

# EVACUACIÓN SEGURA

## de personas en recintos de gran aforo *en caso de incendio*

En la Ingeniería de Protección contra Incendios y, por tanto, en el diseño de cualquier edificio, garantizar la seguridad de los ocupantes es un objetivo primordial. Una de las principales tareas a tener en cuenta será la evacuación de los ocupantes de los edificios, siendo de especial interés los edificios de gran aforo, en los que la gran densidad de personas puede dar lugar a taponamientos, avalanchas e incluso asfixias. Todo ello se produce tanto por las características del edificio, como por la reacción de los ocupantes ante situaciones anómalas o de peligro.

Por **FERNANDO ADELL PIJUÁN**. Estudiante. Universidad Pontificia Comillas (ICA). **PABLO AYALA SANTAMARÍA**. Investigador en Formación. Instituto de Investigación Tecnológica (IIT). Universidad Pontificia Comillas (ICA). **ALEXIS CANTIZANO GONZÁLEZ**. Profesor doctor. Instituto de Investigación Tecnológica (IIT). Universidad Pontificia Comillas (ICA). **CÁNDIDO GUTIÉRREZ MONTES**. Profesor Doctor. Universidad de Jaén (UJaén).

El artículo 11 del Código Técnico de la Edificación (CTE), al respecto de la evacuación de los ocupantes de un edificio establece: «El edificio dispondrá de los medios de evacuación adecuados para que los ocupantes puedan abandonarlo o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo en condiciones de seguridad». Para ello, es imprescindible tener en cuenta diferentes consideraciones tales como la ocupación, el número de salidas, la señalización o el sistema de control de humos, entre otras. En el caso de edificios de gran densidad ocupacional, y debido a la gran variedad de escenarios de





Latinstock



Latinstock

incendios posibles así como los complejos diseños que estas construcciones presentan, la predicción de la evacuación no es fácil, por lo que resulta imprescindible la realización de simulaciones del movimiento de los ocupantes bajo diferentes condiciones, además del estudio de la normativa pertinente. Actualmente, el diseño basado en prestaciones, encargado de cubrir los vacíos de la normativa en el diseño de la protección contra incendios, estudia la evacuación de los edificios por medio de la comparación del tiempo requerido para la evacuación y el tiempo disponible para la misma. Ambos conceptos son conocidos en el mundo anglosajón como RSET (Required Safe Egress Time) y ASET (Available Safe Egress Time). El primero, RSET, es el tiempo desde que el incendio comienza hasta que todos los ocupantes están a salvo del mismo. Por otro lado, el tiempo disponible para la evacuación, ASET, definido por la SFPE <sup>[1]</sup> como el tiempo desde que comienza el

incendio hasta que las condiciones del edificio son insostenibles, depende principalmente del escenario de incendio y de las medidas de protección contra incendios tomadas.

Todo lo que rodea al diseño basado en prestaciones está relacionado con el comportamiento real de las personas en caso de incendio, estudiando tanto los factores determinantes del incendio, así como la psicología del comportamiento humano (Fig. 1).

### **Comportamiento humano frente al fuego**

A principios del siglo XX se realizaron los primeros estudios de evacuación contra incendios <sup>[2,3]</sup>. Dichos estudios estudiaban principalmente el paso de personas a través de pasillos, puertas y escaleras, preocupándose por la densidad de ocupación y la velocidad de desplazamiento, donde se observó que ésta disminuye en caso de incendio y que depende de la edad de los ocupantes <sup>[1]</sup>. Sin



J. A. Molina. Universidad Pontificia Comillas



J. A. Molina. Universidad Pontificia Comillas

**Figura 1.** Ensayo de evacuación en ICAI (izquierda) y simulacro de incendio en la Universidad Pontificia Comillas (derecha).

embargo, no fue hasta finales del siglo XX <sup>[4]</sup>, con el modelo ORSET (*Occupant Response Shelter Escape Time*) cuando se consideró por primera vez el comportamiento humano como criterio de riesgo en la evacuación, apareciendo factores o conceptos hasta ese momento no valorados, como el tiempo de pre-movimiento o la visualización de las salidas de escape, entre otros. De esta forma, se recalcó la importancia de la distribución, el plano de planta y el diseño interior del edificio en el diseño de evacuación.

A mediados del siglo XX también comenzó a estudiarse la relación entre el fuego y la evacuación de personas <sup>[5]</sup>, donde se subrayó la relación entre el comportamiento social y el desarrollo de la evacuación. Un ejemplo fue el incendio de Arundel Park (1956), en el que las autoridades notaron que las personas que tenían conocidos dentro del edificio, volvían a entrar en el mismo para intentar salvarlas.

Por otro lado, a mediados de los años 70 se comenzó a tener en cuenta la movilidad de los ocupantes en estudios de edificios de gran altura <sup>[6-10]</sup>, considerando la necesidad de utilizar ascensores o refugios dentro del edificio durante la evacuación. Los estudios más importantes

al respecto fueron los realizados sobre la catástrofe de las Torres Gemelas de Nueva York, en el que se estimaron que hasta 3000 personas fueron salvadas gracias a un análisis de evacuación realizado años atrás en el que se propuso el uso de ascensores para la misma <sup>[11,12]</sup>.

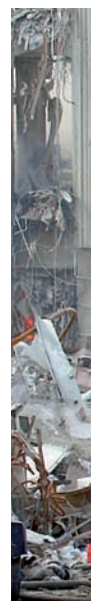
El tiempo de pre-movimiento, definido como el periodo de tiempo desde que el incendio se detecta hasta que los ocupantes comienzan a evacuar, se observó que tenía especial interés en edi-

ficios residenciales y hoteles <sup>[13]</sup>. Mediante su disminución, el número de víctimas en caso de incendio puede reducirse sensiblemente debido a la importancia del comienzo de la evacuación cuando el incendio todavía no está completamente desarrollado y no se han alcanzado las condiciones críticas del mismo.

Por último, hoy en día numerosos estudios sobre la evacuación van acompañados de simulaciones, pero la mayoría de esas simulaciones de evacuación



**Incendio de Arundel Park (1956), uno de los siniestros en cuyo estudio comenzaron a tenerse en cuenta la relación entre el fuego y la evacuación de personas.**



sólo consideran la distancia a las salidas, la velocidad y la capacidad de flujo a través de pasillos, puertas y escaleras <sup>[14]</sup>. Eso no es suficiente desde una perspectiva de seguridad, dado que se debe tener en cuenta también el comportamiento humano en los escenarios de evacuación <sup>[4]</sup>. Por tanto, se debe considerar además, la respuesta de las personas ante los diferentes escenarios de incendio, la ocupación y la actividad del edificio, los posibles patrones de movimiento y la visibilidad de las salidas así como de la señalización. Además, hay que añadir que la evacuación se debe desarrollar acorde al criterio del diseño, debe tener en consideración los posibles refugios durante la evacuación, la localización de los ocupantes, la llegada a las salidas y los flujos de personas a su paso por puertas y pasillos.

### Factores determinantes de la actuación frente al fuego

La actuación en la evacuación debe tener en cuenta principalmente tres factores, que serán los que determinen el grado de actuación en la evacuación fren-

### La evacuación debe desarrollarse acorde al criterio del diseño, considerar posibles refugios en su desarrollo, la localización de ocupantes, llegadas a salidas y los flujos

te a un incendio en un edificio. Estos son las características propias de un incendio, las de las personas y las del propio edificio en cuestión.

En primer lugar, el incendio en sí mismo puede afectar a las rutas de evacuación, teniendo que atender a su percepción, crecimiento y calor generado, producción de humo y toxicidad. El fuego puede ser percibido visualmente u olfativamente, ya sea percibiendo el olor a humo o por medio de la visibilidad directa de llamas y/o humo, e incluso por medios auditivos a través de las alarmas. Dicha percepción será la que nos muestre el retraso del comienzo de la evacuación, dado que cuanto más se tarde en percibir un incendio más se dilatará en el tiempo el comienzo de la evacuación; de ahí la importancia de un buen sistema de detección y alarma. En segundo lugar, el crecimiento del incendio marcará la rapidez con que se debe

realizar la evacuación, definiéndose los incendios como lentos, rápidos, o ultra rápidos, dependiendo del tipo combustible <sup>[15]</sup>. Respecto a la concentración de humo y su toxicidad, los individuos que atraviesen rutas de evacuación con humo tendrán una probabilidad más alta de perderse, teniendo incluso problemas respiratorios, problemas de visibilidad, e incluso, mostraran pánico, <sup>[16]</sup>. La concentración de humo suele traducirse en una reducción de la visibilidad <sup>[17]</sup>, y la toxicidad en irritación respiratoria <sup>[18]</sup>.

Por otro lado, los factores críticos humanos se pueden reducir a rasgos individuales, sociales y de las propias situaciones que acompañen al incendio. Los rasgos individuales se pueden reducir a la personalidad de las personas, al conocimiento y experiencia, a su capacidad de observación y juicio, y a su movilidad. La personalidad de los ocupantes está relacionada en vez de con la manera de actuar, líder o seguidor, que durante la evacuación se mostrará; con su capacidad de resistencia al estrés, se mostrará la capacidad de soportar el pánico; y la propia manera de ser, mostrándose a través de la capacidad de uno mismo para vencer los obstáculos. El poder de observación, que abarca la habilidad de ver, oír, oler y sentir, medirá la capacidad de percibir el peligro <sup>[19]</sup>; y según lo que perciba mostrará una u otra manera de actuar, el juicio, dependiendo también de su familiaridad con el edificio <sup>[20]</sup>. El último factor es el de movilidad, que está relacionado con la capacidad de movimiento: alta, temporalmente reducida, permanentemente reducida y movilidad dependiente. El factor social como valor crítico humano se puede presentar en el grado de confianza en el resto



En el atentado a las Torres Gemelas (Nueva York, 2001), 3.000 personas fueron salvadas gracias a un análisis de evacuación en el que se propuso el uso de ascensores para la misma.

de gente implicada en la evacuación, así como los roles o responsabilidades que se tengan. Se deberían involucrar a las personas entrenadas responsables de la evacuación, que deberán ser reconocidas por medio audio-visual <sup>[11]</sup>. También, los rasgos de la situación, dentro de los factores humanos, son los relacionados con la percepción, la posición física (parado o en movimiento) y la familiaridad con la distribución del edificio. La percepción del incendio puede estar reducida por el consumo del alcohol, drogas o narcóticos <sup>[21]</sup>; se demostró que los ocupantes en constante actividad evacuan antes que los que están sentados o parados, en cuanto a la posición física <sup>[22]</sup>; y por último, la familiaridad con el edificio ayuda a escoger la ruta de escape más rápida y segura <sup>[2]</sup>.

Los factores ambientales del propio edificio afectan al nivel de respuesta frente al fuego. Los dos factores críticos que determinarán dicha respuesta son la situación y las instalaciones de protección contra incendios. Los rasgos de la situación agrupan la densidad de ocupación, la facilidad de encontrar rutas de escape, la presencia de un punto de partida y la existencia de un equipo de evacuación. La cantidad de gente que se encuentra dentro del edificio, densidad de ocupación, está directamente relacionada con la probabilidad de muertes en caso de incendios <sup>[22]</sup>. Por otro lado, la facilidad de encontrar rutas de escape se caracterizan por el acceso visual, la diferenciación arquitectónica entre diferentes partes de un edificio, su distribución, la familiaridad con el edificio y la presencia de señalización, siendo esta última de especial importancia para una evacuación segura <sup>[23]</sup>. El punto de partida es



importante en edificios tales como teatros, universidades o colegios, donde los actores o profesores, respectivamente, serán los responsables de que el resto de personas comiencen su movimiento <sup>[22]</sup>. Los rasgos propios del edificio determinarán la respuesta a la actuación dependiendo de su distribución, materiales, compartimentación y tamaño del propio edificio. Los parámetros relacionados con la distribución son las rutas de escape señalizadas, el diseño de esas rutas y la localización de las salidas y de las escaleras de emergencia. Muchos resultados de investigaciones han concluido que la capacidad de las salidas es de 650 personas por minuto y metro <sup>[24]</sup>. Además, la instalación de barreras físicas que impidan la propagación del humo evitando que invada las rutas de evacuación, junto con las instalaciones de protección contra incendios, se consideran como los principales componen-

tes para una evacuación segura. Gracias a estas últimas, se evacuará el humo (extractores), se apagará/controlará el incendio y su crecimiento (rociadores), o se detectará el incendio (detección), entre otros. La compartimentación hará posible la evacuación por escaleras o ascensores, según las necesidades del edificio. Los materiales combustibles deben evitar ser acumulados en rutas de escape para evitar la propagación de incendios, en las mismas, durante la evacuación.

### La evacuación vista desde la psicología del comportamiento

Existen muchas contradicciones en el diseño de la seguridad de edificios en cuanto se refiere a la construcción y gestión del edificio, donde las normativas tienen en cuenta los criterios técnicos y sociales, y su eficiencia se mide en función de las defunciones en caso de incendio. La gran parte de las muertes aparecen en las casas o apartamentos y en edificios de gran densidad de ocupación, como discotecas o centros comerciales <sup>[25]</sup>. La normativa, de esta for-

**Los rasgos propios del edificio determinarán la respuesta a la actuación, dependiendo de su distribución, materiales, compartimentación y tamaño.**

ma, considera que los factores que principalmente afectan al número de muertes son la alta ocupación, la presencia de alta densidad de combustible (decorados) y la inexistencia de salidas de emergencias. Otro punto importante que apunta la normativa es la señalización, cuidando el color (verde), los pictogramas y la localización de las mismas, así como la ruta a seguir en caso de incendio. Sin embargo, se ha demostrado que muchas de las personas que sobreviven a un incendio suelen abandonar el edificio por las rutas que conocen <sup>[20]</sup>. Otro ejemplo de estas contradicciones es la asunción de la normativa sobre el hecho de que al sonar una alarma los ocupantes comienzan a moverse, lo cual casi nunca ocurre <sup>[1,26]</sup>.

Por tanto, Kobes *et al.* <sup>[27]</sup> propone introducir aspectos de la psicología del comportamiento tales como factores sociales, individuales, de movilidad, consciencia del incendio o motivación de las personas que evacuen. De esta forma, se propone que exista una influencia recíproca entre el comportamiento del incendio y las personas, así como de las características de las personas y el edificio. Esto es, atender a la consciencia de la existencia de un incendio y al conocimiento del edificio, atender a las alarmas, por qué evacuar por una ruta u otra, etc. <sup>[28]</sup>. Es necesario centrarse en el estudio de las personas ante situaciones de una fuerte carga de estrés producidas por un incendio <sup>[29]</sup>.

Para implementar este enfoque, el edificio debe ser diseñado tal que en caso de incendio los ocupantes puedan llegar a un refugio antes de que las condiciones generadas por el mismo no sean compatibles con la supervivencia. Así se introducen, tal y como se ha comentado anteriormente, los conceptos de ASET (*Available Safe Egress Time*) y RSET (*Required Safe Egress Time*) <sup>[10]</sup>. El ASET depende principalmente de los escenarios de incendio y de la supresión de los mis-

mos, que dependen de la dinámica de incendios y del edificio en sí. Y por otro lado, el RSET depende de los escenarios de evacuación, que se basan en el conocimiento del comportamiento psicológico ante los mismos.

## Materiales y Metodología

Con este estudio se ha pretendido mejorar la evacuación de los ocupantes de edificios de gran aforo en caso de incendio, y de esta forma, garantizar la seguridad de los mismos. Para ello, se ha estudiado el comportamiento del humo y del incendio en escenarios de gran volumen. Y también, el comportamiento de personas cuando la ocupación sea elevada bajo condiciones normales y en caso de incendio.

Se han evaluado diferentes códigos numéricos específicos para la simulación del movimiento de personas, y se ha empleado el código libre que agrupa FDS, programa más usado en el campo de la protección contra incendios para la simulación de incendios, y EVAC, módulo específico para evacuación.

Por tanto, se han realizado una serie de ensayos de evacuación, bajo condiciones de visibilidad nula, en el Aula Pé-

rez del Pulgar de la Universidad Pontificia Comillas (ICAI). Esta sala de conferencias cuenta con dos salidas, por lo que se aprovechará este hecho para estudiar el proceso de toma de decisión de salida de los individuos en una evacuación. De hecho, y debido a la poca disponibilidad de salas donde poder realizar estos ensayos, se optó por aprovechar el hecho de que toda la comunidad universitaria conocía el Aula, y así ensayar casos con visibilidad nula. De esta forma, el estudio se ha centrado principalmente en la respuesta de los sujetos que, conociendo la única vía de escape, tienen que atravesar condiciones sostenibles de humo para poder alcanzar la salida.

Los sujetos han sido elegidos entre los alumnos de la Universidad Pontificia Comillas, así como del profesorado, atendiendo a su edad y género. También se ha estudiado su comportamiento tanto grupal como individual, tratando de recoger o cuantificar aspectos psicológicos como la respuesta colaborativa, el posible liderazgo o incluso el sentimiento de desorientación.

La lista de ensayos realizados se muestra en las tablas 1, 2 y 3. Se ha dividido en tres fases diferentes. En la primera fase (tabla 1) se buscaban los valores medios base del tiempo en cruzar la sala, a nivel

Tabla 1.

Nº	Integrantes del ensayo	Descripción	Información adicional
1	Hombre	Cruzar la sala	Repetibilidad: sexo
2	Hombre		
3	Hombre		
4	Mujer		
5	Mujer		
6	Mujer		
7	Hombre	Desorientación	Repetibilidad: sexo
8	Hombre		
9	Hombre		
10	Mujer		
11	Mujer		
12	Mujer		

**Tabla 2.**

Nº	Integrantes del ensayo	Descripción	Información adicional
13	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar la sala	Condiciones base
14	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar la sala	Alarma. Con la obligación de llegar todos juntos
15	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar la sala	Alarma y obstáculos móviles
16	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Dos puertas abiertas
17	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Puerta cerrada y vuelta al punto de partida
18	2 hombres, 2 mujeres	Desorientación	Con obstáculos de personas

**Tabla 3.**

Nº	Integrantes del ensayo	Descripción	Información adicional
19	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Condiciones base
20	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Alarma. Con la obligación de llegar todos juntos
21	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Alarma y obstáculos móviles
22	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Dos puertas abiertas
23	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Puerta cerrada y vuelta al punto de partida
24	2 hombres, 2 mujeres	Desorientación	Con obstáculos de personas

individual, por sexo y teniendo en cuenta también aspectos de desorientación dentro del Aula. Para esto último, se guiaron a los sujetos a través de la sala, tratando de producirles esa sensación de desorientación dentro la misma.

En una segunda fase (tabla 2), se realizaron ensayos con grupos. Aquí, además se añadieron otros factores como la

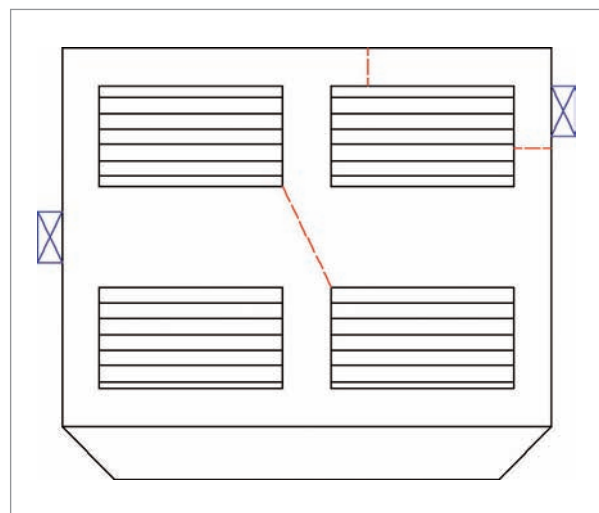
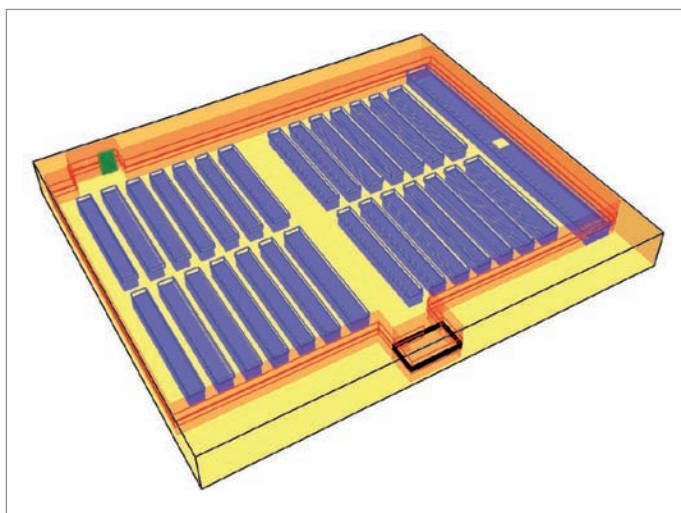
alarma y distintos tipos de obstáculos. En un primer caso, obstáculos que podían superar fácilmente y algunos en los que el camino quedaba bloqueado. Por otro lado también se ensayó el aspecto colaborativo y las decisiones, según la desorientación, sobre el camino más corto hacia la salida. En estas dos primeras fases, la edad media fue de 21,5 años.

En esta tercera fase (tabla 3) se repitieron los ensayos anteriores, pero esta vez, con una población de mayor edad (una media de 44,7 años).

Con respecto a las simulaciones numéricas, la sala se ha modelado tal y como se representa en la figura 2. También se muestran los obstáculos realizados con personas (líneas en rojo), que suponían una situación de bloqueo.

Además, para recoger la opinión y sentimientos de los sujetos que han realizado los ensayos se ha realizado una encuesta que trata de recoger los aspectos más relevantes. Las preguntas realizadas a los participantes de los ensayos individuales fueron las siguientes:

1. Nivel de estrés provocado por la ausencia de visión: (1=nada, 5=mucho).
2. ¿Su nivel de estrés se fue reduciendo a medida que iban avanzando los ensayos? (1=nada, 5=mucho).
3. ¿Intentaba salir siempre a la máxima velocidad? (1=no, 5=sí).
4. ¿Se sintió agobiado por la situación? (1=nada, 5=mucho).
5. ¿Se sintió desorientado al empezar en una posición aleatoria de la sala? (1=nada, 5=mucho).
6. ¿Cree que hubiera tardado menos en caso de ir acompañado de alguien?



**Figura 2.** Modelo del Aula Pérez del Pulgar de la Universidad Pontificia Comillas (ICAI). En rojo discontinuo los obstáculos fijos formados por personas.

(1=no, hubiera tardado lo mismo, 5=si, hubiera tardado mucho menos).

Las preguntas que constituyen la encuesta para los participantes de los grupos son:



1. Nivel de estrés provocado por el sonido de la alarma: (1=ninguno, 5=muchísimo).
2. ¿Se sintió mejor huyendo en grupo y colaborando? (1=nada, mejor sólo, 5=muchísimo).
3. ¿Cree que hubiera tardado más en salir si hubiese estado sólo? (1=no, hubiera tardado lo mismo, 5=hubiera tardado mucho más).
4. ¿Prefirió seguir a alguien o liderar a otros? (1=seguir, 5=liderar).
5. ¿Se sintió agobiado por la situación? (1=nada, 5=muchísimo).
6. ¿Se sintió desorientado cuando cada individuo empezaba en una posición distinta? (1=nada, 5=muchísimo).
7. ¿Dio indicaciones al resto de individuos durante el ensayo? (1=nada, 5=ayudé en todo lo posible).
8. ¿Intentaba salir siempre a la máxima velocidad? (1=no, 5=sí).

9. ¿Tomó el comportamiento de otros como referencia? (1=nada, 5=muchísimo).
10. ¿Su nivel de estrés se fue reduciendo a medida que iban avanzando los ensayos? (1=nada, 5=muchísimo).

## Resultados

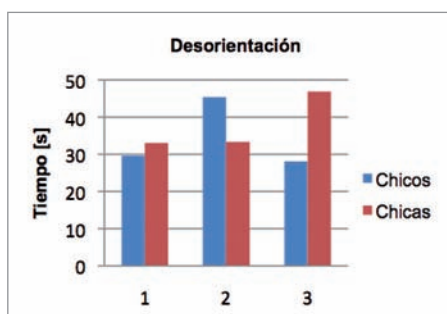
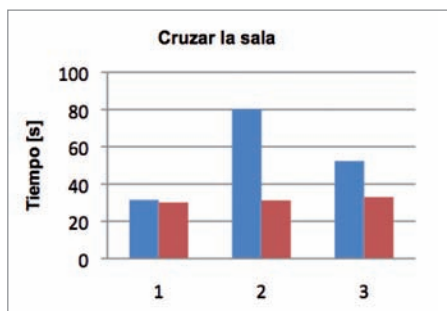
Los resultados obtenidos se han dividido principalmente en tres partes: una primera parte donde se muestran los resultados de los ensayos de evacuación, una segunda donde se contrastan con los modelos numéricos obtenidos mediante FDS+EVAC y una tercera donde se recogen los resultados de las encuestas realizadas por los participantes.

Con respecto a los ensayos realizados, se recogen en la tabla 4 los tiempos generados para alcanzar la salida en las

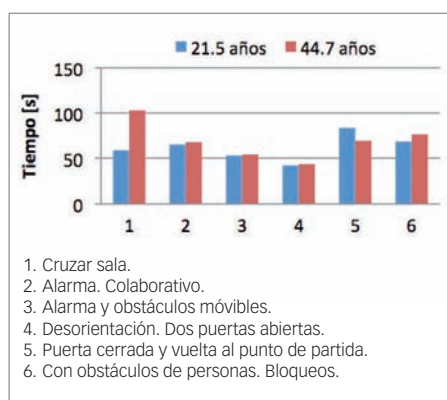
Tabla 4.

Nº	Integrantes del ensayo	Descripción	Información adicional	Tiempos [s]
1	Hombre	Cruzar la sala	Repetibilidad: sexo	31,43
2	Hombre			80,15
3	Hombre			52,32
4	Mujer			30,12
5	Mujer			31,22
6	Mujer			32,98
7	Hombre	Desorientación	Repetibilidad: sexo	29,61
8	Hombre			45,37
9	Hombre			28,08
10	Mujer			33,05
11	Mujer			33,34
12	Mujer			46,87
13	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Condiciones base	58,86
14	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Alarma. Colaborativo	65,14
15	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Alarma y obstáculos móviles	52,89
16	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Dos puertas abiertas	42,66
17	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Puerta cerrada y vuelta al punto de partida	83,52
18	2 hombres, 2 mujeres	Desorientación	Con obstáculos de personas	68,45
19	7 hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Condiciones base	102,89
20	7 Hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Alarma. Colaborativo	67,79
21	7 Hombres, 3 mujeres	Cruzar sala	Alarma y obstáculos móviles	54,08
22	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Dos puertas abiertas	44,16
23	7 hombres, 3 mujeres	Desorientación	Puerta cerrada y vuelta al punto de partida	69,26
24	2 hombres, 2 mujeres	Desorientación	Con obstáculos de personas	76,32





**Figura 3.** Representación gráfica de los tiempos generados en los ensayos individuales.



1. Cruzar sala.
2. Alarma. Colaborativo.
3. Alarma y obstáculos móviles.
4. Desorientación. Dos puertas abiertas.
5. Puerta cerrada y vuelta al punto de partida.
6. Con obstáculos de personas. Bloqueos.

**Figura 4.** Representación gráfica de los tiempos generados en los ensayos grupales.

condiciones establecidas. En los casos de grupos, el tiempo que se da es el que recoge la evacuación completa de todos los integrantes.

Los resultados anteriores se muestran en las figuras 3 y 4, con fin de que la comparativa sea más fácil.

También, se muestran algunas imágenes de los ensayos realizados (Figuras 5, 6 y 7).

Se han realizado numerosas simulaciones del Aula Pérez del Pulgar con diferentes escenarios de humo, tal y como se aprecia en la figura 8. Se ha comprobado siempre que los resultados numéricos obtenidos exceden los valores medidos en los experimentos y que por tanto requieren de una validación inicial, siempre dependiente de la población.

Con respecto a las encuestas, se han comparado sobre todos los resultados obtenidos entre los grupos, atendiendo a la edad. En la figura 9 se pueden comparar los resultados obtenidos por cada uno de las preguntas realizadas.

## Discusión

A partir de los ensayos realizados y las respuestas recogidas en las encuestas, se observó la dificultad de percibir en un ensayo de este tipo la situación de peligro. El estrés que los participantes confesaron tener durante la realización de los mismos fue bajo, a pesar de la ausencia de visibilidad, la fuerte alarma sonora a la que se vieron sometidos



**Figura 5.** Ensayo con grupo.



**Figura 6.** Ensayo con grupo, de forma colaborativa.



**Figura 7.** Ensayo con grupo: desorientación.

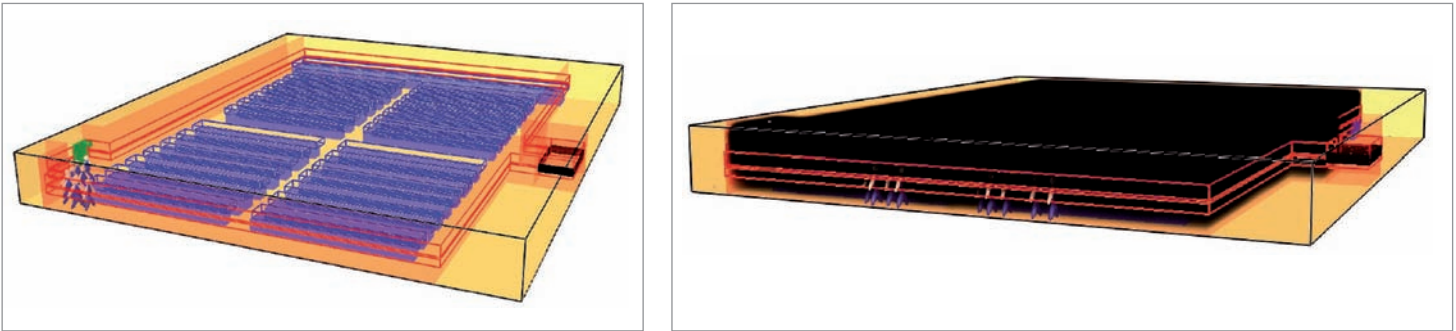


Figura 8. Simulación del proceso de evacuación de la sala sin y con visibilidad nula, mediante el software FDS+EVAC.

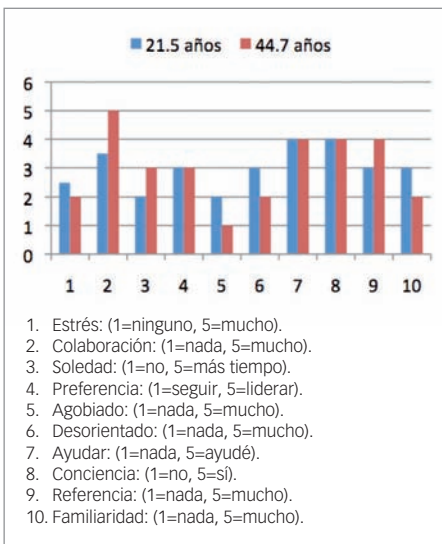


Figura 9. Simulación del proceso de evacuación de la sala sin y con visibilidad nula, mediante el software FDS+EVAC.

do en las respuestas a las preguntas 2 (¿Se sintió mejor huyendo en grupo y colaborando?) y 9 (¿Tomó el comportamiento de otros como referencia?).

La familiaridad alcanzada tras la repetición de los ensayos es un factor muy presente en los tiempos alcanzados durante los tres primeros ensayos. De hecho, el menor tiempo se alcanza con los obstáculos, cuando debería aumentar. Esto confirmaría la importancia del grado de familiaridad con las rutas de evacuación.

Debido a la forma de la sala y a las filas de asientos que contiene, fue difícil

generar un buen grado de desorientación. De hecho, ellos confiesan en la encuesta que esta no fue elevada. Aún así, en esta prueba, todos podían salir por ambas puertas y solamente un sujeto fue el que eligió la ruta más corta. De nuevo, el grado de familiaridad y la conducta aprendida durante los ensayos previos tuvo más relevancia que el buscar la salida en el tiempo más corto.

Los tiempos generados por los modelos numéricos, con sus valores promedio, siempre fueron mucho mayores que los obtenidos en todos los ensayos. Esto refleja la dificultad de la modeliza-

y la posibilidad de encontrar obstáculos que a su paso que dificultaran su salida. De hecho, esta es una de las principales críticas a todos los ensayos de evacuación, donde el grado de realidad siempre se aleja bastante de una posible situación real.

El grado de colaboración entre los sujetos se valoró como mucho más importante en la población de mayor edad y, de hecho, así se confirmó durante los ensayos. En el grupo de profesores se actuó siempre ofreciendo mensajes de ayuda y tratando de guiar al resto de los participantes. Además, este hecho también se confirma en el valor mayor alcanza-



### Los ensayos muestran que el nivel de colaboración crece en la gente de mayor edad, lo que hace que la evacuación fluya de forma menos caótica y se reduzca el nivel de estrés

ción de este tipo de situaciones, ya que requeriría siempre de una validación previa con el fin de ajustar velocidades o incluso edades, para las posibles situaciones o escenarios que pudieran estudiarse.

Además, se observaron varias situaciones que los modelos numéricos no lograron reflejar. Por un lado, fue difícil recoger un patrón que se repitió en casi todos los ensayos. Cuando los sujetos tocaban las paredes del aula, su velocidad siempre aumentaba a pesar de que pudieran encontrar obstáculos adicionales. Esto refleja, de nuevo, su familiaridad con la ruta de evacuación y confirma su dificultad de esperar o imaginar situaciones inesperadas durante el ensayo.

En casi todos los ensayos se establecieron vínculos entre algunos de los sujetos. Este sentimiento colaborativo, como ya ha sido mencionado anteriormente, fue mucho más importante entre la población mayor. De hecho, la comunicación entre los participantes sirvió de ayuda, como por ejemplo, en el ensayo en que la puerta estaba bloqueada; algunos no tuvieron que llegar a la misma ya que tras el aviso de los que habían llegado primero, iniciaron el regreso hacia el punto de partida. La comunicación entre los sujetos es algo que de momento el programa no recoge y que resultaría fundamental para este tipo de situaciones.

## Conclusiones

El estudio experimental y numérico de la evacuación de los ocupantes en edificios de gran aforo, y más concretamente, en salas de conferencias ha demostrado

interesantes resultados a considerar en los diseños de evacuación de diversos edificios.

Los ensayos aquí mostrados así como el análisis de las simulaciones realizadas a lo largo de este proyecto han arrojado resultados tanto esperados, confirmados por el estudio de la literatura, como novedosos. Se observó y posteriormente se comprobó mediante la encuesta realizada, que someter a un nivel de estrés alto a los participantes de este tipo de ensayos es de gran complejidad a pesar de la ausencia de visibilidad, señales acústicas (alarmas estridentes) y de la posibilidad de la aparición de imprevistos durante la evacuación (obstáculos). Todo ello hace que la realización de ensayos que reflejen situaciones reales es de difícil desarrollo.

Los ensayos han mostrado que el nivel de colaboración aumenta en la gente mayor edad, lo que hace que la evacuación fluya de forma menos caótica, y hace que el nivel de estrés de los ocupantes sea menor, por lo que sería conveniente fomentar la cooperación entre las personas en este tipo de incidentes para una evacuación segura. Además, la familiaridad del edificio es un factor clave para una rápida evacuación. El hecho de que los ocupantes sepan la localización de las principales salidas así como de las rutas de evacuación reduce el tiempo de evacuación a pesar de la aparición de obstáculos imprevistos. Y finalmente, el aprendizaje de conductas de actuación generadas por la repetibilidad de ensayos reduce aún más el tiempo de evacuación, por lo que la realización de simulacros de incendio ayuda no sólo a verificar los planes de evacuación, sino que simultáneamente favorece el conocimiento en mayor detalle de la actuación en caso de incendio.



Latinstock



Por otro lado, los modelos numéricos han mostrado que los valores promedios de evacuación fueron conservadores con los observados en los ensayos. Por tanto, un estudio en profundidad del ajuste de velocidades según edad y sexo para las posibles situaciones o escenarios de incendio debe ser realizado. Además, una velocidad uniforme en cualquier escenario puede no corresponderse con la realidad. Por ejemplo se ha observado en los ensayos que la velocidad de los ocupantes variaba si estaban o no en contacto con las paredes, aumentando en este caso.

En resumen, este estudio ha mostrado que diferentes perfiles de comporta-

miento pueden ayudar a una evacuación exitosa, tales como la familiarización o la cooperación entre los ocupantes. Al mismo tiempo, se ha mostrado que la realización de ensayos que reflejen situaciones reales es muy complicado dado que alcanzar el nivel de estrés para entrar en pánico requiere generar situaciones en que el individuo vea peligrar su integridad física. Y por último, se ha observado que en el campo numérico todavía existe mucho desarrollo que realizar. ■

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado gracias a una ayuda a la investigación concedida por Fundación MAPFRE.

## Referencias

- [1] Engineers S of FP. SFPE. 3rd ed. Quincy, MA USA: National Fire Protection Association; 2002.
- [2] O'Connor, D.J. Integrating Human Behavior Factors Into Design. *J Fire Prot Eng* 2005;28:8–20.
- [3] Tong D, Canter D. The decision to evacuate: a study of the motivations which contribute to evacuation in the event of fire. *Fire Saf J* 1985;9:257–65.
- [4] Sime JD. An occupant response shelter escape time (ORSET) model. *Saf Sci* 2001;38:109–25.
- [5] Bryan, J.L. A selected historical review of human behavior in fire. *J Fire Prot Eng* 2002;16:4–10.
- [6] Fahy RF, Proulx G. Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling 2001.
- [7] Boyce KE, Shields TJ, Silcock GWH. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Prevalence, Type, and Mobility of Disabled People. *Fire Technol* 1999;35:35–50.
- [8] Boyce KE, Shields TJ, Silcock GWH. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capabilities of Disabled People Moving Horizontally and on an Incline. *Fire Technol* 1999;35:51–67.
- [9] Boyce KE, Shields TJ, Silcock GWH. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of Disabled People to Negotiate Doors. *Fire Technol* 1999;35:68–78.
- [10] Boyce KE, Shields TJ, Silcock GWH. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of People with Disabilities to Read and Locate Exit Signs. *Fire Technol* 1999;35:79–86.
- [11] Galea E, et al. Investigating the Impact of Occupant Response Time on Computer Simulations of the WTC North Tower Evacuation. *Interflam 11th Int Fire Sci Eng Conf 3-5 Sept 2007 R Holloway Coll Univ Lond UK* 2007:1435–97.
- [12] Proulx G. High-rise office egress: the human factors 2007.
- [13] Purser DA, Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Saf Sci* 2001;38:157–82.
- [14] Gwynne S, Galea ER, Owen M, Lawrence PJ, Filippidis L. A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Build Environ* 1999;34:741–9.
- [15] Tang D, Beattie K. Integrated Prediction of Fire, Smoke and Occupants Evacuation of Buildings 2004.
- [16] Gwynne S, Galea ER, Lawrence PJ, Filippidis L. Modelling occupant interaction with fire conditions using the building EXODUS evacuation model. *Fire Saf J* 2001;36:327–57.
- [17] Nagai R, Nagatani T, Isobe M, Adachi T. Effect of exit configuration on evacuation of a room without visibility. *Phys Stat Mech Its Appl* 2004;343:712–24.
- [18] Irvine DJ, McCluskey JA, Robinson IM. Fire hazards and some common polymers. *Polym Degrad Stab* 2000;67:383–96.
- [19] Graham TL, Roberts DJ. Qualitative overview of some important factors affecting the egress of people in hotel fires. *Int J Hosp Manag* 2000;19:79–87.
- [20] Løvs GG. Models of wayfinding in emergency evacuations. *Eur J Oper Res* 1998;105:371–89.
- [21] Bruck D. The who, what, where and why of waking to fire alarms: a review. *Fire Saf J* 2001;36:623–39.
- [22] Sandberg, A. Unannounced Evacuation of Large Retail-Stores. An Evaluation of Human Behaviour and the Computer Model Simulex. Lund: Lund University; 1997.
- [23] Benthorn L, Frantzich H. Fire alarm in a public building: how do people evaluate information and choose an evacuation exit? *Fire Mater* 1999;23:311–5.
- [24] Frantzich H. A model for performance-based design of escape routes 1994.
- [25] Tubbs, J.L. Developing Trends from Deadly Fire Incidents: A Preliminary Assessment. Westborough, MA: ARUP; 2004.
- [26] Proulx G, Richardson JK. The Human factor?: building designers often forget how important the reactions of the human occupants are when they specify fire and life safety systems. *Can Consult Eng* 2002;3:35–6.
- [27] Kobes M, Helsloot I, de Vries B, Post JG. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Saf J* 2010;45:1–11.
- [28] Groner NE. Intentional systems representations are useful alternatives to physical systems representations of fire-related human behavior. *Saf Sci* 2001;38:85–94.
- [29] Groner, N.E. On putting the cart before the horse: design enables the prediction of decisions about movement in buildings. NIST, USA: Proceeding for the NIST Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies; 2004.