**Personas sin discapacidad con necesidades similares**
Sensorial auditiva	Imposibilidad de percibir alarmas sonoras. Dificultad para recibir instrucciones verbales del equipo de evacuación. Barrera comunicativa en situaciones de alta presión. Posible falla del dispositivo auditivo (audífono, implante coclear) en el contexto de emergencia.	Personas mayores con presbiacusia. Personas con auriculares puestos al activarse la alarma.
Cognitiva	Dificultad para comprender e interpretar señales de emergencia. Posible desorientación en rutas no habituales. Riesgo de bloqueo o reacciones de pánico. Resistencia a seguir instrucciones no habituales.	Cualquier persona que se enfrenta por primera vez a una emergencia severa.
Psicosocial	Crisis aguda de pánico o ansiedad ante el estrés de la emergencia. Episodios disociativos que dificultan la movilización. Posible alteración de la percepción del riesgo por medicación psicoactiva.	Cualquier persona que se enfrenta por primera vez a una emergencia severa.

Las implicancias sistematizadas en la tabla precedente constituyen el insumo directo para el diseño de las *Especificaciones de Asistencia en Situaciones de Emergencia para Personas con Discapacidad*, desarrolladas en el marco del presente trabajo.

Capítulo 5

5. Estado del arte

Con el objetivo de orientar la propuesta de mejora del sistema de evacuación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, se realizó un relevamiento bibliográfico de antecedentes en las distintas líneas que este trabajo desarrolla. El relevamiento abarca dos dimensiones complementarias. La primera reúne las estrategias y buenas prácticas de evacuación inclusiva implementadas en instituciones de educación superior, tanto en cinco contextos internacionales de referencia, Estados Unidos, Reino Unido, España, Australia y México, como en el ámbito nacional. La segunda releva antecedentes de los métodos de estimación del tiempo de evacuación, comprendiendo tanto aplicaciones de cálculo directo como desarrollos de simulación de procesos de evacuación, que sirven de referencia metodológica al análisis cuantitativo desarrollado en este trabajo.

La selección de los casos institucionales respondió a la búsqueda de un equilibrio entre marcos normativos consolidados, proximidad cultural e idiomática y casos de aplicación directa en instituciones universitarias [4, 25]. En forma complementaria, el relevamiento de antecedentes de simulación permitió identificar metodologías aplicables a la representación del proceso de evacuación y establecer una referencia para el desarrollo del modelo utilizado posteriormente en este trabajo.

5.1. Criterios de selección de los casos de referencia

La selección de los cinco contextos internacionales analizados responde a cuatro criterios complementarios. En primer lugar, la madurez normativa: se priorizan países con marcos legales específicos sobre evacuación inclusiva, que permiten identificar el estado de desarrollo al que puede aspirar una institución como la Facultad de Ingeniería. En segundo lugar, la disponibilidad de documentación institucional: los casos seleccionados cuentan con procedimientos institucionales documentados y accesibles públicamente, lo que permite un análisis comparativo con base empírica. En tercer lugar, la proximidad cultural e idiomática: España y México comparten el idioma y presentan similitudes institucionales con el sistema universitario uruguayo, lo que facilita la transferencia de prácticas. En cuarto lugar, la diversidad de enfoques: los cinco casos representan tradiciones normativas distintas (anglosajona, continental europea y latinoamericana), lo que enriquece el análisis comparativo y reduce el sesgo de selección.

5.1.1. Estados Unidos

Estados Unidos cuenta con el marco normativo más maduro en materia de evacuación inclusiva, articulado en torno a tres pilares: el NFPA 101 *Life Safety Code*, la *Americans with Disabilities Act* (ADA) y el enfoque *Whole Community* de FEMA [4, 26, 27]. Este marco obliga a la elaboración de Planes Personales de Evacuación de Emergencia (PEEP) y a la instalación de áreas de refugio equipadas con sistemas de comunicación bidireccional en cada planta de los edificios.

A nivel universitario, la implementación de estos principios se caracteriza por la integración de la inclusión como componente estructural de la gestión de emergencias, no como medida complementaria. Las instituciones de referencia combinan una estructura permanente de coordinación, planes individualizados actualizados periódicamente, y sistemas de notificación que garantizan la cobertura de toda la comunidad independientemente de sus

capacidades sensoriales. La capacitación continua y los simulacros periódicos constituyen condiciones de mantenimiento del sistema, no eventos excepcionales.

Entre las instituciones de referencia se destaca la University of Chicago, cuyo protocolo articula alarmas multisensoriales, áreas de refugio señalizadas y notificación electrónica complementaria dentro de una estructura institucional permanente de gestión [28]. Esta institución constituye un caso representativo por la disponibilidad pública de su documentación y por integrar de forma sistemática los principios establecidos por la *Americans with Disabilities Act* (ADA) y la NFPA 101 [4, 26, 28].

Para escenarios de violencia armada, el Department of Homeland Security (DHS) desarrolló el esquema *Run–Hide–Fight*, que establece tres alternativas de respuesta individual: correr, esconderse y confrontar, ordenadas jerárquicamente y condicionadas por las circunstancias del entorno en el momento del evento. La evacuación es la opción prioritaria cuando existe una vía de escape segura, el resguardo procede cuando esa vía no está disponible, y la confrontación física se reserva como último recurso ante un peligro inminente e inevitable [29].

5.1.2. Reino Unido

Reino Unido es la referencia mundial en el desarrollo del concepto de PEEP, formalizado por el *Health and Safety Executive* (HSE) a través de la guía *Fire safety in the workplace: Means of escape for disabled people* [25]. El modelo británico establece que toda persona con discapacidad permanente o temporal en un edificio debe contar con un plan personalizado, elaborado en conjunto con la persona destinataria y un técnico responsable en materia de seguridad.

El enfoque británico se distingue por la individualización como principio rector: el plan no se adapta a categorías de discapacidad sino a la situación concreta de cada persona en cada edificio que frecuenta. Las universidades del Reino Unido aplican este modelo de forma sistemática, con estructuras de revisión periódica y entrenamiento específico de las brigadas, consolidando la inclusión como práctica institucional ordinaria y no como respuesta excepcional.

Entre las instituciones de referencia se destacan universidades como las de Exeter y Bath, cuyos sistemas de PEEP contemplan revisiones anuales, cobertura para condiciones temporales y coordinación entre el equipo de seguridad contra incendios y los servicios de apoyo a la discapacidad [30, 31].

5.1.3. España

España regula los Planes de Autoprotección a través del Real Decreto 393/2007, que exige la consideración explícita de los denominados “colectivos especialmente sensibles” [32]. El modelo español se caracteriza por la evacuación escalonada: en una primera fase se realiza el desalojo general y, posteriormente, se ejecuta la asistencia focalizada a personas que requieren apoyo, evitando la congestión en las vías de evacuación.

El enfoque español se distingue por la articulación entre el marco normativo general y los procedimientos diferenciados por tipo de discapacidad, con roles claramente definidos para el personal de emergencias y los voluntarios.

Entre las instituciones de referencia se destacan la Universidad Pablo de Olavide y la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), que cuentan con procedimientos específicos de evacuación para personas con discapacidad, con procedimientos diferenciados según el tipo de discapacidad, zonas seguras de espera y equipos de emergencia formados para la asistencia directa [33, 34].

5.1.4. Australia

Australia se rige por la norma AS 3745:2010 *Planning for emergencies in facilities*, que prescribe Planes Personales de Evacuación de Emergencia (PEEP) detallados, supervisados por *Building Wardens* y con revisión periódica obligatoria [35]. La norma, enmendada en 2014 y 2018, establece explícitamente que los procedimientos de emergencia deben contemplar las necesidades de todas las personas con discapacidad, incluyendo medios alternativos de comunicación y alerta.

El enfoque australiano se distingue por integrar la validación empírica como componente estructural del sistema: los ejercicios inclusivos periódicos con participación activa de personas con discapacidad no son instancias de verificación ocasional, sino mecanismo principal para la evaluación, el ajuste y la mejora continua del plan. La figura del *Building Warden* centraliza la coordinación operativa en cada edificio, articulando la respuesta entre los ocupantes y los servicios de emergencia externos.

Complementariamente, el *Disability Inclusive Emergency Management* (DIEM) *Toolkit*, desarrollado por la Agencia Nacional de Gestión de Emergencias (NEMA) en colaboración con la Universidad de Sydney, provee herramientas operativas para la implementación práctica de la planificación inclusiva, con énfasis en la corresponsabilidad entre organismos de emergencia, servicios de discapacidad y las propias personas con discapacidad [36].

5.1.5. México

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) cuenta con el *Protocolo General de Atención a Personas con Discapacidad en Situaciones de Emergencia*, aprobado por la Comisión Especial de Seguridad del Consejo Universitario [37], y complementado por la Unidad de Atención para Personas con Discapacidad (UNAPDI) [38], que centraliza la gestión de la inclusión en el ámbito universitario.

El enfoque mexicano se distingue por la descentralización operativa: en lugar de un único documento institucional, cada facultad elabora su propio protocolo adaptado a las características edilicias y operativas específicas, articulado con el marco general de la universidad. Este modelo reconoce que la efectividad de la respuesta ante emergencias depende de su adecuación al contexto concreto de cada edificio, principio que fundamenta también el diseño propuesto en el presente trabajo.

La Facultad de Ingeniería de la UNAM constituye el caso de referencia más directamente comparable al contexto de este proyecto. Su protocolo específico contempla la figura de la "persona enlace de atención a la discapacidad" en cada entidad académica, criterios de comunicación accesible diferenciados por tipo de discapacidad y rutas accesibles previamente verificadas, con revisión y actualización anual [39].

5.2. Síntesis de buenas prácticas internacionales identificadas

El análisis comparativo de los casos relevados permite identificar un conjunto de buenas prácticas que trascienden los marcos normativos y resultan potencialmente transferibles al contexto de la Facultad de Ingeniería. Estos hallazgos se organizan en torno a las dimensiones definidas en la Sección 5.1, e indican los contextos en los que cada una de ellas ha sido implementada.

La Figura 5 muestra una síntesis de las principales buenas prácticas identificadas durante el relevamiento internacional y su vinculación con los componentes del sistema de evacuación propuesto.

Figura 5: *Buenas prácticas internacionales identificadas y su adaptación al contexto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Fuente: Elaboración propia.*

5.2.1. Planes Personales de Evacuación de Emergencia

La elaboración de planes individualizados para personas con discapacidad constituye el estándar más extendido entre los casos relevados. El modelo, originado en el Reino Unido y adoptado con variantes en Australia, Estados Unidos y México, parte de la premisa de que un protocolo generalista no puede contemplar la diversidad funcional de los ocupantes. No define procedimientos por categoría de discapacidad, sino que establece un acuerdo entre la persona y la institución sobre cómo garantizar su evacuación segura en cada edificio que frecuenta, considerando su condición específica, las rutas disponibles y los asistentes designados [25, 30, 31]. Este acuerdo se revisa periódicamente y se extiende a condiciones temporales, lesiones, embarazo, intervenciones quirúrgicas recientes, que no siempre están asociadas a una discapacidad reconocida.

La evidencia internacional indica que la efectividad del PEEP depende de dos condiciones que van más allá del documento en sí: la participación activa de la persona destinataria en su elaboración, y el conocimiento previo del plan por parte de quienes deben implementarlo. Un PEEP archivado pero no practicado no garantiza una evacuación segura [30].

5.2.2. Estructura institucional permanente

Los casos más maduros comparten la existencia de una unidad formal responsable de la gestión continua de la inclusión en emergencias, articulada con la estructura de seguridad del edificio. Esta unidad no se activa únicamente ante una emergencia: mantiene los registros actualizados, coordina la elaboración y revisión de los PEEP, organiza la capacitación y evalúa la efectividad del sistema. La UNAM cuenta con la UNAPDI [38]; las universidades estadounidenses disponen de oficinas de seguridad con referentes específicos para discapacidad [28]; el Reino Unido designa equipos entrenados por edificio [25].

Este principio tiene una implicancia directa para el contexto uruguayo: la efectividad de cualquier sistema de evacuación inclusivo no depende exclusivamente de la calidad de sus documentos, sino de la existencia de una estructura que los sostenga, actualice y practique de forma continua.

5.2.3. Asistentes entrenados y sistemas de acompañamiento

La figura del asistente designado es transversal a todos los casos relevados, aunque adopta formas distintas según el contexto: *buddy* en el Reino Unido y Estados Unidos [28], persona enlace en México [39], voluntario entrenado en España y Australia [33, 35]. En todos los casos, la asistencia efectiva se concibe como una relación preparada con anticipación: la persona asistente conoce la condición del ocupante, las rutas disponibles y las técnicas de asistencia apropiadas antes de que ocurra cualquier emergencia.

Este enfoque reconoce un principio que la evidencia empírica confirma: la improvisación en el momento del evento es la principal fuente de riesgo para las personas que requieren asistencia. La preparación previa, y la relación de confianza que genera, reduce significativamente ese riesgo [33, 39].

5.2.4. Áreas de refugio y dispositivos de evacuación asistida

Las áreas de refugio son espacios estructuralmente protegidos donde las personas que no pueden evacuar por sus propios medios aguardan asistencia en condiciones de seguridad. Su provisión está exigida por la NFPA 101 [4] y la norma AS 3745:2010 [35], y su implementación sistemática en universidades de Estados Unidos, Reino Unido y Australia incluye sistemas de comunicación bidireccional que permiten al ocupante informar su ubicación a los servicios de emergencia sin depender de terceros.

Complementariamente, los dispositivos de evacuación asistida, sillas de evacuación, colchones de deslizamiento, técnicas de levantamiento documentadas, están distribuidos estratégicamente en los edificios de referencia y forman parte del equipamiento ordinario de emergencia, no de recursos excepcionales [35, 39].

5.2.5. Alarmas multisensoriales y comunicación accesible

Una alarma exclusivamente sonora es insuficiente para garantizar la notificación de emergencia a toda la comunidad universitaria. Esta premisa está presente en todos los marcos normativos relevados: la NFPA 101 [4] y la norma AS 3745:2010 [35] exigen que los sistemas de alerta incluyan señales visuales y, cuando sea posible, vibratorias. Las universidades estadounidenses han incorporado además notificaciones electrónicas por SMS y correo institucional como canal complementario, que garantiza la cobertura ante personas que no perciben las alarmas convencionales por cualquier razón [28].

España y México han avanzado adicionalmente en la diferenciación del canal comunicativo según el tipo de discapacidad: las instrucciones dirigidas a personas con discapacidad visual no son equivalentes a las dirigidas a personas con discapacidad auditiva o cognitiva, y los protocolos de referencia explicitan esa diferencia (linternas de teléfonos celulares o sirenas con luz estroboscópica vs. megáfonos, silbatos, etc) [39, 40].

5.2.6. Simulacros inclusivos y capacitación continua

La evidencia disponible indica que la participación activa de personas con discapacidad en los simulacros no es un componente accesorio de la planificación: es la única forma de verificar si el plan funciona en condiciones reales [25, 35]. Investigación reciente en contextos universitarios confirma que personas con discapacidad cognitiva, por ejemplo, tienden a seguir rutas familiares durante una evacuación en lugar de las rutas señalizadas, lo que tiene implicancias directas para el diseño de procedimientos de asistencia [41].

Australia realiza ejercicios inclusivos con frecuencia semestral; el Reino Unido los incorpora como condición de mantenimiento del sistema. En ambos casos, el objetivo no es verificar tiempos de evacuación sino ajustar el plan en función de la experiencia real. La capacitación continua del equipo de evacuación es la condición que hace posible que ese ajuste ocurra.

5.2.7. Protocolos diferenciados por escenario

Un único documento de evacuación no puede contemplar la especificidad de cada tipo de emergencia ni las distintas necesidades de asistencia que cada escenario impone. Los casos más maduros, en particular la UNAM y las universidades estadounidenses de referencia, generan protocolos específicos por tipo de emergencia, autónomos y diseñados para ser consultados en el momento crítico, sin necesidad de remitir a otros documentos [28, 39].

Un ejemplo de esta especialización es el esquema *Run–Hide–Fight* (DHS) [29], adoptado como documento específico ante amenazas de violencia armada en universidades estadounidenses, de forma independiente al procedimiento general de evacuación. Sin embargo, su formulación original no incorpora consideraciones de asistencia para personas con discapacidad, lo que confirma que la modularidad por escenario es una condición necesaria pero no suficiente: cada procedimiento específico debe además integrar la inclusión como componente propio, en lugar de asumirla como resuelta por la sola existencia de un documento separado.

Esta modularidad tiene una ventaja operativa concreta: permite que cada procedimiento específico se articule con las especificaciones de asistencia por tipo de discapacidad como documento complementario de consulta conjunta, en lugar de relegar la inclusión a un apéndice genérico que difícilmente se consulta bajo presión. El presente trabajo adopta este principio como criterio estructurante, se elaboran nueve procedimientos específicos bajo un esquema común, cada uno autónomo y articulado con las especificaciones de asistencia como eje transversal.

5.3. Antecedentes en el contexto nacional

Durante la última década, las instituciones de educación superior en Uruguay han pasado de contar con medidas de seguridad mínimas a diseñar y aplicar protocolos formales de emergencia. En el ámbito público, varias facultades de la Udelar, entre ellas Ciencias, Enfermería, Química e Ingeniería, ya disponen de documentos que describen escenarios de riesgo, rutas de escape, puntos de encuentro y responsabilidades internas, en línea con los requerimientos de la Dirección Nacional de Bomberos y la normativa nacional vigente [7].

No obstante, el relevamiento realizado evidenció una marcada heterogeneidad tanto en el grado de desarrollo de estos documentos como en el nivel de incorporación de criterios de accesibilidad e inclusión.

En materia de inclusión y discapacidad, en cambio, la Udelar sí cuenta con antecedentes institucionales relevantes, aunque ninguno orientado específicamente a la gestión de emergencias. La Facultad de Psicología elaboró un protocolo de accesibilidad que fue posteriormente adoptado como antecedente por el Instituto Superior de Educación Física (ISEF), que en 2017 aprobó su propio Protocolo General para la Inclusión de Estudiantes en Situación de Discapacidad [42]. A nivel central, la Comisión Central de Inclusión y Discapacidad trabaja actualmente en la elaboración de un Protocolo de actuación para una Udelar inclusiva, concebido como una hoja de ruta institucional sobre los criterios de inclusión a adoptar en toda la universidad [43]. Estos antecedentes confirman que existe una trayectoria institucional en materia de inclusión, pero que dicha trayectoria no se ha traducido todavía en lineamientos específicos para la evacuación de personas con discapacidad.

5.4. Antecedentes de métodos de estimación del tiempo de evacuación

Relevadas las prácticas institucionales de evacuación inclusiva, tanto internacionales como nacionales, resta relevar los antecedentes del instrumento cuantitativo empleado en este trabajo. En el marco teórico (Sección 3.4.2) se fundamentaron los modelos que permiten estimar la componente de movimiento del tiempo de evacuación, así como los métodos de resolución adoptamos en esta tesis. Sobre esa base, esta sección releva ejemplos prácticos de aplicación de estos métodos, con el fin de respaldar su pertinencia y de establecer una referencia metodológica para el modelo desarrollado en el Capítulo 12. Las dos vías relevadas se distinguen por la forma en que representan el movimiento de los ocupantes. El cálculo directo aplica formulaciones analíticas a cada tramo del recorrido y obtiene el tiempo de forma agregada, mientras que la simulación mediante eventos discretos reproduce el desplazamiento individual de los ocupantes a lo largo del tiempo, lo que permite representar fenómenos de congestión y formación de colas. Las subsecciones siguientes relevan antecedentes de aplicación de cada una.

5.4.1. Aplicaciones de métodos de cálculo directo

Las formulaciones de cálculo directo han sido utilizadas en distintos contextos para estimar tiempos de evacuación y contrastarlos con los resultados obtenidos durante simulacros. Estas aplicaciones permiten evaluar la utilidad de los modelos teóricos frente a situaciones concretas de evacuación.

Barros et al. analizaron la capacidad de respuesta ante emergencias de un grupo de 40 personas con discapacidad visual. Como parte del estudio, se realizaron simulacros de evacuación en las instalaciones de una asociación y se aplicó la formulación de Togawa para determinar el tiempo de evacuación de referencia. Los autores identificaron, además, que la participación previa en simulacros y el conocimiento de las instalaciones constituyen factores relevantes para mejorar la capacidad de respuesta ante una emergencia [44].

Otro ejemplo de aplicación se encuentra en la Universidad de La Sabana, en Colombia, donde se utilizó la metodología de Togawa para estimar el tiempo de evacuación del Edificio C hasta el punto de encuentro. El cálculo estableció un tiempo de 5 minutos y 58 segundos, mientras que durante un simulacro de emergencia realizado en 2022, con la participación de más de 80 personas entre estudiantes, docentes y personal administrativo, se registró un tiempo de evacuación de 4 minutos y 1 segundo [45].

Estos antecedentes muestran la aplicación del cálculo directo tanto en el análisis de evacuación de personas con discapacidad como en edificios de uso educativo. Asimismo, evidencian la utilidad de contrastar los tiempos estimados mediante formulaciones teóricas con los registrados durante ejercicios de evacuación. En este sentido, los métodos de cálculo directo constituyen una herramienta útil para obtener una primera estimación del tiempo de movimiento, cuyo resultado debe interpretarse de acuerdo con las hipótesis y simplificaciones adoptadas por cada formulación.

5.4.2. Modelación mediante eventos discretos en MATLAB/SimEvents

Lino et al. desarrollaron una línea de investigación orientada a la representación de la dinámica de evacuación mediante simulación de eventos discretos. En uno de sus trabajos, los autores propusieron la modelación del proceso de egreso mediante una red de colas, representando el desplazamiento de los ocupantes a través de distintos componentes asociados a la estructura del edificio [46].

Particularmente relevante para el presente trabajo resulta la aplicación desarrollada por Lino et al. en un sector de aulas de la Escuela de Ingeniería de Bari, Italia, donde se simuló la evacuación de estudiantes y personal académico mediante un modelo de eventos discretos implementado en MATLAB/Simulink con SimEvents [47]. El estudio permitió

analizar variables asociadas al proceso de evacuación, entre ellas los flujos de personas en diferentes sectores, la cantidad de ocupantes evacuados y el tiempo necesario para completar el proceso, así como representar fenómenos de congestión y acumulación durante el desplazamiento.

Posteriormente, Lino et al. profundizaron este enfoque mediante el ajuste y la validación cuantitativa de un modelo desarrollado en MATLAB/Simulink con SimEvents [48]. El modelo representa el edificio mediante una red de componentes interconectados asociados a diferentes zonas y elementos de circulación. Las características de los recorridos, las velocidades de desplazamiento y las restricciones de capacidad condicionan los tiempos de tránsito y la formación de colas durante el proceso de evacuación.

La estructura modular del modelo permite representar diferentes configuraciones edilicias mediante la conexión de componentes elementales y obtener variables de interés como la cantidad acumulada de personas evacuadas en función del tiempo, los tiempos de salida y el comportamiento del flujo en sectores específicos. Para evaluar el desempeño de la propuesta, los autores compararon los resultados obtenidos mediante SimEvents con los correspondientes a un modelo desarrollado en *buildingEXODUS*, utilizado como referencia para el ajuste y la validación cuantitativa [48].

El enfoque basado en redes de colas ha continuado siendo considerado dentro de la literatura posterior sobre modelación de evacuaciones como una alternativa para representar de forma agregada el movimiento de los ocupantes y los efectos de la congestión en las vías de circulación [49].

5.4.3. Aplicación del enfoque al presente trabajo

Los antecedentes analizados proporcionaron una referencia metodológica para el desarrollo de la simulación realizada en el presente trabajo. En particular, se tomó como referencia el enfoque de simulación de eventos discretos mediante MATLAB/Simulink y SimEvents desarrollado por Lino et al. [47, 48], adaptándolo a las características edilicias y de ocupación de la Facultad de Ingeniería.

A partir de este enfoque general, se desarrolló un modelo específico en el que se representan los recorridos de evacuación, las características de los distintos tramos, la incorporación de ocupantes provenientes de diferentes niveles y las restricciones de circulación que condicionan el flujo hacia la salida.

Asimismo, la estructura desarrollada permite modificar los parámetros de ocupación y movilidad, posibilitando la evaluación de diferentes escenarios y la incorporación de perfiles con velocidades de desplazamiento diferenciadas. Esta última característica adquiere especial relevancia en el marco del presente trabajo, al permitir analizar el efecto de diferentes condiciones de movilidad sobre el proceso de evacuación y vincular la herramienta de simulación con el enfoque inclusivo desarrollado en la propuesta.

El desarrollo detallado del modelo, los parámetros utilizados, los escenarios considerados y los resultados obtenidos se presentan en el Capítulo 12.

Capítulo 6

6. Diagnóstico Institucional

El presente capítulo desarrolla la tercera etapa metodológica descrita en la Sección 1.5: el diagnóstico institucional de la Facultad de Ingeniería en materia de accesibilidad y preparación ante emergencias. Su propósito es establecer la línea de base sobre la cual se fundamenta el diseño del sistema de evacuación inclusivo desarrollado en los capítulos siguientes.

El capítulo se estructura en dos partes complementarias. La primera (Secciones 6.1 a 6.4) caracteriza el contexto institucional, edilicio y operativo de la Facultad de Ingeniería, abarcando su comunidad universitaria, la configuración de los tres sectores que componen el edificio principal, la infraestructura de emergencia disponible y el plan de evacuación actualmente vigente. La segunda (Secciones 6.5 a 6.8) constituye el diagnóstico propiamente dicho: describe el instrumento de evaluación construido a partir de los estándares relevados en el Capítulo 3 y de los ejes de transferibilidad identificados en el Capítulo 5, presenta los resultados de su aplicación y sistematiza las brechas que orientan el diseño del sistema propuesto.

6.1. La Facultad de Ingeniería: contexto y comunidad

La caracterización de la trayectoria institucional, la configuración edilicia y las particularidades de la comunidad universitaria constituye un requisito previo para la correcta interpretación de los hallazgos detectados.

6.1.1. Reseña institucional

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República tiene sus orígenes en la Facultad de Matemáticas y Ramas Anexas, cuya creación fue dispuesta por la Ley de Educación Secundaria y Superior del 14 de julio de 1885. Los primeros cursos comenzaron en marzo de 1888 y cuatro años después, en octubre de 1892, egresaron los tres primeros ingenieros de la institución. En 1915, una nueva ley dispuso la creación de la Facultad de Ingeniería y Ramas Anexas, denominación que en 1954 fue sustituida por la de Facultad de Ingeniería y Agrimensura, hasta que en 1975, por resolución ministerial, adoptó su nombre actual. A lo largo del siglo XX la institución amplió progresivamente su oferta académica, incorporando carreras de ingeniería civil, eléctrica, mecánica, en computación, química, agrimensura y naval, así como maestrías, doctorados y especializaciones que hoy conforman una amplia oferta de posgrado [50, 51].

La Figura 6 muestra la evolución de la fachada principal de la Facultad de Ingeniería, comparando una fotografía histórica con una imagen actual del edificio.

(a) Fotografía histórica de la fachada principal.

(b) Fotografía actual de la fachada principal.

Figura 6: *Evolución de la fachada principal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. (a) Fotografía histórica. Fuente: Montevideo Antiguo [52]. (b) Fotografía actual. Fuente: Elaboración propia.*

6.1.2. Conjunto edilicio

El edificio principal de la Facultad, proyectado por el arquitecto Julio Vilamajó e inaugurado en 1950, fue declarado Monumento Histórico Nacional por resolución del 21 de agosto de 1975. Constituye el núcleo edilicio de la institución y el foco del diagnóstico desarrollado en este capítulo. A su alrededor se incorporaron en las últimas décadas nuevas dependencias: el Edificio Polifuncional "José Luis Massera" (2007), el pabellón del Instituto de Computación (2012) y el edificio del Instituto de Estructuras y Transporte "Prof. Julio Ricaldoni" (2018), entre otras [51].

La convivencia de edificaciones de distinta antigüedad introduce desafíos específicos en materia de accesibilidad y gestión de emergencias. Mientras las construcciones más recientes fueron concebidas bajo normativas de accesibilidad vigentes y más exigentes, el edificio principal, con circulación vertical limitada, como se detalla en la Sección 6.2 presenta condicionantes estructurales que restringen las posibilidades de evacuación inclusiva y constituyen el punto de partida del diagnóstico presentado en este capítulo.

6.1.3. Comunidad universitaria

La caracterización de la comunidad universitaria constituye un insumo fundamental para dimensionar el alcance del sistema de evacuación propuesto. Conocer la magnitud de la población que utiliza el edificio y la diversidad de perfiles presentes permite comprender la relevancia de incorporar criterios de accesibilidad e inclusión en la planificación de la respuesta ante emergencias. A continuación se presenta una descripción general de la población de la Facultad de Ingeniería y de aquellos grupos que pueden requerir asistencia durante una evacuación.

La población de la Facultad de Ingeniería está integrada por aproximadamente diez mil estudiantes activos, acompañados por un cuerpo docente cercano al millar de integrantes y por cerca de doscientos funcionarios técnico-administrativos y de servicio [53]. Si bien la prevalencia de discapacidad permanente relevada por el INE a nivel nacional (véase la Sección 1.2) no puede extrapolarse de forma directa a la población de la Facultad, dado que el acceso de las personas con discapacidad a la educación terciaria y, por consiguiente, al ámbito universitario, continúa siendo proporcionalmente menor que en la población general, la ausencia de un relevamiento específico impide conocer su magnitud real. En este contexto, resulta razonable considerar que la Facultad cuenta con una población de personas con discapacidad que requiere ser contemplada en la planificación de las evacuaciones. A ello se suman las personas con discapacidad transitoria, las personas mayores,

las mujeres embarazadas y quienes presentan lesiones temporales, lo que genera distintos niveles de vulnerabilidad frente a situaciones de emergencia y refuerza la necesidad de un sistema de evacuación inclusivo para este ámbito. Asimismo, a esta población estable se agrega un flujo diario de visitantes y proveedores, lo que incrementa la complejidad de la gestión de la evacuación en escenarios críticos.

6.2. Caracterización edilicia

El edificio principal de la Facultad de Ingeniería se organiza en tres sectores: Cuerpo Norte, Edificio Central y Cuerpo Sur. Esta división responde a la configuración arquitectónica histórica del edificio y resulta especialmente adecuada desde el punto de vista de la gestión de emergencias: el edificio cuenta con cortinas cortafuego automáticas que, al activarse el sistema de alarma, segmentan físicamente la estructura en estas tres secciones, limitando la propagación de humo y fuego entre ellas, en línea con los criterios de compartimentación establecidos por el Decreto N.º 372/023 [6].

La Figura 7 muestra la distribución general de los tres sectores que conforman el edificio principal y que constituyen el ámbito de aplicación del sistema de evacuación propuesto.

Figura 7: *Sectores que componen el edificio principal de la Facultad de Ingeniería: Cuerpo Sur (1), Edificio Central (2) y Cuerpo Norte (3). Fuente: Elaboración propia.*

La caracterización de cada sector que se presenta a continuación describe su configuración física, su circulación vertical y su nivel de accesibilidad actual para personas con movilidad reducida, considerando en particular la disponibilidad de rutas accesibles alternativas y de áreas de refugio en los términos definidos por la NFPA 101 [4]. Esta caracterización tiene foco descriptivo; la evaluación sistemática de brechas respecto de los estándares de referencia se desarrolla en la Sección 6.5 de este capítulo.

6.2.1. Edificio Central

El Edificio Central constituye el núcleo principal de la Facultad, tanto en términos de circulación como de conectividad vertical. Se desarrolla en diez niveles: planta baja, siete

pisos y dos subsuelos. Cuenta con una escalera central principal como vía de evacuación predominante, dos ascensores de uso restringido durante emergencias y dos salidas principales en planta baja que canalizan el flujo hacia el punto de encuentro este. El centro de gestión y vigilancia principal de la Facultad se encuentra en el hall de planta baja..

Desde el punto de vista de la evacuación inclusiva, el Edificio Central presenta la mayor complejidad operativa del conjunto: su desarrollo en diez niveles con una única escalera interior implica que cualquier persona con discapacidad física ubicada en pisos superiores depende de una ruta accesible alternativa o de un área de refugio en los términos definidos por la NFPA 101 [4] ante cualquier emergencia que requiera evacuación vertical. En el estado actual del edificio no existe ninguno de estos dos recursos, condición que se retoma en el diagnóstico presentado en la Sección 6.5.

6.2.2. Cuerpo Norte

El Cuerpo Norte se compone de seis niveles, distribuidos en una planta baja y cinco entrepisos en formato de bandejas. Su acceso principal se encuentra en la planta baja, correspondiente al denominado piso verde, ubicado a nivel -3 SS respecto de la referencia de niveles del Edificio Central. Además, el sector cuenta con múltiples salidas hacia el exterior y circulación vertical mediante escaleras y un ascensor. Asimismo, se comunica con el Edificio Central a la altura del primer piso, según la referencia de niveles de este edificio, encontrándose esta conexión delimitada por la cortina cortafuego del ala norte.

Figura 8: *Cortina cortafuego que sectoriza la conexión entre el Edificio Central y el Cuerpo Norte. Fuente: Elaboración propia.*

El Cuerpo Norte presenta limitaciones desde el punto de vista de la accesibilidad universal: no todos sus niveles cuentan con rampas ni medios alternativos adecuados para personas con discapacidad física. La organización en entrepisos tipo “bandeja” introduce además discontinuidades adicionales en las rutas de evacuación, condición que se retoma en el diagnóstico presentado en la Sección 6.5.

6.2.3. Cuerpo Sur

El Cuerpo Sur se desarrolla en tres niveles y alberga el Instituto de Matemática y Estadística, el Instituto de Ensayo de Materiales y el Instituto de Ingeniería Eléctrica. La circulación vertical se organiza a través de una escalera central que conecta todos los niveles, complementada por dos escaleras adicionales en los extremos que vinculan planta baja con el primer nivel. Se comunica con el Edificio Central a nivel del primer piso, delimitado por la cortina cortafuego del ala sur.

Figura 9: *Cortina cortafuego que sectoriza la conexión entre el Edificio Central y el Cuerpo Sur. Fuente: Elaboración propia.*

El Cuerpo Sur es el único sector del edificio principal que cuenta con un dispositivo de asistencia para personas con discapacidad física: una plataforma elevadora salvaescaleras instalada en la escalera central. Este elemento constituye el único antecedente de infraestructura de evacuación asistida en el edificio, condición que se retoma en el diagnóstico presentado en la Sección 6.5.

6.3. Infraestructura y equipamiento actual de emergencia

La Facultad dispone de un conjunto de recursos físicos y operativos destinados a la prevención y respuesta ante emergencias, en concordancia con los lineamientos de la Dirección Nacional de Bomberos [7, 11, 12].

En materia de señalización, los planos de evacuación están instalados en puntos estratégicos del edificio principal, indicando rutas de escape, salidas de emergencia, ubicación de extintores y puntos de encuentro, con una cobertura que la Facultad prevé ampliar progresivamente dentro de los tres sectores. Las salidas de emergencia están distribuidas en todos los niveles y sectores, claramente señalizadas, varias con barras antipánico. La señalética sigue formatos internacionales con pictogramas y carteles iluminados, aunque no incorpora elementos multisensoriales como braille o pictogramas táctiles, en los términos recomendados por la norma UNIT 1026:2019 [16].

En cuanto a los sistemas de alerta y protección activa, el sistema de alarma sonora cubre todos los sectores del edificio principal con un código de señal específico para evacuación, de activación manual; no se dispone de detección automática centralizada en todas las áreas ni de componentes visuales o vibratorios complementarios al canal sonoro, en los términos recomendados por la NFPA 101 [4]. Los extintores y bocas de incendio están distribuidos conforme a normativa y con mantenimiento periódico, y la iluminación de emergencia cubre pasillos, escaleras y salidas mediante dispositivos autónomos.

En materia de equipamiento médico, la Facultad cuenta con botiquines de primeros auxilios en los puestos de vigilancia y con dos Desfibriladores Externos Automáticos, con personal capacitado en resusitación cardíaca básica (RCB) para su uso.

6.4. Protocolo de actuación ante emergencias vigente

La Facultad de Ingeniería cuenta con un protocolo de actuación ante emergencias, que en la práctica se materializa como un conjunto de procedimientos específicos por escenario, incendios, derrames de productos químicos, fugas de gas y amenazas externas, con distinto grado de avance entre sí. El caso de incendio es el más consolidado, en tanto históricamente ha concentrado el mayor desarrollo normativo y técnico en la materia; los escenarios restantes muestran, en cambio, un nivel de detalle considerablemente más acotado. Esta información fue relevada a partir de documentación facilitada por referentes institucionales, entre ellos el encargado de mantenimiento edilicio de la Facultad, y de entrevistas realizadas en el marco de este trabajo. Al igual que ocurre con buena parte de los antecedentes analizados en el Capítulo 5, el protocolo vigente no contempla de forma específica la presencia de personas con discapacidad, brecha que constituye el punto de partida del presente trabajo.

La implementación del protocolo recae en una estructura organizativa ya existente, en la que el personal de vigilancia cumple un rol fundamental, especialmente durante noches, fines de semana y feriados, y una brigada de emergencia formada y entrenada directamente por la Dirección Nacional de Bomberos, con capacitación en evaluación de escenarios, liderazgo de evacuaciones, uso de extintores, resusitación cardíaca básica cardiopulmonar (RCB) y uso de Desfibriladores Externos Automáticos (DEA). Estos roles se encuentran definidos y constituyen la base organizativa sobre la cual se actualiza la estructura propuesta en el presente trabajo.

En octubre de 2023 se realizó el primer simulacro general del edificio principal, instancia que permitió verificar el funcionamiento del sistema de alarma en condiciones reales, evaluar los tiempos de evacuación y ajustar procedimientos. Este antecedente constituye una base sólida sobre la cual construir el sistema propuesto en el presente trabajo, que incorpora la realización de simulacros inclusivos con cronograma anual formal como una de las buenas prácticas transferibles identificadas en el Capítulo 5.

6.5. Evaluación del cumplimiento respecto de los estándares de referencia

El edificio principal cuenta con la habilitación vigente de la Dirección Nacional de Bomberos, lo que acredita el cumplimiento de las condiciones mínimas exigidas en materia de seguridad [11, 12]. Asimismo, el relevamiento realizado constató que la totalidad de las aulas del edificio principal resultan accesibles en condiciones de uso ordinario. Sin embargo, ni la habilitación vigente ni la accesibilidad cotidiana garantizan por sí solas una evacuación accesible: recursos habitualmente disponibles, como los ascensores, quedan fuera de uso durante una emergencia, y las condiciones de tiempo y presión propias de una evacuación imponen exigencias que la accesibilidad de uso diario no contempla. Esta distinción constituye uno de los fundamentos conceptuales del diagnóstico desarrollado a continuación.

Con este punto de partida, se construyó un instrumento de evaluación que confronta la situación relevada en la Facultad con los requisitos establecidos por los estándares técnicos analizados en el Capítulo 3 y con los ejes de transferibilidad identificados a partir de las experiencias internacionales relevadas en el Capítulo 5. Estos ejes, sistematizados en la Sección 5.2, constituyen prácticas de valor reconocido internacionalmente que carecen de un correlato normativo específico en Uruguay, y se incorporan al instrumento junto con los estándares técnicos para evaluar dimensiones que la normativa nacional no contempla. El instrumento se circunscribe a los criterios vinculados con la accesibilidad y la inclusión de personas con discapacidad; las condiciones generales de seguridad y evacuación, ya acreditadas por la habilitación vigente de la Dirección Nacional de Bomberos y caracterizadas en la Sección 6.3, no se someten a una evaluación independiente en este instrumento. Los criterios así definidos permiten identificar, de forma sistemática, las brechas existentes entre la situación actual y dichos estándares, organizadas en tres dimensiones: comunicacional, organizativa y operativa.

Cuadro 3: Instrumento de evaluación: criterios, dimensión y referencia normativa o buena práctica.

	Criterio	**Dimensión**	**Referencia normativa o buena práctica**
1	Protocolo de actuación con consideración de personas con discapacidad	Organizativa	CDPD 2006 [1] Ley 18.651 [2] DNB [7]
2	Señalización de rutas y puntos de encuentro, incluyendo elementos multisensoriales	Comunicacional	NFPA 101 [4] UNIT 1026 [16]
3	Sistema de alarma de evacuación, incluyendo componentes multisensoriales	Comunicacional	NFPA 101 [4]
4	Comunicación diferenciada por tipo de discapacidad	Comunicacional	Eje “Comunicación accesible” (Cap. 5)
5	Brigada de evacuación formada y capacitada en asistencia a personas con discapacidad	Organizativa	IT 16 [11] Eje “Asistentes entrenados” (Cap. 5)
6	Simulacros periódicos, con participación de personas con discapacidad	Organizativa	AS 3745 [35] Eje “Simulacros inclusivos” (Cap. 5)
7	Planes Personales de Evacuación de Emergencia (PEEP) documentados	Organizativa	HSE [25] AS 3745 [35] Eje “PEEP” (Cap. 5)
8	Rutas accesibles continuas y áreas de refugio	Operativa	NFPA 101 [4] ISO 21542 [5] Eje “Áreas de refugio” (Cap. 5)
9	Dispositivos de evacuación asistida	Operativa	NFPA 101 [4] AS 3745 [35]

El Cuadro 4 presenta los resultados obtenidos al aplicar el instrumento anterior, siguiendo la misma numeración de criterios.

Cuadro 4: Resultados del diagnóstico: estado relevado, nivel de cumplimiento y fuente de evidencia.

	Criterio	Estado relevado	Nivel de Cumplimiento	Fuente
1	Protocolo de actuación	Protocolo existente con desarrollo desigual entre escenarios (Sec. 6.4); no incorpora consideraciones específicas para personas con discapacidad.	1	DI EN
2	Señalización de rutas	Señalización instalada con pictogramas y carteles iluminados; sin braille ni pictogramas táctiles.	1	RO
3	Alarma de evacuación	Alarma sonora con código de evacuación en todos los sectores; sin componentes visuales o vibratorios.	1	RO DI
4	Comunicación diferenciada	Sin mensajería complementaria; comunicación exclusivamente oral, sin diferenciación por perfil funcional.	0	DI EN
5	Capacitación de la brigada	Brigada formada y capacitada por la Dirección Nacional de Bomberos; sin capacitación específica en discapacidad.	1	DI EN
6	Simulacros inclusivos	Primer simulacro general realizado en 2023, sin cronograma anual ni componente inclusivo documentado.	1	DI
7	PEEP documentados	Sin registro institucional de personas con discapacidad.	0	DI EN
8	Rutas accesibles y áreas de refugio	Sin área de refugio formalizada en ningún sector; rutas accesibles incompletas en los tres sectores.	0	RO
9	Dispositivos de evacuación asistida	Plataforma elevadora salvaescaleras presente únicamente en Cuerpo Sur.	1	RO

La escala de cumplimiento utilizada, así como el origen de la evidencia relevada para cada criterio, se detallan en los Cuadros 5 y 6.

Cuadro 5: Escala de nivel de cumplimiento utilizada en el diagnóstico.

	Nivel de Cumplimiento	Descripción
0	No cumple	El criterio no se verifica en ninguno de los tres sectores del edificio principal.
1	Cumple parcialmente	El criterio se verifica de forma incompleta, ya sea porque abarca solo algunos sectores o porque no contempla los requisitos de accesibilidad exigidos por el estándar de referencia.

Continúa en la página siguiente.

Continuación de la Tabla 5.

	Nivel de Cumplimiento	Descripción
2	Cumple	El criterio se verifica en la totalidad del edificio principal, conforme a lo exigido por el estándar de referencia.

Cuadro 6: Fuentes de evidencia utilizadas en el diagnóstico.

Código	Fuente
RO	Relevamiento en obra, recorrido físico del edificio.
DI	Documentación institucional facilitada por referentes de la Facultad.
EN	Entrevistas con referentes institucionales.

6.6. Análisis de resultados e identificación de brechas

Los resultados presentados en el Cuadro 4 muestran un patrón consistente: de los nueve criterios evaluados, ninguno alcanza el nivel máximo de cumplimiento. Seis de ellos, protocolo de actuación, señalización de rutas, alarma de evacuación, capacitación de la brigada, simulacros y dispositivos de evacuación asistida, presentan un nivel de cumplimiento parcial: existe una base institucional sobre la cual construir, aunque ninguna alcanza el estándar de accesibilidad exigido por la normativa técnica internacional. Los tres criterios restantes, comunicación diferenciada, Planes Personales de Evacuación de Emergencia (PEEP) y rutas accesibles con áreas de refugio, no se verifican en ningún sector del edificio principal.

Este último resultado no constituye un hallazgo inesperado, sino la confirmación empírica de una conclusión ya anticipada en el Capítulo 5: los tres criterios corresponden precisamente a ejes de transferibilidad identificados a partir de la experiencia internacional.

En la dimensión **comunicacional**, ningún criterio supera el nivel de cumplimiento parcial. La señalización y la alarma de evacuación se encuentran instaladas y cubren la totalidad del edificio principal, pero ninguna incorpora componentes multisensoriales, braille, pictogramas táctiles, señales visuales o vibratorias, condición que deja sin alerta efectiva a las personas con discapacidad auditiva o visual. La ausencia total de mecanismos de comunicación diferenciada por tipo de discapacidad constituye la brecha más severa de esta dimensión, y es asimismo consistente con la ausencia de correlato normativo señalada previamente.

En la dimensión **organizativa**, la estructura institucional de base, protocolo de actuación, brigada formada, antecedente de simulacro general, se encuentra consolidada, pero en ninguno de los tres casos incorpora la variable discapacidad como criterio explícito. La brigada recibe formación en evacuación general, reanimación cardiopulmonar y uso de extintores, sin capacitación específica en asistencia diferenciada; el simulacro de 2023 permitió validar el funcionamiento del sistema de alarma, sin incorporar un componente inclusivo. La ausencia de PEEP documentados constituye la brecha más crítica de esta dimensión, en tanto impide anticipar la asistencia individualizada con anterioridad a una emergencia.

La dimensión **operativa** concentra la brecha más severa del diagnóstico. Ningún sector del edificio principal cuenta con una ruta accesible continua ni con un área de refugio formalizada en los términos definidos por la NFPA 101 [4]. El único recurso de asistencia física disponible, la plataforma elevadora salvaescaleras del Cuerpo Sur, cubre exclusivamente ese sector, sin constituir una solución para el Edificio Central, que concentra la mayor complejidad operativa del conjunto por su estructura de 7 niveles superiores con una única escalera interior (Sección 6.2).

La Figura 10 sintetiza los hallazgos desarrollados en esta sección: las fortalezas institucionales sobre las que se apoya el sistema propuesto, las brechas identificadas en las dimensiones comunicacional, organizativa y operativa, y la forma en que estas últimas fundamentan el diseño del sistema de evacuación inclusivo desarrollado en el Capítulo 8.

Figura 10: *Síntesis del diagnóstico institucional realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Fuente: Elaboración propia.*

Capítulo 7

7. Priorización y clasificación de escenarios

El presente capítulo desarrolla el primer componente de la cuarta etapa metodológica descrita en la Sección 1.5: la priorización y clasificación de los escenarios de emergencia contemplados en el sistema propuesto. Esta etapa sigue al diagnóstico institucional desarrollado en el Capítulo 6 y se completa, en el Capítulo 8, con la definición de la estructura organizativa del equipo de emergencia y los criterios de activación, como parte de la elaboración del Protocolo de Evacuación Inclusivo.

7.1. Matriz de riesgo y priorización

Para fundamentar la priorización de los escenarios contemplados, se aplicó una matriz de riesgo que cruza dos dimensiones: la probabilidad de ocurrencia en el contexto edilicio y geográfico de la Facultad, y el impacto potencial sobre la integridad física de la comunidad universitaria. Esta herramienta constituye una metodología ampliamente utilizada en la gestión de riesgos para apoyar la toma de decisiones y la priorización de escenarios de intervención [54]. A los efectos de este trabajo, el impacto potencial se descompone a su vez en dos sub-dimensiones, la severidad de la consecuencia y la extensión física del evento, que se combinan mediante una ponderación que otorga mayor peso a la severidad, en coherencia con la premisa de protección de la vida que orienta el presente trabajo. Los criterios de clasificación y la expresión de cálculo se detallan a continuación.

7.1.1. Criterios de evaluación

A continuación se presentan los criterios de clasificación adoptados para cada una de las variables de la matriz: la probabilidad de ocurrencia y las dos sub-dimensiones que integran el impacto potencial.

Cuadro 7: Criterios de clasificación de la probabilidad.

Nivel	Probabilidad
1 – Baja	Evento poco frecuente, sin registros en los últimos 10 años en el contexto edilicio o geográfico considerado.
2 – Media	Evento ocasional, con antecedentes documentados en instituciones similares o en el entorno local (cada 5 a 10 años).
3 – Alta	Evento posible o recurrente en el contexto edilicio, con condiciones que favorecen su ocurrencia (cada 1 a 4 años).

La escala de probabilidad fue definida por el equipo autor específicamente para este estudio, debido a que no se dispuso de registros históricos completos que permitieran calcular frecuencias estadísticas de ocurrencia. Si bien su estructura cualitativa resulta coherente con los principios generales de evaluación de riesgos, los intervalos temporales no fueron tomados de una metodología de referencia específica.

Los umbrales se establecieron considerando un horizonte de diez años, por estimarse suficientemente amplio para diferenciar eventos recurrentes, ocasionales y excepcionales dentro del contexto institucional. Se asignó una probabilidad alta a los eventos cuya ocurrencia se estimó entre uno y cuatro años; una probabilidad media a aquellos con una frecuencia estimada de entre cinco y diez años o con antecedentes en instituciones similares o en el entorno local; y una probabilidad baja a los eventos sin registros durante los últimos diez años.

Esta clasificación temporal se utilizó como orientación y se complementó con el análisis de los antecedentes disponibles y de las condiciones que podrían favorecer la ocurrencia de cada

evento, evitando atribuir a la evaluación una precisión estadística que la información disponible no permitía.

Cuadro 8: Criterios de clasificación del impacto, según sus dos sub-dimensiones.

Nivel	Severidad	Extensión
1 – Bajo	Sin riesgo para la vida de las personas.	Compromete una habitación en específico o espacio delimitado (aula, laboratorio u oficina).
2 – Medio	Riesgo de lesiones que no comprometen la vida de las personas.	Compromete uno o más pisos de un sector del edificio principal.
3 – Alto	Riesgo directo para la vida de una o más personas.	Compromete la totalidad de uno o más sectores del edificio principal.

El impacto potencial de cada escenario se obtiene mediante la combinación ponderada de la severidad y la extensión. En coherencia con la premisa de protección de la vida que orienta el presente trabajo, se otorgó a la severidad una ponderación de dos tercios (2/3) y a la extensión de un tercio (1/3), conforme a la siguiente expresión:

$$\text{Impacto} = \frac{2 \cdot \text{Severidad} + \text{Extensión}}{3} \tag{4}$$

El nivel de riesgo resultante se obtiene del producto entre la probabilidad y el impacto así calculado. Para facilitar su interpretación, los resultados se clasifican en tres rangos de prioridad, conforme a los criterios presentados en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Clasificación del nivel de riesgo.

Nivel	Riesgo
Bajo	Valores menores a 3.
Medio	Valores mayores o iguales a 3 y menores que 6.
Alto	Valores iguales o mayores que 6.

Dado que el impacto se obtiene mediante una combinación ponderada, el nivel de riesgo puede adoptar valores decimales, lo que permite una discriminación más precisa entre los distintos escenarios evaluados.

7.1.2. Evaluación de riesgo de los escenarios seleccionados

A partir de los criterios de probabilidad, severidad y extensión definidos en la subsección anterior, se evaluó cada uno de los nueve escenarios contemplados en el alcance de este trabajo. El Cuadro 10 presenta, para cada escenario, el valor asignado a cada variable y el nivel de riesgo resultante de su combinación, ordenados de mayor a menor prioridad.

Cuadro 10: Evaluación de riesgo de los escenarios seleccionados.

Escenario	Prob.	Sev.	Ext.	Impacto	Riesgo
Incendio	3	3	3	3,00	9,00
Amenaza de bomba	2	3	3	3,00	6,00
Tirador activo	2	3	3	3,00	6,00
Fenómeno meteorológico severo	2	3	3	3,00	6,00
Fuga de gas	2	3	2	2,67	5,33
Derrame químico	3	2	1	1,67	5,00
Inundación	2	2	2	2,00	4,00
Sismo	1	3	3	3,00	3,00
Ascensor detenido	3	1	1	1,00	3,00

Como se observa en el Cuadro 10, cuatro de los nueve escenarios evaluados se ubican en la banda de riesgo alto y los cinco restantes en la banda de riesgo medio; ningún escenario se clasifica en la banda de riesgo bajo. Los escenarios de incendio, amenaza de bomba, tirador activo y fenómeno meteorológico severo presentan el mayor nivel de prioridad, mientras que la fuga de gas, el derrame químico, la inundación, el sismo y el ascensor detenido se ubican en un nivel intermedio. Estos resultados respaldan la pertinencia del conjunto de escenarios definido para este trabajo: todos los eventos contemplados presentan, en el contexto edilicio y geográfico de la Facultad, una combinación de probabilidad e impacto que justifica el desarrollo de procedimientos específicos de respuesta.

7.2. Escenarios adicionales descartados

Complementariamente, se evaluaron cuatro escenarios adicionales que no fueron incluidos como procedimientos específicos dentro del sistema propuesto. Para su análisis se aplicó la misma metodología de evaluación descrita en la sección anterior, considerando la probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial, este último determinado mediante la combinación ponderada de la severidad y la extensión. La exclusión de estos escenarios no responde a su nivel de riesgo, sino a la naturaleza de la respuesta que requieren: en ninguno de ellos la gestión implica la evacuación del edificio ni la asistencia de personas en los términos que aborda el sistema propuesto, sino que corresponde a otros procedimientos institucionales o a servicios externos.

El Cuadro 11 presenta la evaluación de cada escenario y la justificación de su exclusión.

Cuadro 11: Escenarios descartados para el protocolo de evacuación y justificación de su exclusión.

Escenario	P	S	E	I	Riesgo	Justificación de descarte
Corte prolongado de suministro eléctrico	3	1	1	1,00	3,00	Se gestiona como factor agravante dentro de otros procedimientos (incendio, inundación) y no requiere evacuación específica.
Emergencia médica individual	3	1	1	1,00	3,00	Se gestiona mediante el sistema de primeros auxilios, DEA y servicio médico contratado, sin necesidad de evacuación.
Robo o intrusión no violenta	3	1	1	1,00	3,00	Es competencia directa de Vigilancia y Policía; no implica riesgo masivo ni requiere evacuación.
Disturbios o protesta social	2	1	1	1,00	2,00	Se gestiona con cierre del edificio y comunicación institucional, no con un protocolo de evacuación.

Nota: P: probabilidad; S: severidad; E: extensión; I: impacto

Cabe señalar que tres de estos escenarios alcanzan un nivel de riesgo igual al de varios escenarios incluidos en el alcance del trabajo (valor 3, correspondiente a la banda de riesgo medio). Esta equivalencia exige explicitar el criterio de inclusión adoptado: el nivel de riesgo determina la priorización de los escenarios, mientras que su incorporación al sistema depende de la naturaleza de la respuesta requerida. Los escenarios incluidos exigen una respuesta específica vinculada a la evacuación o a la asistencia de personas; en particular, el sismo, aun con baja probabilidad de ocurrencia, puede requerir la evacuación del edificio y presenta la máxima severidad de la escala, mientras que el ascensor detenido con ocupantes demanda un procedimiento específico de asistencia y rescate. En contraste, los escenarios descartados no requieren evacuación en ningún caso, por lo que su inclusión en un protocolo de evacuación carecería de objeto.

7.3. Definiciones operativas de los escenarios seleccionados

El análisis precedente valida la incorporación de los nueve escenarios contemplados en el sistema propuesto. Sus definiciones operativas se presentan en el Cuadro 12, ordenadas según la priorización establecida en el Cuadro 10. Para cada escenario se desarrolla un procedimiento específico, elaborado conforme a la estructura común que se describe en la sección siguiente.

Cuadro 12: Escenarios de emergencia contemplados en el protocolo.

Escenario	Descripción
Incendio o principio de incendio	Presencia de llamas, humo o calor que indiquen combustión activa o en desarrollo en cualquier sector del edificio.
Amenaza de bomba o artefacto explosivo	Comunicación, hallazgo o indicio de la presencia de un dispositivo explosivo en las instalaciones.
Amenaza de tirador activo	Situación en la que una o más personas armadas representan una amenaza activa para la integridad física de los ocupantes del edificio.

Continúa en la página siguiente.

Continuación del Cuadro 12.

Escenario	Descripción
Fenómeno meteorológico severo	Condiciones climáticas extremas —vientos de alta intensidad, granizo y tormenta eléctrica— que comprometan la seguridad estructural o la circulación de personas en el exterior.
Fuga de gas	Liberación accidental de gas natural u otro gas combustible que genere riesgo de intoxicación, incendio o explosión.
Derrame de productos químicos peligrosos	Liberación accidental de productos químicos peligrosos (sólidos o líquidos) que genere riesgo de intoxicación, contaminación o lesiones por contacto.
Inundación, anegamiento u otro evento de origen hídrico	Ingreso o acumulación de agua en las instalaciones por lluvias intensas, rotura de cañerías o desborde de desagües, que comprometa la seguridad de los ocupantes.
Sismo u otro evento geológico	Movimiento sísmico de intensidad suficiente para generar riesgo estructural, caída de objetos o daño en las instalaciones.
Falla o bloqueo de ascensor con ocupantes	Inmovilización de una o más personas en la cabina del ascensor por falla mecánica, eléctrica o activación del sistema de emergencia.

7.4. Variantes de los escenarios según su magnitud y evolución

La definición de distintas variantes para cada escenario responde al principio de proporcionalidad de la respuesta, según el cual las acciones adoptadas deben adecuarse a la magnitud y evolución del incidente. Este enfoque permite ajustar la respuesta operativa a las condiciones reales de cada emergencia, evitando tanto intervenciones insuficientes como medidas desproporcionadas [4, 17].

7.4.1. Incendio o principio de incendio

- **Foco localizado y controlable:** foco incipiente en un espacio puntual (salón, laboratorio u oficina), con posibilidad de primera intervención mediante extintor u otros medios disponibles.
- **Foco en un sector:** foco en desarrollo con presencia de humo bien delimitada a un sector del edificio, sin posibilidad de primera intervención.
- **Foco no controlable o humo generalizado:** incendio declarado o humo extendido que compromete la integridad del edificio en su conjunto.

7.4.2. Amenaza de bomba o artefacto explosivo

- **Objeto sospechoso en un sector:** presencia u objeto sospechoso reportado en un sector del edificio, sin ubicación puntual confirmada.
- **Llamada confirmada sin objeto localizado:** llamada o mensaje de amenaza que no permite delimitar el riesgo a un sector específico.
- **Explosión confirmada:** detonación percibida en el edificio o sus inmediaciones, con posibilidad de múltiples daños.

7.4.3. Amenaza de tirador activo

- **Agresor activo y localizado:** presencia confirmada de una o más personas armadas en el interior del edificio, con ubicación conocida.
- **Amenaza confirmada sin localización:** reporte verificado de amenaza activa sin confirmación de la ubicación del agresor dentro del edificio.

7.4.4. Fenómeno meteorológico severo

- **Durante el evento:** vientos de alta intensidad, granizo o tormenta eléctrica activa que compromete la seguridad en el exterior y la integridad de ventanas, fachadas o elementos no estructurales.
- **Una vez finalizado el evento:** cese del fenómeno con posibles daños estructurales, caída de árboles u objetos, o afectación de accesos y perímetro del edificio.

7.4.5. Derrame de productos químicos peligrosos

- **Derrame localizado con EPP disponible:** derrame de sustancia conocida en un espacio puntual, con posibilidad de contención por personal capacitado.
- **Derrame no controlable:** liberación de gran volumen, de sustancia desconocida o sin EPP disponible, con riesgo de intoxicación, contaminación o lesiones de alcance general.

7.4.6. Fuga de gas

- **Fuga localizada y controlable:** fuga con origen identificado y posibilidad de interrupción del suministro mediante las llaves de corte correspondientes.
- **Fuga en un sector:** fuga que compromete un sector del edificio, sin posibilidad de control inmediato del origen.
- **Fuga masiva:** liberación de gran volumen o sin posibilidad de corte del suministro, con riesgo de intoxicación, incendio o explosión de alcance general.

7.4.7. Inundación, anegamiento u otro evento de origen hídrico

- **Filtración o acumulación menor:** humedad puntual, goteras o pequeño derrame sin contacto con instalaciones eléctricas ni riesgo de propagación rápida.
- **Ingreso masivo de agua en un sector:** rotura de cañería, desborde de baño o ingreso de agua por exterior que compromete un sector sin riesgo eléctrico evidente.
- **Inundación severa:** ingreso masivo de agua por tormenta intensa, subsuelos inundados, contacto del agua con instalaciones eléctricas o riesgo estructural.

7.4.8. Sismo u otro evento geológico

- **Durante el movimiento sísmico:** sacudida activa con riesgo de caída de objetos, desplazamiento de mobiliario o daño estructural incipiente.
- **Una vez finalizado el movimiento:** cese del movimiento principal con posibilidad de réplicas, evaluación de daños estructurales y verificación de instalaciones.

El escenario de falla o bloqueo de ascensor con ocupantes no presenta variantes: su respuesta se rige por un procedimiento único de asistencia, sin activación de los niveles de evacuación estándar, conforme se indica en la sección siguiente.

7.5. Clasificación de los procedimientos según la respuesta inicial

La naturaleza de la amenaza determina si la respuesta inicial consiste en desalojar el edificio de inmediato o en proteger a los ocupantes en su interior hasta que las condiciones permitan una evacuación segura. En función de este criterio, ampliamente utilizado en protocolos internacionales de respuesta ante emergencias, los procedimientos se clasifican en dos categorías [4, 25]:

- **Procedimientos de evacuación inmediata:** el escenario no representa un riesgo mayor en el exterior que en el interior del edificio, por lo que la respuesta consiste en el desalojo ordenado hacia el punto de encuentro designado. Corresponden a esta categoría los escenarios de incendio o principio de incendio, derrame de productos químicos peligrosos, fuga de gas y amenaza de bomba o artefacto explosivo; en este último caso, con excepción de la variante de explosión confirmada, que activa el nivel de resguardo interno conforme a los criterios de activación definidos en el Capítulo 8.
- **Procedimientos de resguardo con evacuación diferida:** el escenario genera condiciones en las que permanecer en el interior resulta más seguro que desplazarse al exterior, al menos en una primera instancia. La respuesta se estructura en dos fases: una fase inicial de resguardo en zonas seguras y monitoreo activo de la situación, seguida de una evacuación diferida que se ejecuta cuando las condiciones lo permiten. Corresponden a esta categoría los escenarios de sismo u otro evento geológico, fenómeno meteorológico severo, amenaza de tirador activo e inundación, anegamiento u otro evento de origen hídrico.

El escenario de falla o bloqueo de ascensor con ocupantes no se incluye en ninguna de las dos categorías anteriores, en tanto no requiere la activación de los niveles de evacuación estándar. Su gestión se rige por procedimientos específicos descritos en los documentos anexos.

La Figura 11 sintetiza la clasificación de los escenarios de emergencia según la respuesta inicial prevista en el sistema de evacuación propuesto.

Figura 11: *Clasificación de los escenarios de emergencia según la respuesta inicial establecida en el sistema de evacuación propuesto. Fuente: Elaboración propia.*

Capítulo 8

8. Diseño del protocolo de evacuación inclusivo

El presente capítulo cierra la cuarta etapa metodológica descrita en la Sección 1.5 e inaugura la quinta: por un lado, completa el diseño del sistema de evacuación con la definición de la estructura organizativa del equipo de emergencia y los criterios de activación; por otro, elabora el primero de los cuatro documentos operativos del sistema, el Protocolo de Evacuación Inclusivo, cuyo diseño se presenta y justifica en las secciones siguientes.

8.1. Alcance del protocolo

El Protocolo de Evacuación Inclusivo constituye el documento marco que regula la respuesta institucional ante situaciones de emergencia en el edificio principal de la Facultad de Ingeniería. Su elaboración parte del diagnóstico institucional y del marco normativo y técnico desarrollados en los capítulos anteriores, e integra la inclusión de personas con discapacidad como eje transversal del diseño.

El protocolo establece la organización general de la respuesta institucional y define los criterios comunes aplicables a todos los escenarios de emergencia. Los restantes componentes del sistema, los procedimientos específicos por escenario, las Especificaciones de Asistencia en Situaciones de Emergencia para Personas con Discapacidad y el Plan Personal de Evacuación de Emergencia (PEEP), desarrollan operativamente los lineamientos aquí establecidos.

8.2. Consideraciones de diseño del protocolo

La construcción del protocolo se apoyó en un conjunto de consideraciones que orientaron sus decisiones de diseño. La primera de ellas es la definición de principios rectores de la respuesta, organizados en dos niveles. El primer nivel comprende los principios generales que rigen toda actuación ante emergencias: la prioridad de la vida humana sobre la preservación de bienes, la rapidez, el orden y el control en la ejecución, la comunicación efectiva, la inclusión y accesibilidad, y la coordinación bajo responsabilidades claramente definidas. El segundo nivel establece principios específicos para la asistencia a personas con discapacidad, autonomía y dignidad, anticipación, especificidad, transversalidad y formación continua, mediante los cuales la inclusión deja de ser un enunciado declarativo para convertirse en criterios operativos exigibles en todos los escenarios. Este doble nivel materializa el enfoque del modelo social adoptado en este trabajo: las barreras de evacuación se atribuyen al entorno y a la organización de la respuesta, no a las personas.

En segundo lugar, el diseño consideró que la respuesta institucional no opera de forma aislada: el protocolo define los mecanismos de coordinación con los organismos externos competentes, la Dirección Nacional de Bomberos, Policía Nacional y servicios de emergencia médica, delimitando el momento en que la conducción del evento se transfiere o se comparte con estos.

Por último, el protocolo incorpora una dimensión preventiva además de la reactiva: la inspección y el mantenimiento de las instalaciones, la gestión del entorno físico y las medidas preventivas definidas para cada escenario, orientadas a reducir la probabilidad de ocurrencia de los eventos o a limitar su impacto inicial. Esta dimensión responde directamente a las deficiencias relevadas en el diagnóstico institucional del Capítulo 6. El desarrollo completo de estas consideraciones se encuentra en los capítulos 2 y 3 del Protocolo de Evacuación Inclusivo.

8.3. Estructura del equipo de emergencia

La respuesta ante emergencias en la Facultad de Ingeniería se organiza a través de un equipo estructurado de forma sectorizada y jerárquica, en coherencia con la distribución física del edificio en tres sectores: Edificio Central, Cuerpo Norte y Cuerpo Sur [17]. Esta organización permite una gestión descentralizada y eficiente durante una emergencia, asegurando cobertura en la totalidad de los niveles y sectores del edificio.

El equipo de emergencia está integrado por los siguientes roles, cuyas responsabilidades se detallan a continuación.

Cuadro 13: Composición del equipo de emergencia

Rol	**Función principal**
Comité de gestión de emergencias	Órgano de planificación, supervisión y evaluación de las acciones de prevención y respuesta ante emergencias.
Líderes de evacuación	Coordinan la respuesta general por sector, mantienen comunicación con el resto del equipo de emergencia e intervienen en la comunicación con organismos externos.
Líderes de piso	Supervisan y guían la evacuación en el nivel asignado, asegurando el desalojo completo de su área.
Brigada de evacuación	Asisten operativamente la evacuación, con especial responsabilidad en la asistencia a personas con discapacidad.
Personal de vigilancia	Primer eslabón de respuesta: detecta la emergencia, gestiona la comunicación de la alerta realizando el primer contacto con los organismos externos y provee información situacional en tiempo real.
Roles de apoyo	Docentes y funcionarios que colaboran en la conducción ordenada de la evacuación desde sus espacios habituales.

8.3.1. Comité de gestión de emergencias

Órgano de conducción estratégica del sistema de respuesta. Es responsable de aprobar el protocolo y sus actualizaciones, planificar las instancias de capacitación y coordinar los simulacros periódicos. Su composición incluye a los líderes de evacuación y al responsable del personal de vigilancia, entre otros integrantes a designar institucionalmente.

8.3.2. Líderes de evacuación

Se asigna un líder y un suplente por sector. Coordinan la respuesta general, mantienen comunicación con los organismos externos y supervisan el desalojo completo del sector a su cargo. Son los responsables de declarar el cierre de la emergencia y autorizar el reingreso al edificio.

8.3.3. Líderes de piso

Se asigna un líder y un suplente por nivel en cada sector. Supervisan el desalojo de su piso, verifican que no queden personas en aulas, baños u oficinas, y reportan al líder de evacuación. Prestan especial atención a la asistencia de personas con discapacidad.

8.3.4. Brigada de evacuación

Componente operativo especializado del equipo. A diferencia de los demás roles, cuya función es guiar el flujo general de evacuación, la brigada interviene prioritariamente en zonas de mayor complejidad y en la asistencia a personas con discapacidad. Su efectividad depende de la capacitación previa y del acceso oportuno al registro de PEEPs activos [11].

8.3.5. Personal de vigilancia

Primer eslabón operativo de la cadena de respuesta. Su posición estratégica, con acceso al panel de alarmas, al sistema de videovigilancia y a los medios de comunicación con los organismos externos, lo convierte en el principal proveedor de información situacional para el líder de evacuación. Mantiene actualizado y disponible el registro de PEEP activos correspondiente a la jornada [11, 17].

Durante una evacuación, actúa como nexo con la brigada y los líderes, brindando información actualizada sobre la situación y colaborando en la coordinación general del edificio.

8.3.6. Roles de apoyo

Docentes y funcionarios que, sin integrar el equipo de emergencia, colaboran con los líderes de piso durante la evacuación. Aseguran el desalojo de los espacios a su cargo y los dejan en condiciones seguras antes de retirarse.

8.4. Criterios de activación del protocolo

La activación del protocolo depende de la magnitud, ubicación y nivel de riesgo del evento detectado. El líder de evacuación es el responsable principal de determinar el nivel de respuesta adecuado. En su ausencia, esta decisión recae en el personal de vigilancia; una vez presentes los organismos de emergencia externos, la decisión se adopta en coordinación con estos.

La determinación del nivel de respuesta se apoya en dos instrumentos complementarios: la definición de cuatro niveles de activación, que establecen el alcance de la respuesta (Cuadro 14), y una matriz de decisión que asigna a cada variante de los escenarios el nivel de activación recomendado (Cuadro 15). Ante cualquier duda sobre el nivel correspondiente, escalar siempre al nivel superior.

Cuadro 14: Niveles de activación del protocolo

Nivel	Descripción	Alcance
Evacuación total	El evento compromete la seguridad general del edificio. Se desaloja la totalidad de los ocupantes de los tres sectores hacia los puntos de encuentro designados.	Todo el edificio

Continúa en la página siguiente

Continuación — Niveles de activación del protocolo

Nivel	Descripción	Alcance
Evacuación sectorial	El evento compromete uno de los sectores del edificio (norte, sur o central). Se evacúa únicamente el sector afectado; el resto del edificio continúa con actividad normal o en alerta preventiva.	Sector norte, sur o central
Evacuación de área	El evento afecta un espacio específico dentro de un sector: un salón, laboratorio, pasillo o piso determinado. Se evacúa únicamente el área comprometida y se restringe el acceso a la misma.	Salón, laboratorio o pasillo afectado
Resguardo interno	Evacuar hacia el exterior representa un riesgo mayor que permanecer dentro del edificio. Los ocupantes se trasladan a zonas seguras internas hasta que las condiciones permitan la evacuación o el levantamiento de la alerta.	Todo el edificio

El Cuadro 15 opera como matriz de decisión: para cada escenario de emergencia, asigna el nivel de activación que corresponde a cada una de las variantes definidas en la Sección 7.4, según su magnitud o su fase de evolución. Su lectura es orientativa; el líder de evacuación puede ajustar el nivel en función de las condiciones específicas del momento. El escenario de falla o bloqueo de ascensor con ocupantes no se incluye por no requerir la activación de los niveles de evacuación estándar.

Cuadro 15: Nivel de activación recomendado por escenario

Escenario	Evacuación total	Evacuación sectorial	Evacuación de área	Resguardo interno
Incendio o principio de incendio	Foco no controlable o humo generalizado	Foco en un sector y humo bien delimitado	Foco localizado y controlable en un salón	—
Amenaza de bomba o artefacto explosivo	Llamada confirmada sin objeto localizado	Objeto sospechoso en un sector	—	Explosión confirmada
Amenaza de tirador activo	Una vez que los organismos externos declaren el área segura y autoricen la evacuación	—	—	Agresor activo y localizado, o amenaza confirmada sin localización

Continúa en la página siguiente

Continuación — Nivel de activación recomendado por escenario

Escenario	**Evacuación total**	**Evacuación sectorial**	**Evacuación de área**	**Resguardo interno**
Fenómeno meteorológico severo	Una vez haya finalizado el evento	—	—	Siempre
Derrame de productos químicos peligrosos	—	Derrame no controlable	Derrame localizado con EPP disponible	—
Fuga de gas	Fuga masiva	Fuga en un sector	Fuga localizada y controlable	—
Inundación, anegamiento u otro evento de origen hídrico	Inundación severa que compromete la seguridad general del edificio	Ingreso masivo de agua que afecta un sector del edificio	Filtración o acumulación menor	Durante la fase inicial, en caso de inundación por tormenta
Sismo u otro evento geológico	Una vez que haya finalizado el movimiento	—	—	Durante el movimiento sísmico

8.5. Comunicación institucional de la emergencia

Una vez determinado el nivel de activación, su eficacia depende de que la decisión llegue de forma inmediata y comprensible a quienes deben ejecutarla. El sistema de comunicación se diseñó sobre dos flujos simultáneos e independientes, la coordinación interna del equipo de emergencia y la alerta a los ocupantes del edificio, de modo que la falla de un canal no comprometa al otro. A su vez, la alerta a los ocupantes combina la alarma sonora con la instrucción verbal directa de los líderes de piso: la primera indica la existencia de una emergencia; la segunda comunica la acción concreta a seguir, asegurando que la indicación resulte comprensible para la totalidad de los ocupantes con independencia de sus capacidades funcionales.

La Figura 12 resume el flujo general de comunicación previsto durante una emergencia, distinguiendo la coordinación interna del equipo de emergencia y los mecanismos de alerta dirigidos a los ocupantes.

Figura 12: *Flujo general de comunicación durante una situación de emergencia. Fuente: Elaboración propia.*

8.5.1. Coordinación interna del equipo de emergencia

El personal de vigilancia, líderes de evacuación, líderes de piso y brigada se coordinan a través del grupo institucional de mensajería instantánea del equipo de emergencia, canal activo desde el momento en que se detecta el evento hasta el cierre de la emergencia. Este canal debe estar configurado con anterioridad a cualquier emergencia, con la totalidad de los integrantes incorporados y notificaciones activas. Su operatividad se verifica en cada instancia de capacitación y simulacro.

8.5.2. Alerta a los ocupantes del edificio

La alerta a los ocupantes combina dos mecanismos complementarios: la activación de la alarma sonora del edificio y la comunicación verbal directa de los líderes en su sector. La alarma sonora indica la existencia de una emergencia; la instrucción verbal de los líderes orienta la acción concreta a seguir (evacuar, resguardarse o dirigirse a un área específica) conforme al nivel de activación determinado en la sección 8.4.

La activación de la alarma sonora depende del escenario. En el caso de incendio o principio de incendio, se activa de forma automática por el sistema de detección; el personal de vigilancia la silencia hasta verificar la materialización del evento y la restablece una vez confirmada la emergencia. Ante sismo u otro evento geológico, se activa manualmente una vez finalizado el movimiento. En los escenarios de amenaza de tirador activo y fuga de gas, no deberá activarse: en el primero, porque revela la presencia de ocupantes en el edificio; en el segundo, porque constituye una potencial fuente de ignición. Ante derrame de productos químicos peligrosos, su activación queda condicionada a que el líder de evacuación descarte previamente el riesgo de incendio o explosión asociado a la sustancia involucrada. En los demás escenarios, la decisión queda a criterio del líder de evacuación en función de la naturaleza y evolución del evento. En todos los casos, la comunicación verbal de los líderes de piso opera con independencia de la alarma sonora.

8.6. Cierre operativo de la emergencia

La gestión de una emergencia no concluye con la evacuación o el control inicial del incidente. Una vez controlado el evento, el equipo de emergencia ejecuta las etapas descritas en el Cuadro 16 antes de autorizar el retorno a la actividad normal.

Cuadro 16: Etapas del procedimiento posterior a la emergencia

Etapa	**Acciones principales**	**Responsable**
Verificación de la integridad de las personas	Confirmar que la totalidad de los ocupantes haya evacuado o quede resguardada. Identificar personas desaparecidas, lesionadas o que requieran asistencia médica o contención emocional.	Líderes de evacuación + líderes de piso
Evaluación de las condiciones del edificio	Verificar el estado estructural, eléctrico y sanitario antes de autorizar el reingreso. Coordinar con las áreas técnicas competentes ante daños confirmados. El acceso a los sectores comprometidos permanece restringido hasta su habilitación expresa.	Líderes de evacuación + áreas técnicas competentes
Registro y evaluación del evento	Elaborar informe del evento consignando tiempos de respuesta, intervenciones realizadas, personas asistidas, dificultades encontradas y desviaciones respecto al protocolo. El informe es remitido al comité de gestión de emergencias y constituye un insumo para la actualización del protocolo y la planificación de capacitaciones y simulacros, conforme a lo establecido en el Capítulo 8.7.	Líder de evacuación + equipo de emergencia
Evaluación del desempeño, revisión y actualización del procedimiento	El comité de gestión de emergencias convoca una reunión del equipo dentro de los 7 días posteriores al evento para analizar la respuesta y detectar mejoras. A partir de ese análisis se actualiza el procedimiento ante situaciones no contempladas, se solicita la reposición de equipos usados o dañados, y se planifican capacitaciones o simulacros si se detectaron debilidades en el conocimiento o la ejecución del protocolo.	Comité de gestión de emergencias

8.7. Capacitación y simulacros

La implementación de un sistema de evacuación inclusivo no finaliza con la elaboración del protocolo: su eficacia depende de que las personas responsables conozcan los procedimientos, desarrollen las competencias necesarias para aplicarlos y los validen periódicamente en situaciones controladas. El conocimiento de los procedimientos y de las técnicas de asistencia a personas con discapacidad no puede adquirirse en el momento de la emergencia, sino que debe construirse con anterioridad mediante una formación sistemática y periódica [11, 17]. En este contexto, la capacitación y los simulacros constituyen los principales mecanismos para asegurar la preparación del equipo de emergencia y favorecer la mejora continua del sistema. Su incorporación como componente estructural del

protocolo recoge, asimismo, una de las lecciones centrales de los antecedentes internacionales relevados en el Capítulo 5: la capacitación continua y los simulacros inclusivos como condición de eficacia de todo plan de evacuación para personas con discapacidad.

La capacitación se planifica con una frecuencia mínima anual bajo coordinación del comité de gestión de emergencias, alineada con las instancias de revisión del protocolo. La incorporación de un nuevo integrante al equipo requiere su capacitación previa antes de asumir el rol asignado. Los contenidos abarcan los procedimientos por escenario, los criterios de activación, las técnicas de asistencia diferenciada por tipo de discapacidad y la intervención en crisis mediante Primeros Auxilios Psicológicos.

Los simulacros constituyen el principal mecanismo de validación del protocolo en condiciones próximas a las reales. Se realizan con una frecuencia mínima anual, alternando escenarios de evacuación inmediata y de resguardo con evacuación diferida, conforme a la clasificación establecida en la Sección 7.5. Siempre que sea posible, se debe incorporar la participación de personas con PEEP activo, con su consentimiento previo, reconociendo que son quienes mejor conocen sus necesidades funcionales y pueden identificar barreras no previstas en los procedimientos. Los resultados de cada simulacro se documentan mediante un informe de evaluación que identifica fortalezas, oportunidades de mejora y acciones correctivas, constituyendo un insumo directo para las revisiones periódicas y la actualización del sistema.

Capítulo 9

9. Diseño de los procedimientos de evacuación

El presente capítulo desarrolla el segundo componente de la quinta etapa metodológica descrita en la Sección 1.5: el conjunto de los nueve procedimientos de evacuación específicos que conforman el núcleo operativo del sistema propuesto. Se presentan las consideraciones de diseño que orientaron su elaboración, la estructura común adoptada para todos los procedimientos, el diagrama de flujo general y el detalle de las etapas para cada tipo de respuesta, diferenciadas según la clasificación establecida en la Sección 7.5.

9.1. Consideraciones de diseño de los procedimientos

El diseño de los procedimientos específicos se orientó por tres principios que condicionaron tanto su estructura como su contenido.

El primero es la **autonomía operativa**: cada procedimiento constituye un documento autónomo respecto de los demás procedimientos del sistema, consultable en el momento crítico sin necesidad de remitir a otro procedimiento específico. Este principio, identificado como buena práctica en los antecedentes internacionales relevados en el Capítulo 5, responde a una exigencia operativa concreta: bajo condiciones de estrés agudo, un documento que requiere consultar otros para ser comprendido pierde eficacia. Su única lectura complementaria obligatoria son las *Especificaciones de Asistencia en Situaciones de Emergencia para Personas con Discapacidad*, conforme se establece en el principio siguiente.

El segundo es la **articulación con las especificaciones de asistencia**: cada procedimiento constituye una unidad operativa completa únicamente cuando se consulta en conjunto con las *Especificaciones de Asistencia en Situaciones de Emergencia para Personas con Discapacidad*, desarrolladas en el Capítulo 10. Las instrucciones específicas del escenario y las especificaciones de asistencia son documentos complementarios: su lectura integrada es condición necesaria para que quien ejecuta la evacuación disponga de la totalidad de la información requerida para actuar. Este diseño evita la duplicación de contenido entre documentos operativos y garantiza que las especificaciones de asistencia se mantengan actualizables de forma independiente, sin requerir modificaciones en cada procedimiento.

El tercero es la **mejora continua**: la estructura de los procedimientos responde al ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) [55]. La fase de planificación (*Plan*) se materializa en el diseño del procedimiento, la definición de roles y el diagrama de flujo; la ejecución (*Do*) corresponde a la actuación durante la emergencia siguiendo los instructivos por rol; la verificación (*Check*) se realiza a través de las acciones post-emergencia y la documentación del evento; y la mejora (*Act*) se concreta en la actualización del procedimiento a partir de los hallazgos identificados. Este enfoque garantiza que los procedimientos no sean documentos estáticos sino herramientas sujetas a revisión sistemática, articuladas con las instancias de capacitación y simulacros descritas en la Sección 8.7.

La Figura 13 muestra cómo la estructura de los procedimientos desarrollados se integra al ciclo de mejora continua:

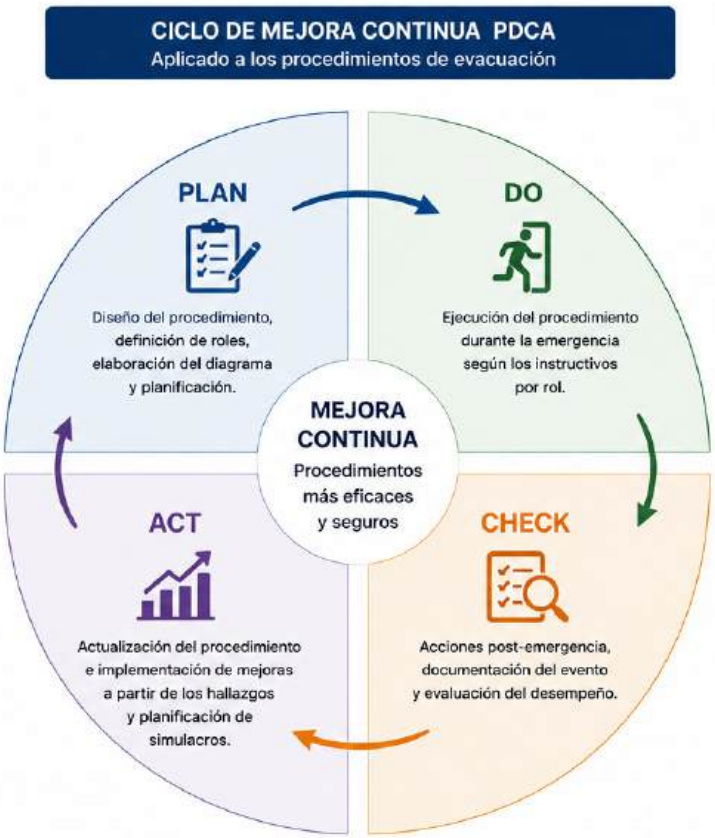

Figura 13: *Aplicación del ciclo de mejora continua PDCA a la estructura de los procedimientos de evacuación. Fuente: Elaboración propia.*

9.2. Estructura común de los procedimientos

Cada procedimiento específico está organizado en los siguientes componentes, cuya secuencia garantiza coherencia operativa entre los nueve documentos del sistema:

- **Generalidades del procedimiento:** presentación del documento, su alcance y las consideraciones particulares de riesgo de la emergencia abordada.
- **Consideraciones generales de actuación ante la emergencia:** consignas transversales dirigidas a la totalidad de los ocupantes, organizadas según los principios de seguridad que las fundamentan.
- **Actuación inicial o primera intervención:** acciones aplicables a cualquier persona que detecte la emergencia, antes de la activación formal del procedimiento.
- **Roles y funciones principales:** cuadro síntesis con las responsabilidades de cada rol del equipo de emergencia.
- **Niveles de activación aplicables:** criterios que determinan el alcance de la respuesta (total, sectorial o de área) según la magnitud y ubicación del evento.
- **Diagrama de flujo:** representación visual del procedimiento, incluyendo las decisiones clave y las etapas de la respuesta.
- **Procedimiento por rol:** desarrollo detallado de las acciones de cada rol del equipo de emergencia, organizado en las cinco etapas del evento.
- **Procedimiento para ocupantes:** procedimiento dirigido a la comunidad universitaria, en lenguaje accesible y orientado a la acción.

- **Gestión posterior a la emergencia:** atención a personas afectadas, evaluación del edificio, documentación del evento y análisis para la mejora continua.
- **Contactos de emergencia:** cuadro con contactos internos y externos relevantes para el escenario específico.
- **Control de cambios:** registro de las versiones del documento, con la fecha, la descripción de cada modificación y el responsable.

Esta estructura se complementa, en algunos procedimientos, con componentes adicionales según la naturaleza del escenario: formularios de registro estructurado para amenaza de bomba y tirador activo, tablas de clasificación de severidad en el caso de inundación, procedimiento para uso de extintores portátiles en caso de incendio, u otras secciones específicas para situaciones particulares, como la imposibilidad total de evacuación en incendio.

9.3. Diagrama de flujo general de los procedimientos

Los procedimientos de evacuación se clasifican en dos tipos según la naturaleza de la respuesta inicial, conforme a lo establecido en la Sección 7.5: procedimientos de evacuación inmediata y procedimientos de resguardo con evacuación diferida. Ambos comparten las dos primeras etapas, activación de la alarma o alerta, y comunicación de la emergencia, y convergen en las etapas finales de llegada al punto de encuentro y cierre. El punto de divergencia lo determina la naturaleza del escenario: si las condiciones permiten desalojar el edificio de forma inmediata, se ejecuta la rama de evacuación; si permanecer en el interior resulta más seguro, se activa el resguardo con evacuación diferida.

La Figura 14 sintetiza esta estructura y visualiza el punto de divergencia entre ambos tipos de respuesta. El detalle de las acciones y responsabilidades de cada rol se desarrolla en los procedimientos específicos.

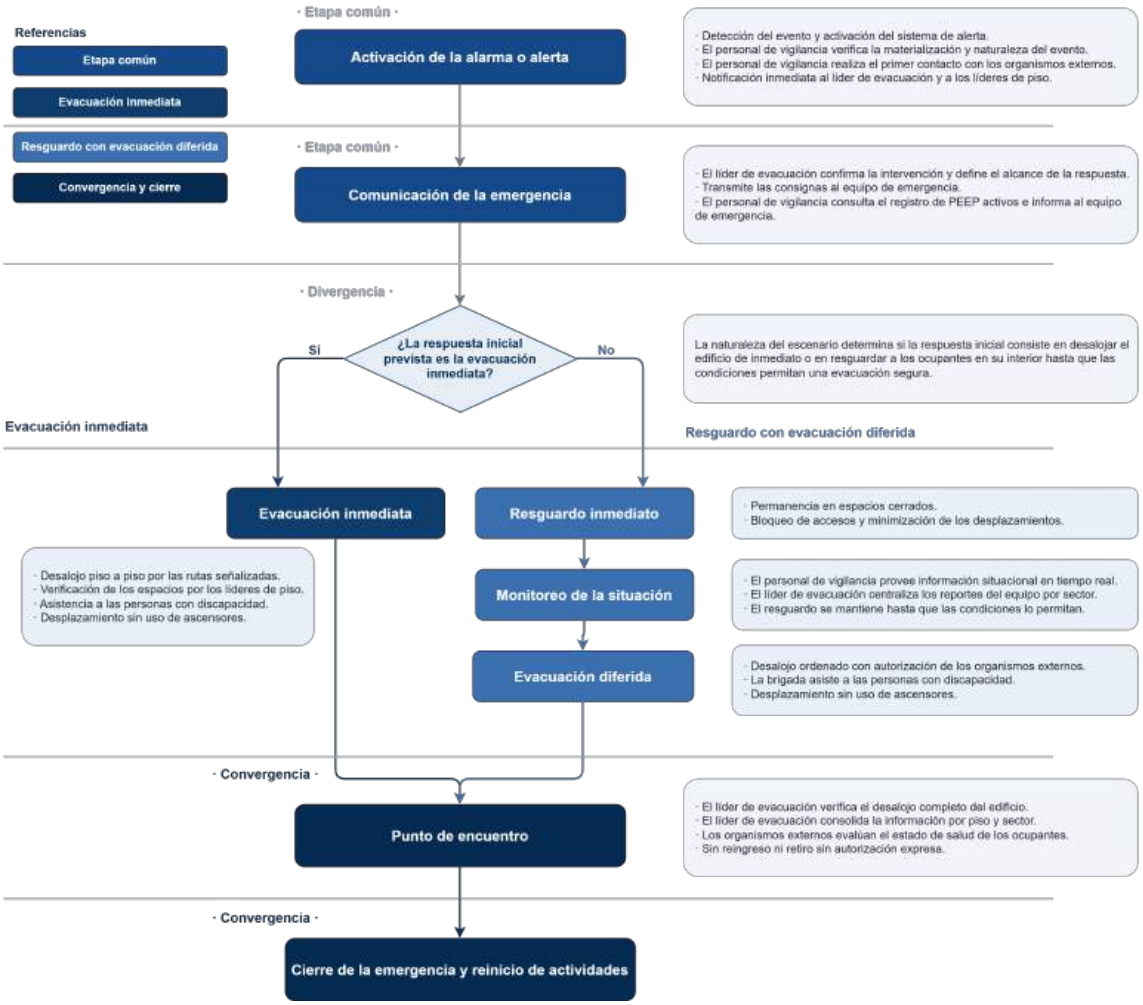

Figura 14: *Diagrama de flujo general de los procedimientos de evacuación. Fuente: Elaboración propia.*

9.4. Etapas de los procedimientos de evacuación inmediata

La respuesta ante una emergencia es un proceso secuencial en el que cada etapa crea las condiciones necesarias para que la siguiente pueda ejecutarse con eficacia [17]. Los procedimientos de evacuación inmediata se articulan en torno a las siguientes etapas:

9.4.1. Activación de la alarma

Se inicia con la detección del evento y la activación del sistema de alerta, mediante pulsadores manuales o por activación automática del sistema de detección. Se toman las primeras acciones de autoprotección y el posicionamiento de cada rol en su área asignada. En todos los escenarios, el personal de vigilancia verifica la materialización y naturaleza del evento, contacta a los organismos externos competentes e informa al líder de evacuación de manera inmediata.

9.4.2. Comunicación de la emergencia

El líder de evacuación confirma la necesidad de intervención, define el alcance de la respuesta, sectorial o total, y transmite las consignas al equipo. Mantiene comunicación activa con los organismos externos una vez que el personal de vigilancia establece el contacto.

Además, el personal de vigilancia consulta el registro de PEEPs activos para identificar posibles personas con discapacidad presentes en el edificio e informar su ubicación a la

brigada y al líder de evacuación, de modo que la asistencia pueda planificarse antes de que se inicie el desplazamiento.

9.4.3. Evacuación

Constituye la etapa central del procedimiento, en la que intervienen de forma simultánea todos los roles del equipo de emergencia. Los líderes de piso conducen el desalojo horizontal en cada nivel y verifican que no queden personas en aulas, baños ni oficinas. A su vez, los líderes de evacuación supervisan el desalojo completo del sector, coordinando la evacuación desde la planta más alta hasta la planta baja y manteniendo la comunicación con el resto del equipo.

La brigada brinda asistencia operativa durante la evacuación, priorizando la atención a las personas con discapacidad y aplicando las especificaciones de asistencia definidas en el Capítulo 10. Los roles de apoyo orientan a los ocupantes hacia las rutas de evacuación señalizadas y verifican el desalojo de los espacios a su cargo, mientras que el personal de vigilancia monitorea el desarrollo de la evacuación mediante el sistema de videovigilancia, sin abandonar la cabina salvo indicación expresa del líder de evacuación. En todos los casos, el desplazamiento se efectúa exclusivamente por las rutas señalizadas, sin utilizar los ascensores.

Cabe señalar que en el escenario de derrame de productos químicos peligrosos y en el de fuga de gas, la respuesta prioriza el aislamiento del sector afectado antes del desalojo general.

9.4.4. Llegada al punto de encuentro

Cada sector cuenta con un punto de encuentro designado en el exterior del edificio. El líder de evacuación, en coordinación con el personal de vigilancia, verifica el desalojo completo de las instalaciones y consolida la información de cada piso: personas evacuadas, posibles ausentes y personas que requieren atención especializada. Los organismos externos intervinientes evalúan el estado de salud de los ocupantes cuando la situación lo requiere. Ningún ocupante puede retirarse del punto de encuentro ni reingresar al edificio sin autorización expresa del líder de evacuación.

9.4.5. Cierre de la emergencia y reinicio de actividades

La finalización de la emergencia es declarada por el líder de evacuación en coordinación con los organismos intervinientes. El reingreso se realiza de forma progresiva y controlada, una vez verificadas las condiciones de seguridad. Es deseable que cada rol registre las incidencias más relevantes de su intervención, con especial atención a la asistencia a personas con discapacidad y a la prestación de primeros auxilios, de modo que constituyan un insumo para la elaboración posterior del informe de la emergencia.

9.5. Etapas de los procedimientos de resguardo con evacuación diferida

Los procedimientos de resguardo con evacuación diferida se articulan en las siguientes etapas, que reconocen la imposibilidad de desalojar el edificio de manera inmediata:

9.5.1. Activación de la alerta

Se inicia con la detección del evento y la notificación inmediata al equipo de emergencia, y se toman las primeras acciones de autoprotección y el posicionamiento de cada rol en su área asignada. El personal de vigilancia verifica la materialización y naturaleza del evento, contacta a los organismos externos competentes e informa al líder de evacuación de manera inmediata.

A diferencia de los procedimientos de evacuación inmediata, esta etapa no incluye la activación de la alarma sonora en todos los escenarios. Los criterios específicos por escenario se encuentran definidos en la Sección 8.5.

9.5.2. Resguardo inmediato

El líder de evacuación mantiene comunicación activa con los organismos externos y transmite las consignas de resguardo al equipo: permanencia en espacios cerrados, bloqueo de accesos y minimización de movimientos. Los líderes de piso verifican que ninguna persona haya quedado expuesta en pasillos o áreas comunes. El personal de vigilancia consulta el registro de PEEPs activos e informa la ubicación de personas con discapacidad al líder de evacuación y a la brigada, a fin de que la asistencia quede planificada antes de cualquier desplazamiento. El personal de vigilancia continúa el seguimiento situacional a través del sistema de videovigilancia.

9.5.3. Monitoreo de la situación

El personal de vigilancia provee información situacional en tiempo real al líder de evacuación, quien centraliza los reportes de los líderes de piso sobre el estado de cada sector y comunica a los organismos externos. El resguardo se mantiene hasta que el líder de evacuación, en coordinación con las autoridades competentes, determina que las condiciones permiten iniciar la evacuación.

9.5.4. Evacuación diferida

La evacuación se inicia únicamente tras recibir autorización de los organismos externos. El líder de evacuación coordina con los líderes de piso el desalojo ordenado de cada sector; la brigada asiste prioritariamente a las personas con discapacidad conforme a las especificaciones. El desplazamiento se efectúa exclusivamente por las rutas señalizadas, sin uso de ascensores.

9.5.5. Llegada al punto de encuentro y cierre de la emergencia

Concluida la evacuación diferida, el líder de evacuación verifica que la totalidad de los ocupantes haya llegado al punto de encuentro, consolida la información por sector e informa a los organismos competentes sobre ausencias o situaciones pendientes. Ningún ocupante puede retirarse del punto de encuentro ni reingresar al edificio sin autorización expresa. La finalización de la emergencia es declarada por el líder de evacuación en coordinación con los organismos externos. Es deseable que cada rol registre las incidencias más relevantes de su intervención, con especial atención a la asistencia a personas con discapacidad y a la prestación de primeros auxilios, de modo que constituyan un insumo para la elaboración posterior del informe de la emergencia.

Capítulo 10

10. Diseño de las especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad

El presente capítulo desarrolla el tercer componente de la quinta etapa metodológica descrita en la Sección 1.5: las *Especificaciones de Asistencia en Situaciones de Emergencia para Personas con Discapacidad*, documento operativo complementario que desarrolla los procedimientos diferenciados de asistencia para cada perfil funcional. Su propósito es proveer al equipo de emergencia, especialmente a la brigada, de herramientas concretas y verificables para actuar con eficacia ante cada tipo de discapacidad, en lugar de depender del criterio individual en el momento crítico. De este modo, las especificaciones complementan los procedimientos de evacuación desarrollados en el Capítulo 9: mientras estos establecen las acciones generales por escenario, las especificaciones definen los criterios operativos de asistencia diferenciada según el perfil funcional de la persona, y su lectura integrada es condición necesaria para una respuesta inclusiva y eficaz.

El documento organiza la asistencia en cinco categorías, siguiendo la clasificación adoptada en el Capítulo 4: física, sensorial visual, sensorial auditiva, cognitiva y psicosocial [3]. Para cada categoría se desarrollan tres etapas: contacto inicial y preparación de la asistencia, asistencia durante la evacuación y llegada al punto de encuentro. Cada etapa incluye un procedimiento numerado paso a paso, pautas de comunicación específicas y advertencias operativas.

La Figura 15 sintetiza esta estructura, mostrando para cada perfil funcional el principal desafío operativo durante una evacuación y las tres etapas comunes de intervención.

Figura 15: *Síntesis de las especificaciones de asistencia según el perfil funcional y las etapas comunes de intervención. Fuente: Elaboración propia.*

10.1. Consideraciones de diseño de las especificaciones

Las especificaciones de asistencia constituyen un documento independiente de los procedimientos de evacuación por escenario. Esta decisión responde a un criterio operativo: las barreras que enfrenta una persona con discapacidad durante una evacuación no dependen del tipo de emergencia sino de su perfil funcional. Un brigadista que asiste a una persona usuaria de silla de ruedas aplica las mismas técnicas de traslado independientemente de si el evento es un incendio, una amenaza de bomba o un sismo. Separar las especificaciones de los procedimientos permite que ambos documentos sean consultables de forma autónoma y actualizables de forma independiente.

La clasificación en cinco perfiles tiene carácter instrumental: no describe identidades ni diagnósticos, sino requerimientos de asistencia durante una emergencia. La estructura de tres etapas comunes para cada perfil garantiza coherencia entre los cinco perfiles, facilitando la consulta bajo presión.

El documento cierra con una nota específica para situaciones en que una persona presenta más de una condición simultáneamente, reconociendo que la diversidad funcional real no siempre se ajusta a categorías discretas y que el brigadista puede encontrarse ante combinaciones no previstas en los procedimientos individuales.

10.2. Principios rectores de la asistencia

El diseño de las especificaciones se orientó por tres principios operativos que condicionaron tanto la estructura de cada procedimiento como los criterios de intervención definidos para cada perfil funcional.

10.2.1. Preservación de la autonomía

En todos los perfiles se prioriza el método que mayor control otorga a la persona sobre su propio desplazamiento, escalando hacia modalidades de mayor intervención del brigadista únicamente cuando las condiciones lo exigen. La consulta a la persona sobre sus preferencias antes de iniciar cualquier intervención es el primer paso de todos los procedimientos. La única excepción es la discapacidad psicosocial en crisis aguda, donde esa capacidad puede estar transitoriamente comprometida y la disposición se evalúa por la respuesta conductual.

10.2.2. Comunicación diferenciada por perfil

Cada categoría requiere canales y pautas de comunicación específicos. Uno de los errores más frecuentes en contextos de emergencia consiste en aplicar el mismo canal de comunicación a todos los perfiles. La discapacidad auditiva exige canal visual y verificación de comprensión por señas o escritura; la discapacidad visual demanda descripción verbal continua y precisa del entorno; la discapacidad cognitiva requiere frases cortas, vocabulario concreto y anticipación de cada tramo antes de llegar; la discapacidad psicosocial exige tono bajo, validación emocional y ausencia de expresiones de urgencia que puedan precipitar una crisis. En todos los casos, las especificaciones incluyen un bloque de pautas de comunicación como componente central del procedimiento.

10.2.3. Anticipación del bloqueo

En los perfiles funcionales cognitivo, psicosocial y visual (este último únicamente en condiciones de humo denso), la persona puede no responder de la manera esperada ante la activación de la alerta. Las especificaciones contemplan explícitamente estas situaciones y establecen criterios de actuación para cada una: negativa a desplazarse, crisis de pánico, sobrecarga sensorial en personas con Trastorno del Espectro Autista. Este principio reconoce que la eficacia de un procedimiento de asistencia no depende únicamente

de su correcta ejecución en condiciones favorables, sino de su capacidad para orientar la intervención cuando la situación se desvía de lo previsto.

10.3. Decisiones de diseño por perfil funcional

A continuación se presentan las principales decisiones de diseño adoptadas para cada perfil funcional.

10.3.1. Discapacidad física

Es el perfil de mayor complejidad logística en evacuaciones verticales. A diferencia de otros perfiles, el desafío no radica en la comunicación de la alerta ni en la comprensión de las instrucciones, sino en la ejecución misma del desplazamiento. A efectos operativos, las especificaciones distinguen dos subcategorías con implicancias de asistencia diferenciadas: personas con movilidad reducida no usuarias de silla de ruedas, que requieren asistencia en escaleras y superficies irregulares; y personas usuarias de silla de ruedas, que no pueden usar escaleras de forma autónoma y requieren asistencia especializada para la evacuación vertical o permanencia en potenciales áreas de refugio.

La decisión de diseño central es organizar los métodos de asistencia según un principio de autonomía decreciente: evacuación en planta baja, descenso mediante plataforma salvaescaleras, traslado por levantamiento y traslado por arrastre. Un árbol de decisión orienta al brigadista en la selección del método según las condiciones del escenario: estado de las rutas, disponibilidad de dispositivos y número de asistentes disponibles.

10.3.2. Discapacidad sensorial visual

El desafío operativo no es la movilidad sino la orientación espacial, especialmente ante rutas no habituales o presencia de humo, que puede anular la visión residual de personas con baja visión habitualmente autónomas. La decisión de diseño central es adoptar la técnica de guía vidente como método estándar, válida tanto para baja visión como para ceguera total. Se desarrollan además procedimientos específicos para la evacuación con perro guía, que no debe separarse de su persona bajo ninguna circunstancia, y para la conducción simultánea de varias personas mediante hilera guiada.

10.3.3. Discapacidad sensorial auditiva

El desafío operativo se concentra en la recepción de la alerta; una vez alertada, la persona puede evacuar por las mismas rutas que el resto. La decisión de diseño central es establecer el canal visual como único canal de comunicación confiable, descartando la comunicación exclusivamente oral. Se distingue entre personas con hipoacusia, que pueden apoyarse en lectura labial como canal complementario, y personas sordas señantes, para quienes ese canal no es confiable. Toda instrucción incluye verificación de comprensión.

10.3.4. Discapacidad cognitiva

El desafío operativo es el procesamiento de instrucciones bajo presión, agravado por la posibilidad de bloqueo o reacciones inesperadas ante estímulos de emergencia. La decisión de diseño central es estructurar el procedimiento general en frases de un solo paso con acompañamiento continuo. El Trastorno del Espectro Autista recibe tratamiento diferenciado: dado su perfil de hipersensibilidad sensorial, la sirena, las luces y la aglomeración pueden generar parálisis o crisis conductual. El procedimiento específico establece cómo reducir la carga del estímulo antes de retomar el desplazamiento.

10.3.5. Discapacidad psicosocial

El desafío operativo es la imprevisibilidad: una persona puede desenvolverse con normalidad en condiciones habituales y manifestar una crisis aguda únicamente ante el estresor de la emergencia. La decisión de diseño central es adoptar los Primeros Auxilios Psicológicos [56] como herramienta de intervención: evaluar el entorno, establecer contacto con calma, validar el estado emocional y dar una sola instrucción concreta. El brigadista actúa como primer eslabón de estabilización, no como interviniente clínico. Los procedimientos son aplicables tanto a personas con PEEP activo como a cualquier ocupante que presente signos de crisis durante la evacuación.

El documento incorpora además una nota específica para situaciones en que una persona presenta más de una discapacidad de forma simultánea. Ante estos casos, las especificaciones establecen cuatro criterios de priorización: atender primero la condición que compromete la movilidad, consultar el PEEP activo como herramienta principal para gestionar la complejidad, aplicar las pautas de comunicación más restrictivas entre las condiciones presentes, y solicitar refuerzo de asistentes al líder de evacuación. El PEEP constituye, en este contexto, el instrumento de planificación individualizada que permite anticipar estas combinaciones antes de que ocurra la emergencia; su diseño se desarrolla a continuación en el Capítulo 11.

Capítulo 11

11. Diseño del Plan Personal de Evacuación de Emergencia

El presente capítulo desarrolla el cuarto componente de la quinta etapa metodológica descrita en la Sección 1.5: el *Plan Personal de Evacuación de Emergencia* (PEEP, del inglés *Personal Emergency Evacuation Plan*), instrumento de planificación individualizada que formaliza, con carácter previo a cualquier situación de emergencia, las condiciones necesarias para garantizar la evacuación segura de toda persona que no pueda abandonar el edificio de forma autónoma [25]. Su elaboración implica un proceso colaborativo entre la institución y la persona destinataria: se identifican las necesidades específicas de asistencia, los espacios del edificio que la persona frecuenta habitualmente y los requerimientos de apoyo durante el desplazamiento.

11.1. Consideraciones de diseño

El PEEP no constituye un registro de discapacidad ni un instrumento de diagnóstico clínico. Su objeto es estrictamente funcional: garantizar que, al momento de activarse el protocolo de evacuación, el equipo de emergencia disponga de información verificada y accesible sobre quién requiere asistencia, en qué sector del edificio se encuentra habitualmente y qué tipo de intervención corresponde aplicar. La anticipación es el principio rector que fundamenta su existencia: la eficacia del plan depende de que la información que contiene esté disponible, validada y conocida por el equipo de emergencia con anterioridad a la activación del protocolo.

La decisión de diseño central es estructurar el PEEP en dos documentos complementarios: un formulario de evaluación completado por la persona destinataria, y un plan de actuación elaborado por el comité de gestión de emergencias a partir de esa información. Ninguno de los dos es operativamente suficiente por sí solo: el formulario releva las necesidades pero no organiza la respuesta; el plan organiza la respuesta pero depende de la información que solo la persona destinataria puede proveer. Esta articulación materializa el enfoque colaborativo que los antecedentes internacionales identifican como condición de eficacia del modelo PEEP [25, 30].

La elaboración sistemática de PEEPs genera además un registro actualizado de las personas con discapacidad presentes en la comunidad universitaria, información que actualmente no se encuentra sistematizada en la Facultad. Este registro no solo es indispensable para la gestión de emergencias sino que constituye una base institucional que permite planificar mejoras de infraestructura, adaptar la asignación de aulas y orientar políticas de inclusión más allá del ámbito específico de la evacuación.

La recopilación de información sobre la condición funcional de la persona destinataria implica el tratamiento de datos sensibles en los términos de la legislación nacional vigente en materia de protección de datos personales [57]. El diseño del PEEP incorpora este requisito de forma explícita: la recopilación y el tratamiento de la información requieren el consentimiento expreso de la persona titular, documentado mediante su firma en la sección de validación del plan de actuación personalizado. El acceso a la información queda restringido a las personas directamente involucradas en su elaboración e implementación, y su utilización para cualquier otro fin está expresamente prohibida.

11.2. Alcance y criterio de aplicación

Corresponde elaborar un PEEP para toda persona que, ante una situación de emergencia, no pueda evacuar el edificio de forma autónoma y en un tiempo razonable. El criterio operativo que determina esta necesidad es la imposibilidad de abandonar el edificio sin asistencia de terceros, de manera segura, ante una situación de emergencia. Esta condición puede derivar de situaciones de carácter permanente o transitorio.

El PEEP comprende a la totalidad de los colectivos que integran la comunidad universitaria: estudiantes de grado y posgrado, personal docente, personal no docente y visitantes de larga estadía. Los visitantes ocasionales y demás ocupantes quedan comprendidos en los procedimientos de evacuación establecidos, que integran en forma transversal las especificaciones de asistencia por tipo de discapacidad, sin que proceda la elaboración de un plan personalizado.

11.3. Estructura

El PEEP se compone de dos documentos complementarios que constituyen una única unidad funcional: el formulario de evaluación de necesidades de evacuación y el plan de actuación personalizado.

El formulario es completado por la persona destinataria e incorpora la información necesaria para la elaboración del plan, organizada en seis secciones: datos de identificación institucional; condición funcional y dispositivos de apoyo utilizados; capacidad de detección de alertas y requerimientos de comunicación en situaciones de emergencia; conocimiento del edificio, rutas de evacuación y capacidad de desplazamiento autónomo; disponibilidad de asistencia personal; e información adicional relevante. Su tratamiento es estrictamente confidencial y su acceso queda restringido a las personas directamente involucradas en la elaboración e implementación del plan.

El plan de actuación personalizado es elaborado por el comité de gestión de emergencias a partir del formulario. Recoge los espacios de concurrencia habitual de la persona con sus franjas horarias, la condición funcional identificada y las especificaciones de asistencia correspondientes, conforme al Capítulo 10. Designa nominalmente a los líderes de evacuación, líderes de piso y brigadistas responsables de brindar asistencia, con sus contactos de referencia. El plan es validado y suscrito por ambas partes, la persona destinataria y el comité de gestión de emergencias, antes de su incorporación al registro institucional.

La Figura 16 sintetiza la relación entre los dos documentos que integran el PEEP y el proceso mediante el cual la información relevada en el formulario se traduce en un plan de actuación personalizado.

Figura 16: *Relación entre el formulario de evaluación de necesidades y el plan de actuación personalizado del PEEP. Fuente: Elaboración propia.*

11.4. Proceso de elaboración

La elaboración del PEEP es un proceso colaborativo que se inicia con la persona destinataria y se completa con la intervención del comité de gestión de emergencias.

El Cuadro 17 describe las cuatro etapas que lo estructuran:

Cuadro 17: Etapas del proceso de elaboración del PEEP.

Etapa	Descripción
Relevamiento de necesidades	La persona que considera que puede requerir asistencia para evacuar completa el formulario de evaluación de necesidades, disponible a través de los canales institucionales. El formulario es autoadministrado; si la persona requiere asistencia para completarlo, puede solicitarla al comité de gestión de emergencias.
Elaboración del plan personalizado	A partir del formulario completado, el comité de gestión de emergencias elabora el plan de actuación personalizado. De ser necesario, contacta a la persona destinataria para completar o precisar algún punto; cuando las condiciones lo permitan, se recomienda que esta instancia sea un trabajo conjunto.
Designación de asistentes	El plan identifica nominalmente a uno o más asistentes responsables de brindar apoyo durante la evacuación. Para cada asistente se designa un suplente, a fin de garantizar cobertura ante ausencias.

Continúa en la página siguiente.

Continuación del Cuadro 17.

Etapa	Descripción
Validación y registro	El plan es revisado por el comité de gestión de emergencias y suscrito por ambas partes: la firma del comité acredita la validación institucional; la firma de la persona destinataria documenta su consentimiento informado. Una vez validado, el plan se incorpora al registro institucional y se distribuye a las personas que deben conocerlo. Una copia es entregada a la persona destinataria.

11.5. Caso práctico de aplicación

Con el objetivo de ilustrar el funcionamiento del Plan Personal de Evacuación de Emergencia (PEEP), se presenta a continuación un caso hipotético de aplicación construido a partir de las condiciones relevadas en la Facultad de Ingeniería. El ejemplo no corresponde a una persona real y tiene únicamente la finalidad de mostrar cómo la información recopilada mediante la evaluación de necesidades se traduce en un plan de actuación personalizado.

Se considera el caso hipotético de una estudiante de grado que utiliza silla de ruedas manual y concurre habitualmente a clases en el piso 7 del Edificio Central. La estudiante puede desplazarse de forma autónoma en superficies horizontales, reconoce las alarmas sonoras y comprende las instrucciones de evacuación, pero no puede utilizar las escaleras, por lo que requiere asistencia para completar la evacuación vertical.

Cuadro 18: Ejemplo hipotético de aplicación del PEEP.

Etapa	Aplicación al caso hipotético
Identificación de la necesidad	Estudiante de grado usuaria de silla de ruedas manual. Presenta autonomía para el desplazamiento horizontal, pero no puede utilizar escaleras durante una evacuación.
Espacios frecuentados	Concurre habitualmente al piso 7 del Edificio Central para actividades de clase, principalmente durante la tarde.
Alerta y comunicación	Puede reconocer la alarma sonora y comprender las instrucciones generales de evacuación, por lo que no requiere un sistema específico de comunicación.
Necesidad de asistencia	Requiere asistencia para resolver el descenso vertical, dado que la ruta de evacuación disponible desde el piso 7 incluye la escalera central.
Estrategia prevista	Ante una evacuación, se aplican las especificaciones de asistencia correspondientes a discapacidad física. Si el descenso inmediato no puede realizarse en condiciones seguras, se aplica la estrategia de resguardo temporal prevista hasta que pueda coordinarse la asistencia.
Responsables	El plan identifica previamente a los líderes de evacuación, líderes de piso y brigadistas responsables de coordinar y brindar la asistencia, evitando que esta dependa exclusivamente de acompañantes circunstanciales.

Continúa en la página siguiente.

Continuación de la Tabla 18.

Etapa	**Aplicación al caso hipotético**
Destino final	Una vez realizado el descenso y alcanzada una salida segura, la estudiante es acompañada hasta el punto de encuentro establecido, donde permanece junto al resto de los ocupantes evacuados.
Validación y revisión	El plan es revisado junto con la persona destinataria, validado por el Comité de Gestión de Emergencias y sujeto a revisión periódica o cuando cambien las condiciones consideradas.

11.6. Vigencia y difusión

Cada PEEP tiene una vigencia de seis meses, alineada con los períodos semestrales de la actividad académica. Transcurrido ese período, el plan debe ser revisado y revalidado para mantener su estado activo. Con independencia de esta revisión periódica, el plan debe actualizarse ante cualquier cambio en la condición funcional de la persona, en las rutas de evacuación del edificio o en la asignación de asistentes designados. Los simulacros constituyen además una instancia de revisión: toda dificultad detectada durante su ejecución debe traducirse en la actualización del plan correspondiente.

La difusión del formulario se estructura en dos instancias activas anuales, coincidentes con los períodos de inscripción, dirigidas a estudiantes a través de bedelía y EVA, y al personal docente y no docente mediante correo institucional. Con independencia de estas instancias, el formulario permanece disponible en la página web institucional durante todo el año.

Capítulo 12

12. Análisis cuantitativo del tiempo de movimiento

Los capítulos anteriores desarrollaron el diseño de los componentes del sistema propuesto: el protocolo de evacuación inclusivo, los procedimientos específicos por escenario, las especificaciones de asistencia a personas con discapacidad y los planes personales de evacuación. El presente capítulo desarrolla la sexta etapa metodológica descrita en la Sección 1.5, que aborda una dimensión complementaria y de naturaleza distinta: la evaluación cuantitativa del tiempo de evacuación del edificio central de la Facultad de Ingeniería. Mientras los capítulos precedentes definen cómo debe organizarse la respuesta ante una emergencia, el presente busca estimar cuánto tiempo requiere la evacuación del edificio central en su infraestructura actual, y qué factores condicionan ese tiempo.

12.1. Objetivo del análisis

El objetivo de este capítulo es estimar la componente de movimiento del tiempo de evacuación del edificio central de la Facultad de Ingeniería, entendida como el tiempo que requieren los ocupantes para desplazarse desde su ubicación inicial hasta un lugar seguro una vez iniciada la evacuación. De acuerdo con la descomposición del proceso de evacuación presentada en el marco teórico (véase Sección 3.4.1), este análisis se centra exclusivamente en la etapa de movimiento y no comprende las etapas previas de detección, alarma y pre-movimiento, cuya duración depende de factores organizativos y no admite un cálculo geométrico directo.

La estimación del tiempo de movimiento se realiza a partir de la formulación presentada en la Sección 3.4.2, y se aplica a dos vías de resolución. La primera es la vía analítica de cálculo directo, que aplica esta formulación de forma encadenada a lo largo del recorrido. La segunda es la vía de simulación de eventos discretos, que representa la evacuación como una red de colas y servidores cuyos tiempos de servicio se obtienen de la misma expresión. Ambos métodos se aplican al mismo caso de estudio, y sus resultados se presentan en las secciones finales del capítulo, donde se analizan de forma conjunta.

El análisis persigue un doble propósito. En primer lugar, cuantificar el tiempo de evacuación bajo las condiciones de infraestructura actuales del edificio, caracterizadas por una única vía vertical de evacuación. En segundo lugar, identificar los factores que condicionan ese tiempo, en particular, los puntos de la red de evacuación que limitan la capacidad del sistema, de modo de aportar evidencia para la evaluación de la infraestructura y para la formulación de recomendaciones.

12.2. Alcance y selección del recorrido crítico

El análisis se concentra en el recorrido de evacuación más desfavorable del edificio central, entendido como aquel que insume el mayor tiempo de desplazamiento hasta alcanzar el punto de encuentro del sector.

El edificio central se caracteriza por disponer de una única vía vertical de evacuación hacia la salida principal. En esta configuración, todos los ocupantes de las plantas superiores convergen hacia una misma escalera y descienden por ella hasta la planta baja. Bajo estas condiciones, el recorrido más desfavorable corresponde al del ocupante que debe recorrer la mayor distancia total hasta el punto de encuentro, considerando tanto los tramos horizontales como el descenso completo de la vía vertical. Ese recorrido se determina de forma anidada: se sitúa en el piso 7, por ser el nivel más alto del edificio central, y por tanto, el que exige el descenso más extenso; dentro del piso se selecciona la sala de seminarios, por ser el salón más alejado del acceso a la escalera; y dentro de ese salón se adopta como origen del recorrido el punto más distante de su puerta de salida.

Esta selección obedece a la longitud del recorrido y no a la ocupación del piso: aunque otros niveles presentan aforos superiores, ninguno exige un desplazamiento tan extenso como el del ocupante en la ubicación más desfavorable del piso 7. Por tratarse, además, de una única vía vertical, el recorrido de evacuación queda determinado por la infraestructura actual del edificio: no

existen vías de evacuación alternativas entre las cuales optar, por lo que el análisis no admite una comparación de rutas ni la aplicación de algoritmos de búsqueda de camino más corto.

Este recorrido crítico constituye la base geométrica común sobre la cual se evalúan los distintos escenarios.

12.3. Hipótesis y simplificaciones del modelo

La estimación cuantitativa, con independencia del método de resolución empleado, requiere adoptar un conjunto de simplificaciones sobre los datos de ocupación y sobre la infraestructura considerada. Las hipótesis que se presentan en esta sección son comunes a ambos métodos y definen el caso de estudio sobre el que ambos operan; las simplificaciones propias de cada método se exponen junto con su formulación en las Secciones 12.7 y 12.8.

12.3.1. Hipótesis sobre la ocupación

El análisis considera exclusivamente la ocupación de las aulas convencionales del edificio, sin incluir a las personas presentes en oficinas, laboratorios o espacios de servicio, dado que no se dispuso de datos de ocupación confiables para estos últimos. Esto constituye una limitación de alcance y no un criterio de diseño: al no incorporar la totalidad de los ocupantes del edificio, es posible que el tiempo de evacuación estimado subestime el tiempo real en los tramos donde confluyen ocupantes de estos espacios no contabilizados.

La ocupación de cada salón se toma de la capacidad máxima indicada en la documentación edilicia oficial, y no de un relevamiento de ocupación real en un momento dado. Este valor opera como parámetro de referencia del análisis, y solo se aparta de él el escenario que evalúa expresamente la sensibilidad del resultado al nivel de ocupación (véase Sección 12.5).

La ocupación de cada piso se obtiene como la suma de las capacidades máximas de los salones que lo integran, y ese total se incorpora al cálculo como un flujo único. Es decir, al estimar el tiempo de embudo en un punto de paso del piso, se considera que la totalidad de sus ocupantes se encuentra disponible en dicho punto, sin modelar el escalonamiento con que cada salón vierte efectivamente su ocupación al pasillo.

12.3.2. Hipótesis sobre la infraestructura

El análisis se realiza sobre la infraestructura actual del edificio, caracterizada por una única vía vertical de evacuación. No se contemplan mejoras, ampliaciones ni vías alternativas; el objetivo es evaluar el desempeño del sistema en sus condiciones edilicias vigentes.

Se asume que la escalera principal del edificio central no recibe ocupantes provenientes de los subsuelos, y que ninguna persona perteneciente a otros sectores del edificio evacúa por esta vía. Estas hipótesis acotan el análisis al recorrido descendente desde el piso 7 hasta el punto de encuentro, sin incorporar flujos de ocupantes ajenos a los niveles considerados.

12.3.3. Criterio de conservadurismo

Las decisiones de medición y cálculo responden a un criterio común: ante alternativas igualmente admisibles, se adopta la más exigente para el sistema de evacuación. Este criterio se aplica a la geometría del recorrido y a los niveles de ocupación considerados, y busca que los tiempos estimados no resulten inferiores a los que se debería esperar en condiciones desfavorables.

12.4. Datos de entrada

La aplicación del modelo requiere tres conjuntos de datos: las dimensiones del recorrido crítico, como longitudes de los tramos y anchos de los puntos de paso restringido; la capacidad de ocupación de cada nivel del edificio; y las velocidades de desplazamiento adoptadas. Las dimensiones fueron obtenidas mediante relevamiento directo en el edificio; las capacidades de ocupación provienen de la documentación edilicia oficial, conforme a las hipótesis establecidas en la Sección 12.3; las velocidades corresponden a los valores fundamentados en la Sección 3.4.2.

12.4.1. Dimensiones del recorrido crítico

Las dimensiones utilizadas para la construcción del modelo se obtuvieron mediante un relevamiento directo realizado por los autores en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería. Durante dicho relevamiento se midieron las longitudes correspondientes a los distintos sectores del recorrido de evacuación, así como los anchos de los puntos de paso restringido que condicionan la capacidad de circulación.

El Cuadro 19 presenta las dimensiones relevadas de los tramos que conforman el recorrido crítico, desde el punto más alejado de la sala de seminarios del piso 7 hasta el punto de encuentro, así como los anchos de los puntos de paso restringido situados a lo largo de dicho recorrido.

Cuadro 19: Dimensiones relevadas de los tramos del recorrido de evacuación.

Parámetro	**Valor**
Tramo: punto más alejado de la sala de seminarios → puerta de la sala	11,0 m
Punto de paso: ancho de la puerta de la sala de seminarios	0,95 m
Tramo: puerta de la sala de seminarios → fin del pasillo del piso 7	50,2 m
Punto de paso: ancho del pasillo del piso 7	0,95 m
Tramo: fin del pasillo del piso 7 → acceso a la escalera	11,0 m
Punto de paso: ancho del acceso a la escalera en el piso 7	1,75 m
Tramo: descenso del piso 7 al piso 6	17,0 m
Punto de paso: ancho del acceso a la escalera en el piso 6	1,60 m
Tramo: descenso entre cada par de pisos consecutivos, del piso 6 al piso 1	20,0 m
Punto de paso: ancho del acceso a la escalera en cada nivel, pisos 5 a 1	1,50 m
Tramo: descenso del piso 1 a la planta baja	17,6 m
Tramo: fin de la escalera → puerta de salida del edificio	22,5 m
Punto de paso: ancho de la puerta de salida del edificio	4,70 m
Tramo: puerta de salida del edificio → punto de encuentro	45,0 m

Los cinco descensos entre pisos consecutivos, del piso 6 al piso 1, presentan idéntica longitud y culminan en accesos a la escalera de igual ancho, por lo que se consignan de forma unificada. No obstante, se computan como tramos individuales en el cálculo, dado que la población que los recorre varía en cada nivel.

La distancia correspondiente a cada tramo se computa como la suma de los componentes que constituyen la distancia recorrida real entre el punto de origen y el destino, y no como la distancia en línea recta entre ambos puntos, en aplicación del criterio de recorrido real de circulación establecido por el modelo.

El ancho definido a continuación de cada tramo corresponde al punto de paso restringido situado a su término, que determina el tiempo de embudo asociado. Los tramos que no registran este parámetro carecen de un punto de paso que limite la capacidad de circulación. En particular, el descenso del piso 1 a la planta baja desemboca en un espacio amplio, sin un estrechamiento asociado, mientras que el trayecto comprendido entre la puerta de salida del edificio y el punto de encuentro se desarrolla íntegramente en el exterior.

12.4.2. Ocupación por nivel

La ocupación considerada en el modelo se determina a partir de los aforos publicados por la Facultad de Ingeniería para sus espacios de enseñanza [58]. Para cada nivel del edificio central, la capacidad máxima se obtiene como la suma de los aforos correspondientes a las aulas consideradas en el análisis. Estos valores representan capacidades de referencia y no la ocupación real del edificio en un momento determinado.

El Cuadro 20 presenta la capacidad máxima considerada para cada nivel del edificio, así como la correspondiente a la sala de seminarios, recinto de origen del recorrido crítico evaluado.

Cuadro 20: Capacidad de ocupación de referencia considerada por nivel del edificio central.

Nivel	Capacidad máxima
Piso 1	248 personas
Piso 2	Sin datos
Piso 3	1029 personas
Piso 4	93 personas
Piso 5	181 personas
Piso 6	120 personas
Piso 7	338 personas
Sala de seminarios (piso 7)	46 personas

La capacidad de la sala de seminarios se encuentra incluida dentro de la capacidad total correspondiente al piso 7. Para el piso 2 no se dispuso de información de aforo equivalente a la utilizada para los restantes niveles. En consecuencia, su población no se incorpora al cálculo y se adopta un valor nulo exclusivamente a efectos del modelo. Esta simplificación no implica que el nivel se encuentre desocupado, sino que su ocupación queda fuera del alcance cuantitativo del análisis. La ocupación de referencia (2009 personas) resultante para los niveles incluidos en el modelo es de 2009 personas.

12.4.3. Velocidades de desplazamiento

El modelo adopta una velocidad de 1,19 m/s para la circulación horizontal y de 0,85 m/s para la circulación en escalera, correspondientes a la velocidad máxima sin impedimento fundamentada en la Sección 3.4.2. El coeficiente de circulación se adopta en $C_c = 1{,}30$ personas/(m·s), conforme a la misma fuente.

12.5. Escenarios evaluados

El análisis se estructura en tres escenarios que comparten el recorrido crítico y las hipótesis comunes establecidas, y que se diferencian entre sí por el alcance de la evacuación considerada y por el nivel de ocupación de las aulas. Su evaluación permite caracterizar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones y estimar la sensibilidad del resultado a estos factores.

- **Escenario 1:** Considera la evacuación exclusiva del piso 7; la vía vertical es utilizada únicamente por los ocupantes de este piso, en su capacidad máxima, sin incorporar el flujo proveniente de los niveles inferiores.
- **Escenario 2:** Considera que la totalidad de los niveles del edificio central evacúa de forma simultánea, con las aulas ocupadas en su capacidad máxima.

- **Escenario 3:** Considera que la totalidad de los niveles del edificio central evacúa de forma simultánea, con las aulas ocupadas al 50 % de su capacidad máxima.

Los tres escenarios anteriores se resuelven mediante ambos métodos de estimación. Adicionalmente, el modelo de eventos discretos permite evaluar un cuarto escenario orientado específicamente al análisis de la influencia de la heterogeneidad en las velocidades de desplazamiento de los ocupantes.

El Escenario 4 toma como base el Escenario 3 e incorpora dos perfiles de movilidad dentro de la misma población: el 95 % de los ocupantes mantiene las velocidades de referencia adoptadas en el modelo, mientras que el 5 % restante se desplaza a la mitad de dichas velocidades.

Los porcentajes y el factor de reducción adoptados no pretenden representar una distribución demográfica específica de las personas con movilidad reducida en la Facultad de Ingeniería ni establecer velocidades universales asociadas a la discapacidad. Se utilizan como parámetros de un escenario de sensibilidad destinado a analizar el efecto que la presencia de una fracción minoritaria de ocupantes con menor velocidad de desplazamiento puede producir sobre la dinámica y el tiempo total de evacuación.

Esta representación solo es posible mediante la vía de simulación, dado que el cálculo directo opera sobre un flujo agregado y no admite la coexistencia de perfiles de velocidad diferenciados dentro de una misma población. La implementación mediante eventos discretos permite asignar la velocidad como atributo individual de cada entidad, de modo que ambos perfiles utilizan simultáneamente la misma infraestructura y los mismos puntos de paso restringido, pero presentan diferentes tiempos de tránsito.

12.6. Descomposición del recorrido y formulación aplicada

Ambos métodos estiman el tiempo de movimiento a partir de una misma base, la descomposición del recorrido crítico en doce tramos sucesivos y la aplicación, a cada tramo, de la formulación presentada en la Sección 3.4.2. La diferencia entre ambos radica en cómo representan la evolución temporal del flujo. El cálculo directo supone que cada tramo se completa antes de iniciar el siguiente, mientras que la simulación representa el desplazamiento simultáneo de los ocupantes por distintos tramos. Estas particularidades se desarrollan en las Secciones 12.7 y 12.8.

Cada tramo se caracteriza por su longitud l y, cuando culmina en un punto de paso restringido, por el ancho A de dicho paso. El tiempo de un tramo se compone de un tiempo de tránsito y, cuando corresponde, de un tiempo de embudo.

Los tramos que culminan en un punto de paso restringido responden a la expresión:

$$t = \frac{P}{C_c \cdot A} + \frac{l}{v} \tag{5}$$

mientras que los que no atraviesan ningún estrechamiento responden únicamente al tiempo de tránsito:

$$t = \frac{l}{v} \tag{6}$$

donde P es el número de personas que recorren el tramo, A el ancho del punto de paso, l la longitud del tramo, v la velocidad de desplazamiento y C_c el coeficiente de circulación.

Por su geometría, los tramos T1 a T9 y T11 culminan en un punto de paso restringido, y los tramos T10 y T12 desembocan en espacios sin estrechamiento.

Cuadro 21: Estructura geométrica de los tramos del recorrido de evacuación.

Tramo	A **(m)**	l **(m)**
T1: interior de la sala de seminarios → puerta de la sala	0,95	11,0
T2: puerta de la sala → fin del pasillo del piso 7	0,95	50,2

Continúa en la página siguiente.

Continuación del Cuadro 21.

Tramo	A **(m)**	l **(m)**
T3: fin del pasillo → acceso a la escalera del piso 7	1,75	11,0
T4: descenso del piso 7 al piso 6	1,60	17,0
T5: descenso del piso 6 al piso 5	1,50	20,0
T6: descenso del piso 5 al piso 4	1,50	20,0
T7: descenso del piso 4 al piso 3	1,50	20,0
T8: descenso del piso 3 al piso 2	1,50	20,0
T9: descenso del piso 2 al piso 1	1,50	20,0
T10: descenso del piso 1 a la planta baja	—	17,6
T11: planta baja → puerta de salida del edificio	4,70	22,5
T12: puerta de salida → punto de encuentro	—	45,0

12.7. Método 1: estimación del tiempo de movimiento mediante cálculo directo

El método de cálculo directo obtiene el tiempo total de movimiento como la suma de los tiempos de los doce tramos, calculados de forma encadenada a lo largo del recorrido. Este encadenamiento supone que el flujo completa cada tramo antes de iniciar el siguiente: los tiempos de los tramos se suman en su totalidad, sin superposición, lo que constituye una simplificación conservadora respecto del movimiento real.

La población P que interviene en cada tramo se determina según la incorporación sucesiva de los ocupantes. Durante el descenso entre dos niveles, el tramo es recorrido únicamente por quienes provienen de los pisos superiores; los ocupantes de cada nivel se integran al flujo a partir del tramo siguiente al acceso a su piso. En los escenarios de evacuación completa, P crece así a medida que el flujo desciende; en el Escenario 1, al evacuar únicamente el piso 7, se mantiene constante.

Cuando dos o más puntos de paso consecutivos comparten el mismo ancho y no se incorpora población entre ellos, el término de embudo se computa únicamente en el primero: una vez que el flujo atravesó ese estrechamiento, avanza ya limitado a la capacidad que ambos comparten, por lo que el segundo no genera una espera adicional. El término de embudo vuelve a computarse cuando el ancho se reduce respecto del tramo anterior, o cuando se incorpora nueva población en ese punto.

El Cuadro 22 reúne los tiempos de movimiento obtenidos por este método para los tres escenarios; su desarrollo tramo a tramo se presenta en la Sección 12.7.1.

Cuadro 22: Tiempo de movimiento por escenario según el método de cálculo directo.

Escenario	**Población evacuada**	t_{mov} **(s)**	t_{mov} **(min)**
1: Evacuación exclusiva del piso 7	338	1126,40	18,78
2: Evacuación completa, ocupación de referencia (2009 personas)	2009	3067,58	51,13
3: Evacuación completa, ocupación al 50 % de la ocupación de referencia	1005	1671,66	27,86

12.7.1. Desarrollo de resultados obtenidos

En las tablas que siguen, la columna P indica la población que recorre cada tramo, y las columnas t_e y t_t los tiempos de embudo y de tránsito que componen su tiempo de movimiento.

Escenario 1: evacuación exclusiva del piso 7

Al evacuar únicamente el piso 7, el flujo no incorpora ocupantes de los niveles inferiores. La población parte de las 46 personas de la sala de seminarios en el tramo T1 y se mantiene constante en las 338 del piso a partir de su incorporación al pasillo, durante todo el descenso.

Cuadro 23: Tiempo de movimiento por tramo del Escenario 1.

Tramo	P **(pers.)**	A **(m)**	l **(m)**	t_e **(s)**	t_t **(s)**	t **(s)**
T1	46	0,95	11,0	37,25	9,24	46,49
T2	338	0,95	50,2	273,68	42,18	315,87
T3	338	1,75	11,0	148,57	9,24	157,82
T4	338	1,60	17,0	162,50	20,00	182,50
T5	338	1,50	20,0	173,33	23,53	196,86
T6	338	1,50	20,0	—	23,53	23,53
T7	338	1,50	20,0	—	23,53	23,53
T8	338	1,50	20,0	—	23,53	23,53
T9	338	1,50	20,0	—	23,53	23,53
T10	338	—	17,6	—	20,71	20,71
T11	338	4,70	22,5	55,32	18,91	74,23
T12	338	—	45,0	—	37,82	37,82
Total						**1126,40**

En los tramos T6 a T9 no se computa tiempo de embudo. Estos accesos comparten el ancho de 1,50 m del tramo T5 y, al evacuar únicamente el piso 7, no se incorpora nueva población. Una vez que el flujo quedó limitado por el primer paso de 1,50 m, un estrechamiento posterior de igual ancho no vuelve a retenerlo.

Escenario 2: evacuación completa con ocupación de referencia (2009 personas)

La totalidad de los niveles evacúa de forma simultánea, con las aulas en su capacidad máxima. La columna P refleja la incorporación sucesiva de los ocupantes de cada nivel al flujo descendente, que alcanza las 2009 personas al llegar a la planta baja. Los tramos T8 y T9 registran la misma población, ya que el descenso del piso 2 al piso 1 no incorpora nuevos ocupantes, conforme a las hipótesis del análisis.

Cuadro 24: Tiempo de movimiento por tramo del Escenario 2.

Tramo	P **(pers.)**	A **(m)**	l **(m)**	t_e **(s)**	t_t **(s)**	t **(s)**
T1	46	0,95	11,0	37,25	9,24	46,49
T2	338	0,95	50,2	273,68	42,18	315,87
T3	338	1,75	11,0	148,57	9,24	157,82
T4	338	1,60	17,0	162,50	20,00	182,50
T5	458	1,50	20,0	234,87	23,53	258,40
T6	639	1,50	20,0	327,69	23,53	351,22
T7	732	1,50	20,0	375,38	23,53	398,91
T8	1761	1,50	20,0	903,08	23,53	926,61
T9	1761	1,50	20,0	—	23,53	23,53
T10	1761	—	17,6	—	20,71	20,71
T11	2009	4,70	22,5	328,81	18,91	347,71
T12	2009	—	45,0	—	37,82	37,82
Total						**3067,58**

En el tramo T9 no se computa tiempo de embudo. Este acceso comparte el ancho de 1,50 m del tramo T8 y, al no disponerse de datos de ocupación para el piso 2, no se incorpora nueva población entre ambos tramos: el flujo que llega a T9 es el mismo que ya quedó limitado por el paso de igual ancho en T8, por lo que un estrechamiento posterior de las mismas dimensiones no vuelve a retenerlo. Este mismo criterio se aplica al tramo T9 del Escenario 3, cuya estructura de incorporación es idéntica, y es análogo al empleado en los tramos T6 a T9 del Escenario 1.

Escenario 3: evacuación completa con ocupación al 50 % de la ocupación de referencia

La totalidad de los niveles evacúa de forma simultánea, con las aulas ocupadas al 50 % de la ocupación de referencia. La columna P sigue la misma lógica de incorporación sucesiva que el Escenario 2, sobre una demanda reducida a la mitad, y alcanza las 1005 personas al llegar a la planta baja.

Cuadro 25: Tiempo de movimiento por tramo del Escenario 3.

Tramo	P **(pers.)**	A **(m)**	l **(m)**	t_e **(s)**	t_t **(s)**	t **(s)**
T1	23,0	0,95	11,0	18,62	9,24	27,87
T2	169,0	0,95	50,2	136,84	42,18	179,03
T3	169,0	1,75	11,0	74,29	9,24	83,53
T4	169,0	1,60	17,0	81,25	20,00	101,25
T5	229,0	1,50	20,0	117,44	23,53	140,97

Continúa en la página siguiente.

Continuación del Cuadro 25.

Tramo	P **(pers.)**	A **(m)**	l **(m)**	t_e **(s)**	t_t **(s)**	t **(s)**
T6	319,5	1,50	20,0	163,85	23,53	187,38
T7	366,0	1,50	20,0	187,69	23,53	211,22
T8	880,5	1,50	20,0	451,54	23,53	475,07
T9	880,5	1,50	20,0	—	23,53	23,53
T10	880,5	—	17,6	—	20,71	20,71
T11	1004,5	4,70	22,5	164,40	18,91	183,31
T12	1004,5	—	45,0	—	37,82	37,82
Total						**1671,66**

12.8. Método 2: estimación del tiempo de movimiento mediante simulación de eventos discretos

Tomando como referencia el enfoque de modelación mediante eventos discretos desarrollado por Lino et al. [47, 48] y presentado entre los antecedentes del Capítulo 5, se desarrolló un modelo específico para el edificio central de la Facultad de Ingeniería utilizando MATLAB/Simulink y SimEvents.

El modelo representa la evacuación como una red de colas y servidores en la que los ocupantes se desplazan de forma simultánea. Cada persona se modela como una entidad que avanza por el recorrido y cada punto de paso restringido como un servidor de capacidad limitada. A diferencia del cálculo directo, mientras las últimas personas atraviesan los primeros tramos, las primeras ya avanzan por los posteriores, de modo que los tiempos de los tramos se superponen en lugar de sumarse.

Sobre la misma base de los doce tramos, cada servidor que representa un punto de paso restringido adopta un tiempo de servicio por persona a partir del factor del término de embudo de la Ecuación (5), y cada tramo de desplazamiento, un tiempo de tránsito de la Ecuación (6). Cuando el flujo que llega a un servidor supera su capacidad, las entidades aguardan en una cola que se forma y se disuelve dinámicamente según la demanda; el tiempo total corresponde al instante en que la última entidad alcanza el punto de encuentro.

A continuación, se desarrolla la construcción de este modelo en el entorno SimEvents de MATLAB.

12.8.1. Modelado en SimEvents

La red de colas y servidores planteada en la Sección 12.8 se traslada a SimEvents asociando a cada elemento del modelo conceptual un bloque de la herramienta: los ocupantes se representan como entidades, los puntos de paso restringido como servidores de capacidad limitada y las esperas ante ellos como colas. Sobre esta correspondencia, la implementación reproduce explícitamente la formación de colas, la capacidad de los puntos de paso y la incorporación progresiva de ocupantes procedentes de distintos niveles. Los apartados siguientes describen la estructura general del modelo y el criterio con que se incorporan los ocupantes de cada nivel.

Estructura general del modelo

Cada tramo del recorrido se representa mediante bloques de SimEvents que reproducen el desplazamiento y, cuando corresponde, la restricción de capacidad asociada a puertas, accesos o estrechamientos. Los principales bloques utilizados son:

- **Entity Generator:** genera las entidades correspondientes a los ocupantes de cada origen.

- **Entity Input Switch:** combina las corrientes de entidades que confluyen en un mismo punto del recorrido.
- **Entity Queue:** representa la acumulación de ocupantes antes de un punto de paso restringido, con disciplina FIFO.
- **Entity Server restringido:** representa la capacidad de puertas, accesos a escaleras y otros puntos de paso.
- **Entity Server de desplazamiento:** representa el tiempo requerido para recorrer físicamente cada tramo.
- **Entity Terminator:** representa la salida del sistema y el arribo al punto de encuentro.
- **Compare To Constant** y **Stop Simulation:** permiten detener automáticamente la simulación una vez evacuada la totalidad de la población considerada.

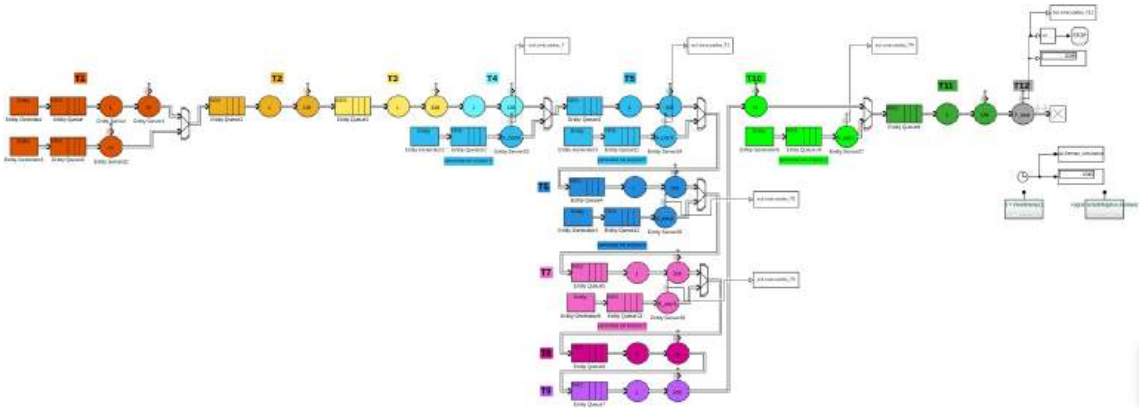

Figura 17: *Modelo de SimEvents utilizado para representar la evacuación, en el que se observa el flujo principal, la incorporación progresiva de ocupantes desde los distintos niveles y las restricciones del recorrido hasta el punto de encuentro. Fuente: Elaboración propia.*

Incorporación de los ocupantes por nivel

El recorrido crítico identificado solo incluye los tramos horizontales del piso 7; por lo tanto, los ocupantes de los pisos 6 a 1 no disponen de tramos horizontales propios en la descomposición. Para representar su desplazamiento desde las áreas ocupadas hasta el acceso a la escalera de cada nivel, antes de incorporarse al flujo descendente, se adopta como hipótesis simplificadora una distancia representativa de 20 m por nivel, recorrida a la velocidad horizontal de referencia.

Este valor no pretende reproducir de manera exacta el trayecto desde cada recinto, sino aproximar la distancia habitual entre las áreas ocupadas y el punto de acceso a la circulación vertical. A partir de la revisión de la configuración de las plantas, se observó que dichos recorridos presentaban un orden de magnitud similar, por lo que se seleccionó un valor uniforme que permitiera homogeneizar el modelo y comparar los distintos niveles sin introducir un grado de precisión que la información disponible no permitía justificar. Asimismo, las variaciones entre estos recorridos presentan una incidencia menor que los factores que gobiernan el tiempo total de evacuación, principalmente la concentración de ocupantes y la capacidad de los puntos de paso restringido.

Esta hipótesis se aplica en los escenarios de evacuación completa (Escenarios 2, 3 y 4). El Escenario 1 no la requiere, ya que considera únicamente la evacuación del piso 7, cuyo desplazamiento horizontal se encuentra representado de forma explícita mediante los tramos T1 a T3.

Registro de resultados

En la salida del tramo T12 se registra, para cada entidad, el instante de llegada al punto de encuentro. En los escenarios de evacuación completa se conserva además el atributo correspondiente al piso de origen, lo que permite analizar la finalización de la evacuación por nivel.

En el Escenario 4 se registra adicionalmente el perfil de movilidad de cada entidad. Esto permite distinguir el instante de salida del último ocupante de cada grupo y analizar la influencia del perfil de velocidad sobre la finalización de la evacuación.

La simulación se detiene cuando el contador de entidades evacuadas alcanza la población total definida para cada escenario mediante la secuencia *Compare To Constant–Stop Simulation*. De esta forma, el tiempo final registrado corresponde al instante en que la última entidad alcanza el punto de encuentro.

12.8.2. Configuración de los escenarios en SimEvents

Los cuatro escenarios definidos en la Sección 12.5 se implementaron sobre la estructura de bloques descrita, modificando en cada caso la población generada y su distribución por nivel. Los scripts completos de cada escenario, con la parametrización de los tramos, la incorporación de los ocupantes y el registro de los tiempos obtenidos, se incluyen en el Apéndice A.

Escenario 1: evacuación exclusiva del piso 7

El Escenario 1 considera una población total de 338 ocupantes en el piso 7. De ellos, 46 se encuentran inicialmente en la sala de seminarios y recorren T1. Los 292 ocupantes restantes se incorporan al flujo en T2. Por lo tanto, T1 es atravesado exclusivamente por los ocupantes de la sala, mientras que desde T2 circulan las 338 personas del nivel.

Los parámetros poblacionales que diferencian este escenario son:

```
P_seminarios  = 46;
P_resto_piso7 = 292;
P_total       = 338;
```

En SimEvents se utilizan dos generadores. El primero produce las 46 entidades correspondientes a la sala de seminarios, que atraviesan T1; el segundo genera las 292 entidades correspondientes al resto del piso 7. Ambas corrientes se combinan mediante un *Entity Input Switch* antes de T2.

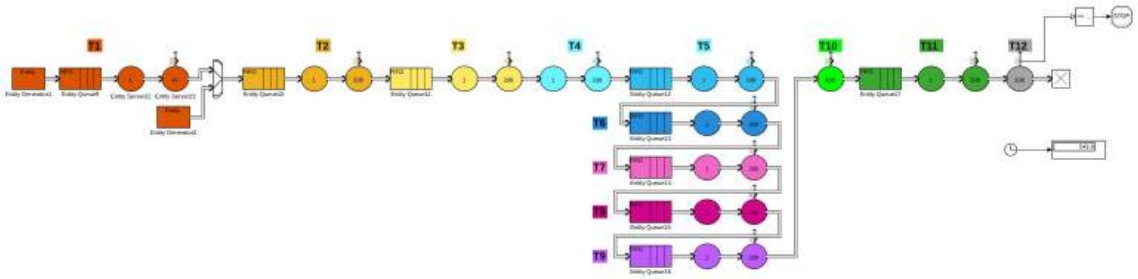

Figura 18: *Modelo de SimEvents correspondiente al Escenario 1: evacuación exclusiva del piso 7. Fuente: Elaboración propia.*

Cuadro 26: Tiempo de movimiento para el Escenario 1 según el método de simulación de eventos discretos.

Escenario	**Población evacuada**	t_{mov} **(s)**	t_{mov} **(min)**
1: Evacuación exclusiva del piso 7	338	543,84	9,06

Escenario 2: evacuación completa con ocupación de referencia (2009 personas)

El Escenario 2 extiende el modelo al conjunto de niveles considerados y representa una ocupación total de 2009 personas. La población se distribuye de la siguiente forma:

```
N_seminarios  = 46;
N_resto_piso7 = 292;
N_piso7       = 338;

N_piso6 = 120;
N_piso5 = 181;
N_piso4 = 93;
N_piso3 = 1029;
N_piso2 = 0;
N_piso1 = 248;

P_total = 2009;
```

A medida que se incorporan los ocupantes de los distintos niveles, la cantidad acumulada de personas que alcanza cada tramo resulta:

```
P_tramo = [
      46;    % T1
     338;    % T2
     338;    % T3
     338;    % T4
     458;    % T5
     639;    % T6
     732;    % T7
    1761;    % T8
    1761;    % T9
    1761;    % T10
    2009;    % T11
    2009     % T12
];
```

Conforme a la hipótesis de incorporación por nivel, cada grupo recorre la distancia media de 20 m a la velocidad horizontal de referencia antes de sumarse al flujo descendente, lo que corresponde a un tiempo de

$$t_{\text{inc}} = \frac{20}{1{,}19} = 16{,}81 \text{ s.} \tag{7}$$

El fragmento relevante del script es:

```
L_inc_p7 = 20;
L_inc_p6 = 20;
L_inc_p5 = 20;
L_inc_p4 = 20;
L_inc_p3 = 20;
L_inc_p2 = 20;
L_inc_p1 = 20;

t_inc_p7 = L_inc_p7 / v_horizontal;
t_inc_p6 = L_inc_p6 / v_horizontal;
t_inc_p5 = L_inc_p5 / v_horizontal;
t_inc_p4 = L_inc_p4 / v_horizontal;
t_inc_p3 = L_inc_p3 / v_horizontal;
t_inc_p2 = L_inc_p2 / v_horizontal;
t_inc_p1 = L_inc_p1 / v_horizontal;
```

Los generadores correspondientes a los distintos niveles se conectan al flujo principal en los puntos del recorrido en los que cada población alcanza la circulación vertical.

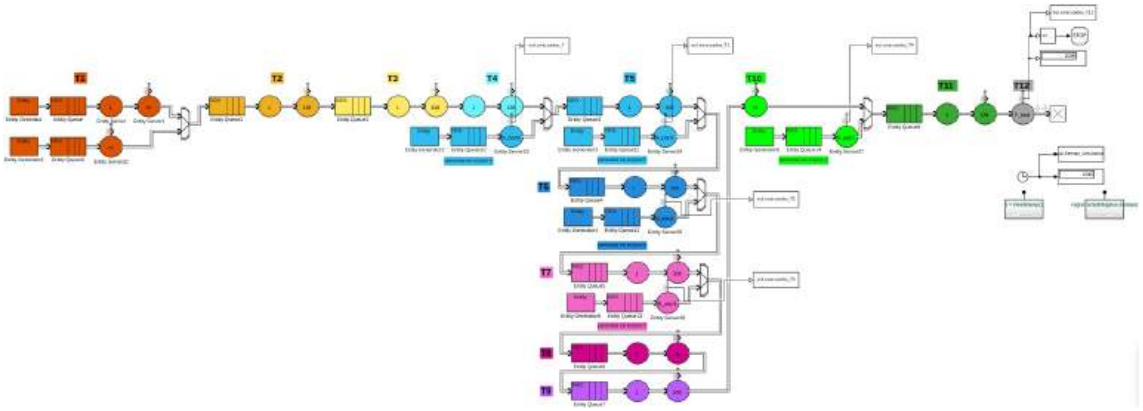

Figura 19: *Modelo de SimEvents correspondiente al Escenario 2: evacuación completa con ocupación de referencia (2009 personas). Fuente: Elaboración propia.*

Cuadro 27: Tiempo de movimiento para el Escenario 2 según el método de simulación de eventos discretos.

Escenario	**Población evacuada**	t_{mov} **(s)**	t_{mov} **(min)**
2: Evacuación completa, ocupación de referencia (2009 personas)	2009	1045,05	17,42

Escenario 3: evacuación completa con ocupación al 50 % de la ocupación de referencia

El Escenario 3 conserva la misma geometría, estructura de bloques, velocidades, puntos de incorporación y lógica de funcionamiento definidos para el Escenario 2. La modificación corresponde exclusivamente a la población considerada, reducida aproximadamente al 50 % de la ocupación de referencia.

La distribución utilizada es:

```
N_seminarios  = 23;
N_resto_piso7 = 146;
N_piso7       = 169;

N_piso6 = 60;
N_piso5 = 90;
N_piso4 = 47;
N_piso3 = 515;
N_piso2 = 0;
N_piso1 = 124;

P_total = 1005;
```

La población acumulada por tramo resulta:

```
P_tramo = [
      23;    % T1
     169;    % T2
     169;    % T3
     169;    % T4
     229;    % T5
     319;    % T6
     366;    % T7
     881;    % T8
```

```
     881;    % T9
     881;    % T10
    1005;    % T11
    1005     % T12
];
```

No se incluye un nuevo diagrama para este escenario, dado que la arquitectura del modelo es idéntica a la presentada para el Escenario 2; únicamente se modifican las cantidades de entidades generadas en cada nivel.

Cuadro 28: Tiempo de movimiento para el Escenario 3 según el método de simulación de eventos discretos.

Escenario	**Población evacuada**	t_{mov} **(s)**	t_{mov} **(min)**
3: Evacuación completa, ocupación al 50 % de la ocupación de referencia	1005	593,8	9,90

Escenario 4: evacuación completa con ocupación al 50 % de la ocupación de referencia y perfiles de movilidad diferenciados

El Escenario 4 mantiene la ocupación total de 1005 personas definida para el Escenario 3 e incorpora dos perfiles de velocidad. El 95 % de los ocupantes mantiene las velocidades de referencia adoptadas en el modelo, mientras que para el 5 % restante se considera una velocidad equivalente al 50 % de la ocupación de referencia de dichos valores.

Los parámetros que diferencian este escenario son:

```
porcentaje_mov_reducida   = 0.05;
factor_velocidad_reducida = 0.50;

v_horizontal_normal = 1.19;
v_escalera_normal   = 0.85;

v_horizontal_reducida = ...
    v_horizontal_normal * factor_velocidad_reducida;

v_escalera_reducida = ...
    v_escalera_normal * factor_velocidad_reducida;
```

Por lo tanto, para el perfil de velocidad reducida se obtienen:

$$v_{h,\text{red}} = 0{,}595 \text{ m/s}, \qquad v_{e,\text{red}} = 0{,}425 \text{ m/s}. \tag{8}$$

La distribución resultante corresponde a 955 ocupantes con velocidad normal y 50 con velocidad reducida. La asignación por origen utilizada por el modelo es:

```
%                    Sem. RestoP7  P6  P5  P4  P3  P1
N_normal_origen   = [22;   139;   57; 85; 45; 489; 118];
N_reducida_origen = [ 1;     7;    3;  5;  2;  26;   6];

N_normal_total   = 955;
N_reducida_total = 50;
```

Cada entidad incorpora un atributo que identifica su perfil de movilidad y un factor de velocidad asociado. Para el cálculo de los tiempos de desplazamiento se utiliza:

```
factorVelocidad = 1.0;   % velocidad normal
factorVelocidad = 0.5;   % velocidad reducida
```

Los servidores de desplazamiento utilizan dicho factor para determinar el tiempo correspondiente a cada entidad:

```
dt = t_libre(i) / entity.factorVelocidad;
```

De este modo, la geometría del recorrido, los anchos de paso, las colas y los tiempos de servicio asociados a los estrechamientos permanecen inalterados. La diferencia entre ambos perfiles se introduce exclusivamente en los tiempos de desplazamiento.

La hipótesis de una distancia media de incorporación de 20 m utilizada en los Escenarios 2 y 3 se conserva en este escenario. Para el perfil de velocidad normal, el tiempo correspondiente resulta:

$$t_{\text{inc,normal}} = \frac{20}{1{,}19} = 16{,}81 \text{ s}, \tag{9}$$

mientras que para el perfil de velocidad reducida se obtiene:

$$t_{\text{inc,reducida}} = \frac{20}{0{,}595} = 33{,}61 \text{ s}. \tag{10}$$

A diferencia de los Escenarios 2 y 3, en este caso cada origen se divide en dos grupos de entidades, correspondientes a los perfiles normal y reducido. Ambas corrientes se combinan antes de incorporarse al recorrido común, de modo que todos los ocupantes utilizan la misma infraestructura de evacuación.

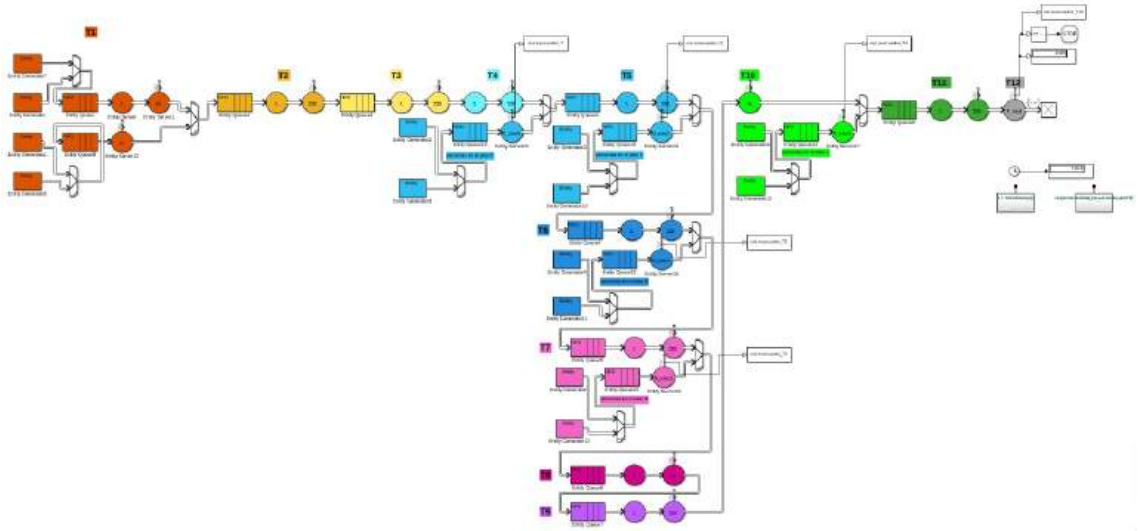

Figura 20: *Modelo de SimEvents correspondiente al Escenario 4: evacuación completa con ocupación al 50 % de la ocupación de referencia y perfiles de movilidad diferenciados. Fuente: Elaboración propia.*

El tiempo total de movimiento obtenido en el Escenario 4 es de 11,97 minutos, frente a los 9,90 minutos del Escenario 3. Dado que ambos consideran la misma población de 1005 ocupantes, el incremento responde exclusivamente a la incorporación de perfiles diferenciados de velocidad.

El Cuadro 29 registra la finalización de la evacuación por perfil de movilidad. El último ocupante con velocidad normal alcanza el punto de encuentro a los 10,02 minutos, mientras que el último ocupante con velocidad reducida lo hace a los 11,97 minutos. Una vez finalizada la evacuación del perfil normal, el proceso se prolonga durante 116,79 s adicionales, aproximadamente 1,95 minutos, hasta la salida del último ocupante del perfil de velocidad reducida.

Cuadro 29: Finalización de la evacuación por perfil de movilidad en el Escenario 4.

Perfil	t_{mov} **(s)**	t_{mov} **(min)**
Velocidad normal (955 personas)	601,46	10,02
Velocidad reducida (50 personas)	718,25	11,97

Este resultado pone de manifiesto que un grupo minoritario de ocupantes con menor velocidad de desplazamiento puede condicionar el instante de finalización de la evacuación, aun cuando represente únicamente el 5 % de la población considerada. No obstante, el Escenario 4 debe interpretarse como un análisis de sensibilidad por perfiles de movilidad y no como una representación completa de las personas con discapacidad: el modelo considera exclusivamente diferencias en la velocidad de desplazamiento y no incorpora otros factores que intervienen en una evacuación real, tales como tiempos de reacción diferenciados, necesidades de asistencia, transferencias o utilización de dispositivos específicos de evacuación.

12.8.3. Resumen de resultados

El Cuadro 30 reúne los tiempos de movimiento obtenidos por el método de simulación para los cuatro escenarios evaluados. Los tres primeros comparten el recorrido crítico y las hipótesis comunes del análisis; el Escenario 4 incorpora, sobre la base del Escenario 3, los perfiles de movilidad diferenciados.

Cuadro 30: Tiempo de movimiento por escenario según el método de simulación de eventos discretos.

Escenario	**Población evacuada**	t_{mov} **(s)**	t_{mov} **(min)**
1: Evacuación exclusiva del piso 7	338	543,84	9,06
2: Evacuación completa, ocupación de referencia (2009 personas)	2009	1045,05	17,42
3: Evacuación completa, ocupación al 50 % de la ocupación de referencia	1005	593,8	9,90
4: Evacuación completa, ocupación al 50 % de la ocupación de referencia con perfiles de movilidad diferenciados	1005	718,25	11,97

12.9. Análisis de resultados de ambos métodos

Los dos métodos estimaron el tiempo de movimiento sobre los mismos tres escenarios compartidos. El Cuadro 31 reúne ambos conjuntos de resultados.

Cuadro 31: Tiempo de movimiento por escenario según cada método.

Escenario	**Método 1 - Directo**	**Método 2 - Simulación**
1: Evacuación exclusiva del piso 7	18,78 min	9,06 min
2: Evacuación completa, ocupación de referencia (2009 personas)	51,13 min	17,42 min
3: Evacuación completa, ocupación al 50 % de la ocupación de referencia	27,86 min	9,90 min

Los resultados de ambos métodos difieren en dos aspectos: la magnitud del tiempo estimado y la sensibilidad a la composición de la población. Ambas diferencias responden a las premisas de diseño de cada método y no suponen que uno resulte más válido que el otro, cada uno estima el tiempo de movimiento bajo supuestos distintos.

12.9.1. Diferencia de magnitud

El cálculo directo arroja tiempos sensiblemente mayores que la simulación. Para el Escenario 2, que considera evacuación completa del edificio central con ocupación de referencia (2009 personas),

se obtienen 51,1 frente a 17,4 minutos. La diferencia proviene de la forma en que cada método representa la evolución temporal del flujo.

El cálculo directo supone que cada tramo se completa antes de iniciar el siguiente, por lo que los tiempos de los doce tramos se suman en su totalidad. Los puntos de paso restringido de mayor afluencia concentran individualmente una parte considerable de ese total, en el tramo T8, la incorporación acumulada de los pisos superiores eleva la población a 1761 personas sobre un ancho de 1,50 m, lo que genera por sí solo un tiempo de embudo de 903,08 s, cercano a quince minutos, que el cálculo directo suma en serie a los restantes once tramos.

La simulación, en cambio, representa el desplazamiento y procesamiento simultáneo de las entidades en distintos sectores del recorrido: mientras un grupo de ocupantes aguarda en un punto de paso, otros ya avanzan por tramos anteriores o posteriores, de modo que los tiempos se superponen en lugar de sumarse. Los dos resultados son, por tanto, coherentes con sus respectivos supuestos de modelado: el primero no considera la superposición entre tramos y entrega así una cota superior del tiempo de movimiento; el segundo reproduce explícitamente dicha simultaneidad.

Esta característica de la simulación también permite explicar un resultado que, a primera vista, puede resultar poco intuitivo al comparar los Escenarios 1 y 3. En el Escenario 1 se evacuan 338 ocupantes exclusivamente desde el piso 7 y se obtiene un tiempo de 9,06 minutos, mientras que en el Escenario 3 se evacuan 1005 ocupantes y el tiempo aumenta únicamente hasta 9,90 minutos. Aunque la población prácticamente se triplica, el tiempo total aumenta solo 49,96 s, aproximadamente un 9,2 %.

La explicación reside en que la cantidad total de ocupantes no es la única variable que determina la duración de la evacuación. En el Escenario 1, todos los ocupantes parten del piso 7 y deben recorrer el trayecto completo desde dicho nivel hasta el punto de encuentro. En el Escenario 3, en cambio, la población se encuentra distribuida entre distintos niveles, por lo que los ocupantes se incorporan al flujo común en diferentes puntos del recorrido y no todos atraviesan la totalidad de los tramos. A ello se suma la simultaneidad propia del proceso: mientras los ocupantes de los niveles superiores avanzan por la circulación vertical, los grupos situados en niveles inferiores pueden desplazarse hacia sus respectivos puntos de incorporación, de modo que los tiempos asociados a cada nivel no se adicionan de forma secuencial. El resultado muestra que el tiempo total de evacuación depende no solo de la población total, sino también de su distribución inicial, de los puntos en los que cada grupo se incorpora al flujo común y de las restricciones que encuentra aguas abajo. En consecuencia, una variación de la ocupación no produce necesariamente una variación proporcional del tiempo total de evacuación.

12.9.2. Diferencia de sensibilidad

Más allá de la magnitud, los métodos difieren también en aquello a lo que son sensibles, y esta diferencia resulta particularmente relevante para el objeto de esta tesis. En el cálculo directo adoptado, la población se representa como un flujo agregado con una única velocidad de referencia, por lo que su formulación no distingue simultáneamente ocupantes con diferentes perfiles de movilidad. La simulación, en cambio, permite asignar atributos individuales a cada entidad y toma como tiempo total el instante de la última llegada al punto de encuentro. Por ello, permite analizar directamente el efecto de la heterogeneidad de velocidades dentro de una misma población.

El Escenario 4 evidencia esta capacidad. Manteniendo las mismas 1005 personas del Escenario 3, la incorporación de un 5 % de ocupantes con una velocidad equivalente al 50 % de la velocidad de referencia incrementa el tiempo total de movimiento de 9,90 minutos a 11,97 minutos. Esto representa un aumento de 2,07 minutos, aproximadamente un 21,0 %.

El análisis individual de las salidas muestra, además, que el último ocupante con velocidad normal alcanza el punto de encuentro a los 10,02 minutos, mientras que el último ocupante con velocidad reducida lo hace a los 11,97 minutos. De este modo, una vez finalizada la evacuación del perfil de velocidad normal, el proceso continúa durante 116,79 s adicionales, aproximadamente 1,95 min, hasta la salida del último ocupante con velocidad reducida.

12.9.3. Implicancia para la evacuación inclusiva

Este contraste tiene una consecuencia directa para una tesis sobre evacuación inclusiva. El cálculo directo, al operar sobre un caudal agregado, no registra a los ocupantes más lentos, incorporarlos no modifica su resultado, de modo que la composición de la población queda fuera

del análisis. La simulación, al seguir a cada ocupante de forma individual, muestra lo contrario, son precisamente esos ocupantes quienes determinan cuándo concluye la evacuación. La dimensión inclusiva del problema, por tanto, solo se hace visible cuando el análisis desciende al nivel del ocupante individual.

No obstante, la simulación tampoco agota la dimensión inclusiva. El modelo distingue velocidades, pero no representa la asistencia, los dispositivos de evacuación, las áreas de refugio ni los tiempos de reacción, es decir, las medidas de las que depende que una persona con discapacidad pueda efectivamente evacuar.

El análisis cuantitativo delimita así su propio alcance: puede dimensionar el tiempo de movimiento y mostrar que velocidades reducidas lo condicionan, pero no puede representar la respuesta organizativa y asistencial que esos ocupantes requieren. Esa respuesta es el objeto del sistema cualitativo desarrollado en los capítulos precedentes, el protocolo de evacuación inclusivo, los procedimientos específicos, las especificaciones de asistencia y los planes personales de evacuación, que aborda exactamente la dimensión que el modelo cuantitativo, por su construcción, no alcanza a capturar. Los tiempos estimados no sustituyen a esos instrumentos, los justifican.

En conjunto, los dos métodos acotan el tiempo de movimiento entre una estimación conservadora y una dinámica, coinciden en señalar los puntos de paso restringido y, en particular, la concentración de ocupantes en los niveles de mayor aforo, como los factores que gobiernan la capacidad del sistema. Su lectura conjunta muestra, además, que la dimensión inclusiva del problema solo emerge cuando el análisis desciende al nivel del ocupante individual, lo que fundamenta la necesidad de los instrumentos cualitativos que constituyen el aporte central del presente trabajo.

Capítulo 13

13. Recomendaciones para el fortalecimiento del sistema

El presente capítulo cierra el desarrollo de la tesis identificando las condiciones que permitirían fortalecer el sistema de evacuación inclusivo propuesto más allá de lo que es posible resolver mediante el diseño de los documentos operativos. Las recomendaciones presentadas responden a las brechas identificadas en el diagnóstico institucional del Capítulo 6 y a los hallazgos del análisis cuantitativo del Capítulo 12, y se organizan en tres dimensiones: comunicacional, organizativa y de infraestructura.

Los procedimientos desarrollados asumen ciertas condiciones de infraestructura y organización, aunque mínimas, que en algunos casos no están actualmente garantizadas en el edificio principal. La efectividad de cualquier sistema de evacuación depende no solo de los procedimientos definidos sino también del entorno físico y organizativo en que se aplican. Las mejoras propuestas configuran una hoja de ruta para la implementación progresiva del sistema, articulada con los documentos desarrollados en los Capítulos 8 a 11.

La Figura 21 sintetiza las mejoras propuestas, organizadas por dimensión y prioridad.

Figura 21: *Síntesis de las principales mejoras propuestas para fortalecer el sistema de evacuación inclusivo. Fuente: Elaboración propia.*

13.1. Mejoras comunicacionales

Las mejoras comunicacionales apuntan a garantizar que la alerta llegue a la totalidad de los ocupantes de forma simultánea, diferenciada y accesible, independientemente del escenario y del perfil funcional de cada persona.

Cuadro 32: Mejoras comunicacionales recomendadas para fortalecer el sistema de gestión de emergencias.

	Mejora recomendada	Justificación
1	Sistema de comunicación masiva interna (altavoces o mensajería institucional) para la notificación simultánea ante cualquier emergencia.	El sistema actual depende exclusivamente de recorridas por parte de los líderes y de la alarma sonora, mecanismos que no garantizan una cobertura completa ni resultan prácticos en situaciones extremas.
2	Sistema de comunicación bidireccional operativo en todos los ascensores, mediante un intercomunicador con conexión directa a la cabina de vigilancia.	La comunicación con el exterior constituye el principal factor de contención psicológica para los ocupantes atrapados; su ausencia puede transformar una situación manejable en una crisis de ansiedad.
3	Código QR visible en puntos estratégicos de cada pasillo y en el interior de las cabinas de ascensor que redirija a los procedimientos de actuación correspondientes.	Permite disponer de un canal complementario de acceso a los procedimientos y a la información de emergencia desde distintos sectores del edificio. No sustituye la señalización física ni los mecanismos de alerta, sino que amplía las alternativas disponibles para la consulta de información.
4	Alarmas visuales (luces estroboscópicas) complementarias a la alarma sonora en pasillos, aulas y espacios comunes.	Las alarmas exclusivamente sonoras no alcanzan a las personas con discapacidad auditiva; la señal visual garantiza que la alerta llegue a toda la comunidad, independientemente de su condición funcional.

13.2. Mejoras organizativas

Las mejoras organizativas no requieren obras de infraestructura sino decisiones institucionales, procedimientos formalizados y estructuras de gestión sostenidas en el tiempo. Son las de menor costo relativo y mayor impacto sobre la efectividad inclusiva del sistema.

Cuadro 33: Mejoras organizativas recomendadas para fortalecer la gestión de emergencias.

	Mejora recomendada	Justificación
1	Implementación del equipo de emergencia con roles formalmente asignados, designación nominal de titulares y suplentes, y distribución del protocolo de evacuación inclusivo a todos sus integrantes.	La efectividad del sistema depende de que las personas designadas conozcan sus responsabilidades con anterioridad a cualquier emergencia. La designación nominal elimina la ambigüedad sobre quién debe actuar en cada etapa y es condición necesaria para que la estructura organizativa definida en el Capítulo 8 pueda operar.

Continúa en la página siguiente.

Continuación del Cuadro 33.

	Mejora recomendada	**Justificación**
2	Distribución de las *especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad* a todos los integrantes del equipo de emergencia, con énfasis en la brigada.	Las especificaciones diseñadas en el Capítulo 10 solo producen efecto si quienes deben aplicarlas las conocen con anterioridad a la emergencia. Su distribución y lectura integrada con los procedimientos específicos es condición operativa del sistema.
3	Distribución de los nueve procedimientos de evacuación específicos a los integrantes del equipo de emergencia y disponibilización en puntos accesibles del edificio y en la página institucional.	Los procedimientos diseñados en el Capítulo 9 están concebidos para ser consultados en el momento crítico. Su efectividad depende de que estén físicamente disponibles y sean conocidos por el equipo antes de cualquier emergencia.
4	Implementación del registro institucional de PEEPs activos, administrado por el comité de gestión de emergencias y disponible en la cabina principal de vigilancia.	Sin un registro actualizado, la asistencia diferenciada depende de la casualidad o del conocimiento previo del equipo. Su consulta durante la etapa de comunicación de la emergencia permite identificar a las personas con PEEP activo presentes en el edificio e informar su ubicación a la brigada antes de cualquier desplazamiento. Constituye la condición previa para cualquier intervención inclusiva efectiva.
5	Programa formal de capacitación del equipo de emergencia, con módulos específicos sobre asistencia a personas con discapacidad y frecuencia mínima anual.	El conocimiento de los procedimientos y de las técnicas de asistencia no puede adquirirse durante una emergencia. Sin capacitación específica, la efectividad del sistema queda condicionada a la experiencia previa de cada integrante.
6	Simulacros inclusivos periódicos con participación activa de personas con discapacidad y evaluación sistemática de los resultados.	Los simulacros constituyen el único mecanismo de validación empírica del plan. La participación de personas con discapacidad permite identificar barreras no previstas en los procedimientos que ningún análisis teórico puede anticipar.

Continúa en la página siguiente.

Continuación del Cuadro 33.

	Mejora recomendada	Justificación
7	Formalización de una estrategia de evacuación diferida que establezca el desalojo prioritario de los ocupantes con autonomía funcional plena, con el objeto de despejar las vías de evacuación previamente a la evacuación asistida de las personas con discapacidad que, por no poder desalojar de forma autónoma, requieren la intervención de uno o más brigadistas.	La evacuación simultánea no constituye necesariamente la alternativa más segura para todos los perfiles de movilidad. Cuando una persona no puede utilizar de forma autónoma la vía vertical disponible, su incorporación inmediata al flujo de la escalera puede requerir asistencia específica y afectar tanto su seguridad como la del resto de los ocupantes. Como referencia internacional, la normativa española contempla, en determinadas condiciones, la utilización de sectores alternativos o zonas de refugio para personas con discapacidad cuando no existe una salida accesible, permitiendo su permanencia temporal en un espacio protegido hasta completar la evacuación con asistencia. Esta estrategia requiere estar previamente planificada y coordinada, y no debe interpretarse como una postergación general de la evacuación de las personas con discapacidad. [59]
8	Consideración de la distribución de la ocupación por nivel, priorizando los pisos más bajos para actividades de alta concurrencia.	El análisis cuantitativo mostró que la cantidad total de ocupantes no determina por sí sola el tiempo de evacuación: 338 personas concentradas en el piso 7 requirieron 9,06 minutos, frente a 9,90 minutos para 1005 personas distribuidas en el edificio. La ubicación de la población y su convergencia sobre la circulación vertical constituyen, por tanto, variables relevantes para la planificación de la ocupación.

13.3. Mejoras de infraestructura

Las mejoras de infraestructura requieren inversión en obra o equipamiento especializado, por lo que su implementación depende de decisiones presupuestarias institucionales que exceden el alcance de este trabajo.

Cuadro 34: Mejoras de infraestructura recomendadas para fortalecer el sistema de gestión de emergencias.

	Mejora recomendada	**Justificación**
1	Escalera de evacuación exterior que conecte todos los pisos del edificio principal.	El edificio central cuenta con una única escalera interior, lo que representa un punto único de falla ante su bloqueo por humo, daño estructural o congestión. El análisis cuantitativo determinó que la espera en los puntos de paso de esta vía concentra la mayor parte del tiempo de movimiento estimado, de modo que su condición de vía única no solo constituye una vulnerabilidad ante el bloqueo, sino el factor que gobierna el tiempo de evacuación en condiciones normales de funcionamiento. Una escalera exterior elimina ambas limitaciones; la disponibilidad de rutas de evacuación alternativas es un requisito explícito en los marcos normativos internacionales de referencia relevados en el Capítulo 5 [4, 35].
2	Sillas de evacuación en cada piso, disponibles en puntos estratégicos cercanos a las escaleras.	Constituyen el dispositivo estándar internacional para la evacuación vertical de personas con movilidad reducida cuando el ascensor no puede utilizarse.
3	Áreas de refugio temporal protegidas, señalizadas y dotadas de comunicación bidireccional en los niveles donde no se disponga de una alternativa de evacuación accesible.	El análisis por perfiles de movilidad mostró que los ocupantes con menor velocidad pueden determinar la finalización de la evacuación. Las áreas de refugio permiten que quienes no puedan completar de forma autónoma la evacuación vertical permanezcan temporalmente en condiciones de seguridad mientras se coordina su asistencia. Esta solución se encuentra contemplada en referencias internacionales como NFPA 101 y el Código Técnico de la Edificación español [4, 59].
4	Válvulas de corte automático y manual del suministro de gas, claramente identificadas y accesibles en cada laboratorio y en planta baja.	Ante una fuga de gas, el corte del suministro constituye la acción más crítica; la demora en su ejecución puede derivar en un incendio o una explosión secundaria.
5	Espacio seguro para el personal de vigilancia, con acceso a los sistemas de monitoreo y comunicación de emergencias.	Permite al personal de vigilancia mantener el monitoreo y la coordinación de la respuesta durante la emergencia sin comprometer su integridad física.
6	Puertas de las aulas, oficinas y demás espacios con posibilidad de cierre desde el interior, especialmente en las áreas de mayor ocupación.	Permite a los ocupantes asegurar el espacio ante una situación de tirador activo, dificultando el acceso del agresor y reduciendo la exposición de las personas mientras se coordina la respuesta de emergencia.

Los resultados del análisis cuantitativo permiten identificar dos aspectos particularmente relevantes para el fortalecimiento del sistema: la capacidad de la circulación vertical y la distribución de los ocupantes dentro del edificio. El primero se evidencia en la elevada participación de las esperas en los puntos de paso restringido sobre el tiempo total de

movimiento. El segundo surge de la comparación entre escenarios: la evacuación exclusiva de 338 ocupantes desde el piso 7 requirió 9,06 minutos, mientras que una población de 1005 personas distribuida entre distintos niveles requirió 9,90 minutos. La diferencia relativamente reducida entre ambos tiempos muestra que la población total no constituye por sí sola un indicador suficiente del desempeño de la evacuación; también resultan relevantes su ubicación y la forma en que los distintos flujos convergen sobre las vías disponibles.

Estos resultados respaldan dos líneas de actuación complementarias. Por un lado, la incorporación de una segunda vía de evacuación aportaría redundancia y permitiría disminuir la dependencia de la única circulación vertical disponible. Por otro, considerar la distribución de la ocupación en la asignación de espacios y en la planificación de actividades de alta concurrencia permitiría incorporar la capacidad de evacuación como un criterio adicional de gestión del edificio.

El análisis por perfiles de movilidad introduce una tercera dimensión. La presencia de ocupantes con velocidad reducida prolongó el tiempo necesario para completar la evacuación, evidenciando que la disponibilidad de una vía de salida no garantiza por sí sola condiciones equivalentes de evacuación para todos los ocupantes. Este resultado refuerza la necesidad de complementar las medidas generales de circulación con recursos específicos, como sillas de evacuación, áreas de refugio y estrategias de asistencia previamente planificadas.

En particular, las áreas de refugio adquieren relevancia en los pisos superiores mientras no exista una alternativa de evacuación accesible. Estos espacios permitirían que las personas que no puedan completar de forma autónoma el descenso permanezcan temporalmente en condiciones protegidas y comunicadas mientras se coordina su asistencia, evitando que su seguridad dependa exclusivamente de la capacidad de incorporarse al flujo general de la escalera [4, 59].

13.4. Visualización conceptual de las mejoras propuestas

Con el objetivo de complementar las recomendaciones presentadas anteriormente y favorecer una comprensión más visual de su posible aplicación, se seleccionaron algunas de las mejoras propuestas para representarlas sobre fotografías reales de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería. La selección abarca soluciones vinculadas al acceso a la información, la percepción de la alerta, la comunicación durante una emergencia y la asistencia en la evacuación, permitiendo aproximar de manera gráfica cómo podrían integrarse algunas de estas intervenciones a los espacios existentes.

En primer lugar, se ejemplifica la incorporación de un código QR como complemento de los planos de ubicación y evacuación ya instalados, permitiendo ampliar el acceso a información de emergencia sin sustituir la señalización física existente.

Figura 22: *Estado actual y propuesta de incorporación de un código QR como complemento al plano de ubicación y evacuación existente en el Edificio Central. Fuente: Elaboración propia a partir de fotografía tomada durante el relevamiento institucional.*

Como complemento a los mecanismos de alerta, se representa la incorporación de una alarma visual en el hall de ascensores, orientada a reforzar la percepción de la emergencia mediante un canal visual.

Figura 23: *Estado actual y propuesta de incorporación de una alarma visual de emergencia en el hall de ascensores del Edificio Central. Fuente: Elaboración propia a partir de fotografía tomada durante el relevamiento institucional.*

En relación con la comunicación durante la emergencia, se visualiza la incorporación de un intercomunicador en una de las cabinas de los ascensores, destinado a posibilitar el contacto con vigilancia y la solicitud de asistencia en caso de ser necesaria.

Figura 24: *Estado actual y propuesta de incorporación de un intercomunicador de emergencia en una cabina de ascensor del Edificio Central. Fuente: Elaboración propia a partir de fotografía tomada durante el relevamiento institucional.*

Finalmente, en relación con la asistencia durante la evacuación, se representa la posible disposición de una silla de evacuación en un sector próximo a la circulación vertical del Edificio Central, como recurso destinado a facilitar el traslado de personas con movilidad reducida cuando las condiciones del escenario requieran su utilización.

Figura 25: *Estado actual y propuesta de incorporación de una silla de evacuación en un sector próximo a la circulación vertical del Edificio Central. Fuente: Elaboración propia a partir de fotografía tomada durante el relevamiento institucional.*

Nota: Las representaciones corresponden a una selección de las mejoras presentadas previamente y fueron elaboradas mediante intervención digital asistida por inteligencia artificial sobre fotografías reales de las instalaciones. Su finalidad es ilustrativa y no constituyen diseños técnicos ni proyectos ejecutivos. La ubicación, dimensiones y características definitivas de las intervenciones deberán determinarse mediante los correspondientes estudios técnicos.

Capítulo 14

14. Conclusiones y proyección del sistema

El presente capítulo cierra la tesis sintetizando los principales resultados obtenidos a partir del diagnóstico, el diseño del sistema de evacuación inclusivo y el análisis cuantitativo desarrollado. En primer lugar, se presentan las conclusiones derivadas del trabajo realizado y su relación con los objetivos planteados; posteriormente, se identifican las principales líneas de desarrollo futuro orientadas a la implementación, validación y mejora del sistema; finalmente, se presenta una reflexión sobre el aporte de la investigación y su alcance en el contexto de la gestión inclusiva de emergencias.

14.1. Cumplimiento de los objetivos

El objetivo general de esta tesis fue diseñar un sistema integral de gestión de evacuaciones ante situaciones de emergencia para el edificio principal de la Facultad de Ingeniería, incorporando la atención de personas con discapacidad como eje transversal del diseño. El objetivo fue alcanzado mediante el desarrollo de un sistema compuesto por un protocolo de evacuación inclusivo, nueve procedimientos específicos para distintos escenarios de emergencia, las especificaciones de asistencia en situaciones de emergencia para personas con discapacidad y el Plan Personal de Evacuación de Emergencia (PEEP).

Los objetivos específicos se abordaron mediante las distintas etapas de la investigación. La revisión del marco normativo y de los antecedentes permitió identificar los principales criterios nacionales e internacionales aplicables a la evacuación inclusiva. El diagnóstico de la situación actual de la Facultad permitió identificar las principales brechas existentes tanto en materia organizativa como edilicia. La caracterización de los escenarios de emergencia permitió definir criterios de actuación diferenciados según la naturaleza y evolución de cada incidente. A partir de estos resultados se diseñó el sistema de evacuación inclusivo, incorporando procedimientos específicos, pautas de asistencia y mecanismos de planificación individualizada. Finalmente, el análisis cuantitativo permitió estimar la componente de movimiento del tiempo de evacuación mediante dos enfoques complementarios y analizar la influencia de la distribución de la población y de la heterogeneidad en las velocidades de desplazamiento.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten afirmar que los objetivos planteados fueron cumplidos, dando lugar a una propuesta integral que articula diagnóstico, planificación, procedimientos operativos, asistencia diferenciada y análisis cuantitativo de la evacuación.

14.2. Conclusiones principales

El diagnóstico realizado permitió determinar que la Facultad de Ingeniería cuenta con condiciones generales de seguridad y con un marco institucional que permite responder ante situaciones de emergencia, pero presenta oportunidades de mejora relevantes para garantizar una evacuación inclusiva. Las principales brechas identificadas no se concentran exclusivamente en las condiciones de infraestructura del edificio, sino también en la organización de la respuesta, la planificación previa y la consideración sistemática de las distintas necesidades de las personas que integran la comunidad universitaria.

A partir del trabajo desarrollado pueden establecerse cinco conclusiones principales.

14.2.1. La inclusión requiere planificación previa

La principal conclusión del diagnóstico es que una evacuación inclusiva no puede depender exclusivamente de la capacidad de respuesta durante la emergencia. La asistencia a personas con discapacidad requiere información previa, responsabilidades definidas, procedimientos conocidos y criterios de actuación que permitan reducir la improvisación. En este sentido, el PEEP constituye una herramienta fundamental, ya que permite trasladar las necesidades particulares de una persona hacia una planificación concreta de su evacuación.

La incorporación de esta planificación permite pasar de una respuesta basada en la reacción ante el incidente a un modelo preventivo, en el cual las necesidades de asistencia son identificadas y consideradas antes de que ocurra la emergencia.

14.2.2. La respuesta debe adaptarse al escenario

El análisis de los distintos escenarios evidenció que no existe una única estrategia de evacuación aplicable a todas las emergencias. Las características del incidente, su ubicación, magnitud, velocidad de propagación y posibilidades de evolución determinan la respuesta más adecuada.

Por este motivo, los procedimientos desarrollados mantienen una estructura común, pero incorporan criterios específicos para cada escenario. Esta diferenciación permite establecer cuándo evacuar, qué recorridos utilizar, qué medidas de asistencia adoptar y qué situaciones requieren modificar o interrumpir una estrategia inicial.

La definición de variantes según la magnitud y evolución del incidente permite, además, aplicar el principio de proporcionalidad de la respuesta, evitando tanto respuestas insuficientes como medidas innecesariamente disruptivas para la comunidad universitaria.

14.2.3. La configuración del recorrido condiciona el tiempo de movimiento

El análisis cuantitativo permitió demostrar que el tiempo de movimiento no depende exclusivamente de la cantidad total de personas que deben evacuar, sino también de su distribución dentro del edificio, de los puntos en los que los distintos grupos se incorporan al flujo común y de la capacidad de los puntos de paso restringido.

Para una ocupación de referencia (2009 personas) de 2009 personas, correspondiente al Escenario 2, el cálculo directo estimó un tiempo de movimiento de 51,13 minutos, mientras que la simulación de eventos discretos obtuvo 17,42 minutos. La diferencia responde a las hipótesis de cada método: el cálculo directo suma de forma secuencial los tiempos asociados a los distintos tramos y constituye una estimación conservadora, mientras que la simulación representa la circulación simultánea de los ocupantes y la superposición temporal de los distintos tramos del recorrido.

El análisis también mostró que una mayor cantidad de personas no implica necesariamente un incremento proporcional del tiempo de movimiento. En el Escenario 1, con 338 personas evacuando exclusivamente desde el piso 7, la simulación obtuvo 9,06 minutos, mientras que en el Escenario 3, con 1005 personas distribuidas en los distintos niveles y una ocupación del 50 %, el tiempo fue de 9,90 minutos. Aunque la población considerada prácticamente se triplica, el tiempo aumenta únicamente 49,96 segundos. Este resultado evidencia que la distribución espacial de los ocupantes y la incorporación progresiva de los flujos son variables determinantes del desempeño del sistema.

Asimismo, los puntos de paso restringido adquieren particular relevancia debido a la concentración de personas que deben atravesarlos. En el cálculo correspondiente a la ocupación de referencia (2009 personas), el tramo T8 alcanza una población acumulada de

1761 personas sobre un ancho de 1,50 m, generando un tiempo de embudo de 903,08 segundos. Esto confirma que las restricciones de capacidad existentes en el recorrido constituyen uno de los principales factores limitantes del desplazamiento.

14.2.4. La heterogeneidad de movilidad modifica el tiempo de finalización

La simulación de eventos discretos permitió incorporar una dimensión que no puede ser representada mediante el cálculo agregado: la coexistencia de ocupantes con diferentes velocidades de desplazamiento dentro de una misma población.

El Escenario 4, construido a partir del Escenario 3, consideró 1005 ocupantes, de los cuales 955 mantuvieron las velocidades de referencia y 50 fueron modelados con una velocidad equivalente al 50 % de dicha referencia. Bajo estas condiciones, el tiempo de movimiento aumentó de 9,90 a 11,97 minutos, lo que representa un incremento de 2,07 minutos, equivalente aproximadamente al 21 %.

Este valor resulta especialmente relevante desde la perspectiva de la evacuación inclusiva. El último ocupante con velocidad normal alcanzó el punto de encuentro a los 10,02 minutos, mientras que el último ocupante del perfil de velocidad reducida lo hizo a los 11,97 minutos. Por lo tanto, una vez finalizada la evacuación del perfil de velocidad normal, el proceso continuó durante 1,95 minutos adicionales hasta alcanzar la salida del último ocupante.

Este resultado no permite establecer una relación directa entre discapacidad y velocidad de desplazamiento, ni pretende representar la composición real de la población de la Facultad. Su importancia radica en demostrar que una fracción minoritaria de ocupantes con menor velocidad puede condicionar el instante de finalización de la evacuación y que este efecto únicamente puede observarse cuando el modelo representa a los ocupantes de manera individual.

Al mismo tiempo, el resultado delimita el alcance del análisis cuantitativo. La simulación permite representar diferencias de velocidad, pero no incorpora tiempos de reacción diferenciados, necesidades de asistencia, transferencias, utilización de dispositivos de evacuación ni áreas de refugio. Por tanto, el modelo cuantitativo no sustituye a los instrumentos cualitativos desarrollados, sino que complementa su función al dimensionar la componente de movimiento y evidenciar la influencia que pueden tener distintos perfiles de movilidad sobre el tiempo de evacuación.

14.2.5. La evacuación inclusiva como enfoque para fortalecer la respuesta general

La incorporación de criterios de accesibilidad no constituye una medida exclusiva para las personas con discapacidad. Las estrategias desarrolladas, como la anticipación del recorrido, la comunicación clara, la asignación de responsabilidades, el acompañamiento y la planificación de alternativas, mejoran la respuesta para el conjunto de los ocupantes.

De esta forma, la inclusión debe entenderse como un criterio de calidad del sistema de evacuación en su totalidad. La identificación de necesidades particulares permite, además, reconocer situaciones temporales o permanentes que pueden afectar la capacidad de evacuación de cualquier integrante de la comunidad universitaria.

14.3. Proyección del sistema

El sistema desarrollado constituye una propuesta aplicable al edificio principal, norte y sur pero su implementación efectiva requiere avanzar desde el diseño documental y el análisis cuantitativo hacia la validación y operación institucional. En este sentido, se identifican distintas líneas de trabajo futuro.

14.3.1. Implementación y validación mediante simulacros

El primer paso consiste en implementar progresivamente los documentos desarrollados y validar su funcionamiento mediante simulacros. Estas instancias deberían incorporar participantes con distintas necesidades de asistencia, permitiendo evaluar no solo el tiempo total de evacuación, sino también la efectividad de la comunicación, la coordinación entre roles y la adecuación de las estrategias de asistencia.

Los resultados obtenidos deberían utilizarse como insumo para actualizar los procedimientos y ajustar aquellos aspectos que no resulten adecuados durante la aplicación práctica. Asimismo, los tiempos observados durante los simulacros permitirían contrastar las estimaciones obtenidas mediante el cálculo directo y la simulación de eventos discretos.

14.3.2. Implementación del registro de PEEP

Una línea prioritaria corresponde a la implementación de un mecanismo institucional que permita gestionar los PEEP de manera voluntaria y confidencial. La existencia de este registro permitiría vincular las necesidades particulares de las personas con los recursos disponibles y con los responsables de asistencia durante una emergencia.

La implementación de este mecanismo constituye una condición necesaria para que la planificación individual desarrollada en esta tesis pueda trasladarse efectivamente a la operación cotidiana de la Facultad de Ingeniería.

14.3.3. Mejoras de infraestructura

Los resultados obtenidos también permiten orientar futuras intervenciones edilicias. En particular, la disponibilidad de alternativas a las rutas verticales existentes y la formalización de áreas de refugio constituyen medidas relevantes para reducir las restricciones que actualmente presenta el edificio.

El análisis cuantitativo permite además orientar estas intervenciones hacia los puntos donde se concentran los flujos de evacuación y se producen las principales restricciones de capacidad. Estas intervenciones deberán analizarse considerando las características patrimoniales del edificio y su impacto sobre la configuración existente, procurando priorizar soluciones que mejoren la seguridad y accesibilidad sin comprometer sus valores arquitectónicos.

14.3.4. Extensión del modelo cuantitativo

El modelo desarrollado constituye una primera aproximación al análisis cuantitativo de la evacuación del edificio central. Una línea de trabajo futuro consiste en ampliar la representación mediante la incorporación de información más precisa sobre la ocupación real de los niveles, especialmente para aquellos sectores para los que no se dispuso de datos de aforo equivalentes.

Asimismo, podrían incorporarse al modelo tiempos de reacción, diferentes perfiles de movilidad, necesidades de asistencia, utilización de dispositivos de evacuación y estrategias diferenciadas de incorporación de los niveles al flujo vertical. Estas extensiones permitirían aproximar progresivamente el modelo a las condiciones de una evacuación real y evaluar con mayor profundidad el efecto de las medidas inclusivas propuestas.

14.3.5. Extensión a otros edificios de la Facultad de Ingeniería

La metodología desarrollada puede utilizarse como base para analizar otros edificios pertenecientes a la Facultad de Ingeniería. Sin embargo, la aplicación deberá realizarse

mediante un diagnóstico específico para cada edificio, considerando su configuración edilicia, ocupación, rutas de evacuación, población usuaria y características particulares de los escenarios de emergencia.

De esta manera, el sistema puede evolucionar desde una aplicación centrada en el edificio principal hacia un esquema integral de gestión de evacuaciones para el conjunto de la Facultad de Ingeniería.

14.3.6. Extensión a otras instituciones

La estructura modular del sistema constituye una oportunidad para su adaptación a otras instituciones educativas y organizaciones con características similares. El enfoque desarrollado permite separar aquellos elementos generales de la gestión de emergencias de aquellos que requieren adaptación según las características del edificio y su población.

Esta posibilidad de replicación permitiría utilizar la experiencia de la Facultad de Ingeniería como antecedente para el desarrollo de sistemas de evacuación inclusiva en otros ámbitos institucionales.

14.4. Reflexión final

El desarrollo de esta investigación permitió abordar la evacuación inclusiva desde una perspectiva que integra las dimensiones organizativa, operativa, edilicia y humana. El principal resultado no consiste únicamente en la elaboración de documentos de emergencia, sino en la construcción de un sistema que busca anticipar las necesidades de evacuación y establecer respuestas concretas antes de que ocurra una situación crítica.

El análisis realizado muestra que avanzar hacia una evacuación inclusiva no depende exclusivamente de grandes intervenciones de infraestructura. La definición de responsabilidades, la planificación individual, la adaptación de la comunicación, la capacitación y la realización de simulacros constituyen medidas que pueden incorporarse progresivamente y que permiten mejorar la capacidad institucional de respuesta.

Al mismo tiempo, el análisis cuantitativo evidencia que existen restricciones físicas y dinámicas que deben ser consideradas en cualquier estrategia de mejora. Los resultados muestran que el tiempo de movimiento depende no solo de la cantidad de personas, sino también de su distribución dentro del edificio, de la capacidad de los puntos de paso y de la coexistencia de diferentes perfiles de movilidad.

En particular, el Escenario 4 permitió mostrar que una fracción minoritaria de ocupantes con menor velocidad de desplazamiento puede extender el tiempo hasta la finalización de la evacuación. Sin embargo, este resultado también evidencia que la dimensión inclusiva no puede reducirse únicamente a una variable de velocidad. Las necesidades de asistencia, comunicación, apoyo y planificación individual requieren instrumentos específicos que no pueden ser capturados por el modelo cuantitativo.

En este sentido, ambos enfoques desarrollados se complementan. El modelo cuantitativo permite dimensionar la componente de movimiento, identificar restricciones del recorrido y analizar la influencia de distintos perfiles de movilidad, mientras que el sistema cualitativo establece las condiciones organizativas y operativas necesarias para que las personas puedan efectivamente evacuar. Los tiempos estimados, por tanto, no sustituyen a los procedimientos, las especificaciones de asistencia ni los PEEP, sino que contribuyen a justificar su necesidad.

El principal aporte de la tesis consiste en proponer una base metodológica y operativa que permite avanzar desde un enfoque general de seguridad hacia un sistema de evacuación que contemple explícitamente la diversidad de la comunidad universitaria. La inclusión deja de ser un elemento adicional del sistema y pasa a constituir un criterio transversal para su diseño, implementación, evaluación y mejora continua.

Referencias

[1] Organización de las Naciones Unidas. (2006). *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad* (Resolución A/RES/61/106). Naciones Unidas.

[2] República Oriental del Uruguay. (2010). Ley N.º 18.651. Protección integral de personas con discapacidad. *Diario Oficial*.

[3] Organización Mundial de la Salud. (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud: CIF*. OMS.

[4] National Fire Protection Association. (2018). *NFPA 101: Life Safety Code*. Quincy, MA: NFPA.

[5] International Organization for Standardization. (2021). *ISO 21542: Building construction – Accessibility and usability of the built environment*. Ginebra, Suiza: ISO.

[6] República Oriental del Uruguay. (2023). *Decreto N.º 372/023: Reglamentación de la Ley N.º 15.896 relativa a la regulación de las medidas de protección contra incendios*. Poder Ejecutivo.

[7] Dirección Nacional de Bomberos. (2015). *Guía para la elaboración de planes de emergencia y evacuación*. Montevideo, Uruguay: Ministerio del Interior.

[8] República Oriental del Uruguay. (2008). Ley N.º 18.418. Adhesión a la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. *Diario Oficial*.

[9] Instituto Nacional de Estadística y Ministerio de Desarrollo Social. (2025). *Población en situación de discapacidad en Uruguay: análisis del Censo 2023*. Montevideo, Uruguay: MIDES.

[10] Universidad de la República. Dirección General de Planeamiento. (2025). *Estudiante activo*. Recuperado de `https://planeamiento.Udelar.edu.uy/portal/estudiantes/estudiantes-de-grado/estudiante-activo/`

[11] Dirección Nacional de Bomberos. (s.f.). *Instructivo Técnico N.º 16: Planes de evacuación*. Montevideo, Uruguay: Ministerio del Interior.

[12] Dirección Nacional de Bomberos. (s.f.). *Instructivo Técnico N.º 19: Salidas de emergencia*. Montevideo, Uruguay: Ministerio del Interior.

[13] República Oriental del Uruguay. (2022). Decreto N.º 350/022. Protocolo de actuación para garantizar el derecho a la educación inclusiva de las personas con discapacidad. *Diario Oficial*.

[14] International Organization for Standardization. (2009). *ISO 23601: Safety identification – Escape and evacuation plan signs*. Ginebra, Suiza: ISO.

[15] Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2026). *UNIT 200: Accesibilidad al medio físico*. Montevideo, Uruguay: UNIT.

[16] Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2019). *UNIT 1026: Accesibilidad – Señalización*. Montevideo, Uruguay: UNIT.

[17] International Organization for Standardization. (2018). *ISO 22320: Security and resilience – Emergency management – Requirements for incident management*. Ginebra, Suiza: ISO.

[18] Gwynne, S. M. V., & Rosenbaum, E. R. (2016). Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement. En M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5.ª ed.). Nueva York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_59

[19] International Organization for Standardization. (2009). *ISO/TR 16738:2009: Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*. Ginebra: ISO. https://www.iso.org/standard/42887.html

[20] Togawa, K. (1955). *Study on Fire Escapes Basing on the Observation of Multitude Currents* (Report of the Building Research Institute, N.° 14). Tokio: Ministry of Construction.

[21] Predtechenskii, V. M., & Milinskii, A. I. (1978). *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*. Nueva Delhi: Amerind Publishing.

[22] Casadesús Pursals, S. (2005). *Consideraciones en torno a los modelos para el estudio de la evacuación de edificios*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Organització d'Empreses. Terrassa, España.

[23] Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation* (5.ª ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

[24] Organización Mundial de la Salud. (2018). *Clasificación Internacional de Enfermedades, 11.ª revisión (CIE-11)*. Ginebra, Suiza: OMS. Recuperado de https://icd.who.int/es

[25] Health and Safety Executive. (2011). *Fire safety in the workplace: Means of escape for disabled people*. Londres, Reino Unido: HSE.

[26] U.S. Department of Justice. (2010). *ADA Standards for Accessible Design*. Washington D. C., Estados Unidos: U.S. Department of Justice.

[27] Federal Emergency Management Agency. (2011). *A Whole Community Approach to Emergency Management: Principles, Themes, and Pathways for Action*. Washington D. C., Estados Unidos: FEMA. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/whole_community_dec2011__2.pdf

[28] University of Chicago Environmental Health and Safety. (s.f.). *Evacuation for persons with disabilities*. https://safety.uchicago.edu/fire-life-safety/life-safety/evacuation-for-persons-with-disabilities/

[29] Department of Homeland Security. (2008). *Active Shooter: How to Respond*. Washington D. C., Estados Unidos. https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/active_shooter_booklet.pdf

[30] University of Exeter Occupational Health. (s.f.). *Personal emergency evacuation plans (PEEPs)*. https://www.exeter.ac.uk/staff/occupational-health/disability/peeps/

[31] University of Bath. (s.f.). *PEEPs: Personal emergency evacuation plans*. https://www.bath.ac.uk/guides/peeps-personal-emergency-evacuation-plans/

[32] Gobierno de España. (2007). Real Decreto 393/2007, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección. *Boletín Oficial del Estado*.

[33] Universidad Pablo de Olavide, Servicio de Prevención de Riesgos Laborales. (2015). *Plan de actuación en caso de emergencias: evacuación de personas con discapacidad*. Sevilla, España: UPO. https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/sprl/docu

mentos/plan-autoproteccion/PDF-Plan-de-Actuacion-en-caso-de-Emergencias-Evacuacion-Personas-con-Discapacidad-Rev1-Sep-2015.pdf

[34] Universidad Nacional de Educación a Distancia, Unidad de Prevención de Riesgos Laborales. (2017). *Protocolo interno de actuación: evacuación de personas con discapacidad*. Madrid, España: UNED. https://www.uned.es/universidad/dam/inicio/institucional/gerencia/recursos-humanos/riesgos-laborales/planes-de-emergencia/procedimientos-emergencia/procedimientos/UPRL_PROTOCOLOEVACUACIONDISCAPACITADOS_23-11-2017.PDF

[35] Standards Australia. (2010). *AS 3745–2010: Planning for emergencies in facilities*. Sídney, Australia: Standards Australia.

[36] National Emergency Management Agency (NEMA) y University of Sydney. (2024). *Disability Inclusive Emergency Management (DIEM) Toolkit*. Canberra, Australia: NEMA. https://www.nema.gov.au/our-work/resilience/diem

[37] Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Especial de Seguridad del H. Consejo Universitario. (s.f.). *Protocolo general de atención a personas con discapacidad en situaciones de emergencia*. Ciudad de México, México: UNAM. https://www.geofisica.unam.mx/docs/UNAM_protocolo_atencion_personas_con_discapacidad_en_emergencia.pdf

[38] Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad de Atención para Personas con Discapacidad. (s.f.). *UNAPDI — Unidad de Atención para Personas con Discapacidad*. Ciudad de México, México: UNAM. https://unapdi.unam.mx/

[39] Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Comisión Local de Seguridad. (2023). *Protocolo de atención a personas con discapacidad en situaciones de emergencia — Facultad de Ingeniería, Campus Ciudad Universitaria*. Ciudad de México, México: UNAM. Actualización: enero 2023. http://www.administracion.ingenieria.unam.mx/webcls/pdf/procedimientosEnero2023/25.ProtocolodeatencionaPCDensituacionesdeemergencia.pdf

[40] Consejo General de la Psicología de España. (s.f.). *Protocolo de atención a personas con discapacidad en emergencias y desastres*. Madrid, España: Consejo General de la Psicología.

[41] Hostetter, H., Naser, M.Z., Randall, K. y Murray-Tuite, P. (2024). *Evacuation preparedness and intellectual disability: Insights from a university fire drill*. Journal of Building Engineering, 84, 108578. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108578

[42] Instituto Superior de Educación Física, Universidad de la República. (2017). *Protocolo general para la inclusión de estudiantes en situación de discapacidad*. Montevideo, Uruguay: ISEF–Udelar. https://isef.Udelar.edu.uy/noticias/protocolo-general-para-la-inclusion-de-estudiantes-en-situacion-de-discapacidad/

[43] Universidad de la República, Prorrectorado de Gestión. (2023). *Discapacidad en la Udelar: decisiones políticas y estructurales*. Montevideo, Uruguay: Udelar. https://gestion.Udelar.edu.uy/noticias/discapacidad-en-la-Udelar-decisiones-politicas-y-estructurales

[44] Barros, C., Figueroa, P., García, J., Piña, M. y Cevallos, E. (2024). *Capacidad y nivel de respuesta de las personas con discapacidad visual ante eventos emergentes*. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 5(2), 1355–1366. https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1955 (Consultado el 9 de agosto de 2026).

[45] Universidad de La Sabana. (2022). *¡Listos para servir ante una emergencia!*. Universidad de La Sabana, Colombia. https://www.unisabana.edu.co/noticias/paso-en-la-sabana/listos-para-servir-ante-una-emergencia (Consultado el 9 de agosto de 2026).

[46] Lino, P., Maione, G. y Maione, B. (2009). *Modeling and Simulation of Crowd Egress Dynamics in a Discrete Event Environment*. 2009 IEEE International Conference on Control Applications (CCA), pp. 843–848. DOI: 10.1109/CCA.2009.5281015. Recuperado de https://c3lab.poliba.it/images/d/d0/Lino_et_al.pdf (Consultado el 8 de agosto de 2026).

[47] Lino, P., Maione, B. y Maione, G. (2009). *A Discrete Event Simulation Model for the Egress Dynamics from Buildings*. Proceedings of the 6th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), Vol. 2, pp. 84–91. SciTePress. DOI: 10.5220/0002193400840091. Recuperado de https://www.scitepress.org/PublishedPapers/2009/21934/21934.pdf (Consultado el 8 de agosto de 2026).

[48] Lino, P., Pizzileo, B., Maione, G. y Maione, B. (2011). *Tuning and Validation of a Discrete-Event Model of the Egress Dynamics from Buildings*. IFAC Proceedings Volumes, 44(1), pp. 8743–8748. DOI: 10.3182/20110828-6-IT-1002.02991. Recuperado de https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.02991 (Consultado el 8 de agosto de 2026).

[49] López-Carmona, M. A. y Paricio García, A. (2021). *CellEVAC: An Adaptive Guidance System for Crowd Evacuation through Behavioral Optimization*. Safety Science, 139, 105215. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105215. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105215 (Consultado el 8 de agosto de 2026).

[50] Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. (s.f.). *Descripción*. Montevideo, Uruguay: FIng, Udelar. https://www.fing.edu.uy/es/node/30131

[51] Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. (s.f.). *Síntesis histórica*. Montevideo, Uruguay: FIng, Udelar. https://www.fing.edu.uy/es/institucional/s%C3%ADntesis-hist%C3%B3rica

[52] Montevideo Antiguo. (2017). *Facultad de Ingeniería*. Recuperado de https://www.montevideoantiguo.net/facultad-de-ingenieria/ (Consultado el 28 de julio de 2026).

[53] Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. (s.f.). *La Fing en números*. Montevideo, Uruguay: FIng, Udelar. https://www.fing.edu.uy/es/node/46756

[54] International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2019). *ISO/IEC 31010:2019 — Risk management — Risk assessment techniques* (2.ª ed.). Ginebra, Suiza: ISO/IEC.

[55] International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 – Quality management systems – Requirements*. Ginebra, Suiza: ISO.

[56] Organización Mundial de la Salud, War Trauma Foundation y World Vision International. (2011). *Primeros auxilios psicológicos: Guía para trabajadores de campo*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.

[57] República Oriental del Uruguay. (2008). *Ley N.° 18.331: Protección de Datos Personales y Acción de Habeas Data*. Diario Oficial, 11 de agosto de 2008. https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18331-2008

[58] Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. (2022). *Salones 2022 – Aforo*. Dimensión Infraestructura, Facultad de Ingeniería. Recuperado de `https://www.fing.edu.uy/es/node/45284` (Consultado el 8 de agosto de 2026).

[59] Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, Gobierno de España. (2025). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico DB-SI: Seguridad en caso de incendio*. Gobierno de España. `https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/SeguridadEnCasoDeIncendio.html` (Consultado el 9 de agosto de 2026).

Apéndice A. Scripts de simulación de los escenarios

Script Escenario 1

```
%% ESCENARIO - EVACUACION EXCLUSIVA DEL PISO 7
% 46 personas parten desde la sala de seminarios.
% Las 292 personas restantes del piso 7 se incorporan en T2.
% Total de personas a evacuar: 338.
%
% El calculo se realiza persona a persona para representar el flujo
% secuencial a traves de los puntos de paso restringido y la propagacion
% de los tiempos de llegada entre los distintos tramos.

clear;
clc;

%% POBLACION

P_seminarios   = 46;
P_resto_piso7  = 338 - P_seminarios;    % 292
P_total        = 338;


%% PARAMETROS DE CIRCULACION

% Flujo especifico adoptado para los puntos de paso restringido
C_C = 1.30;              % [personas/(s*m)]

% Velocidades de referencia
v_horizontal = 1.19;    % [m/s]
v_escalera   = 0.85;    % [m/s]


%% LONGITUDES DE LOS TRAMOS [m]

L = [
    11.0    % T1
    50.2    % T2
    11.0    % T3
    17.0    % T4
    20.0    % T5
    20.0    % T6
    20.0    % T7
    20.0    % T8
    20.0    % T9
    17.6    % T10
    22.5    % T11
    45.0    % T12
    ];


%% ANCHOS DE LOS PUNTOS DE PASO RESTRINGIDO [m]

% NaN = tramo sin restriccion de capacidad especifica

A = [
    0.95    % T1
    0.95    % T2
    1.75    % T3
    1.60    % T4
    1.50    % T5
```

```
    1.50    % T6
    1.50    % T7
    1.50    % T8
    1.50    % T9
    NaN     % T10
    4.70    % T11
    NaN     % T12
    ];


%% VELOCIDADES POR TRAMO [m/s]

V = [
    v_horizontal   % T1
    v_horizontal   % T2
    v_horizontal   % T3
    v_escalera     % T4
    v_escalera     % T5
    v_escalera     % T6
    v_escalera     % T7
    v_escalera     % T8
    v_escalera     % T9
    v_escalera     % T10
    v_horizontal   % T11
    v_horizontal   % T12
    ];


%% TIEMPOS DE DESPLAZAMIENTO LIBRE

t_libre = L ./ V;


%% TIEMPOS DE SERVICIO DE LOS PUNTOS RESTRINGIDOS

% Capacidad:
%
% Q = K*A
%
% Tiempo de servicio por persona:
%
% t_servicio = 1/Q = 1/(K*A)

t_servicio = zeros(12,1);

for i = 1:12

    if ~isnan(A(i))

        t_servicio(i) = 1 / (K*A(i));

    else

        t_servicio(i) = 0;

    end

end


%% ============================================================
```

```
% T1 - SALA DE SEMINARIOS
% ================================================================

% Las 46 personas comienzan en t = 0.

llegada = zeros(P_seminarios,1);

salida_T1 = procesar_tramo( ...
    llegada, ...
    t_servicio(1), ...
    t_libre(1));


%% ================================================================
% INCORPORACION DEL RESTO DEL PISO 7 EN T2
% ================================================================

% Las otras 292 personas del piso 7 se consideran disponibles
% en la entrada de T2 desde t = 0.
%
% Las 46 personas provenientes de la sala llegan progresivamente
% a T2 segun van finalizando T1.

llegada_resto = zeros(P_resto_piso7,1);

llegada_T2 = [
    llegada_resto
    salida_T1
    ];

% Ordenar segun instante real de llegada
llegada_T2 = sort(llegada_T2);


%% ================================================================
% T2
% ================================================================

salida_T2 = procesar_tramo( ...
    llegada_T2, ...
    t_servicio(2), ...
    t_libre(2));


%% T3

salida_T3 = procesar_tramo( ...
    salida_T2, ...
    t_servicio(3), ...
    t_libre(3));


%% T4

salida_T4 = procesar_tramo( ...
    salida_T3, ...
    t_servicio(4), ...
    t_libre(4));


%% T5
```

```
salida_T5 = procesar_tramo( ...
    salida_T4, ...
    t_servicio(5), ...
    t_libre(5));


%% T6

salida_T6 = procesar_tramo( ...
    salida_T5, ...
    t_servicio(6), ...
    t_libre(6));


%% T7

salida_T7 = procesar_tramo( ...
    salida_T6, ...
    t_servicio(7), ...
    t_libre(7));


%% T8

salida_T8 = procesar_tramo( ...
    salida_T7, ...
    t_servicio(8), ...
    t_libre(8));


%% T9

salida_T9 = procesar_tramo( ...
    salida_T8, ...
    t_servicio(9), ...
    t_libre(9));


%% T10

salida_T10 = procesar_tramo( ...
    salida_T9, ...
    t_servicio(10), ...
    t_libre(10));


%% T11

salida_T11 = procesar_tramo( ...
    salida_T10, ...
    t_servicio(11), ...
    t_libre(11));


%% T12

salida_T12 = procesar_tramo( ...
    salida_T11, ...
    t_servicio(12), ...
    t_libre(12));
```

```
%% ============================================================
% RESULTADOS
% ============================================================

fin_tramos = [
    max(salida_T1)
    max(salida_T2)
    max(salida_T3)
    max(salida_T4)
    max(salida_T5)
    max(salida_T6)
    max(salida_T7)
    max(salida_T8)
    max(salida_T9)
    max(salida_T10)
    max(salida_T11)
    max(salida_T12)
    ];


tiempo_total_segundos = max(salida_T12);
tiempo_total_minutos  = tiempo_total_segundos / 60;


%% TABLA DE RESULTADOS

Tramo = (1:12)';

Resultados = table( ...
    Tramo, ...
    L, ...
    A, ...
    V, ...
    t_libre, ...
    t_servicio, ...
    fin_tramos, ...
    'VariableNames', { ...
    'Tramo', ...
    'Longitud_m', ...
    'Ancho_m', ...
    'Velocidad_m_s', ...
    'TiempoLibre_s', ...
    'TiempoServicio_s_persona', ...
    'FinUltimaPersona_s' ...
    });


%% MOSTRAR RESULTADOS

disp(' ');
disp('================================================');
disp(' EVACUACION EXCLUSIVA DEL PISO 7');
disp('================================================');

fprintf('\nPersonas sala de seminarios: %d\n', ...
    P_seminarios);

fprintf('Personas resto del piso 7:   %d\n', ...
    P_resto_piso7);
```

```
fprintf('Total personas evacuadas:    %d\n', ...
    P_total);

disp(' ');
disp(Resultados);

disp(' ');
disp('-------------------------------------------------');

fprintf('Fin de T1: %.2f s\n', ...
    max(salida_T1));

fprintf('Fin de evacuacion: %.2f s\n', ...
    tiempo_total_segundos);

fprintf('Fin de evacuacion: %.2f min\n', ...
    tiempo_total_minutos);

disp('-------------------------------------------------');


%% ============================================================
% FUNCION PARA PROCESAR CADA TRAMO
% ============================================================

function salida = procesar_tramo(llegada, tiempo_servicio, tiempo_libre)

    % Ordenar entidades segun instante de llegada
    llegada = sort(llegada);

    N = length(llegada);

    salida = zeros(N,1);

    % Si no existe punto de paso restringido,
    % solamente se agrega el tiempo de desplazamiento.

    if tiempo_servicio == 0

        salida = llegada + tiempo_libre;

        return;

    end


    % Primer ocupante

    inicio_servicio = llegada(1);

    fin_servicio = inicio_servicio + tiempo_servicio;

    salida(1) = fin_servicio + tiempo_libre;


    % Ocupantes restantes

    for j = 2:N

        % El servicio puede comenzar cuando:
```

```
        % 1) llega la persona, y
        % 2) el punto de paso queda libre.

        inicio_servicio = max( ...
            llegada(j), ...
            fin_servicio);

        fin_servicio = ...
            inicio_servicio + tiempo_servicio;

        salida(j) = ...
            fin_servicio + tiempo_libre;

    end

end
```

Script Escenario 2

```
%% MODELO EVACUACION - ESCENARIO 2
% Ocupacion completa del edificio.
%
% Este archivo contiene los parametros y calculos necesarios
% para ejecutar el modelo en Simulink/SimEvents.

clear;
clc;

%% 1. OCUPACION POR SECTOR Y NIVEL

% Piso 7
N_seminarios = 46;
N_resto_piso7 = 338 - N_seminarios;
N_piso7 = N_seminarios + N_resto_piso7;

% Pisos inferiores
N_piso6 = 120;
N_piso5 = 181;
N_piso4 = 93;
N_piso3 = 1029;
N_piso2 = 0;
N_piso1 = 248;

% Total considerado
P_total = N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + ...
          N_piso4 + N_piso3 + N_piso2 + N_piso1;


%% 2. PERSONAS ACUMULADAS POR TRAMO

P_tramo = [
    N_seminarios;                                   % T1 = 46
    N_piso7;                                        % T2 = 338
    N_piso7;                                        % T3 = 338
    N_piso7;                                        % T4 = 338
    N_piso7 + N_piso6;                              % T5 = 458
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5;                   % T6 = 639
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4;         % T7 = 732
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3;                                    % T8 = 1761
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3 + N_piso2;                          % T9 = 1761
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3 + N_piso2;                          % T10 = 1761
    P_total;                                        % T11 = 2009
    P_total                                          % T12 = 2009
];


%% 3. PARAMETROS DE CIRCULACION

Cc = 1.30;              % [personas/(s*m)]
v_horizontal = 1.19;    % [m/s]
v_escalera = 0.85;      % [m/s]


%% 4. LONGITUDES DE LOS TRAMOS [m]
```

```
L = [
    11.0;    % T1
    50.2;    % T2
    11.0;    % T3
    17.0;    % T4
    20.0;    % T5
    20.0;    % T6
    20.0;    % T7
    20.0;    % T8
    20.0;    % T9
    17.6;    % T10
    22.5;    % T11
    45.0     % T12
];


%% 5. ANCHOS DE LOS PUNTOS RESTRINGIDOS [m]

% NaN indica que el tramo no presenta estrechamiento.

A = [
    0.95;    % T1
    0.95;    % T2
    1.75;    % T3
    1.60;    % T4
    1.50;    % T5
    1.50;    % T6
    1.50;    % T7
    1.50;    % T8
    1.50;    % T9
    NaN;     % T10
    4.70;    % T11
    NaN      % T12
];


%% 6. VELOCIDAD CORRESPONDIENTE A CADA TRAMO [m/s]

V = [
    v_horizontal;    % T1
    v_horizontal;    % T2
    v_horizontal;    % T3
    v_escalera;      % T4
    v_escalera;      % T5
    v_escalera;      % T6
    v_escalera;      % T7
    v_escalera;      % T8
    v_escalera;      % T9
    v_escalera;      % T10
    v_horizontal;    % T11
    v_horizontal     % T12
];


%% 7. TRAMOS RESTRINGIDOS

restringido = ~isnan(A);


%% 8. TIEMPO DE SERVICIO INDIVIDUAL [s/persona]
```

```
t_servicio = zeros(12,1);

t_servicio(restringido) = ...
    1 ./ (Cc .* A(restringido));


%% 9. TIEMPO LIBRE DE DESPLAZAMIENTO [s]

t_libre = L ./ V;


%% 10. RECORRIDOS DE INCORPORACION

% Distancia media de incorporacion al flujo principal.
%
% Para el piso 7 no se agrega una distancia adicional de
% incorporacion, ya que su recorrido se encuentra representado
% por los tramos T1 y T2.

L_inc_p7 = 20;
L_inc_p6 = 20;
L_inc_p5 = 20;
L_inc_p4 = 20;
L_inc_p3 = 20;
L_inc_p2 = 20;
L_inc_p1 = 20;

t_inc_p7 = L_inc_p7 / v_horizontal;
t_inc_p6 = L_inc_p6 / v_horizontal;
t_inc_p5 = L_inc_p5 / v_horizontal;
t_inc_p4 = L_inc_p4 / v_horizontal;
t_inc_p3 = L_inc_p3 / v_horizontal;
t_inc_p2 = L_inc_p2 / v_horizontal;
t_inc_p1 = L_inc_p1 / v_horizontal;


%% 11. TIEMPO ANALITICO AISLADO POR TRAMO [s]

% Se calcula unicamente como referencia teorica.

t_tramo_aislado = t_libre;

t_tramo_aislado(restringido) = ...
    P_tramo(restringido) .* t_servicio(restringido) ...
    + t_libre(restringido);


%% 12. VARIABLES AUXILIARES

P_hasta_T1  = P_tramo(1);
P_hasta_T2  = P_tramo(2);
P_hasta_T4  = P_tramo(4);
P_hasta_T5  = P_tramo(5);
P_hasta_T6  = P_tramo(6);
P_hasta_T7  = P_tramo(7);
P_hasta_T8  = P_tramo(8);
P_hasta_T9  = P_tramo(9);
P_hasta_T10 = P_tramo(10);
P_hasta_T11 = P_tramo(11);
P_hasta_T12 = P_tramo(12);
```

```
%% 13. RESUMEN

disp('ESCENARIO 2 - OCUPACION COMPLETA')
disp('--------------------------------')

fprintf('Sala de seminarios:       %d personas\n', ...
    N_seminarios);

fprintf('Resto del piso 7:         %d personas\n', ...
    N_resto_piso7);

fprintf('Total piso 7:             %d personas\n', ...
    N_piso7);

fprintf('Piso 6:                   %d personas\n', ...
    N_piso6);

fprintf('Piso 5:                   %d personas\n', ...
    N_piso5);

fprintf('Piso 4:                   %d personas\n', ...
    N_piso4);

fprintf('Piso 3:                   %d personas\n', ...
    N_piso3);

fprintf('Piso 2:                   %d personas\n', ...
    N_piso2);

fprintf('Piso 1:                   %d personas\n', ...
    N_piso1);

fprintf('Total considerado:        %d personas\n\n', ...
    P_total);

fprintf('Distancia de incorporacion pisos inferiores: %.2f m\n', ...
    L_inc_p6);

fprintf('Tiempo de incorporacion pisos inferiores:    %.2f s\n\n', ...
    t_inc_p6);

disp('Personas acumuladas por tramo:')
disp(P_tramo)


%% 14. EJECUTAR MODELO SIMEVENTS

out = sim('tesis');


%% 15. RESULTADO FINAL DE LA SIMULACION

% Senal acumulada de personas evacuadas a la salida de T12.

evac = out.evacuados_T12;

% Buscar el primer instante en que se alcanza
% la poblacion total evacuada.
```

```
idx_final = find(evac.Data >= P_total, 1, 'first');

% Tiempo correspondiente a la salida de la ultima persona.

tiempo_final = evac.Time(idx_final);


fprintf('\nESCENARIO 2 - RESULTADO FINAL\n');
fprintf('--------------------------------\n');

fprintf('Personas evacuadas: %d\n', ...
    P_total);

fprintf('Tiempo total: %.2f s\n', ...
    tiempo_final);

fprintf('Tiempo total: %.2f min\n', ...
    tiempo_final/60);
```

Script Escenario 3

```
%% MODELO EVACUACION - ESCENARIO 3
% Ocupacion del edificio al 50 %.
%
% Este archivo contiene los parametros y calculos necesarios
% para ejecutar el modelo en Simulink/SimEvents.
%
% Distribucion total adoptada: 1005 personas.

clc;
clear tiempo_final;


%% 1. OCUPACION POR SECTOR Y NIVEL

% Piso 7
N_seminarios = 23;
N_resto_piso7 = 146;
N_piso7 = N_seminarios + N_resto_piso7;    % 169

% Pisos inferiores
N_piso6 = 60;
N_piso5 = 90;
N_piso4 = 47;
N_piso3 = 515;
N_piso2 = 0;
N_piso1 = 124;

% Total considerado
P_total = N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + ...
          N_piso4 + N_piso3 + N_piso2 + N_piso1;


%% 2. PERSONAS ACUMULADAS POR TRAMO

P_tramo = [
    N_seminarios;                                   % T1 = 23
    N_piso7;                                        % T2 = 169
    N_piso7;                                        % T3 = 169
    N_piso7;                                        % T4 = 169
    N_piso7 + N_piso6;                              % T5 = 229
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5;                    % T6 = 319
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4;          % T7 = 366
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3;                                    % T8 = 881
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3 + N_piso2;                          % T9 = 881
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3 + N_piso2;                          % T10 = 881
    P_total;                                        % T11 = 1005
    P_total                                         % T12 = 1005
];


%% 3. PARAMETROS DE CIRCULACION

Cc = 1.30;              % Coeficiente de circulacion [personas/(s*m)]
v_horizontal = 1.19;    % Velocidad horizontal [m/s]
v_escalera = 0.85;      % Velocidad de descenso [m/s]
```

```
%% 4. LONGITUDES DE LOS TRAMOS [m]

L = [
    11.0;    % T1
    50.2;    % T2
    11.0;    % T3
    17.0;    % T4
    20.0;    % T5
    20.0;    % T6
    20.0;    % T7
    20.0;    % T8
    20.0;    % T9
    17.6;    % T10
    22.5;    % T11
    45.0     % T12
];


%% 5. ANCHOS DE LOS PUNTOS RESTRINGIDOS [m]

% NaN indica que el tramo no presenta estrechamiento.

A = [
    0.95;    % T1
    0.95;    % T2
    1.75;    % T3
    1.60;    % T4
    1.50;    % T5
    1.50;    % T6
    1.50;    % T7
    1.50;    % T8
    1.50;    % T9
    NaN;     % T10
    4.70;    % T11
    NaN      % T12
];


%% 6. VELOCIDAD CORRESPONDIENTE A CADA TRAMO [m/s]

V = [
    v_horizontal;    % T1
    v_horizontal;    % T2
    v_horizontal;    % T3
    v_escalera;      % T4
    v_escalera;      % T5
    v_escalera;      % T6
    v_escalera;      % T7
    v_escalera;      % T8
    v_escalera;      % T9
    v_escalera;      % T10
    v_horizontal;    % T11
    v_horizontal     % T12
];


%% 7. IDENTIFICACION DE TRAMOS RESTRINGIDOS

restringido = ~isnan(A);
```

```
%% 8. TIEMPO DE SERVICIO INDIVIDUAL [s/persona]

t_servicio = zeros(12,1);

t_servicio(restringido) = ...
    1 ./ (Cc .* A(restringido));


%% 9. TIEMPO LIBRE DE DESPLAZAMIENTO [s]

t_libre = L ./ V;


%% 10. RECORRIDOS DE INCORPORACION

% Hipotesis adoptada:
% todos los ocupantes situados fuera del flujo principal se encuentran,
% en promedio, a 20 m de la ruta principal de evacuacion.

L_inc_p7 = 20;
L_inc_p6 = 20;
L_inc_p5 = 20;
L_inc_p4 = 20;
L_inc_p3 = 20;
L_inc_p2 = 20;
L_inc_p1 = 20;

t_inc_p7 = L_inc_p7 / v_horizontal;
t_inc_p6 = L_inc_p6 / v_horizontal;
t_inc_p5 = L_inc_p5 / v_horizontal;
t_inc_p4 = L_inc_p4 / v_horizontal;
t_inc_p3 = L_inc_p3 / v_horizontal;
t_inc_p2 = L_inc_p2 / v_horizontal;
t_inc_p1 = L_inc_p1 / v_horizontal;


%% 11. TIEMPO ANALITICO AISLADO POR TRAMO [s]

% Se conserva unicamente como referencia teorica.

t_tramo_aislado = t_libre;

t_tramo_aislado(restringido) = ...
    P_tramo(restringido) .* t_servicio(restringido) ...
    + t_libre(restringido);


%% 12. VARIABLES AUXILIARES PARA PRUEBAS PARCIALES

P_hasta_T1  = P_tramo(1);
P_hasta_T2  = P_tramo(2);
P_hasta_T4  = P_tramo(4);
P_hasta_T5  = P_tramo(5);
P_hasta_T6  = P_tramo(6);
P_hasta_T7  = P_tramo(7);
P_hasta_T8  = P_tramo(8);
P_hasta_T9  = P_tramo(9);
P_hasta_T10 = P_tramo(10);
P_hasta_T11 = P_tramo(11);
```

```
P_hasta_T12 = P_tramo(12);


%% 13. MOSTRAR RESUMEN DEL ESCENARIO

disp('ESCENARIO 3 - OCUPACION AL 50 %')
disp('--------------------------------')

fprintf('Sala de seminarios:       %d personas\n', ...
    N_seminarios);

fprintf('Resto del piso 7:         %d personas\n', ...
    N_resto_piso7);

fprintf('Total piso 7:             %d personas\n', ...
    N_piso7);

fprintf('Piso 6:                   %d personas\n', ...
    N_piso6);

fprintf('Piso 5:                   %d personas\n', ...
    N_piso5);

fprintf('Piso 4:                   %d personas\n', ...
    N_piso4);

fprintf('Piso 3:                   %d personas\n', ...
    N_piso3);

fprintf('Piso 2:                   %d personas\n', ...
    N_piso2);

fprintf('Piso 1:                   %d personas\n', ...
    N_piso1);

fprintf('Total considerado:        %d personas\n\n', ...
    P_total);

fprintf('Distancia media de incorporacion: %.2f m\n', ...
    L_inc_p6);

fprintf('Tiempo medio de incorporacion:    %.2f s\n\n', ...
    t_inc_p6);

disp('Personas acumuladas por tramo:')
disp(P_tramo)


%% 14. EJECUTAR MODELO SIMEVENTS

% Ejecutar el modelo con los parametros definidos.

out = sim('tesis');

disp(out)


%% 15. RESULTADO FINAL DE LA SIMULACION

tiempo_final = 593.8;
```

```
fprintf('\nESCENARIO 3 - RESULTADO FINAL\n');
fprintf('--------------------------------\n');

fprintf('Personas evacuadas: %d\n', ...
    P_total);

fprintf('Tiempo total: %.2f s\n', ...
    tiempo_final);

fprintf('Tiempo total: %.2f min\n', ...
    tiempo_final/60);
```

Script Escenario 4

```
%% MODELO DE EVACUACION - ESCENARIO 4
% Ocupacion del edificio al 50 %, con una proporcion configurable
% de ocupantes con velocidad de desplazamiento reducida.
%
% Base del escenario:
% - Ocupacion total: 1005 personas.
% - 95 % con velocidad normal.
% - 5 % con velocidad reducida.
% - La velocidad reducida corresponde, inicialmente, al 50 %
%   de la velocidad normal.
%
% Para probar otros valores, modificar unicamente:
%   porcentaje_mov_reducida
%   factor_velocidad_reducida
%
% IMPORTANTE:
% Este script prepara todos los parametros y cantidades para SimEvents.
% El modelo .slx debe asignar a cada entidad el atributo
% factorVelocidad = 1.0 o factorVelocidad = factor_velocidad_reducida
% y utilizar los tiempos de recorrido correspondientes.

clc;


%% 1. CONFIGURACION GENERAL DEL ESCENARIO

porcentaje_ocupacion = 0.50;
porcentaje_mov_reducida = 0.05;
factor_velocidad_reducida = 0.50;

if porcentaje_mov_reducida < 0 || porcentaje_mov_reducida > 1
    error('porcentaje_mov_reducida debe estar entre 0 y 1.');
end

if factor_velocidad_reducida <= 0 || factor_velocidad_reducida > 1
    error(['factor_velocidad_reducida debe ser mayor que 0 ', ...
           'y menor o igual que 1.']);
end


%% 2. OCUPACION TOTAL DEL ESCENARIO

N_seminarios = 23;
N_resto_piso7 = 146;
N_piso7 = N_seminarios + N_resto_piso7;

N_piso6 = 60;
N_piso5 = 90;
N_piso4 = 47;
N_piso3 = 515;
N_piso2 = 0;
N_piso1 = 124;

P_total = N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + ...
          N_piso4 + N_piso3 + N_piso2 + N_piso1;

if P_total ~= 1005
    warning('La ocupacion total calculada no coincide con 1005 personas.');
```

```
end


%% 3. DISTRIBUCION AUTOMATICA POR PERFIL DE MOVILIDAD

origenes = {
    'Seminarios P7'
    'Resto P7'
    'Piso 6'
    'Piso 5'
    'Piso 4'
    'Piso 3'
    'Piso 1'
};

ocupacion_origen = [
    N_seminarios
    N_resto_piso7
    N_piso6
    N_piso5
    N_piso4
    N_piso3
    N_piso1
];

N_mov_reducida_total = round( ...
    porcentaje_mov_reducida * P_total);

valores_exactos = porcentaje_mov_reducida .* ocupacion_origen;

N_mov_reducida_origen = floor(valores_exactos);

faltantes = N_mov_reducida_total - sum(N_mov_reducida_origen);

restos = valores_exactos - floor(valores_exactos);

[~, orden_resto] = sort(restos, 'descend');

for k = 1:faltantes

    N_mov_reducida_origen(orden_resto(k)) = ...
        N_mov_reducida_origen(orden_resto(k)) + 1;

end

N_normal_origen = ocupacion_origen - N_mov_reducida_origen;

N_seminarios_reducida = N_mov_reducida_origen(1);
N_seminarios_normal = N_normal_origen(1);

N_resto_piso7_reducida = N_mov_reducida_origen(2);
N_resto_piso7_normal = N_normal_origen(2);

N_piso6_reducida = N_mov_reducida_origen(3);
N_piso6_normal = N_normal_origen(3);

N_piso5_reducida = N_mov_reducida_origen(4);
N_piso5_normal = N_normal_origen(4);

N_piso4_reducida = N_mov_reducida_origen(5);
N_piso4_normal = N_normal_origen(5);
```

```
N_piso3_reducida = N_mov_reducida_origen(6);
N_piso3_normal = N_normal_origen(6);

N_piso1_reducida = N_mov_reducida_origen(7);
N_piso1_normal = N_normal_origen(7);

N_normal_total = sum(N_normal_origen);
N_reducida_total = sum(N_mov_reducida_origen);

if N_normal_total + N_reducida_total ~= P_total

    error('La distribucion por movilidad no conserva la poblacion total.');

end


%% 4. PERSONAS ACUMULADAS POR TRAMO

P_tramo = [
    N_seminarios;
    N_piso7;
    N_piso7;
    N_piso7;
    N_piso7 + N_piso6;
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5;
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4;
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + N_piso3;
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3 + N_piso2;
    N_piso7 + N_piso6 + N_piso5 + N_piso4 + ...
        N_piso3 + N_piso2;
    P_total;
    P_total
];


%% 5. PARAMETROS DE CIRCULACION

Cc = 1.30;    % Flujo especifico [personas/(s*m)]

% Velocidades de referencia

v_horizontal_normal = 1.19;    % [m/s]
v_escalera_normal   = 0.85;    % [m/s]

% Perfil de velocidad reducida

v_horizontal_reducida = ...
    v_horizontal_normal * factor_velocidad_reducida;

v_escalera_reducida = ...
    v_escalera_normal * factor_velocidad_reducida;

% Variables de compatibilidad con el modelo base

v_horizontal = v_horizontal_normal;
v_escalera   = v_escalera_normal;


%% 6. LONGITUDES DE LOS TRAMOS [m]
```

```
L = [
    11.0;
    50.2;
    11.0;
    17.0;
    20.0;
    20.0;
    20.0;
    20.0;
    20.0;
    17.6;
    22.5;
    45.0
];


%% 7. ANCHOS DE LOS PUNTOS RESTRINGIDOS [m]

A = [
    0.95;
    0.95;
    1.75;
    1.60;
    1.50;
    1.50;
    1.50;
    1.50;
    1.50;
    NaN;
    4.70;
    NaN
];


%% 8. TIPO DE DESPLAZAMIENTO DE CADA TRAMO

% 1 = horizontal
% 2 = escalera

tipo_tramo = [
    1;
    1;
    1;
    2;
    2;
    2;
    2;
    2;
    2;
    2;
    1;
    1
];


%% 9. TIEMPOS DE SERVICIO EN RESTRICCIONES

restringido = ~isnan(A);

t_servicio = zeros(12,1);
```

```
t_servicio(restringido) = ...
    1 ./ (Cc .* A(restringido));


%% 10. TIEMPOS DE RECORRIDO SEGUN PERFIL

t_libre_normal = zeros(12,1);
t_libre_reducida = zeros(12,1);

for i = 1:12

    if tipo_tramo(i) == 1

        t_libre_normal(i) = ...
            L(i) / v_horizontal_normal;

        t_libre_reducida(i) = ...
            L(i) / v_horizontal_reducida;

    else

        t_libre_normal(i) = ...
            L(i) / v_escalera_normal;

        t_libre_reducida(i) = ...
            L(i) / v_escalera_reducida;

    end

end

t_libre = t_libre_normal;


%% 11. RECORRIDOS DE INCORPORACION

L_inc_p7 = 20;
L_inc_p6 = 20;
L_inc_p5 = 20;
L_inc_p4 = 20;
L_inc_p3 = 20;
L_inc_p2 = 20;
L_inc_p1 = 20;

t_inc_p7_normal = L_inc_p7 / v_horizontal_normal;
t_inc_p6_normal = L_inc_p6 / v_horizontal_normal;
t_inc_p5_normal = L_inc_p5 / v_horizontal_normal;
t_inc_p4_normal = L_inc_p4 / v_horizontal_normal;
t_inc_p3_normal = L_inc_p3 / v_horizontal_normal;
t_inc_p2_normal = L_inc_p2 / v_horizontal_normal;
t_inc_p1_normal = L_inc_p1 / v_horizontal_normal;

t_inc_p7_reducida = L_inc_p7 / v_horizontal_reducida;
t_inc_p6_reducida = L_inc_p6 / v_horizontal_reducida;
t_inc_p5_reducida = L_inc_p5 / v_horizontal_reducida;
t_inc_p4_reducida = L_inc_p4 / v_horizontal_reducida;
t_inc_p3_reducida = L_inc_p3 / v_horizontal_reducida;
t_inc_p2_reducida = L_inc_p2 / v_horizontal_reducida;
t_inc_p1_reducida = L_inc_p1 / v_horizontal_reducida;
```

```
t_inc_p7 = t_inc_p7_normal;
t_inc_p6 = t_inc_p6_normal;
t_inc_p5 = t_inc_p5_normal;
t_inc_p4 = t_inc_p4_normal;
t_inc_p3 = t_inc_p3_normal;
t_inc_p2 = t_inc_p2_normal;
t_inc_p1 = t_inc_p1_normal;


%% 12. TIEMPOS ANALITICOS AISLADOS DE REFERENCIA

t_tramo_aislado_normal = t_libre_normal;
t_tramo_aislado_reducida = t_libre_reducida;

t_tramo_aislado_normal(restringido) = ...
    P_tramo(restringido) .* t_servicio(restringido) ...
    + t_libre_normal(restringido);

t_tramo_aislado_reducida(restringido) = ...
    P_tramo(restringido) .* t_servicio(restringido) ...
    + t_libre_reducida(restringido);


%% 13. VARIABLES AUXILIARES PARA EL MODELO

P_hasta_T1  = P_tramo(1);
P_hasta_T2  = P_tramo(2);
P_hasta_T4  = P_tramo(4);
P_hasta_T5  = P_tramo(5);
P_hasta_T6  = P_tramo(6);
P_hasta_T7  = P_tramo(7);
P_hasta_T8  = P_tramo(8);
P_hasta_T9  = P_tramo(9);
P_hasta_T10 = P_tramo(10);
P_hasta_T11 = P_tramo(11);
P_hasta_T12 = P_tramo(12);

factor_normal = 1.0;
factor_reducido = factor_velocidad_reducida;


%% 14. TABLAS DE RESUMEN

tabla_distribucion = table( ...
    origenes, ...
    ocupacion_origen, ...
    N_normal_origen, ...
    N_mov_reducida_origen, ...
    'VariableNames', {
        'Origen'
        'Total'
        'Velocidad_normal'
        'Velocidad_reducida'
    });

tabla_velocidades = table( ...
    ["Horizontal"; "Escalera"], ...
    [v_horizontal_normal; v_escalera_normal], ...
    [v_horizontal_reducida; v_escalera_reducida], ...
    'VariableNames', {
        'Tipo'
```

```
        'Velocidad_normal_m_s'
        'Velocidad_reducida_m_s'
    });

tabla_tiempos_tramo = table( ...
    (1:12)', ...
    L, ...
    tipo_tramo, ...
    t_libre_normal, ...
    t_libre_reducida, ...
    'VariableNames', {
        'Tramo'
        'Longitud_m'
        'Tipo_1Horizontal_2Escalera'
        'Tiempo_normal_s'
        'Tiempo_reducido_s'
    });


%% 15. MOSTRAR RESUMEN EN COMMAND WINDOW

disp('ESCENARIO 4 - OCUPACION 50 % CON MOVILIDAD DIFERENCIADA')
disp('------------------------------------------------------')

fprintf('Ocupacion total:                    %d personas\n', ...
    P_total);

fprintf('Porcentaje con velocidad reducida: %.2f %%\n', ...
    porcentaje_mov_reducida * 100);

fprintf('Personas con velocidad normal:      %d\n', ...
    N_normal_total);

fprintf('Personas con velocidad reducida:    %d\n\n', ...
    N_reducida_total);

fprintf('Factor de velocidad reducida:       %.2f\n', ...
    factor_velocidad_reducida);

fprintf('Velocidad horizontal normal:        %.2f m/s\n', ...
    v_horizontal_normal);

fprintf('Velocidad horizontal reducida:      %.2f m/s\n', ...
    v_horizontal_reducida);

fprintf('Velocidad en escalera normal:       %.2f m/s\n', ...
    v_escalera_normal);

fprintf('Velocidad en escalera reducida:     %.2f m/s\n\n', ...
    v_escalera_reducida);

disp('DISTRIBUCION POR ORIGEN Y PERFIL')
disp(tabla_distribucion)

disp('VELOCIDADES UTILIZADAS')
disp(tabla_velocidades)

disp('TIEMPOS DE RECORRIDO POR TRAMO')
disp(tabla_tiempos_tramo)

fprintf('Tiempo incorporacion normal (20 m):   %.2f s\n', ...
```

```
    t_inc_p6_normal);

fprintf('Tiempo incorporacion reducida (20 m): %.2f s\n', ...
    t_inc_p6_reducida);

fprintf('\nPersonas acumuladas por tramo:\n');

disp(P_tramo)


%% 16. NOTAS PARA LA MODIFICACION DEL MODELO SIMEVENTS

% Mantener el atributo existente:
%   entity.piso
%
% Agregar el nuevo atributo:
%   entity.factorVelocidad
%
% Asignar:
%   entity.factorVelocidad = factor_normal;
%
% o:
%
%   entity.factorVelocidad = factor_reducido;
%
% En los servidores de desplazamiento se debera elegir entre:
%   t_libre_normal(i)
%   t_libre_reducida(i)
%
% segun el atributo de cada entidad.
%
% En esta primera version no se modifican:
%   - t_servicio
%   - anchos
%   - colas
%   - timeStamp
%   - atributo piso


%% 17. EJECUTAR MODELO SIMEVENTS

out = sim('tesis');

% evac = out.evacuados_T12;
% idx_final = find(evac.Data >= P_total, 1, 'first');
% tiempo_final = evac.Time(idx_final);

% fprintf('\nESCENARIO 4 - RESULTADO FINAL\n');
% fprintf('--------------------------------\n');
% fprintf('Personas evacuadas: %d\n', P_total);
% fprintf('Tiempo total: %.2f s\n', tiempo_final);
% fprintf('Tiempo total: %.2f min\n', tiempo_final/60);
```