

EVACUACIONES DE EMERGENCIA CON PRESENCIA DE GRUPOS SOCIALES EMERGENCY EVACUATIONS OF SOCIAL GROUPS

E. A. Rozan^{*1}, G. A. Frank², F. E. Cornes¹, I. M. Sticco¹ y C. O. Dorso^{1,3}

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Pabellón I, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina.

²Unidad de Investigación y Desarrollo de las Ingenierías, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Av. Medrano 951, 1179 Buenos Aires, Argentina.

³Instituto de Física de Buenos Aires, Pabellón I, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina.

Recibido: 01/07/2022; Aceptado: 16/12/2022

En esta investigación estudiamos las evacuaciones de emergencia en presencia de grupos sociales desde la física computacional. Hicimos simulaciones de dinámica peatonal utilizando el Modelo de Fuerza Social (SFM). A este modelo le agregamos una fuerza de interacción atractiva entre los individuos que forman parte de un mismo grupo social (colegas, amigos, parejas, etc.). Calibramos la fuerza de interacción atractiva utilizando datos empíricos para luego simular evacuaciones de emergencia. Observamos que los tiempos de evacuación aumentan considerablemente si se tienen en cuenta los lazos efectivos. Por lo tanto, recomendamos incluir este tipo de efectos en los modelos de dinámica peatonal.

Palabras Clave: evacuaciones de emergencia, Modelo de Fuerza Social (SFM), grupos sociales.

In this work we study how the presence of social groups affect emergency evacuations. This investigation was carried out in the context of the Social Force Model (SFM). We added an attractive force to the SFM, which accounts for the affective feelings that the members of social groups share (colleagues, friends, couples, etc.). We calibrated this force using experimental data, in order to simulate emergency evacuations. We observe that the evacuation time is considerably worsened when attractive feelings are taken into account. Therefore, we conclude that this kind of collective behavior should be included in pedestrian dynamics models.

Keywords: emergency evacuation, Social Force Model (SFM), social groups.

<https://doi.org/10.31527/analesafa.2022.33.4.112>



ISSN 1850-1168 (online)

I. INTRODUCCIÓN

El modelo de Fuerza Social (SFM) [1] es usado en la actualidad para describir diversas situaciones que involucran multitudes en estado de pánico o de alto nivel de ansiedad, como por ejemplo las evacuaciones de emergencia [2-6]. Uno de sus más grandes logros fue el de explicar por qué una multitud se ralentiza a medida que los individuos tienen mayor nivel de ansiedad por escapar y desean moverse a una velocidad mayor. A este fenómeno se lo conoce comúnmente como “*Faster-Is-Slower*” (Más Rápido Es Más Lento) [1, 7, 8].

Recientemente se reportó que, además del fenómeno *Faster-is-Slower*, cuando la multitud presenta niveles de ansiedad muy elevados tras un cierto umbral, el tiempo de evacuación se reduce a medida que la multitud desea ir más rápido hacia la salida. Este nuevo fenómeno es conocido como “*Faster-Is-Faster*” (Más Rápido Es Más Rápido) [8, 9].

Sin embargo, en el SFM no se incluyen efectos colectivos provenientes de sentimientos afectivos, como por ejemplo los que provocan que un individuo desee moverse cerca de una persona o un grupo de personas cercanas (un colega, un grupo familiar, etc.). No tener en cuenta este tipo de comportamiento puede llevar a predecir de manera incorrecta el

tiempo que puede tomar una evacuación de emergencia.

Mientras que algunas investigaciones experimentales concluyen que la evacuación en grupos reduce el tiempo de evacuación [10, 11], otras llegan a la conclusión contraria [12, 13]. Es evidente que tener un mayor entendimiento de este tipo de fenómenos de “cohesión social” es necesario.

En la Ref. [2] se estudia la dinámica de dúos (grupos de dos personas) en el contexto de una evacuación de emergencia. Para ello, se propone añadir al SFM una fuerza adicional que da cuenta de los sentimientos afectivos entre individuos de un mismo grupo, llamada “fuerza de atracción”. La intensidad de la misma está asociada al nivel de intimidad que comparten los individuos del dúo [14]. Por ejemplo, una pareja íntima tendrá una fuerza de atracción más intensa que la que tienen dos colegas.

En la presente investigación calibramos la fuerza de atracción introducida en la Ref. [2] utilizando datos experimentales medidos por los autores de la Ref. [15]. Luego, hacemos uso de esta fuerza para investigar cómo afecta la presencia de grupos de dos o más individuos a las evacuaciones de emergencia. Investigamos cómo varía el tiempo de evacuación en función de la intensidad afectiva y del tamaño de los grupos.

En la Sec. II se introducirá el SFM y la forma funcional de la fuerza de atracción. En la Sec. III se detalla cómo se

* rozan.eric@gmail.com

llevaron a cabo las simulaciones. Los resultados se muestran en la Sec. IV. En la Sec. V se presentan las conclusiones del trabajo.

II. MARCO TEÓRICO

Modelo de Fuerza Social (SFM)

Esta investigación se llevó a cabo en el contexto del Modelo de Fuerza Social (SFM). En este modelo, las personas se representan como partículas auto-propulsadas. Las interacciones sociales se dan por medio de fuerzas socio-psicológicas y fuerzas físicas, basadas en comportamientos sociales observados empíricamente. En este modelo, cada individuo i se mueve según la siguiente ecuación de movimiento:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt}(t) = \mathbf{f}_d^{(i)}(t) + \sum_j \mathbf{f}_s^{(ij)}(t) + \sum_j \mathbf{f}_r^{(ij)}(t) \quad (1)$$

donde j representa otros individuos.

De las tres fuerzas incluidas en el modelo, la fuerza de deseo $\mathbf{f}_d^{(i)}$ representa la intención del individuo de moverse a una velocidad deseada (v_d), y de moverse en la dirección deseada ($\hat{\mathbf{e}}_d$). La magnitud de v_d varía según el nivel de ansiedad de los individuos. Existen diversas causas por las que un individuo podría no moverse a la velocidad deseada: al transitar por un lugar congestionado, con visibilidad reducida, con obstáculos, entre otras. Si en un tiempo t su velocidad actual $v(t)$ no coincide con su velocidad deseada v_d , se acelerará (o desacelerará) para alcanzarla. La forma funcional de la fuerza de deseo del individuo i es

$$\mathbf{f}_d^{(i)}(t) = m_i \frac{v_d^{(i)}(t) \hat{\mathbf{e}}_d^{(i)}(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau} \quad (2)$$

siendo $\mathbf{v}_i(t)$ su velocidad actual y m_i su masa. τ es el tiempo de relajación. En este trabajo, la velocidad de deseo v_d está fija en cada simulación.

La fuerza social $\mathbf{f}_s^{(ij)}$ representa la tendencia natural de los peatones a estar alejados unos de otros y de conservar su privacidad personal. Para evitar que dos personas se aproximen más allá de sus respectivas "esferas de privacidad", la intensidad de la repulsión aumentará cuanto más cerca se encuentren. Este comportamiento también surge cuando un individuo se encuentra cercano a una pared u obstáculo. Su forma precisa es

$$\mathbf{f}_s^{(ij)} = A_i e^{(r_{ij}-d_{ij})/B_i} \mathbf{n}_{ij} \quad (3)$$

donde i y j representan a dos individuos, d_{ij} representa la distancia entre sus centros de masa, \mathbf{n}_{ij} es el versor en la dirección \vec{j} (de j hacia i) y $r_{ij} = R_i + R_j$ es la suma de los radios de los peatones i y j (refiriéndose al semi-ancho de hombros). A_i representa la intensidad de la fuerza cuando los individuos están a distancia de contacto ($d_{ij} = r_{ij}$) y B_i la distancia característica de la misma, siendo ambos parámetros del modelo.

La fuerza de rozamiento $\mathbf{f}_r^{(ij)}$ aparece cuando una persona entra en contacto con otra, y dificulta el movimiento de los mismos. Cuando un individuo está en contacto con una pared, también se hará presente una fuerza de rozamiento.

Su expresión es de la forma

$$\mathbf{f}_r^{(ij)} = \kappa g(r_{ij} - d_{ij}) (\Delta \mathbf{v}_{ij} \cdot \hat{\mathbf{t}}_{ij}) \hat{\mathbf{t}}_{ij} \quad (4)$$

donde $\Delta \mathbf{v}_{ij} = \mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i$ es la diferencia de velocidad entre los peatones i y j , y $\hat{\mathbf{t}}_{ij}$ es el versor tangencial (perpendicular a la dirección que los une \mathbf{n}_{ij}). κ es el coeficiente de fricción y $g(x)$ es una función nula si $x < 0$ o igual a su argumento en caso contrario, lo que asegura la presencia de la fricción sólo al entrar en contacto ($d_{ij} < r_{ij}$).

Más detalles sobre la fuerza social y la fuerza de rozamiento puede encontrarse en las Refs. [1, 3].

Fuerza de Atracción

Cuando un grupo social de personas (una pareja, una familia, un grupo de colegas) mantienen un lazo afectivo, éste se manifiesta por una cierta distancia que mantienen entre sí, que es menor a la que se mantiene con desconocidos. Dependiendo el tipo de relación que compartan, tolerarán en mayor o menor medida compartir su "esfera de la privacidad". Más allá de cierta distancia de separación máxima, es de esperar que el lazo afectivo dejará de estar presente debido a que una persona del grupo perderá noción de dónde se encuentra otra.

Modelamos a esta fuerza de atracción a partir de un potencial tipo-Fermi [2], y su expresión matemática es la siguiente:

$$\mathbf{f}_a^{(ij)} = -\frac{\epsilon}{4D_i} \cosh^{-2} \left(\frac{C_i - d_{ij}}{2D_i} \right) \mathbf{n}_{ij} \quad (5)$$

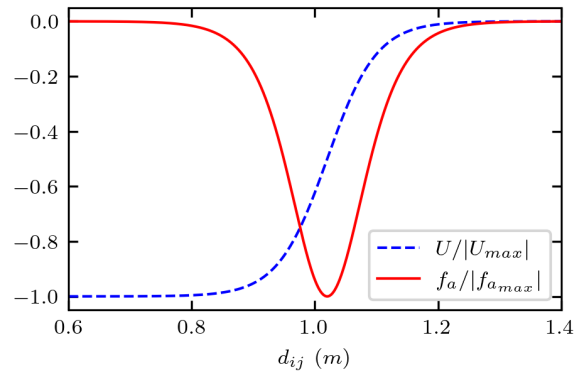


FIG. 1: Gráfico del potencial (U) y la fuerza de atracción ($f_a = -|\nabla U|$) con $C = 1.02$ m y $D = 0.04$ m.

en donde ϵ es la intensidad de la atracción, y representará distintos niveles de afectividad entre individuos. C_i es el centro del pozo y D_i está relacionado con el alcance de la interacción. El gráfico del potencial y la fuerza de atracción se puede ver en la Fig. 1.

La intensidad de $\mathbf{f}_a^{(ij)}$ puede alcanzar valores de hasta $\epsilon = 10^9$ N·m [2, 14]. Por lo tanto, los resultados estarán mostrados en función de la variable

$$\varepsilon = \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{\text{N} \cdot \text{m}} \right) \quad (6)$$

III. SIMULACIONES NUMÉRICAS

Las simulaciones de las evacuaciones de emergencia fueron realizadas en recintos de 20 m x 20 m, con 225 individuos inicialmente. La puerta está ubicada en el centro de uno de los lados del recinto, y su ancho es igual al doble del diámetro de un individuo.

En cada simulación todos los individuos poseen la misma ansiedad por escapar del recinto (i.e. tienen la misma v_d), todos los grupos tienen el mismo tamaño y el mismo nivel de intimidad (el mismo ϵ). El tamaño de los grupos fue variado entre 1 y 7 miembros. Tras fijar el tamaño de los grupos s en cada simulación, el número de grupos equivale a $225/s$. Si este número no es entero, se elige el entero inmediatamente anterior y el resto de los individuos permanecen no agrupados. Por ejemplo, cuando el tamaño de los grupos es de 6 personas, se incluyeron 37 grupos, y son 3 personas las que no forman parte de ningún grupo.

Inicialmente, el primer miembro de cada grupo es ubicado aleatoriamente, y cada miembro subsiguiente es ubicado a una distancia entre 0.5 y 0.7 m del anterior.

Las simulaciones se realizaron con el software LAMMPS [16], con módulos adicionales escritos en C++ capaces de evaluar las fuerzas del SFM. Las ecuaciones de movimiento del SFM (Ec. 1) fueron integradas con el algoritmo de Verlet (en velocidades) y con un tiempo de integración de 10^{-4} s. Los parámetros se fijaron en los valores usados en trabajos previos (ver detalles en las Refs. [1-3]).

En todo momento los individuos desean llegar a la puerta. Es decir, \hat{e}_d se actualiza para apuntar hacia la salida, como se ve en la Fig. 2. La simulación de la evacuación termina cuando 160 individuos ($\sim 70\%$ del total) logra evacuar. Si no se cumple esta condición luego de 2500 segundos, el proceso se detiene. Los resultados mostrados provienen de promediar el tiempo de evacuación de 30 simulaciones con distintas condiciones iniciales en cada caso.

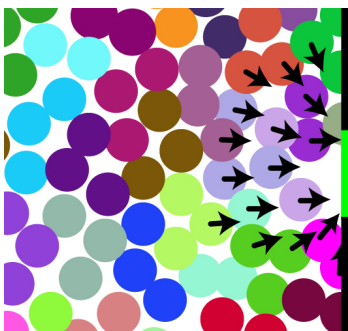


FIG. 2: Imagen de una simulación de una evacuación. Inicialmente hay 225 individuos forman 75 grupos de 3 miembros cada uno. Cada grupo se representa con un color distinto. Las paredes están graficadas en color negro y la salida en color verde. Para algunos individuos se muestra la dirección deseada $\hat{e}_d^{(i)}$ que apunta hacia la salida.

IV. RESULTADOS

Distancia de equilibrio

Para cada valor de la intensidad afectiva, los dúos caminan a una determinada distancia de equilibrio, que resulta

del balance entre los sentimientos afectivos y la tendencia natural a separarse, representada por la fuerza social. En otras palabras, la distancia de equilibrio d_{eq} es aquella para la cual $|\mathbf{f}_s(d_{eq})| = |\mathbf{f}_a(d_{eq})|$. La distancia de equilibrio en función de ϵ se encuentra graficada en la Fig. 3.

Por otro lado, la distancia a la que camina un grupo de personas está relacionada al tipo de relación que comparten, como fue comprobado con material fílmico. En la Ref. [15], los autores determinaron la distribución de distancias a la que caminan grupos de *colegas* y *parejas afectivas*. En la Fig. 3 se encuentran graficados los rangos característicos de dichas distribuciones (valor medio \pm desviación estándar de las distribuciones de distancia). Es notable que en la Ref. [15], los autores no han reportado casos de dúos caminando a distancia de contacto (presumida en 0.46m) o menor. Por lo tanto, en este trabajo se ha definido de manera *ad-hoc* la categoría de *parejas íntimas* para este tipo de dúos, que caminan separados entre 0.4 y 0.5 m, es decir, a distancia de contacto o ligeramente más cerca (al caminar de la mano o abrazadas, por ejemplo).

Teniendo en cuenta esto, ciertos intervalos de ϵ pueden asociarse a una determinada categoría afectiva, como se observa en la Fig. 3.

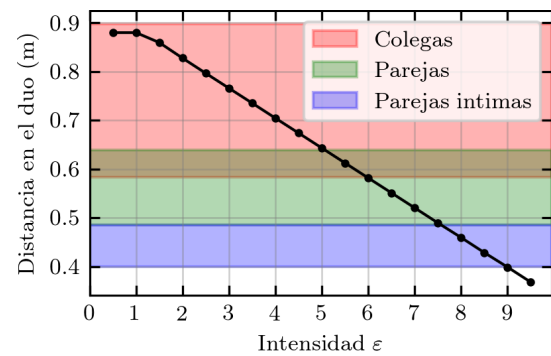


FIG. 3: Distancia de equilibrio en dúos en función de ϵ , en situaciones de baja densidad de personas. Los intervalos resaltados en color rojo y verde representan las distancias más probables para *colegas* y *parejas*, según ha sido reportado experimentalmente [15]. El intervalo azul representa la categoría de *parejas íntimas*.

De la Fig. 3 se concluye que el rango de ϵ que puede asociarse a la categoría de *colegas* es $1 < \epsilon < 6$, el correspondiente a *parejas afectivas* es $5 < \epsilon < 7.5$, mientras que el correspondiente a *parejas íntimas* es $\epsilon > 7.5$. Para ver más detalles entre la relación de ϵ y la distancia a la que camina un dúo, ver la Ref. [14].

Tiempo de evacuación

En esta sección se muestran los resultados del tiempo que toma una evacuación en completarse en función del tamaño de los grupos y la intensidad de la fuerza atractiva.

En la Fig. 4 se muestra el tiempo medio de evacuación $\langle t \rangle$ de una multitud compuesta por grupos de dos miembros (dúos) en función de la velocidad de deseo v_d y para algunos valores de la intensidad afectiva ϵ .

De la Fig. 4 se puede concluir que la presencia de los dúos empeora el tiempo de evacuación. Para cada valor de v_d , la presencia de grupos con cualquier intensidad afectiva

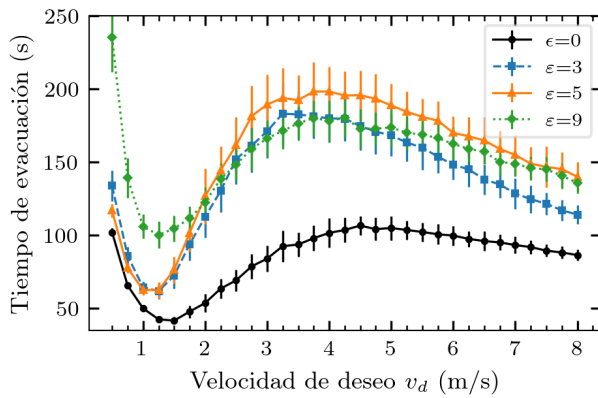


FIG. 4: Tiempo que tardan en evacuar 160 personas de un recinto de $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ en función de v_d . Inicialmente hay 225 individuos en el recinto, agrupados en dúos, todos con la misma intensidad afectiva ϵ . El ancho de la puerta es de 0.92 m (equivalente al diámetro de dos individuos). La curva negra, $\epsilon=0$, representa el caso en el que no hay grupos.

(distinta de cero) aumenta el tiempo de evacuación considerablemente.

Se puede ver que, para la mayoría de las velocidades de deseo exploradas, los grupos con $\epsilon = 3$ evacuan más rápido, con $\epsilon = 5$ más lento, y con $\epsilon = 9$ se encuentra un tiempo de evacuación intermedio. Este comportamiento lo hemos estudiado en profundidad en la Ref. [14], en la que se discute la existencia de dos regímenes denominados “Closer-Is-Slower” y “Closer-Is-Faster” (más cercanos es más lento o rápido, respectivamente), haciendo alusión a que al aumentar ϵ los grupos tardan un tiempo mayor o menor para evacuar del recinto.

Se observa también en la Fig. 4 que al aumentar la v_d entre 1.25 y 4 m/s aproximadamente el tiempo de evacuación aumenta. Por el contrario, para v_d superiores, el tiempo disminuye. Esto es consistente con los comportamientos *Faster-Is-Slower* y *Faster-Is-Faster*, que han sido estudiados detenidamente (ver Refs. [1, 8, 9] para más detalles). Estos comportamientos se observan para todos los valores explorados de ϵ , a pesar de que difieren levemente los valores de v_d correspondientes al máximo y al mínimo tiempo de evacuación.

Para tener un mayor entendimiento de cómo afectan los grupos a las evacuaciones de emergencia, en la Fig. 5 se muestran los resultados para grupos de hasta 7 miembros. En todos los casos, los grupos tienen una intensidad afectiva de $\epsilon = 5$, correspondiente al límite entre la categoría de *colegas* y *parejas afectivas*.

De la Fig. 5 se puede ver que el tiempo de evacuación es monótonamente creciente en función del tamaño de los grupos. Nuevamente se puede observar que, siempre que se incluyan grupos sociales, el tiempo de evacuación será mayor que cuando sólo se incluyen individuos no agrupados (*i.e.* grupos de tamaño 1). Este comportamiento se observa para todos los valores de v_d explorados. Esto es similar a lo que sucede en otros sistemas granulares, como por ejemplo en el caso de la traslocación de polímeros, en donde el tiempo de traslocación aumenta en función del tamaño de la cadena a partir de un tamaño crítico[17]. Más información

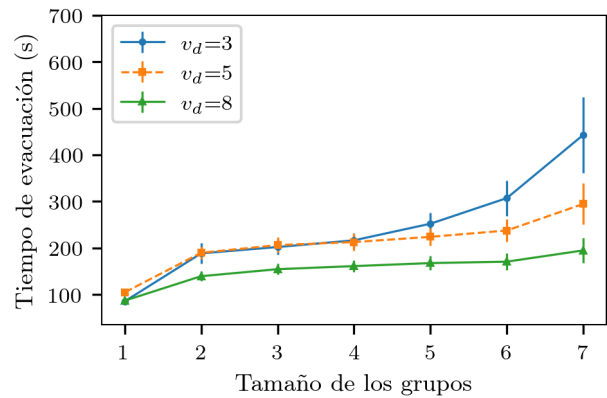


FIG. 5: Tiempo que tardan en evacuar 160 personas de un recinto de $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ en función del tamaño de la cantidad de miembros por grupos.

acerca de la translocación de polímeros puede encontrarse en la Ref. [18].

Para grupos de tamaño menor o igual a 4, las curvas con $v_d = 3$ y $v_d = 5$ (curva azul y naranja de la Fig. 5, respectivamente) se encuentran superpuestas. En la Fig. 4 se puede ver que, en el caso de grupos de dos miembros, el tiempo de evacuación es el mismo para estos dos valores de v_d . Sin embargo, para grupos de más de 4 miembros, se observa que cuanto mayor es la velocidad de deseo, menor es el tiempo de evacuación. Es decir que, aparentemente, para grupos de más de 4 miembros sólo se observa el comportamiento *Faster-Is-Faster*.

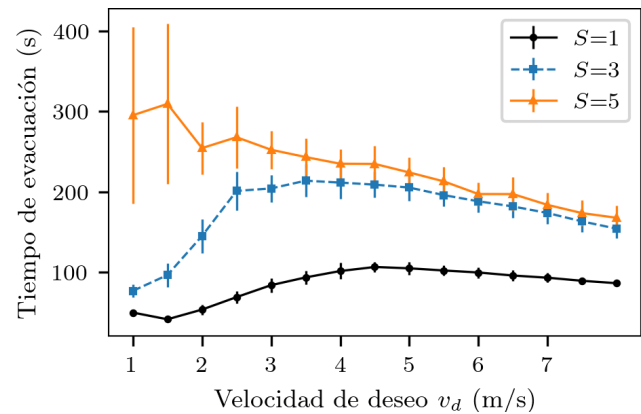


FIG. 6: Tiempo que tardan en evacuar 160 personas de un recinto de $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ en función del tamaño de la velocidad de deseo de los individuos, para grupos de tamaño S .

Para abordar esta cuestión, en la Fig. 6 se muestra el tiempo de evacuación en función de la velocidad de deseo para grupos de tamaño $S = 1$ (sin sentimientos afectivos), 3 y 5, y $\epsilon = 5$. Para grupos de tamaño 3, se observan los comportamientos *Faster-Is-Slower* y *Faster-Is-Faster*. Para grupos de tamaño 5, en cambio, se observa que el tiempo decrece siempre que se aumenta la velocidad de deseo. Sin embargo, el tiempo de evacuación es más alto que cuando los individuos no están agrupados.

Esto ocurre porque al aumentar el tamaño del grupo, cada individuo “siente” una atracción cada vez mayor hacia los otros miembros del grupo que se encuentran dentro del recinto. Es decir, a mayor tamaño de grupo, mayor robu-

tez tendrá y más difícil será que sus miembros se separen para ocupar los espacios libres frente a la salida. Como las fuerzas atractivas y la fuerza de deseo “compiten” en ese sentido, cuando aumenta v_d este efecto comienza a debilitarse. Esto también explica por qué cuando la velocidad de deseo es baja, el tiempo aumenta considerablemente: las intenciones de permanecer cerca de los miembros del grupo es mucho mayor que el deseo de salir del recinto. Esto provoca que los grupos mantengan su disposición y no se “desarmen” para que sus miembros evacuen cuando hay espacio para uno o dos individuos frente a las puertas, sino que, por el contrario, salen del recinto cuando hay suficiente espacio para evacuar en conjunto.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se investigó cómo afecta la presencia de grupos sociales en una evacuación de emergencia en el contexto del SFM. Añadimos al modelo básico una fuerza de atracción como se propone en la Ref. [2]. La calibramos basándonos en los datos experimentales de la Ref. [15], y analizamos el tiempo de evacuación para grupos de distinto tamaño.

Al incluir la presencia de grupos sociales de dos o más miembros, el tiempo de la evacuación incrementa considerablemente, empeorando su eficiencia. Este incremento depende de la cantidad de personas que conforman un grupo.

Para grupos de dos o tres miembros, observamos los comportamientos conocidos “Faster-Is-Slower” y “Faster-Is-Faster”. Sin embargo, para grupos más grandes, una mayor velocidad de deseo reduce el tiempo de evacuación. Esto se debe a que, para cada individuo, el deseo de permanecer cerca del resto de los miembros de su grupo, representado por la fuerza de atracción que siente hacia todos ellos, es superior que el deseo de evacuar del recinto (para el rango de velocidades de deseo que usualmente exhibe el comportamiento “Faster-Is-Slower”). Por esta razón, al aumentar la velocidad de deseo el tiempo siempre decrece.

Seguir investigando los efectos de incluir grupos sociales en las evacuaciones de emergencia es necesario para poder tener un mayor entendimiento de cómo se altera la dinámica de las mismas, pero está claro que al no incluir comportamientos grupales se está subestimando el tiempo que puede tomar una multitud en evacuar un recinto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a través del FONCYT 2019 (PICT-2019-2019-01994). G. A. Frank agradece también a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por el parcial financiamiento otorgado a través del PID SIUTN-BA0006595. Se agradece a la Asociación de Física Argentina por la invitación a presentar este artículo en el marco de la Mención Especial por el Premio Luis Másperi 2021.

REFERENCIAS

[1] D. Helbing, I. Farkas y T. Vicsek. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* **407**, 487-490 (2000).

[2] G. A. Frank y C. O. Dorso. Panic evacuation of single pedestrians and couples. *Int. J. Mod. Phys. C* **27**, 1650091 (2016).

[3] I. M. Sticco, G. A. Frank, S. Cerrotta y C. O. Dorso. Room evacuation through two contiguous exits. *Physica A: Stat. Mech. Appl.* **474**, 172-185 (2017).

[4] G. A. Frank y C. O. Dorso. Room evacuation in the presence of an obstacle. *Physica A: Stat. Mech. Appl.* **390**, 2135-2145 (2011).

[5] G. A. Frank y C. O. Dorso. Evacuation under limited visibility. *Int. J. Mod. Phys. C* **26**, 1550005 (2015).

[6] F. E. Cornes, G. A. Frank y C. O. Dorso. High pressures in room evacuation processes and a first approach to the dynamics around unconscious pedestrians. *Physica A: Stat. Mech. Appl.* **484**, 282-298 (2017).

[7] D. R. Parisi y C. O. Dorso. Microscopic dynamics of pedestrian evacuation. *Physica A: Stat. Mech. Appl.* **354**, 606-618 (2005).

[8] F. Cornes, G. Frank y C. Dorso. Microscopic dynamics of the evacuation phenomena in the context of the Social Force Model. *Physica A: Stat. Mech. Appl.* **568**, 125744 (2021).

[9] I. M. Sticco, F. E. Cornes, G. A. Frank y C. O. Dorso. Beyond the faster-is-slower effect. *Phys. Rev. E* **96**, 052303 (2017).

[10] C. Von Krüchten y A. Schadschneider. Empirical study on social groups in pedestrian evacuation dynamics. *Physica A: Stat. Mech. Appl.* **475**, 129-141 (2017).

[11] N. Guo, R. Jiang, M.-B. Hu, J.-X. Ding y Z.-J. Ding. Escaping in couples facilitates evacuation: Experimental study and modeling. *arXiv preprint arXiv:1512.05120* (2015).

[12] M. Haghani, M. Sarvi, Z. Shahhoseini y M. Boltes. Dynamics of social groups' decision-making in evacuations. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* **104**, 135-157 (2019).

[13] N. Bode. *The effect of social groups and gender on pedestrian behaviour immediately in front of bottlenecks en 2016 8th International conference on pedestrian and evacuation dynamics* (2016), 92-99.

[14] E. A. Rozan, G. A. Frank, F. E. Cornes, I. M. Sticco y C. O. Dorso. Microscopic dynamics of escaping groups through an exit and a corridor. *Physica A: Stat. Mech. Appl.* **597**, 127271 (2022).

[15] F. Zanlungo, Z. Yücel, D. Bršćić, T. Kanda y N. Hagita. Intrinsic group behaviour: Dependence of pedestrian dyad dynamics on principal social and personal features. *PLoS one* **12**, e0187253 (2017).

[16] S. Plimpton. Fast parallel algorithms for short-range molecular dynamics. *J. Comput. Phys.* **117**, 1-19 (1995).

[17] J. Guo, X. Li, Y. Liu y H. Liang. Flow-induced translocation of polymers through a fluidic channel: A dissipative particle dynamics simulation study. *J. Chem. Phys.* **134**, 134906 (2011).

[18] M. A. Ré. Modelo para traslocación de polímeros a través de nanoporos. *Anales AFA* **23**, 35-41 (2013).