

# Entropía de discos rígidos auto-impulsados como parámetro de orden para peatones en contraflujo

A. Rangel-Huerta, A.L. Ballinas-Hernández, and G. Martínez-Guzmán  
Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,  
14 sur y Av. San Claudio, Col. San Manuel, 72570, Puebla, Puebla; México,  
e-mail: arangel@cs.buap.mx; analuisa.ballinas@correo.buap.mx

Received 24 July 2017; accepted 23 August 2017

En este trabajo se estudia el comportamiento colectivo de un conglomerado de peatones en contraflujo sobre un corredor. Los peatones individuales se modelan como discos rígidos auto-impulsados con interacciones locales de evasión. Se consideran tres preferencias de caminado de los peatones: estándares, relajados y apresurados para incluir heterogeneidad en el flujo promedio de caminado del conglomerado. Hemos encontrado que los patrones espaciales muestran dos etapas hacia la formación de veredas. Una etapa corresponde a la segregación de peatones por contraflujo con la subsecuente formación de veredas globales denominadas patrones de auto-organización. La otra etapa se presenta como un segundo proceso de segregación de peatones debido a las diferentes preferencias de caminado. Se considera la evolución temporal de la entropía como una medida de la auto-organización del sistema con relación a una competencia orden-desorden. Esta entropía se evalúa a partir de la función de distribución de velocidades de caminado de los peatones individuales considerando un intervalo alrededor de la densidad media de ocupación del corredor. La entropía de los conglomerados heterogéneos resulta ser mayor que cualquiera de los conglomerados homogéneos.

*Descriptor:* Peatones en contraflujo; discos rígidos auto-impulsados; sistemas auto-organizados; modelo de entropía.

In this paper we study the collective behavior of a counter-flow pedestrian crowd on a corridor. Individual pedestrians are modeled as self-propelled hard disks with local evasive interactions. Three walking preferences for pedestrians are considered: hurry, standard and relaxed in order to include heterogeneity into the average flow of the crowd. We have found that spatial patterns show two stages towards the walking line formation. One stage corresponds to the segregation of pedestrians due to counter-flow conditions with the subsequent formation of global lines, the so called self-organization patterns. The other stage is presented as a second process of pedestrian segregation due to different walking preferences. The temporal evolution of entropy is introduced as a measure of self-organization of the system according to an order-disorder relation. This entropy is obtained from the velocity distribution function of walking of the individual pedestrians considering an interval around the medium density of the corridor occupation.

*Keywords:* Counterflow pedestrians; self-propelled hard disks; self-organized systems; entropy model.

PACS: 05.20.Dd; 05.40.Jc; 05.65.+b

## 1. Introducción

Un conglomerado de peatones en contraflujo representa un sistema de muchas partículas interactuantes que manifiesta comportamientos complejos fuera de equilibrio. Para este sistema se han caracterizado algunas dinámicas colectivas tales como la formación de veredas, oscilaciones de grupo, transiciones de fase y formación de patrones emergentes de atasco [1-4]. En la literatura existen diferentes enfoques para estudiar los sistemas de tráfico peatonal. En efecto, los modelos denominados de fuerza social describen la dinámica del conglomerado en diferentes ambientes para reproducir algunos patrones de comportamiento colectivo tales como la formación de veredas, caminado a través de accesos y formación de ondas longitudinales y ondas transversales del conglomerado [5-7]. Los modelos basados en autómatas celulares, gases reticulares y modelos basados en sistemas multiagente tienen la característica común de diseñar peatones con base a un conjunto de reglas individuales de caminado. Estos tratamientos pueden reproducir los fenómenos colectivos mencionados anteriormente con la suficiente adaptabilidad para formar patrones colectivos en un amplio rango de densidades [8-13].

Un aspecto importante en la dinámica de un conglomerado en contraflujo consiste en establecer parámetros macroscópicos de orden asociados al comportamiento colectivo auto-organizado. La formación de veredas de caminado, que se ha reconocido como un fenómeno emergente de este sistema complejo, ha sido caracterizada en términos de ciertos parámetros de orden espacial [14-16]. Para reproducir estos comportamientos las herramientas de simulación de conglomerados requieren de un modelo de peatón individual como base para formar el colectivo. Cuando los individuos tienen diferentes características de diseño dan lugar a conglomerados heterogéneos. Esta consideración está relacionada con los modelos de entropía de conglomerados reportados en la literatura [17-22]. Recientemente se ha tenido mayor interés sobre la determinación de los diferentes parámetros de orden asociados a conglomerados heterogéneos [18]. Algunos autores presentan experimentos reales y experimentos de simulación como base para proponer un modelo de entropía útil para describir macroestados del comportamiento de un conglomerado. Los mismos autores proponen que los cambios súbitos en el macroestado del comportamiento global de un conglomerado conducen a cambios significativos en la entropía del sistema.

En este trabajo se presenta un modelo de conglomerados heterogéneos de peatones reactivos considerados como discos rígidos auto-impulsados en contraflujo tomando como base el concepto de peatón definido en la Ref. 23. Para promover la heterogeneidad del sistema el modelo original se modifica para incluir tres preferencias de caminado de los peatones individuales: estándares, relajados y apresurados. Las reglas de caminado para cada perfil siguen una distribución de velocidades. Tomando como base el modelo modificado de peatones se realizan experimentos de simulación de conglomerados heterogéneos para obtener los parámetros macroscópicos de orden. Algunos de los parámetros que se pueden obtener están asociados al flujo promedio y otros parámetros cuantifican la relación orden-desorden del sistema. Como parámetro de orden se evalúa la entropía del grupo a partir de la función de distribución de velocidades de caminado para cada iteración a una densidad media de ocupación del corredor. El resultado principal es la función de distribución promedio de velocidades de caminado del conglomerado heterogéneo como base para calcular la entropía correspondiente en función del tiempo. Se presentan instantáneas del conglomerado heterogéneo en contraflujo para visualizar la formación de patrones espaciales en la forma de veredas de segregación por contraflujo y por preferencias de caminado. Se encuentra que el modelo usual de entropía es útil para caracterizar heterogeneidad de conglomerados formados de peatones con diferentes preferencias.

## 2. Modelo del peatón

Se considera que los peatones se comportan como discos rígidos auto-impulsados aplicando una velocidad de persistencia hacia el extremo opuesto del corredor. Cada peatón tiene dos formas de caminado: a) Caminado libre, con velocidad de avance,

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_d + \delta \mathbf{v} \tag{1}$$

donde  $\mathbf{v}_d$  es una velocidad de caminado constante hacia el destino y  $\delta \mathbf{v}$  una perturbación aleatoria que considera cambios de dirección en un ángulo con distribución normal. Los valores de esta distribución se modifican cuando existen encuentros dentro de su área de percepción sin haber punto de contacto con otros. b) Caminado con encuentros en colisión binaria, donde cada peatón actualiza su velocidad de caminado como reacción a encuentros inminentes con punto de contacto con otros peatones. En este caso las velocidades de caminado se actualizan como,

$$\begin{aligned} \mathbf{v}' &= \mathbf{v} + (\mathbf{g} \cdot \mathbf{k})\mathbf{k} \\ \mathbf{v}'_1 &= \mathbf{v}_1 - (\mathbf{g} \cdot \mathbf{k})\mathbf{k} \end{aligned} \tag{2}$$

donde  $\mathbf{g} = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}$  es la velocidad relativa de los peatones antes del encuentro y  $\mathbf{k}$  es el vector unitario que une

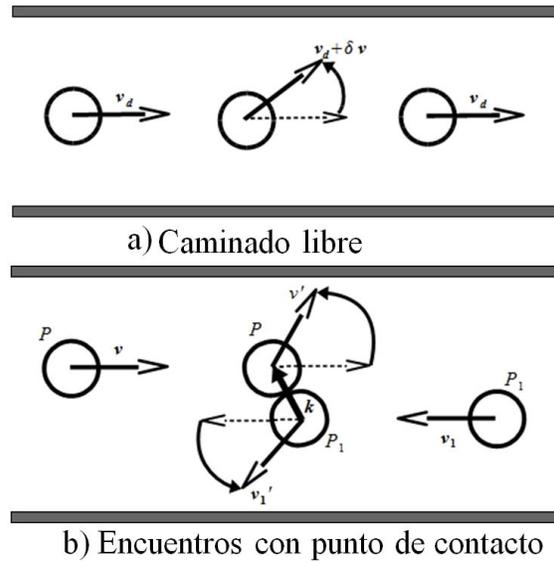


FIGURA 1. a) Secuencia de caminado libre con perturbación aleatoria hacia el destino y b) Evasión local en los encuentros vistos como colisiones binarias de discos rígidos auto-impulsados.

los centros de los discos rígidos en colisión y apunta hacia el peatón de referencia pasando por el punto de contacto [23] (ver Fig. 1).

El modelo de peatón considera que se comportan como partículas auto-impulsadas capaces de regular su velocidad de caminado por sí mismas. Como estrategia de evasión en los encuentros se produce una reacción para cambiar su velocidad de avance de  $v \rightarrow v'$ . Después de la colisión los peatones recuperan su velocidad de caminado libre. En la simulación cada peatón está diseñado como un módulo de software que se comporta como agente reactivo del tipo percepción-actuación. En estado de percepción el peatón revisa su área de percepción local para identificar encuentros con otros peatones. Si su área de percepción está vacía aplica las condiciones de caminado libre, en caso contrario actualiza su velocidad de caminado como encuentros con colisiones binarias. En ambos casos actualiza su posición y velocidad como:  $(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) \rightarrow (\mathbf{r}', \mathbf{v}', t + \tau)$  donde  $\tau$  es el tamaño de paso temporal de la simulación.

TABLA I. Valores de la media y la desviación estándar de la velocidad de caminado asignadas a las variables del Algoritmo 1. Datos normalizados tomados de la Ref. 18.

Parámetro	Estándares	Relajados	Apresurados
Tamaño de paso			
promedio (rapidez)	1	0.5	1.5
Desviación estándar			
promedio de la rapidez	0.45	0.48	0.71
Rango del ángulo de giro	60	20	80

ALGORITMO 1. Proceso de caminado del peatón como disco rígido auto-impulsado.

---

```

1: si areaPercepcion = vacio entonces
2: //Comentario: Caminado libre
3: direccion ← direccion + aleatorioEntre(-rangoGiro, + rangoGiro)
4: rapidez ← distribucionNormal(rapidezPromedio, desviacionRapidezPromedio)
5: sino si areaPercepcion ≠ vacio entonces
6:   eligeVecinoMasCercano()
7:   si distancia(peatonReferencia, vecinoMasCercano) ≤ 2* radio entonces
8:     //Comentario: Encuentro con punto de contacto, se aplica un modelo de rebote
9:     direccion ← evaluaColisionBinaria(peatonReferencia, vecinoMasCercano)
10:    rapidez ← distribucionNormal(rapidezPromedio, desviacionRapidezPromedio)
11:    actualizaPosicionVecinoMasCercano()
12:   sino
13:     //Comentario: Encuentro sin punto de contacto
14:     direccion ← direccion + aleatorioEntre(-rangoGiro, + rangoGiro)
15:     rapidez ← distribucionNormal(rapidezPromedio, desviacionRapidezPromedio)
16:   fin si
17: fin si
18: actualizaPosicion(direccion, rapidez)
19: alinearse(direccionDestino)
20: //Comentario: se desalinea aleatoriamente con un valor entre ± amplitudRuido
21: desalinearseAleatoriamente(amplitudRuido)
22: fin si

```

---

Para dar lugar a conglomerados heterogéneos se incluyen tres perfiles de caminado en las velocidades de avance: estándar, relajado y apresurado. Las preferencias de caminado se definen como distribuciones gaussianas con media y desviación estándar de acuerdo a la Tabla I tomando como base los valores presentados en la Ref. 18. La velocidad se normaliza con respecto a la rapidez del peatón estándar en condiciones normales de caminado.

El Algoritmo 1 permite hacer la implementación del modelo de caminado de un conglomerado de peatones en contraflujo diseñados como discos rígidos auto-impulsados. Este algoritmo está estructurado como un módulo que incluye tres situaciones de caminado, dependiendo de la ocupación de su área de percepción: caminado libre, encuentros sin punto de contacto, y colisiones binarias con punto de contacto. En las tres situaciones de caminado se actualiza la dirección y la rapidez del peatón de referencia. Una vez calculados estos parámetros el peatón actualiza su posición y posteriormente se orienta al destino cambiando su orientación en ángulos aleatorios con rango pequeño. Este proceso se ejecuta de forma iterativa asignando tamaños de paso y ángulos de giro de acuerdo a la Tabla I. Cabe mencionar que los valores asignados a las variables del algoritmo varían dependiendo del perfil de caminado del peatón.

### 3. Conglomerado Homogéneo

La simulación consiste en la implementación del Algoritmo 1 usando el entorno *Netlogo* (software libre <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>) apropiado para diseñar sistemas multiagente dentro de un ambiente gráfico integrado. Esta herramienta nos permite realizar experimentos diversos donde se puede emular la interacción de individuos autónomos. En este ambiente de simulación se puede llevar un registro de los parámetros del sistema para cuantificar el estado macroscópico de colectivos. En un conglomerado homogéneo todos los peatones dentro de un corredor son idénticos, es decir, tienen las mismas preferencias de caminado que consiste en la asignación de una distribución de probabilidades para giro y avance para todo el grupo (ver Tabla I). Se considera una distribución inicial de posiciones aleatorias sobre el corredor a densidades de ocupación media.

En la Fig. 2 se muestra la evolución temporal de los patrones de flujo de caminado de un conglomerado homogéneo de peatones estándares. Se observa que después de un periodo corto, con múltiples encuentros aleatorios, el sistema forma veredas de seguimiento diagonales. Posteriormente aparece otro patrón de veredas que integra al grupo completo en con-

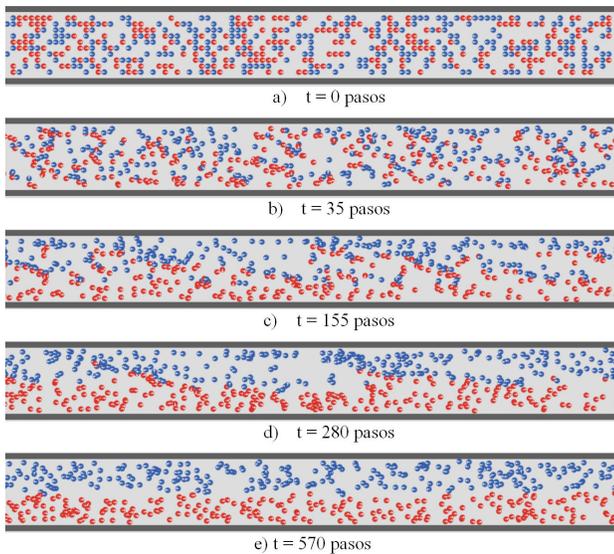


FIGURA 2. Evolución temporal de la formación de patrones del conglomerado homogéneo de peatones estándares.

traflujo como resultado de un mecanismo espontáneo de segregación. Una vez formadas las veredas en contraflujo se observa que se mantienen estables para periodos largos de simulación. En la Ref. 23 se discute la formación de patrones de flujo colectivo en veredas separadas como un fenómeno emergente que mejora el flujo promedio de caminado. Es por ello que hemos considerado al conglomerado homogéneo de peatones estándares como el sistema de referencia para comparar flujos heterogéneos de peatones con diferentes preferencias de caminado.

En la Fig. 3 se muestra el resultado del flujo de un conglomerado de peatones estándares a través de un corredor en función del tiempo a tiempos cortos. Se observa que el flujo se ajusta al valor promedio siguiendo fluctuaciones de gran amplitud. Los picos de mayor y menor amplitud se presentan como episodios de cambios abruptos de los patrones de caminado representados en la Fig. 2. El máximo global tiene un valor de flujo promedio de 4.3 peatones/iteración mientras

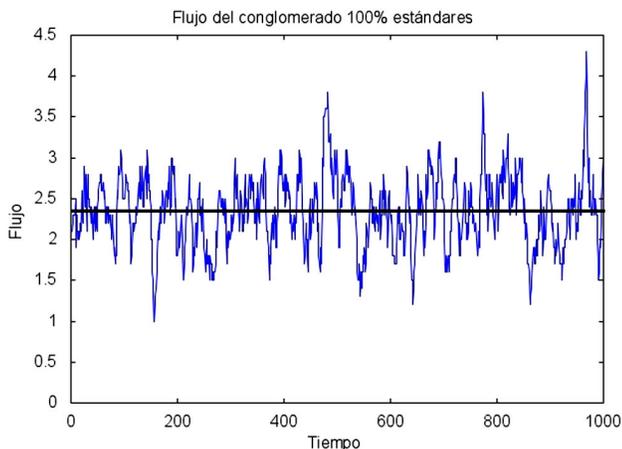


FIGURA 3. Evolución temporal del flujo de caminado del conglomerado homogéneo de peatones estándares a tiempos cortos.

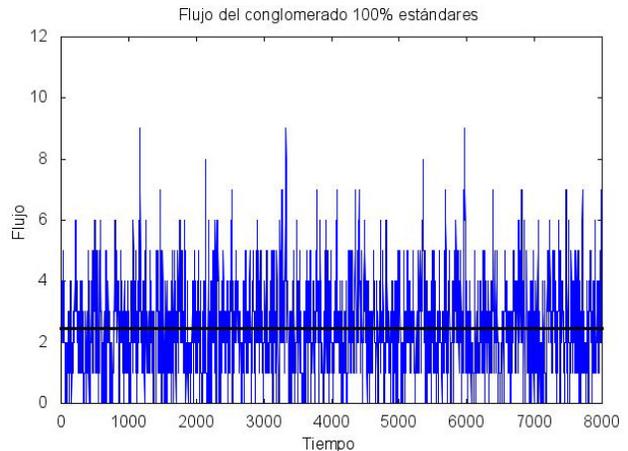


FIGURA 4. Evolución temporal del flujo de caminado del conglomerado homogéneo de peatones estándares a tiempos largos.

que el mínimo global un valor de 1 peatón/iteración. Estos valores dan lugar a una variación relativa en el rango de 3.3 peatones/iteración.

La Fig. 4 muestra la evolución del flujo de caminado de peatones estándares a tiempos largos. Esta gráfica se incluye en esta sección para explorar la estabilidad del flujo de estado estacionario. Se observan diferentes franjas de regularidad superpuestas con picos de variación que se presentan permanentemente. El valor del flujo promedio es de 2.5 peatones/iteración y los peatones abandonan el corredor a razón de 10 peatones al pico máximo de flujo. Estos valores se presentan para conglomerados homogéneos con los tres perfiles considerados.

#### 4. Conglomerado heterogéneo

La simulación puede ser modificada para formar conglomerados de peatones con diferentes proporciones de acuerdo a sus preferencias de caminado. Las condiciones iniciales de la simulación son similares al conglomerado homogéneo. En efecto, los peatones se distribuyen aleatoriamente a lo largo del corredor. No obstante se consideran velocidades de caminado según el perfil de cada peatón. A diferencia del conglomerado homogéneo los patrones de Fig. 5 presentan la formación de cúmulos de peatones alternados por áreas vacías, después de un periodo corto, donde se presentan colisiones aleatorias. Posteriormente se observa un tipo de veredas diagonales guiadas por los peatones apresurados dejando también áreas vacías en el corredor. Al incluir heterogeneidad en el conglomerado la simulación da como resultado un segundo mecanismo de segregación por perfil de caminado de los peatones. Esto se manifiesta como un conjunto de sub-veredas asociadas a los peatones con el mismo perfil de caminado a lo largo del corredor.

En estado estacionario el conglomerado heterogéneo presenta veredas de caminado con subgrupos de peatones apresurados cerca de los bordes y subgrupos de peatones relajados avanzando al centro del corredor. Este proceso es el prin-

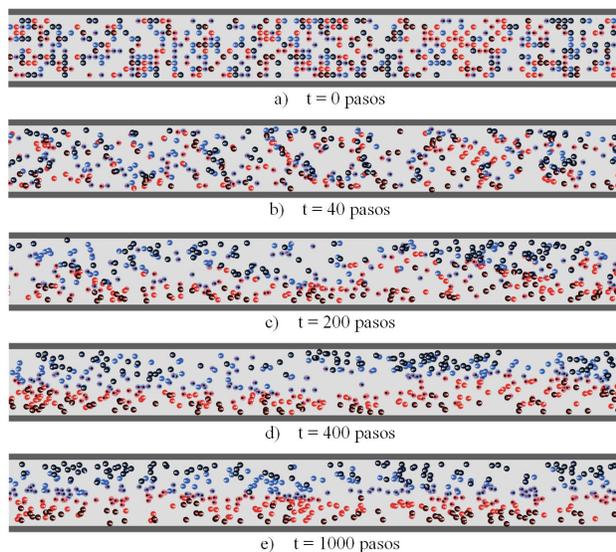


FIGURA 5. Evolución temporal de la formación de patrones del conglomerado heterogéneo formado por 33 % de peatones de cada perfil de caminado.

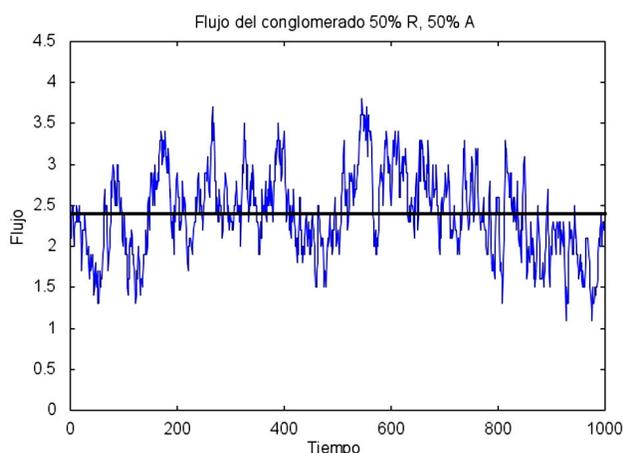


FIGURA 6. Evolución temporal del flujo de caminado del conglomerado heterogéneo con 50 % de peatones relajados y 50 % de apresurados a tiempos cortos.

cipio de la formación de veredas globales denominados patrones de auto-organización producto de una segregación de peatones en contraflujo y debido también a la segregación de los diferentes perfiles de caminado.

En la Fig. 6 se describe el resultado de la simulación del flujo de peatones a través del corredor en función del tiempo para conglomerados con proporciones del 50 % de peatones relajados y 50 % de peatones apresurados. Se observa que el comportamiento del flujo heterogéneo se separa del valor promedio con cierta frecuencia. En este caso el máximo global tiene un valor de flujo promedio de 3.8 peatones/iteración mientras que el mínimo global un valor de 1.2 peatones/iteración. Estos valores corresponden a una variación relativa en el rango de 2.6 peatones/iteración.

La Fig. 7 presenta el resultado del flujo de peatones a través del corredor en función del tiempo para conglomerados

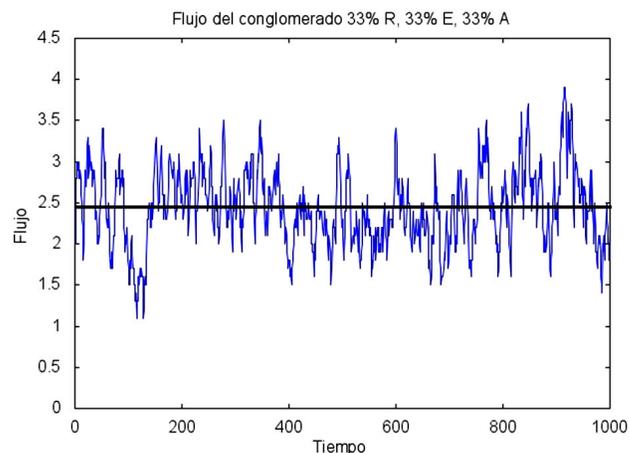


FIGURA 7. Evolución temporal del flujo de caminado del conglomerado heterogéneo con 33 % de peatones de cada perfil a tiempos cortos.

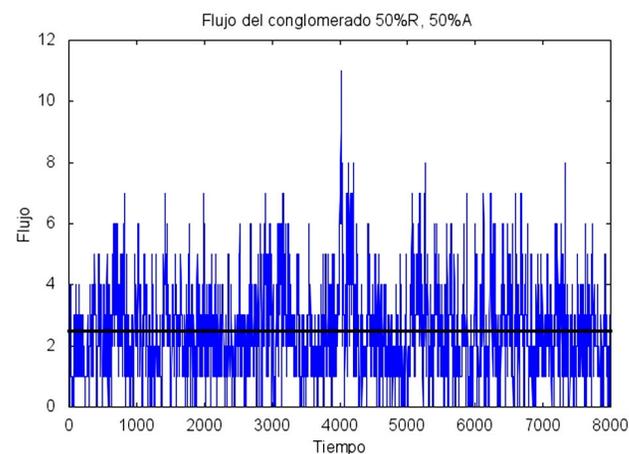


FIGURA 8. Evolución temporal del flujo de caminado del conglomerado heterogéneo con 50 % de peatones relajados y 50 % de estándares a tiempos largos.

dos de peatones con proporciones del 33 % de relajados, 33 % de estándares y 33 % de apresurados. Se observa que el comportamiento del flujo de peatones se aparta del valor promedio con mayor frecuencia que en el caso de la Fig. 6. En este caso el máximo global tiene un valor de flujo promedio de 3.8 peatones/iteración mientras que el mínimo global un valor de 1.1 peatones/iteración. Estos valores corresponden al rango de flujo del conglomerado homogéneo dando como resultado una variación relativa en el rango de 2.7 peatones/iteración.

Las Figs. 8 y 9 corresponden a la evolución del flujo de peatones heterogéneos a tiempos largos con proporciones de 50 % de relajados y 50 % de apresurados, y 33 % de relajados, 33 % de estándares y 33 % de apresurados, respectivamente. Estos resultados permiten describir cierta estabilidad del flujo en estado estacionario. Se observan diferentes franjas de regularidad superpuestas con picos de variación que se presentan permanentemente. El valor del flujo promedio es de 2.5 peatones/iteración y abandonan el corredor 10 peatones al pico máximo de flujo. Estas dos características se presentan para los tres perfiles de caminado considerados. En este

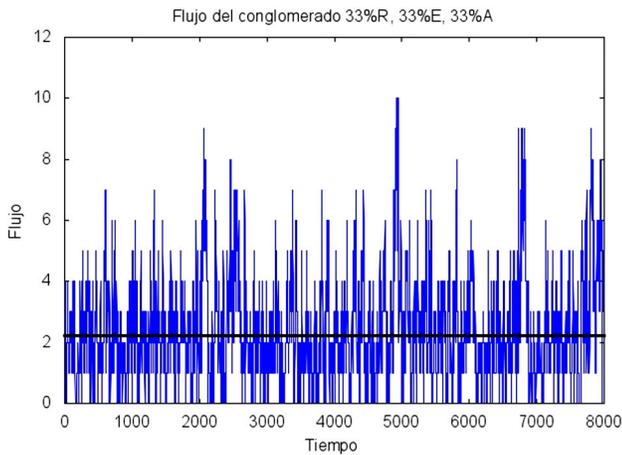


FIGURA 9. Evolución temporal del flujo de caminado del conglomerado heterogéneo con 33 % de peatones de cada perfil a tiempos largos.

caso se observa cierta inhomogeneidad en las franjas de flujo con algunos picos aleatorios de amplitud grande.

### 5. Entropía

A partir de los resultados de las secciones anteriores sobre el comportamiento temporal del flujo promedio de caminado, se observa que no hay diferencia significativa en la medida del flujo entre los conglomerados homogéneos y heterogéneos. Para introducir un parámetro de orden en ese tipo de sistemas proponemos la usar la definición de entropía usual con base en la función de distribución de velocidades de caminado [17].

En efecto definimos la entropía en función del tiempo, para una densidad numérica dada, usando la función de distribución de velocidades de caminado como,

$$s(t) = - \sum_i f_i(t) \ln f_i(t) \tag{3}$$

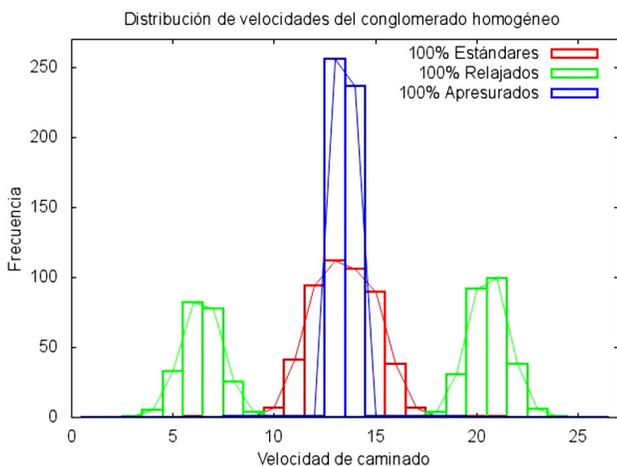


FIGURA 10. Distribución de probabilidad de velocidades de caminado para conglomerados homogéneos.

donde  $i$  corresponde a los intervalos de clase asignados por la simulación a las velocidades de caminado de los peatones individuales. Las consideraciones del modelo de entropía propuesto están basadas sobre trabajos realizados recientemente con registros experimentales que pretenden incluir modelos de entropía como parámetros de orden [19].

En la Fig. 10 se presenta la distribución de velocidades del conglomerado homogéneo considerando grupos al 100 % de cada perfil. El resultado de la distribución de caminado de conglomerados homogéneos corresponde a una distribución gaussiana. Las velocidades se agrupan en clases de tal manera que los valores máximos se encuentran en el centro mientras que las velocidades más bajas se localizan en los extremos laterales. Por lo tanto, los histogramas se dividen en dos secciones respecto al centro de la distribución, el lado derecho corresponde al subgrupo de peatones en flujo y el lado izquierdo al subgrupo de peatones en contraflujo. Se considera como distribución de referencia a los peatones estándares que se agrupan alrededor de la velocidad máxima cubriendo un amplio número de clases de velocidades. Los peatones relajados se distribuyen sobre un número de clases de velocidades más pequeño generando dos distribuciones separadas, que corresponden a las situaciones de flujo y contraflujo. Finalmente el grupo de peatones apresurados se concentra exclusivamente en las dos clases alrededor de la velocidad máxima.

La Fig. 11 muestra los resultados de la entropía para conglomerados homogéneos calculada a partir de la Ec. (3) y considerando la distribución de frecuencias de velocidades de caminado mostrados en la Fig. 10. Los valores obtenidos para la entropía promedio son de 2.7, 3.1, y 1.2 para conglomerados de peatones estándares, relajados y apresurados respectivamente. Para fines de comparación se incluyen resultados experimentales obtenidos a partir de registros de peatones reales por medio de técnicas de seguimiento por video (*videotracking*) [19]. Estos datos experimentales están normalizados con respecto a la entropía teórica máxima y corresponden a la entropía del conglomerado homogéneo de peatones

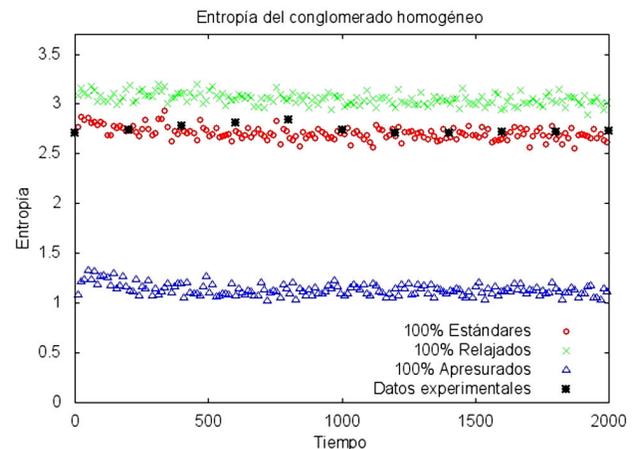


FIGURA 11. Entropía de conglomerados homogéneos en función del tiempo y comparación con resultados experimentales tomados de la Ref. 12.

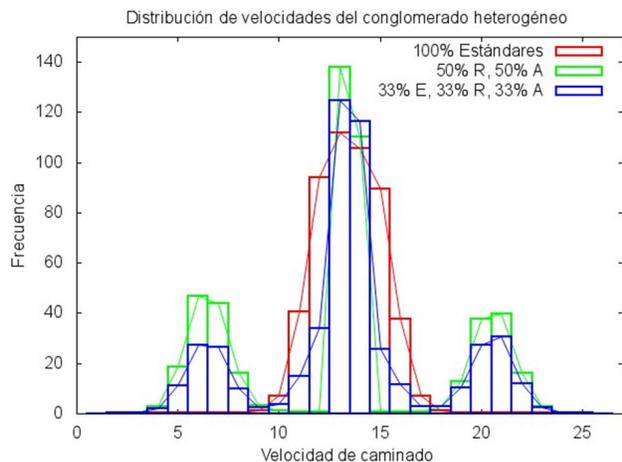


FIGURA 12. Distribución de probabilidad de velocidad de caminado para conglomerados heterogéneos.

estándares. Cabe mencionar que los resultados de simulación muestran que los grupos formados por peatones apresurados tienen menor entropía con respecto a los conglomerados de peatones relajados, confirmando una relación orden-desorden de acuerdo a las preferencias de caminado.

La Fig. 12 muestra los resultados de la función de distribución de caminado de peatones heterogéneos. Se ha considerado la combinación de dos proporciones de peatones con diferentes preferencias de caminado. La primera con grupos de 50 % de relajados y 50 % de apresurados y la segunda con 33 % de relajados, 33 % de estándares y 33 % de apresurados. Además, para efectos de comparación, se incluye la distribución de velocidades del conglomerado homogéneo de peatones estándares. Se observa que la distribución de caminado, tanto de la primera como de la segunda combinación, se comporta como una distribución gaussiana con tope máximo al centro. Para conglomerados heterogéneos se presenta una

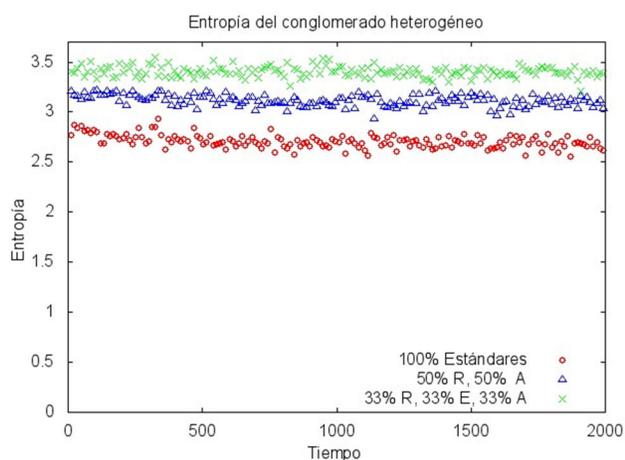


FIGURA 13. Entropía de conglomerados heterogéneos en función del tiempo.

segunda distribución a velocidades pequeñas concentradas a los extremos laterales dependiendo del sentido del flujo de caminado.

La Fig. 13 muestra los resultados de la entropía para conglomerados heterogéneos a partir de la distribución de frecuencias de velocidades de caminado mostrados en la Fig. 12. Los valores obtenidos para la entropía promedio son de 2.7 para el conglomerado homogéneo de estándares (tomado como referencia), 3.2 para el conglomerado heterogéneo con una proporción de 50 % de relajados y 50 % de apresurados, y 3.4 para el conglomerado con 33 % de cada perfil. Se observa además que los conglomerados heterogéneos presentan mayor entropía con respecto a los homogéneos y con respecto a la cantidad de diferentes perfiles de caminado considerados.

## 6. Discusión y conclusiones

Se propone un modelo de simulación de peatones en contraflujo considerados como discos rígidos auto-impulsados con diferentes preferencias de caminado. Los experimentos de simulación permiten obtener patrones espaciales transitorios hacia la formación de veredas, tanto para conglomerados homogéneos como para conglomerados heterogéneos. Este comportamiento corresponde a los mecanismos de auto-organización del colectivo con relación a los fenómenos emergentes de sistemas complejos. Estos patrones de caminado presentan dos procesos de segregación hacia el estado estacionario, uno que corresponde a la formación de veredas por segregación en contraflujo y otro corresponde a la formación de nuevas veredas que emergen debido a los diferentes perfiles del peatón.

La función de distribución de velocidades para un conglomerado heterogéneo en contraflujo con diferentes perfiles de caminado es la base para realizar cálculos de la entropía vista como un parámetro de orden del conglomerado. El comportamiento temporal de la entropía, para todos los casos considerados, es esencialmente constante con pequeñas fluctuaciones. En particular, la entropía de los conglomerados homogéneos de peatones apresurados es baja mientras que la entropía correspondiente a conglomerados relajados es mayor a la entropía de los peatones estándares, tomados como referencia. Para conglomerados heterogéneos, el valor de la entropía depende de las diferentes proporciones de perfiles que se incluyen en los experimentos de simulación.

La principal aportación de este trabajo consiste en mostrar que el modelo usual de entropía, para conglomerados homogéneos y heterogéneos, puede ser utilizado como parámetro de orden que identifica variaciones sobre las diferentes preferencias de caminado. Los resultados obtenidos en la simulación se ajustan con los resultados reportados en la literatura para un conglomerado homogéneo de peatones estándares.

1. D. Helbing, and P. Molnár, *Phys. Rev. E* **51** (1995) 4282.
2. W.G. Weng, S.F. Shen, H.Y. Yuan, and W.C. Fan, *Physica A* **375** (2007) 668.
3. A. Schadschneider, W. Klingsch, H. Klüpfel, T. Kretz, C. Rogsch, and A. Seyfried, *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* (Springer, New York, 2009) pp. 3142-3176.
4. M. Muramatsu, T. Irie, and T. Nagatani, *Physica A* **267** (1999) 487.
5. D.R. Parisi, M. Gilman, and H. Moldovan, *Physica A* **388** (2009) 3600.
6. J. Lee, T. Kim, J. Chung, and J. Kim, *KSCE J. Civ. Eng.* **20** (2016) 1099.
7. A. Johanson, D. Helbing, and P.K. Shukla, *Adv. Complex Syst.* **10** (2007) 271.
8. S. Bandini, S. Manzoni, and G. Vizzari, *IEICE T. Inf. Syst.* **E87-D** (2004) 669.
9. N. Ronald, and M. Kirley, *Computation Science ICCS 3993* (Springer, Berlin, Heidelberg, 2006) pp. 248-255.
10. Y.F. Yu, and W.G. Song, *Phys. Rev. E* **75** (2007) 046112.
11. H. Kuang, X. Li, T. Song, and S. Dai, *Phys. Rev. E* **78** (2008) 066117.
12. A. Rangel-Huerta, and A. Muñoz-Meléndez, *Physica A* **389** (2010) 1077.
13. S. Heliövaara, T. Korhonen, S. Hostikka, and H. Ehtamo, *Build. Environ.* **48** (2012) 89.
14. D. Helbing, L. Buzna, A. Johansson, and T. Werner, *Transport. Sci.* **39** (2005) 1.
15. S. Nowak, and A. Schadschneider, *Phys. Rev. E* **85** (2012) 066128.
16. D. Helbing, L. Buzna, A. Johanson, and T. Werner, *Transport. Sci.* **39** (2005) 1.
17. A. Rangel-Huerta, A. L. Ballinas-Hernández, and A. Muñoz-Meléndez, *Physica A* **473** (2017) 213.
18. M. Matsumoto, M. Miska, M. Kuwahara, and S. Tanaka, *Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research* (WCTR, Lisboa, Portugal, 2010) pp. 1-17.
19. Y. Zhao, M. Yuan, G. Su, and T. Chen, *Physica A* **431** (2015) 84.
20. T. Ma, and J. Lebacque, *Transport. Res.* **28** (2013) 116.
21. J. Evers, A. Muntean, and F. Ven, *1st IFAC Workshop on Control of Systems Governed by Partial Differential Equations* (Elsevier, Paris, Francia, 2013) pp. 25-27.
22. M. Xu, P. Shang, and J. Huang, *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* **35** (2016) 17.
23. A. Rangel-Huerta, *Rev. Mex. Fis.* **59** (2013) 153.