

# Evacuaciones de emergencia con baja visibilidad

Patricio Montaron<sup>1</sup>, Fernando E. Cornes<sup>1</sup>, Ignacio M. Sticco<sup>1</sup>, Guillermo A. Frank<sup>2</sup>, Claudio O. Dorso<sup>1,3</sup>

*1 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física, Pabellón I, Ciudad Universitaria, (C1428BFA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina*

*2 Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Unidad de Investigación y Desarrollo de las Ingenierías, Av. Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina*

*3 Instituto de Física de Buenos Aires, Pabellón I, Ciudad Universitaria, (C1428BFA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina*

*guillermo.frank@gmail.com*

*Recibido el 31 de enero de 2023, aprobado el 13 de febrero de 2023*

## Resumen

La reducción parcial o total de la visión de la salida (humo, falta de luz, etc.) durante una evacuación de emergencia, puede afectar gravemente las posibilidades de escape. En este contexto, las personas intentan hallar la salida “a ciegas” por todo el recinto, o bien, intentan alcanzar puntos de referencia que los guíen a la salida. En cualquier caso, se trata de cambios de comportamientos intuitivos para salir del peligro rápidamente.

En esta investigación se analizan tres tipos de comportamientos durante una evacuación con visibilidad reducida. Para ello, se realizan simulaciones numéricas utilizando el Modelo de Fuerza Social. Se estudian las situaciones en que los individuos “deambulan” por el recinto, o bien, siguen una pared, o bien, encuentran un guía que les indique la salida. Las principales conclusiones son: (1) seguir una pared mejora los tiempos de evacuación respecto de deambular por el recinto. (2) el rol de un guía puede ser útil únicamente si no genera congestionamientos en la salida. Este no sería el caso si los individuos tienen un altísimo nivel de ansiedad, y sólo sería útil para niveles de ansiedad moderados.

**PALABRAS CLAVE:** EVACUACIÓN DE EMERGENCIA – VISIBILIDAD - MODELO DE FUERZA SOCIAL

## Abstract

Low visibility is known to reduce the chances of survival in an emergency evacuation. People trying to escape may “blindly” search their way out of the room, or at least find a reference point to follow (say, a wall), or if possible, search for someone that knows the way to the exit. In any case, these are all intuitive behaviors for getting out as soon as possible.

This investigation analyzes three pedestrian behaviors in the context of the Social Force Model. We studied situations in which individuals move “randomly” around the room, or try to follow a wall, or perhaps, they are able to ask a “guide” who can show her/him the way out. We arrived at the major conclusions: (1) following a wall improves the evacuation performance compared to random walking behavior. (2) the role of a “guide” may be useful in those situations where there are no possibilities of congestion near the exit. This is the case for individuals attaining moderate to low anxiety levels.

**KEYWORDS: EMERGENCY EVACUATION – VISIBILITY - SOCIAL FORCE MODEL**

## Introducción

El tiempo de evacuación ante una situación de emergencia es un factor determinante en las probabilidades reales que tengan los individuos de sobrevivir. La falta de un plan de salida claro es uno de los principales enemigos de la evacuación (como ocurrió en la tragedia de Cromañon, 2004). El humo o falta de luz no sólo reducen la visibilidad de la salida, sino que provocan cambios en el comportamiento de los individuos que huyen (Harlan Stone, *et al*, 1967 y Marzar, 2010). La pérdida de orientación o del estado de lucidez es muy común en ambientes con humo o concentraciones importantes de gases tóxicos. Se estima que estos cambios de conducta pueden ocurrir en lapsos de tiempo de pocos minutos o menos (Frank y Dorso, 2014).

Existe evidencia experimental de que, ante una situación de emergencia con baja visibilidad, muchos individuos no buscan la salida libremente, sino que siguen una pared cercana con la esperanza de arribar a la salida (Isobe, *et al*, 2004). También, se reportan casos en que los individuos que logran alcanzar la salida, alertan a los demás individuos que aún no lo hicieron (Ibidem).

Las situaciones con baja visibilidad pueden conducir a cambios de comportamiento verdaderamente complejos. En la literatura se analizaron situaciones en que sólo una parte de los individuos mantiene un buen nivel de orientación y recuerda hacia dónde dirigirse (a pesar de estar en un ambiente de baja visibilidad). Esto definitivamente no parece producir mejoras en los tiempos de evacuación. Por otro lado, el seguimiento de la pared no siempre mejora la performance de la evacuación, dependiendo del nivel de congestión que se produzca en la vecindad de la salida. Sólo si el seguimiento de la pared permite acceder a la salida de manera “gradual”, este comportamiento será beneficioso. Para más detalles ver Frank y Dorso, 2014.

La dinámica en “grupos” de personas puede llevar también a resultados inesperados. Un “grupo” puede ser el resultado de lazos afectivos entre personas, o de actitudes de altruismo y solidaridad, o simplemente la imitación del movimiento de individuos cercanos (i.e. comportamiento en “manada” o *herding*). Los lazos afectivos tienden a dificultar la evacuación en ambientes de alto congestionamiento y buena visibilidad de la salida (Rozan, *et al*, 2022). Sin embargo, la imitación de otros individuos (*herding*) no parece ser relevante cuando la visibilidad es baja. Esto se debe a que la dinámica de la evacuación está limitada por el rango de visión de la salida, independientemente del nivel de *herding* (Frank y Dorso, 2014).

Algunos experimentos sugieren que el altruismo es poco frecuente en situaciones de buena visibilidad (Cao, *et al*, 2018). Pero si la visibilidad es baja, los individuos tienen mayor tendencia a dar o solicitar ayuda. El rol de un “guía” o “facilitador” puede ser significativo para la eficiencia de la evacuación en estos casos. Este trabajo incorpora la figura del “facilitador” en el contexto del modelo de Fuerza Social de Helbing (Helbing, *et al*, 2000 y Helbing y Molnár, 1995).

Esta investigación se desarrolla en el contexto del modelo de Fuerza Social (ver Sección de Marco Teórico) y analiza en detalle las situaciones que pueden darse cuando los individuos huyen libremente o siguiendo una pared, bajo condiciones de poca visibilidad. Se distinguen los casos de presencia o no de un “facilitador”. Los resultados hallados complementan y amplían los publicados en Frank y Dorso, 2014 y en investigaciones anteriores (Cornes, *et al*, 2021 y Parisi y Dorso, 2005).

El trabajo está organizado del siguiente modo. En la Sección de Marco Teórico se describe brevemente el modelo de Fuerza Social básico, y se brindan las modificaciones que deben tenerse en cuenta en un ambiente de baja visibilidad. En la Sección Simulaciones se detalla cómo se llevaron adelante los cálculos. La Sección de Resultados contiene las prin-

cipales conclusiones a las que se arribó. Finalmente, se realiza un resumen y conclusión general en la Sección Conclusiones.

## Marco teórico

### El modelo de fuerza social

El modelo de Fuerza Social propuesto por Helbing (Helbing, *et al*, 2000 y Helbing y Molnár, 1995) asocia el comportamiento de individuos al de un sistema de tipo granular, en el que las partículas se consideran “auto-impulsadas”. En este contexto, la dinámica de cada individuo es el resultado de las interacciones con sus vecinos. Pero esta interacción no sólo incluye fuerzas de contacto ( $f_g$ ), sino también fuerzas socio-sicológicas ( $f_s$ ) y de deseo ( $f_d$ ). Estos tres tipos de fuerzas actúan de manera similar a como lo hacen las fuerzas físicas usuales en la ecuación de Newton

$$m_i \, dv_i/dt = f_s + f_g + f_d \quad (1)$$

donde:

$f_s$  es la “fuerza social” de interacción con el entorno (i.e. otros individuos, paredes, etcétera),  $f_g$  es la “fuerza granular” o fricción física, y  $f_d$  es la “fuerza de deseo”.

La “fuerza social” representa la tendencia de los individuos a mantener una “distancia social” con los demás. Esta distancia corresponde a una “esfera de privacidad” que deseamos preservar. Si otra persona vulnera esta privacidad, nos sentimos incómodos, e intentamos restaurar la distancia social. Por lo tanto, la esencia de este comportamiento (socio-sicológico) es de “repulsión” y se modela como una función exponencial decreciente del siguiente modo

$$f_s^{(ij)} = A_i \, e^{(r_{ij} - d_{ij})/B_i} \, n_{ij} \quad (2)$$

donde:

$i$  representa alguna de las partículas (peatones) y  $j$  puede ser otra de ellas, o bien, una pared.

$d_{ij}$  representa la distancia entre los centros de masa de los peatones.

$n_{ij}$  es el versor en la dirección  $\vec{j}$  y

$r_{ij} = r_i + r_j$  es la suma de los radios de los peatones  $i$  y  $j$ .

Los parámetros  $A_i$  y  $B_i$  se fijan experimentalmente.

El balance entre la fuerza “social” y nuestro deseo de dirigirnos en una determinada dirección queda registrado habitualmente por la distancia de confort que mantenemos en distintas circunstancias. La distancia que nos separa con la persona de adelante en una cola de espera corresponde, por ejemplo, al balance entre nuestro deseo por avanzar y la necesidad por mantener nuestro espacio de privacidad. Esta distancia permite obtener valores experimentales de los parámetros  $A_i$  y  $B_i$ .

La fuerza de “deseo” que nos lleva a dirigirnos hacia un determinado objetivo puede ser más o menos intensa, según el nivel de ansiedad de la persona. Ésta es la aceleración requerida para pasar de la velocidad actual (incompatible con nuestro nivel de ansiedad) a la “velocidad deseada”  $v_d$ . La velocidad deseada es asociada al nivel de ansiedad que tengamos. Por lo tanto, la “fuerza de deseo” es proporcional a la diferencia entre la velocidad deseada  $v_d(t)$  y la velocidad actual  $v(t)$  según la expresión

$$f_d^{(i)} = m_i [v_d(t) - v_i(t)] / \tau \quad (3)$$

donde:

$\tau$  es un tiempo de relajación (estimado en 0,5 s) y

$e_d$  es el versor dirección de deseo.  $m_i$  es la masa del individuo  $i$ .

La interacción física entre dos individuos se manifiesta por medio de una compresión y fricción tangencial (“fuerza granular”) entre ambos. Ésta se modela de la siguiente forma

$$f_g^{(ij)} = K g(r_{ij} - d_{ij}) n_{ij} + \kappa g(r_{ij} - d_{ij}) (\Delta v_{ij} \cdot t_{ij}) t_{ij} \quad (4)$$

donde:

$\Delta v_{ij} = v_j - v_i$  es la diferencia de velocidad entre los peatones  $i$  y

$j$ , y  $t_{ij}$  es el versor tangencial.

$K$  y  $\kappa$  son parámetros experimentales (compresión y fricción, respectivamente) y

$g(\cdot)$  es una función nula si  $r_{ij} < d_{ij}$  o igual a su argumento en caso contrario.

Para una descripción más detallada de los parámetros, (Parisi y Dorso, 2007 y 2005).

## “Clusters” sociales

La Ecuación (1) expresa la dinámica de cada persona dentro de una multitud. Éstos pueden alcanzar niveles de congestamiento elevados (i.e. alta densidad) y formar “estructuras” de contacto transitorias que definimos como “clusters sociales”. El rol de los *clusters* sociales es muy relevante, ya que son los responsables de bloquear la salida de otros individuos en la vecindad de una puerta (Parisi y Dorso, 2007 y 2005).

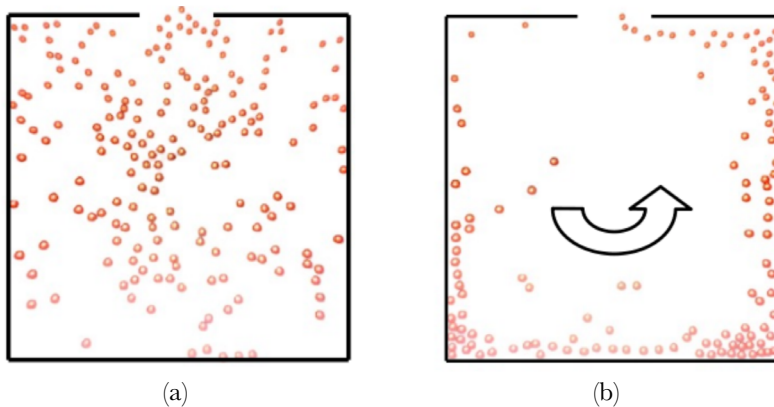
Un “cluster social” se define, de manera rigurosa, como aquel grupo de personas  $G$  tal que, si un individuo  $i$  pertenece al grupo, entonces existe otro individuo  $j$  del grupo que está en contacto con el primero ( $i$ ). En términos matemáticos

$$i \in G \Leftrightarrow \exists j \in G / d_{ij} < r_i + r_j \quad (5)$$

El *cluster* social que bloquea completamente una salida es el responsable por las demoras en los tiempos de evacuación. Dentro de este *cluster* social, resulta particularmente relevante el sub-conjunto mínimo de personas en contacto entre sí, que bloquean la salida de lado a lado. A este número mínimo lo identificamos como un *blocking cluster*.

## Simulaciones

Se estudió la evacuación de una multitud de 200 individuos dentro de un recinto de 20 x 20 m. Se consideró una única salida de ancho equivalente a 2 personas (salida “angosta”), o bien, 4 personas (salida “ancha”). La Figura 1 ejemplifica la situación estudiada.



**Fig. 1.** Recinto de 20 x 20 m con salida única en el lado superior. Los individuos se representan con círculos llenos (tamaño arbitrario). (a) Los individuos tienen velocidad de deseo con dirección aleatoria. (b) Los individuos que encuentran una pared, la siguen en sentido anti-horario.

Cada simulación partió de una configuración inicial de individuos aleatoriamente distanciados, a los que se le asignó una velocidad aleatoria. Se realizaron 50 corridas para cada escenario estudiado, variando las velocidades iniciales en cada caso. Se registraron los valores de posición y velocidad, y se tomaron promedios estadísticos de los observables de interés. Cada corrida finalizó una vez que transcurrieron 200 s, o bien, cuando sólo quedan 40 personas dentro del recinto (lo que se cumpla primero).

La integración numérica de la Ecuación (1) se realizó por medio de un integrador temporal de Verlet en velocidades, con tamaño de paso  $\Delta t = 0,0001$  s. Las ecuaciones fueron las siguientes:

$$\begin{aligned} r_i(t+\Delta t) &= r_i(t) + v_i(t) \Delta t + \frac{1}{2} a_i(t) \Delta t^2 \\ v_i(t+\Delta t) &= v_i(t) + a_i(t) \Delta t \end{aligned} \quad (6)$$

donde:

$r_i$ ,  $v_i$  y  $a_i$  son las posiciones, velocidades y aceleraciones, respectivamente. Las aceleraciones se obtienen a partir de la evaluación de todas las fuerzas entre individuos (y con los obstáculos). Los parámetros usados fueron:  $A_i = 2000$  N,  $B_i = 0,08$  m,  $m = 70$  kg,  $K = 3640$  kg·s<sup>-2</sup>,  $\kappa = 305.000$  kg·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> y  $\tau = 0,5$  s. El radio de los individuos fue  $r_i = 0,23$  m.

Se consideraron distintos valores de velocidad de deseo (en módulo) para representar niveles de ansiedad que van desde un estado relajado ( $v_d \sim 2$  m/s) hasta una excitación máxima de  $v_d \sim 8$  m/s (recordar que esta velocidad no representa la velocidad del individuo sino aquella a la que aspira moverse según su nivel de ansiedad). La dirección de la velocidad de deseo dependió del escenario explorado. Se consideraron tres comportamientos posibles:

- **Comportamiento “libre”**: la persona tiene dirección de deseo aleatoria mientras no ve la salida. Cuando la ve, se dirigen al punto más cercano de la misma.
- **Comportamiento “siguiendo la pared”**: la persona tiene dirección de deseo aleatoria mientras no ve la salida y no encuentra una pared. Si encuentra una pared, orienta su velocidad de deseo en dirección paralela a la pared. El sentido de la velocidad de deseo es siempre anti-horario.
- **Comportamiento “guiado”**: es el mismo que el comportamiento “libre”, pero si encuentra a un “guía” o “facilitador” se dirige hacia la salida del lugar.

Observar que los dos primeros suponen la ausencia completa de información fuera del rango de visión de los individuos (el radio de visión es considerado fijo). En cambio, en el tercer comportamiento, los individuos son asistidos por una persona quieta (el “guía” o “facilitador”) que indica hacia dónde dirigirse. En todos los casos, se asumió que el “guía” se ubica en el centro del recinto.

Se consideró que la dirección de la velocidad de deseo se mantiene fija durante un periodo  $t_d$ . Transcurrido ese periodo, la dirección se actualiza según las reglas enumeradas más arriba. Sólo se consideraron dos periodos:  $t_d = 2$  s y  $t_d = 10$  s, que representan individuos con menor y mayor propensión a cambiar de rumbo, respectivamente. Recordar que el modelo de Fuerza Social supone tiempos de relajación propios de los individuos de  $\tau = 0,5$  s. Por lo tanto, las velocidades de deseo se actualizan a un ritmo menor que los esperados por la ecuación de movimiento.

## Resultados

Separamos los resultados según el comportamiento asignado a los individuos (libre, seguimiento de pared y guiado). En los casos de comportamiento libre y seguimiento de la

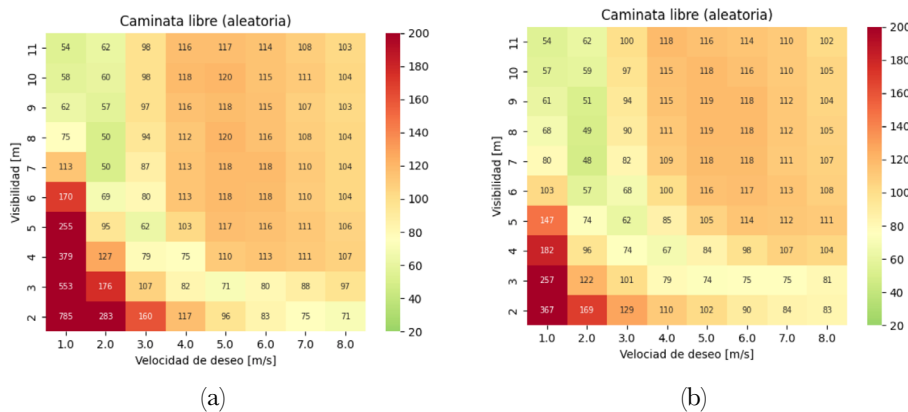
pared, se exploraron dos tamaños de puerta (angosta y ancha; ver Sección Simulaciones) y dos posibles valores de  $t_d$  (2 s y 10 s).

En el análisis del comportamiento guiado sólo se exploró la geometría de puerta angosta, dado que es la más fácil de bloquear. Se analizaron dos valores de  $t_d$ , similares a los de los otros comportamientos.

### Comportamiento “libre”

Se estudiaron, en primer lugar, los tiempos de evacuación de un recinto cuando la puerta de salida es angosta (i.e. ancho igual a 2 individuos). Se sabe que esta geometría produce bloqueos significativos cuando el nivel de ansiedad de los individuos es alto ( $v_d > 3$  m/s) y la visibilidad es óptima. Se pueden hallar estudios minuciosos que vinculan *blocking clusters* y los tiempos de evacuación resultantes en Frank y Dorso, 2014; Cornes et al, 2021; Parisi y Dorso, 2005. En resumen, cuanto mayor es la ansiedad de los individuos por salir del recinto, más tiempo demoran en hacerlo (fenómeno de *faster is slower*).

En la Figura 2 se muestran mapas indicando los tiempos de evacuación obtenidos para distintos niveles de ansiedad y distintos rangos de visión (ver indicaciones debajo de la figura para mayores detalles). Notar que para rangos de visión elevados (líneas superiores), ambos mapas presentan valores similares, y que éstos crecen de izquierda a derecha. Se trata del fenómeno de *faster is slower* usual. Este no depende del valor de  $t_d$  ya que la demora en la evacuación está dominada por los *delays* debidos a los *blocking clusters*.



**Fig. 2. Mapa de calor indicando los tiempos de evacuación del recinto (escala de color entre 20 y 200 s) en función de la velocidad de deseo de los individuos  $v_d$  (eje horizontal en m/s) y el rango de visión (eje vertical en m). En ambos casos, la salida tuvo un ancho equivalente a 2 individuos (0,92 m). (a) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=2$  s. (b) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=10$  s.**

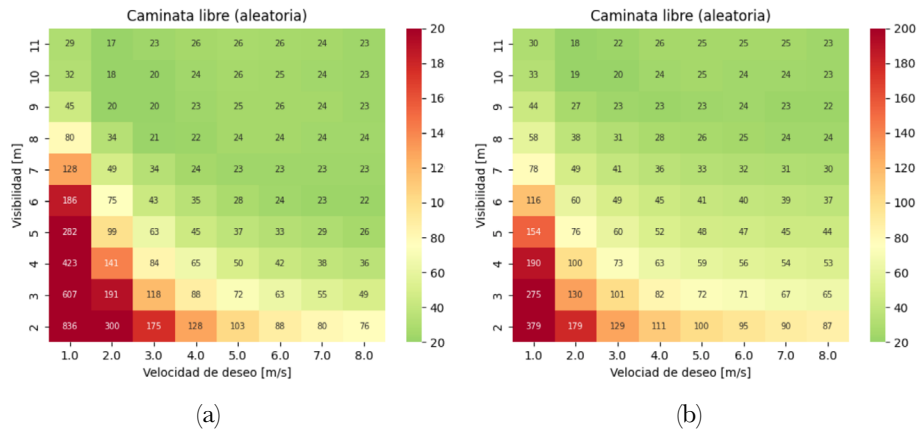
A medida que el rango de visión se reduce, desaparece el fenómeno *faster is slower* (ver líneas inferiores en la Figura 2). Los individuos con mayor nivel de ansiedad salen más rápido del recinto respecto de los que tienen menor nivel de ansiedad. Esto se explica por el hecho de que, al ser tan limitada la visibilidad, pocos individuos ven la salida y la mayoría de ellos “deambulan” por el recinto durante periodos de tiempo largos antes de acceder a la salida. Si su nivel de ansiedad por salir es bajo, el tiempo que demoran en recorrer el recinto hasta hallar la salida será mayor. No se advierten diferencias cualitativas importantes entre aquellos más propensos a cambiar de dirección ( $t_d=2$  s) y los menos propensos ( $t_d=10$  s).

En la Figura 3 se muestran mapas de evacuación correspondientes a un recinto con salida ancha. En una primera inspección se destaca la ausencia de un fenómeno *faster is slower* significativo, cualquiera sea el rango de visión de los individuos. Esto es esperable, dada la

poca relevancia que tienen los *blocking clusters* para puertas anchas, según ya se observó en la literatura (Frank y Dorso, 2014; Cornes, *et al*, 2021 y Parisi y Dorso, 2005).

Las demoras en la evacuación para bajos niveles de ansiedad y bajo rango de visión son similares para los dos tamaños de puerta analizados. Esto confirma que la dinámica de evacuación está dominada por una búsqueda (aleatoria) de la salida, y que los *delays* debidos a la formación de *blocking clusters* son irrelevantes respecto del tiempo de tránsito a través del recinto.

Una comparación en detalle entre las Figuras 2 y 3 para muy altos niveles de ansiedad y baja visibilidad (región inferior derecha de los mapas) muestra que la baja visibilidad tiende a ser beneficiosa en el caso de la puerta angosta y perjudicial en el caso de la puerta ancha. Concretamente, notamos que al pasar de un rango de visión de 4 m a 2 m (para  $v_d > 6$  m/s), los tiempos de evacuación se reducen en un 20-25 % en el caso de la Figura 2. Pero las mismas condiciones en la Figura 3 tienden a incrementar los tiempos de evacuación entre un 40-50%. Esto se debe a que en la Figura 2 deja de tener relevancia el fenómeno de *faster is slower*, mientras que en la Figura 3 nunca estuvo realmente presente.



**Fig. 3. Mapa de calor indicando los tiempos de evacuación del recinto (escala de color entre 20 y 200 s) en función de la velocidad de deseo de los individuos  $v_d$  (eje horizontal en m/s) y el rango de visión (eje vertical en m). En ambos casos, la salida tuvo un ancho equivalente a 4 individuos (1,84 m). (a) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=2$  s. (b) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=10$  s.**

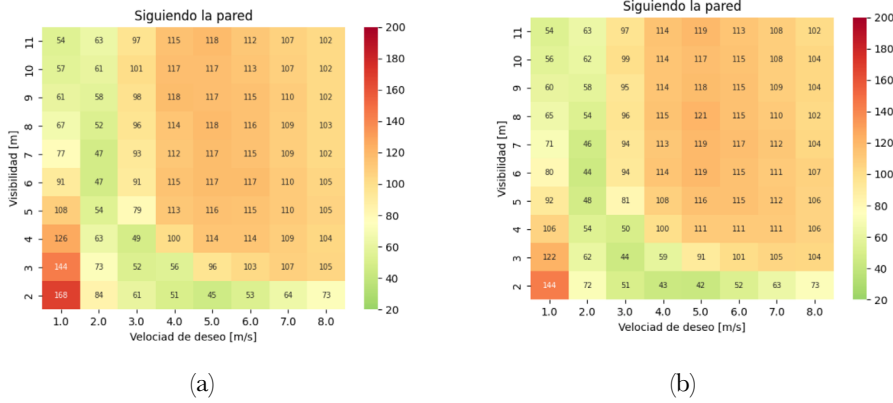
Concluimos que, en general, la baja visibilidad afecta negativamente la performance de la evacuación para niveles de ansiedad moderados a bajos, porque los individuos pierden mucho tiempo “deambulando” por el recinto antes de hallar la salida. Sin embargo, si el nivel de ansiedad por huir es muy elevado, la pérdida de tiempo por “deambular” en el recinto es preferible a la pérdida de tiempo por bloqueos en la salida.

### Comportamiento “siguiendo la pared”

El comportamiento “siguiendo la pared” fue reportado experimentalmente y aquí lo reproducimos asumiendo que todo individuo que encuentra una pared, la sigue en sentido anti-horario (ver Figura 1). Realizamos un análisis similar al comportamiento libre. Los resultados para puerta angosta se muestran en la Figura 4.

Una primera inspección de la Figura 4 muestra comportamientos cualitativos similares a los de la Figura 2. (comportamiento libre o aleatorio), especialmente para rangos de visión elevados. Sin embargo, para visiones cortas y ansiedades bajas, los tiempos de evacuación son ahora un 20 % menores respecto de los observados en la Figura 2. Seguir la pared mejora en parte la eficiencia en la evacuación, ya que una vez alcanzada la pared, los individuos no pierden tiempo “deambulando” por todo el recinto, sino que “van camino hacia la puerta”.

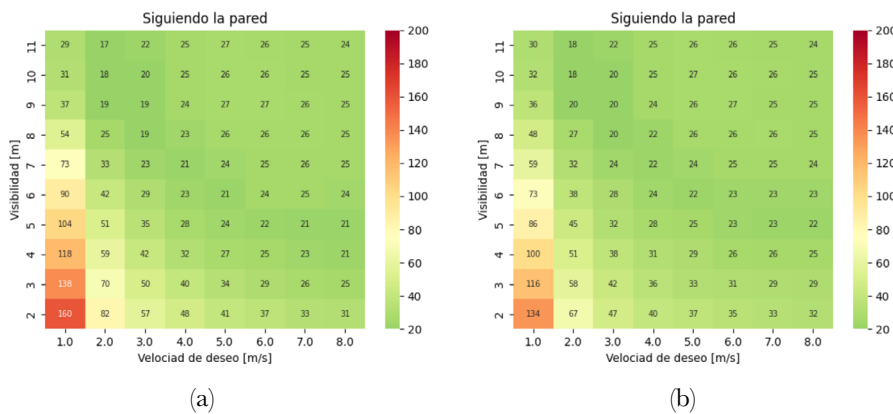




**Fig. 3.** Mapa de calor indicando los tiempos de evacuación del recinto (escala de color entre 20 y 200 s) en función de la velocidad de deseo de los individuos  $v_d$  (eje horizontal en m/s) y el rango de visión (eje vertical en m). En ambos casos, la salida tuvo un ancho equivalente a 4 individuos (1,84 m). (a) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=2$  s. (b) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=10$  s.

Es significativo que, si los individuos siguen la pared, el fenómeno *faster is slower* está siempre presente (aunque bastante mitigado para rangos de visión de 2-3 m). Vemos que para cualquier rango de visión fijo, cuanto mayor es el nivel de ansiedad, más tiempo les toma evacuar el recinto. Esto se debe a que los individuos ahora acceden regularmente a la vecindad de salida, uno tras otro, siguiendo la pared (en sentido anti-horario). En esa región se forman los bloqueos usuales, especialmente para niveles de ansiedad muy elevados ( $v_d > 6$  m/s).

En la Figura 5 se muestran los mapas correspondientes para puerta ancha (ver detalles indicados debajo de la figura). De manera similar a la Figura 3, el fenómeno *faster is slower* no se observa. Los tiempos de evacuación también mejoran respecto del comportamiento libre, por los mismos motivos que los explicados para la puerta angosta (Figura 4).



**Fig. 5.** Mapa de calor indicando los tiempos de evacuación del recinto (escala de color entre 20 y 200 s) en función de la velocidad de deseo de los individuos  $v_d$  (eje horizontal en m/s) y el rango de visión (eje vertical en m). En ambos casos, la salida tuvo un ancho equivalente a 4 individuos (1,84 m). (a) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=2$  s. (b) El periodo entre actualizaciones de la dirección de deseo es  $t_d=10$  s.

En resumen, el comportamiento intuitivo de seguir una pared resulta beneficioso respecto del comportamiento deambulatorio en relación con los tiempos de evacuación del recinto. No observamos cambios significativos de los resultados para los dos periodos de actualización del rumbo  $t_d$  explorados.

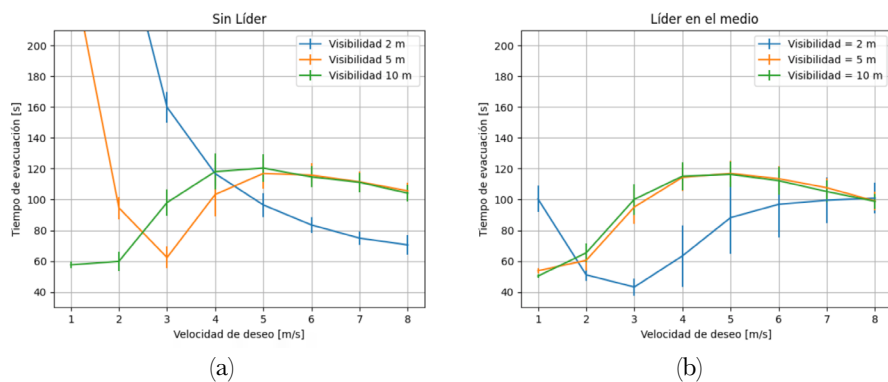
## Comportamiento “guiado”

El comportamiento guiado es similar al comportamiento libre, hasta tanto la persona ve un “guía” o “facilitador”. Éste le informa la ubicación de la salida y la persona cambia inmediatamente su rumbo deseado hacia allí.

En la Figura 6 se exhiben los tiempos de evacuación para tres rangos de visión, con y sin presencia de un “guía”. La Figura 6(a) corresponde a los mismos datos que los mostrados en la Figura 2(a), mientras que la Figura 6(b) corresponde al comportamiento “guiado”. Es inmediato que el “guía” afecta la performance de la evacuación para rangos de visión cortos a moderados. Para el rango de visión de 10 m no se advierten cambios significativos.

La presencia del “guía”, en el escenario de visión de 2 m, reduce los tiempos de evacuación significativamente si los individuos tienen niveles de ansiedad  $v_d < 5$  m/s, pero los incrementa si  $v_d > 5$  m/s. En otras palabras, los tiempos de evacuación con presencia del “guía” exhiben un fenómeno *faster is slower*, el cual no estaba presente en el comportamiento libre o aleatorio.

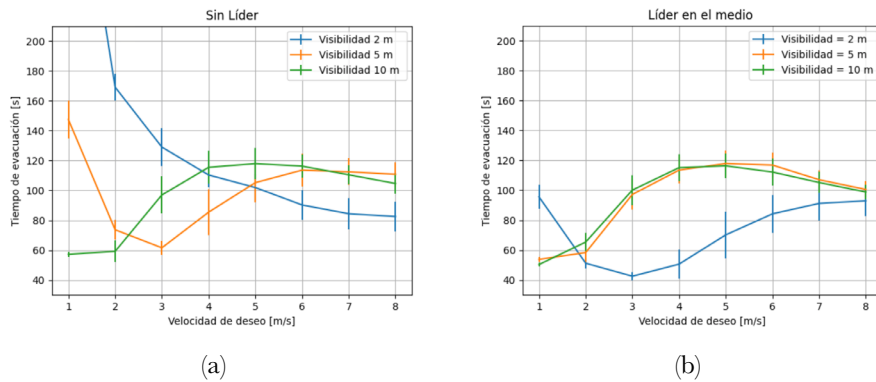
La presencia de *faster is slower* indica que existen bloqueos cercanos a la salida, y que cuanto mayor es la ansiedad por salir (mayor  $v_d$ ), más relevantes son los *blocking clusters* entorno a la puerta de salida. La acción del “guía” es entonces una desventaja si los niveles de ansiedad son muy elevados.



**Fig. 6. Tiempo de evacuación vs. velocidad de deseo  $v_d$ . Se representan tres rangos de visión (corto, intermedio y largo). En todos los casos se consideró  $t_d=2$  s. El ancho de la salida fue de 0,92 m (salida angosta). Las barras verticales representan la desviación típica de los datos. (a) Comportamiento libre (dirección de velocidad de deseo aleatoria). (b) Comportamiento guiado. El “guía” o “facilitador” se ubicó en el centro del recinto.**

Si los niveles de ansiedad de los individuos son moderados (a bajos), la acción del “guía” es favorable a la evacuación. En ese caso, el “guía” cumple la función de encaminar directamente a la salida a individuos que, de otro modo, pasarían mucho tiempo “deambulando” por el recinto hasta hallarla. Esto se advierte tanto para rangos de visión de 2 m como de 5 m. Si el rango de visión es de 10 m, la función del “guía” pierde relevancia porque no hay un ahorro real de tiempo entre buscar libremente la salida y seguir la indicación del “guía”.

La Figura 7 muestra los resultados en las mismas condiciones que la Figura 6 pero para  $t_d=10$  s, es decir, para individuos con menor propensión a cambiar de dirección. Los resultados no presentan cambios significativos respecto de la Figura 6. Esto confirma una vez más que la tendencia más rápida o más lenta de los individuos a cambiar de rumbo es irrelevante respecto del comportamiento general que siguen (i.e. libre, siguiendo la pared, o guiado).



**Fig. 7. Tiempo de evacuación vs. velocidad de deseo vd. Se representan tres rangos de visión (corto, intermedio y largo). En todos los casos se consideró  $t_d=10$  s. El ancho de la salida fue de 0,92 m (salida angosta). Las barras verticales representan la desviación típica de los datos. (a) Comportamiento libre (dirección de velocidad de deseo aleatoria). (b) Comportamiento guiado. El “guía” o “facilitador” se ubicó en el centro del recinto.**

El análisis del comportamiento “guiado” concluye con un llamado de atención respecto de las posibilidades reales de un guía de actuar favorablemente en procesos de evacuación. Si éste facilita un acceso rápido a la salida sin bloqueos importantes, su función será beneficiosa. En caso contrario, inducirá *delays* adicionales, entorpeciendo la evacuación en su conjunto.

## Conclusiones

La investigación se enfocó en el análisis de tres estrategias de evacuación de emergencia con baja visibilidad. En primer lugar, se analizaron situaciones en que los individuos buscan la salida de manera aleatoria (libre), o bien, intentan seguir las paredes del recinto. Luego se incorporó la presencia de un “guía” o “facilitador” que indica la posición de la salida. En este último caso, se asumió que el facilitador actúa únicamente en un ambiente de individuos que buscan libremente (aleatoriamente) la salida.

Se arribó a dos conclusiones principales. Por un lado, la tendencia (intuitiva) que tienen los individuos de seguir las paredes en ambientes de baja visibilidad es más eficiente que deambular aleatoriamente en busca de la salida. Por otro lado, la presencia de un “facilitador” es controversial, y su función es verdaderamente útil en la medida que no provoque congestiones cercanas a la salida.

Un comportamiento “deambulatorio” por el recinto hace perder mucho tiempo a los individuos en hallar la salida. El seguimiento de una pared (siempre que sea en el mismo sentido) reduce estos tiempos, ya que sólo se mueven a lo largo de un perímetro del recinto para hallar la salida. El riesgo de este comportamiento, sin embargo, es que se congestione la salida (i.e. presencia de *blocking clusters*) si el nivel de ansiedad por salir es muy elevado.

La decisión de asistir a los individuos (deambulantes) por medio de un “facilitador” se justifica en los casos en que sus indicaciones no congestionen la salida. Esto ocurre, en nuestro análisis, si los niveles de ansiedad de los individuos son moderados. Si, en cambio, los individuos intentan huir desesperadamente, el “facilitador” los guiará a una nueva trampa: el bloqueo de la salida.

Estas conclusiones se siguen del análisis de un recinto con geometría simple en el contexto del modelo de Fuerza Social. Sin embargo, alertan sobre el uso (y sobre-uso) de fuentes de información adicionales (i.e. guía o facilitador) en situaciones complejas de baja visibilidad y confusión. Podemos asegurar entonces, que son un llamado a la prudencia al momento de introducir un guía en ambientes con geometrías complejas.

## Referencias

- CAO, S.; FU, L.; WANG, P.; ZENG, G. y SONG, W., (2018). "Experimental and modeling study on evacuation under good and limited visibility in a supermarket", *Fire Safety Journal* 102, 27–36.
- CORNES F. E.; FRANK G. A. y DORSO C. O., (2021). "Microscopic dynamics of the evacuation phenomena in the context of the Social Force Model" *Physica A* 568, 125744.
- FRANK G. A. y DORSO C. O., (2016). "Panic evacuation of single pedestrians and couples." *International Journal of Modern Physics C* 27(6), 1-16.
- FRANK G. A. y DORSO C. O., (2014). "Evacuation under limited visibility." *International Journal of Modern Physics C* 26(1), 1550005, 1-18.
- STONE, H.; RHAME, D.; CORBITT, J.; GIVEN, K. y MARTIN, J. Jr., (1967). *Annals of Surgery* 165, 157.
- HELBING, D.; FARKAS, I. y VICSEK, T., (2000). "Simulating dynamical features of escape panic" *Nature* 407, 487.
- HELBING, D. y MOLNÁR, P., (1995). "Social force model for pedestrian dynamics" *Phys. Rev. E* 51, 4282.
- ISOBE, M.; HELBING, D. y NAGATANI, T., (2004). "Experiment, theory, and simulation of the evacuation of a room without visibility" *Phys. Rev. E* 69, 066132 .
- JIN, T. (1981). "Studies of emotional instability in smoke in fires" *Journal of Fire & Flammability* 12, 130.
- MARSAR, S. (2010). *Fire Engineering* July 1.
- PARISI, D. y DORSO, C., (2007). "Morphological and dynamical aspects of the room evacuation process" *Physica A* 385, 343.
- PARISI, D. y DORSO, C., (2005). "Microscopic dynamics of pedestrian evacuation" *Physica A* 354, 606.
- ROZAN, E. A.; FRANK, G. A.; CORNES, F. E.; STICCO, I. M. y DORSO C. O., (2022). "Microscopic dynamics of escaping groups through an exit and a corridor" *Physica A* 597, 127271.