



# Simulación de Sistemas

---

Clase Teórica 7:  
Simulación de Multitudes II



## Estados de Comportamiento

### - Normal o Cooperativo:

- \* Normas sociales vigentes (respeto, caballerosidad, etc.).
- \* Nada o poco contacto físico.
- \* Densidades bajas y medias.

### - Competitivo o en situaciones de vida o muerte:

- \* Lo opuesto a lo anterior.
- \* Instinto de supervivencia; Sálvese quien pueda !!
- \* Altas Presiones (Asfixia, Aplastamiento).



## Caracterización: Observables

- Diagrama Fundamental del Tráfico Peatonal  
(Curva Densidad vs. Velocidad)
- Caudal Específico a través de una Puerta  
(Personas.metro(segundo)).



## Caracterización: Observables

- Para condiciones normales otra problemática de interés es la navegación y elusión de obstáculos.
- La comparación entre modelos y con datos experimentales se realiza a través de métricas:  
Longitud, tiempos, ángulos de giro, y número de choques a lo largo de las trayectorias de los peatones simulados.



## Modelos de Navegación



Predictive Collision Avoidance



## Predictive Collision Avoidance

Karamouzas, Ioannis, Peter Heil, Pascal van Beek, and Mark H. Overmars. "A predictive collision avoidance model for pedestrian simulation." In *Motion in Games*, pp. 41-52. Springer Berlin Heidelberg, 2009.

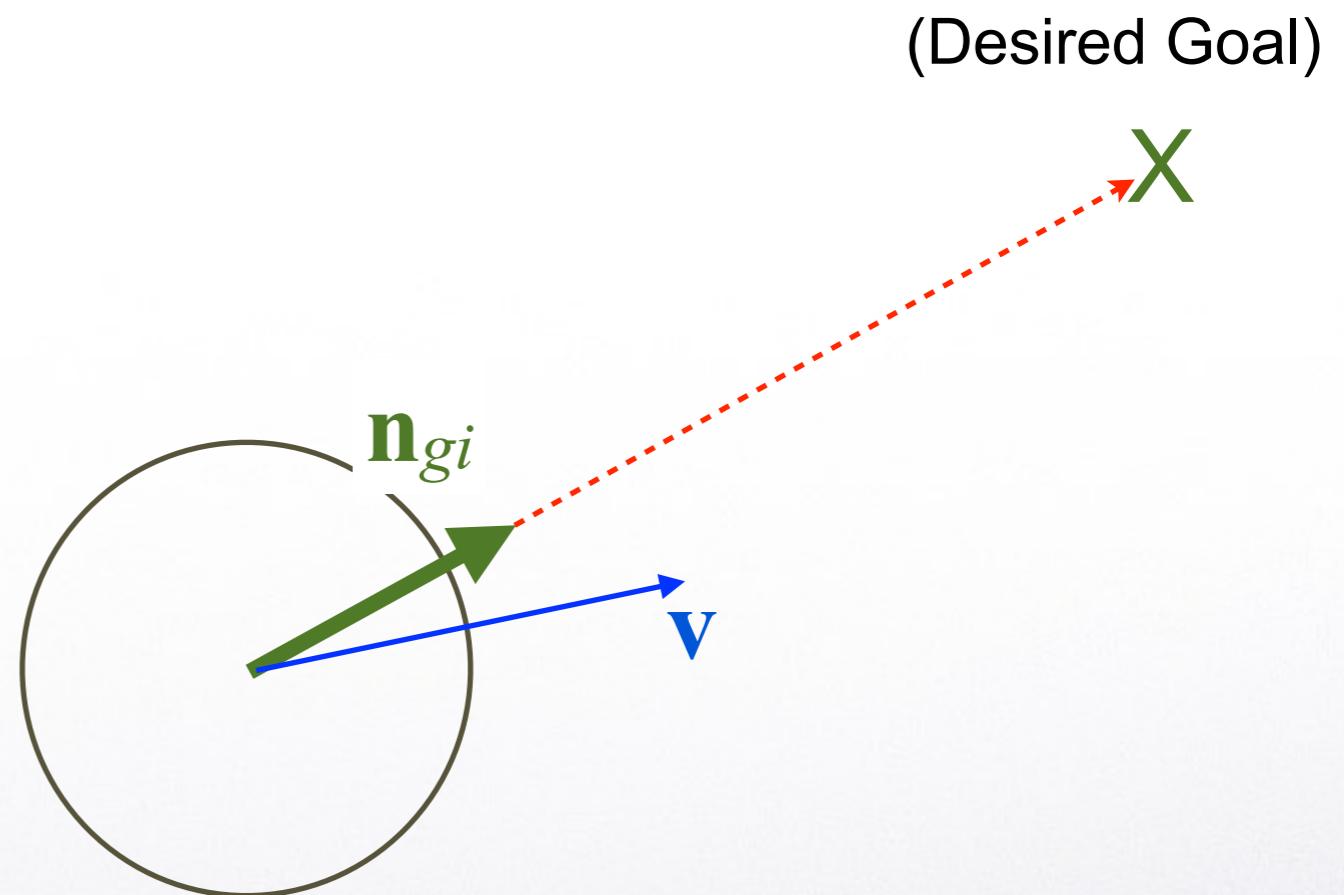
$$m_i \ \mathbf{a}_i = \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_e$$



## Predictive Collision Avoidance

El Algoritmo: 1) Fuerza Autopropulsora

$$\mathbf{F}_g = \frac{1}{\tau} (u_i^{\text{pref}} \mathbf{n}_{gi} - \mathbf{v}),$$





## Predictive Collision Avoidance

El Algoritmo: 2) Distancia personal

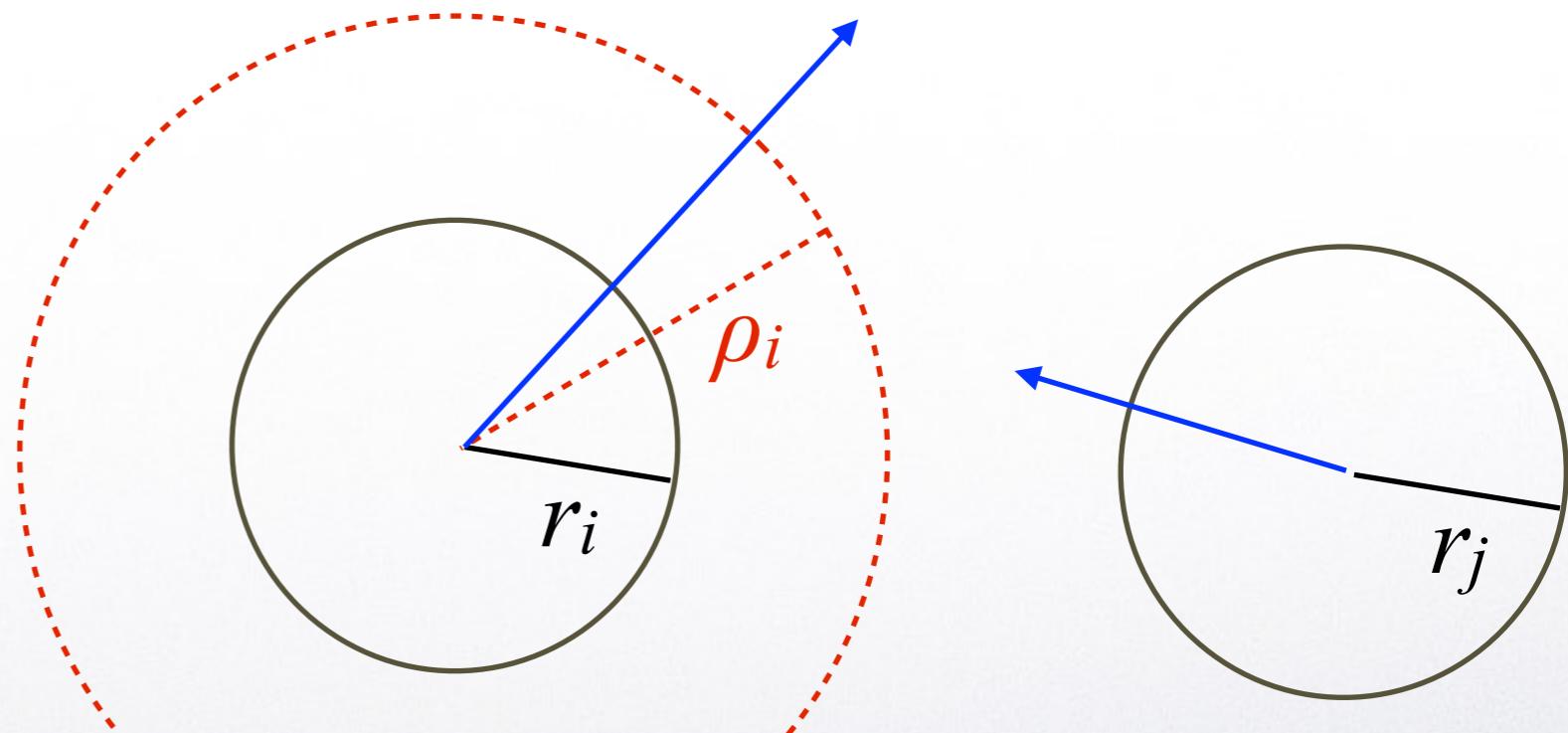
Se intentan evitar colisiones entre peatones y espacios personales.

Se considera que habrá una colisión en un tiempo ( $t_c$ ) si:

$$\exists t_c \geq 0 \mid d_{ij} \leq \rho_i + r_j,$$

donde

$$d_{ij} = \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|$$





## Predictive Collision Avoidance

### El Algoritmo: 3) Fuerza Evasiva

Dado un cierto tiempo de anticipación (  $t_\alpha$  ) Se aplica una Fuerza Evasiva sobre el peatón que evitará la colisión.



## Predictive Collision Avoidance

### Predicción de la Colisión

$$\mathbf{v}_i^{des} = \mathbf{v}_i + \mathbf{F}_g \Delta t$$

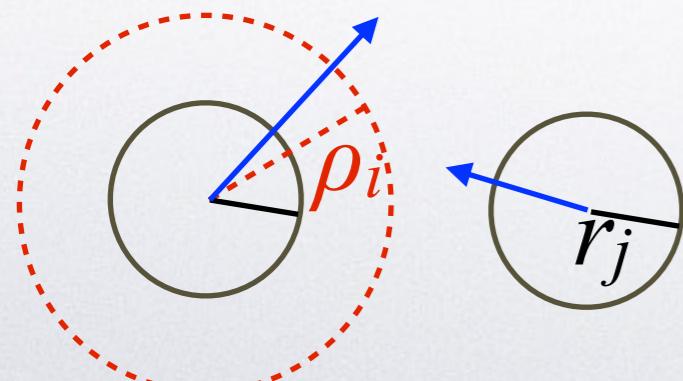
Velocidad deseada hipotética si solo considero la velocidad actual y la Fuerza de autopropulsión.

$$\mathbf{x}_i' = \mathbf{x}_i + t \mathbf{v}_i^{des}$$

Luego se considera una trayectoria con la velocidad deseada para la partícula  $i$

$$\mathbf{x}_j' = \mathbf{x}_j + t \mathbf{v}_j$$

y con la velocidad actual para la partícula  $j$  que es la única visible para la partícula  $i$

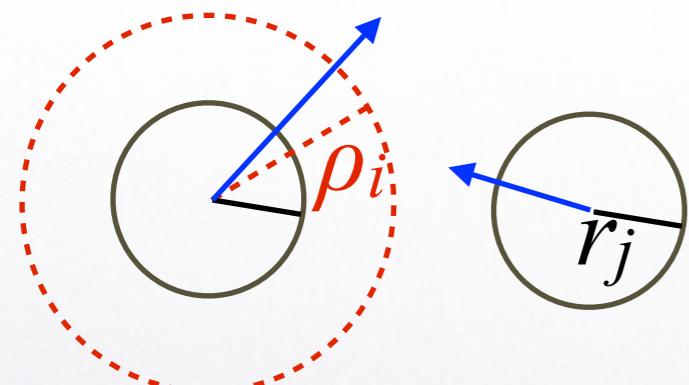


Para computar los tiempos de choque se consideran el radio de espacio personal para  $i$  ( $\rho_i$ ) y el radio físico de la partícula  $j$  ( $r_j$ ). Se resuelven las ecuaciones de encuentro y se calculan los tiempos de choque para las partículas  $j$  que están en la vecindad.



## Predictive Collision Avoidance

### Selección de potenciales choques



De todos los posibles peatones con los que colisionaría el peatón  $i$ , se seleccionan los 5 con menor tiempo de choque.



## Predictive Collision Avoidance

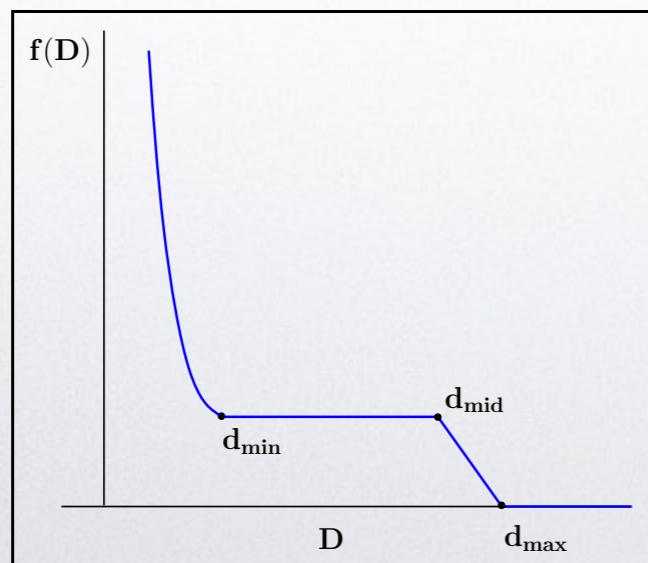
### Maniobra de Elusión

Sean  $\mathbf{c}_i$  y  $\mathbf{c}_j$  las posiciones futuras al tiempo de choque  $t_{cij}$

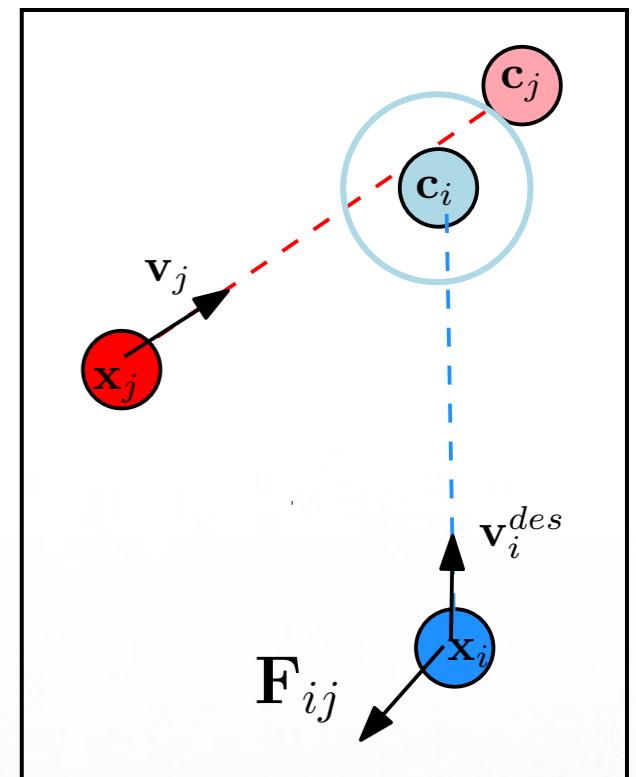
$$\mathbf{c}_i = \mathbf{x}_i + t_{cij} \mathbf{v}_i^{des}$$

$$\mathbf{c}_j = \mathbf{x}_j + t_{cij} \mathbf{v}_j$$

Basado en estas ubicaciones futuras se establece una fuerza evasiva  $\mathbf{F}_{ij}$  que apunta desde  $\mathbf{c}_j$  hacia  $\mathbf{c}_i$  y cuyo módulo está dado por:



$$D = \|\mathbf{c}_i - \mathbf{x}_i\| + (\|\mathbf{c}_i - \mathbf{c}_j\| - r_i - r_j)$$





## Predictive Collision Avoidance

Finalmente la Fuerza de Elusión

Opción 1) Sumar pesoado según la inminencia del choque

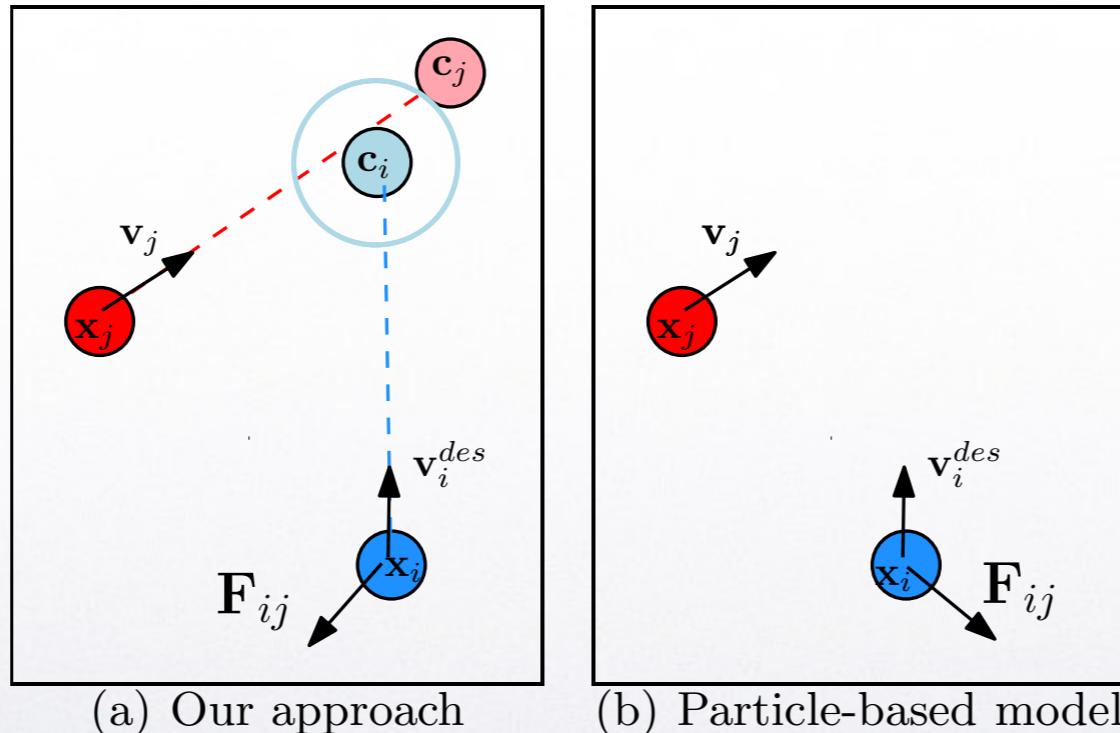
$$\mathbf{F}_e = \sum_j^N w_{ij} \mathbf{F}_{ij},$$

Opción 2) Secuencial: Considerar solo la  $\mathbf{F}_{ij}$  mas inminente. Verificar si con la  $\mathbf{F}_e$  resultante la siguiente colisión aun se produciría, caso afirmativo considerarla, caso negativo ignorarla y seguir hasta completar los candidatos a chocar seleccionados.



## Predictive Collision Avoidance

Comparación con Social Force Model

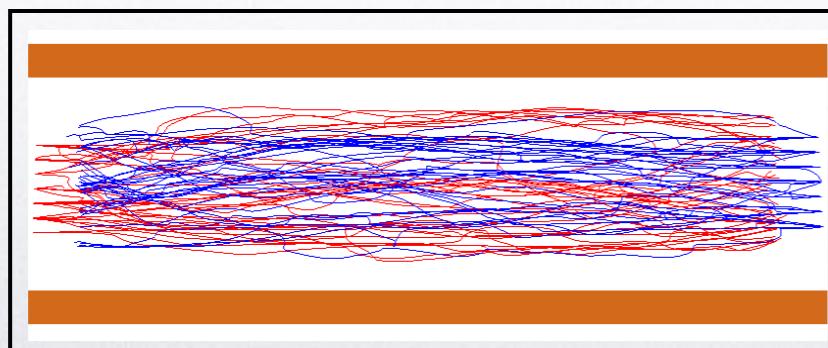




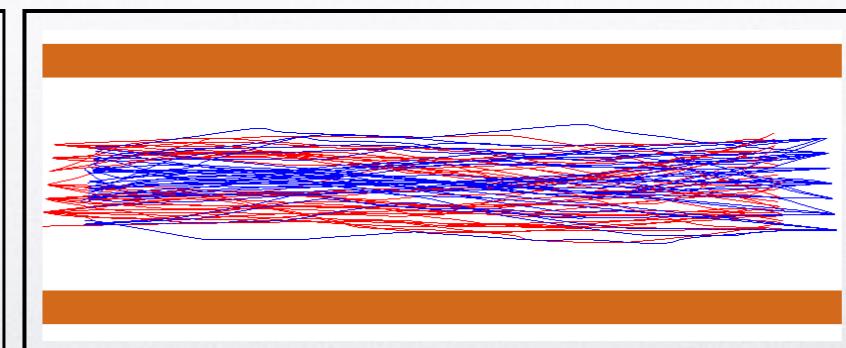
## Predictive Collision Avoidance

### Comparación con Social Force Model

	Time		Path Length		Avg Speed		Smoothness		Total Accel		Degrees Turned	
	Mean	Stdev	Mean	Stdev	Mean	Stdev	Mean	Stdev	Mean	Stdev	Mean	Stdev
<b>Helbing</b>	30.33	3.71	37.12	2.34	1.23	0.09	1.08	1.08	55.73	28.37	323.22	225.79
<b>Predictive</b>	25.05	2.10	35.14	1.79	1.40	0.05	0.06	0.08	9.4	6.01	76.62	52.29
<b>RVO</b>	24.51	1.79	34.56	0.35	1.41	0.01	0.10	0.07	18.75	10.17	106.2	56.14



(a) Helbing's model



(b) Predictive model



## Predictive Collision Avoidance

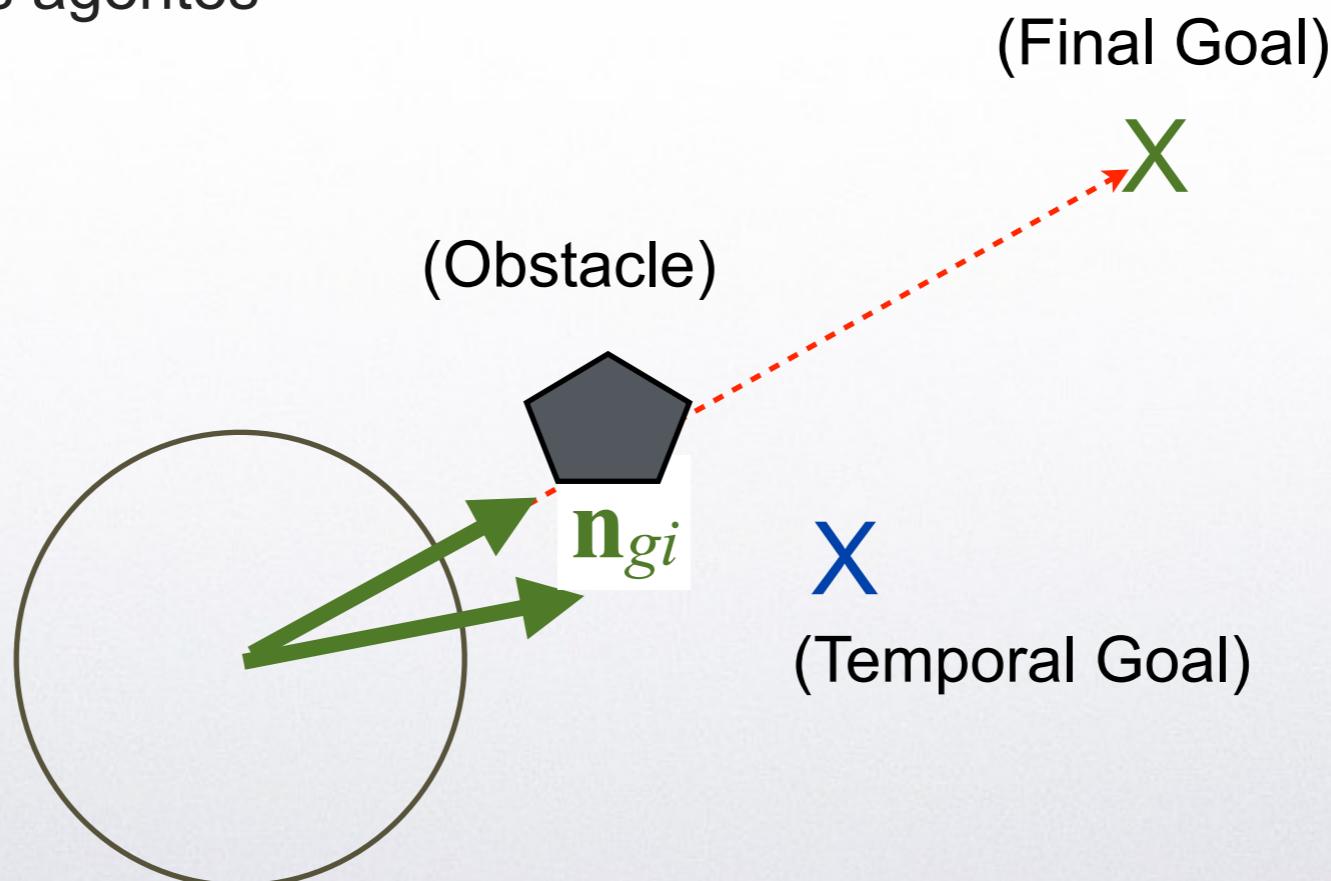
Comparación con Social Force Model

pueden ver animaciones de este modelo en:  
[\(https://sites.google.com/site/ikaramouzas/pam\)](https://sites.google.com/site/ikaramouzas/pam)



## NUEVO ENFOQUE: Concepto Elusión de Colisiones

"Goal Temporario" que varia en el tiempo en función de posiciones y velocidades de otros agentes





**Heurística Cognitiva**



## Heurística Cognitiva

Moussaïd, Mehdi, Dirk Helbing, and Guy Theraulaz. "How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, no. 17 (2011): 6884-6888.

## Fundamento

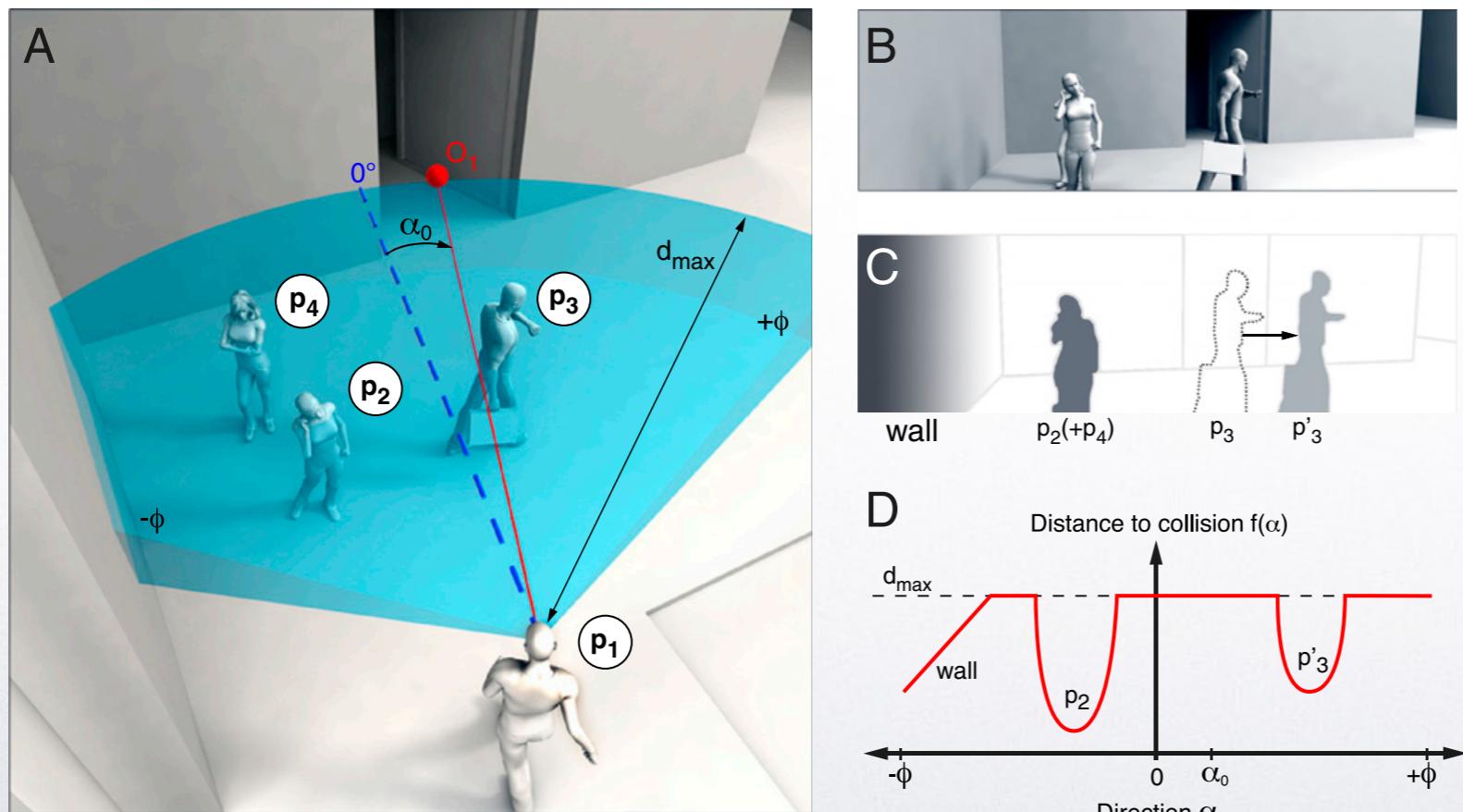
Análogamente al Social Force Model, se consideran peatones circulares con:

- radio  $r$
- masa  $m$
- posición  $\vec{x}$
- velocidad  $\vec{v}$



## Heurística Cognitiva

### Fundamento



$f(\alpha)$  tiende a  $d_{\max}$  cuando no hay una colisión futura



## Heurística Cognitiva

### Heurística

El peatón buscará una solución de compromiso entre un ángulo ( $\alpha_{des}$ ) libre de choques y desviarse lo menos posible de un camino directo hacia el objetivo. Por lo tanto, la primer regla heurística será elegir  $\alpha_{des}(t)$  tal que se minimice la función:

$$d(\alpha) = d_{\max}^2 + f(\alpha)^2 - 2d_{\max}f(\alpha)\cos(\alpha_0 - \alpha).$$

donde ( $\alpha_0$ ) indica la dirección al objetivo.



## Heurística Cognitiva

### Heurística

La segunda regla heurística es: “Un peatón mantiene una distancia al primer obstáculo en el sentido de la marcha elegido de tal manera que asegure un tiempo de colisión de al menos  $\tau$ ”. En consecuencia el módulo de la velocidad deseada será:

$$v_{des}(t) = \min(v_i^0, d_h/\tau)$$

donde  $d_h$  es la distancia entre el peatón  $i$  y su primer obstáculo en la dirección deseada  $\alpha_{des}$ .



## Heurística Cognitiva

### Dinámica

Una vez que se tiene la velocidad deseada ( $\vec{v}_{des}$ ) El cambio de la velocidad actual ( $\vec{v}_i$ ) estará dado por:

$$d\vec{v}_i/dt = (\vec{v}_{des} - \vec{v}_i)/\tau.$$



## Heurística Cognitiva

### Dinámica

Además, en los casos de alta densidad donde las partículas entran en contacto, se considera la fuerza de contacto del Social Force Model entre peatones y con las paredes. Por lo tanto la ecuación final para integrar resulta.

$$d\vec{v}_i/dt = (\vec{v}_{\text{des}} - \vec{v}_i)/\tau + \sum_j \vec{f}_{ij}/m_i + \sum_W \vec{f}_{iW}/m_i$$



## Heurística Cognitiva

### Resultados

Elusión obstáculo fijo

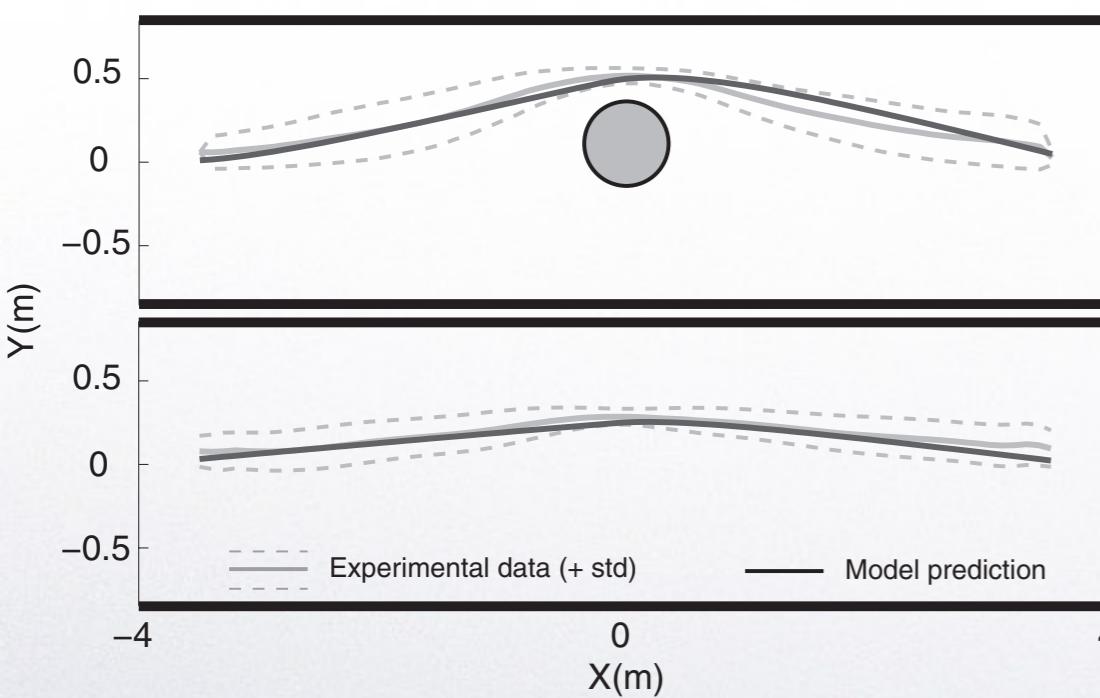
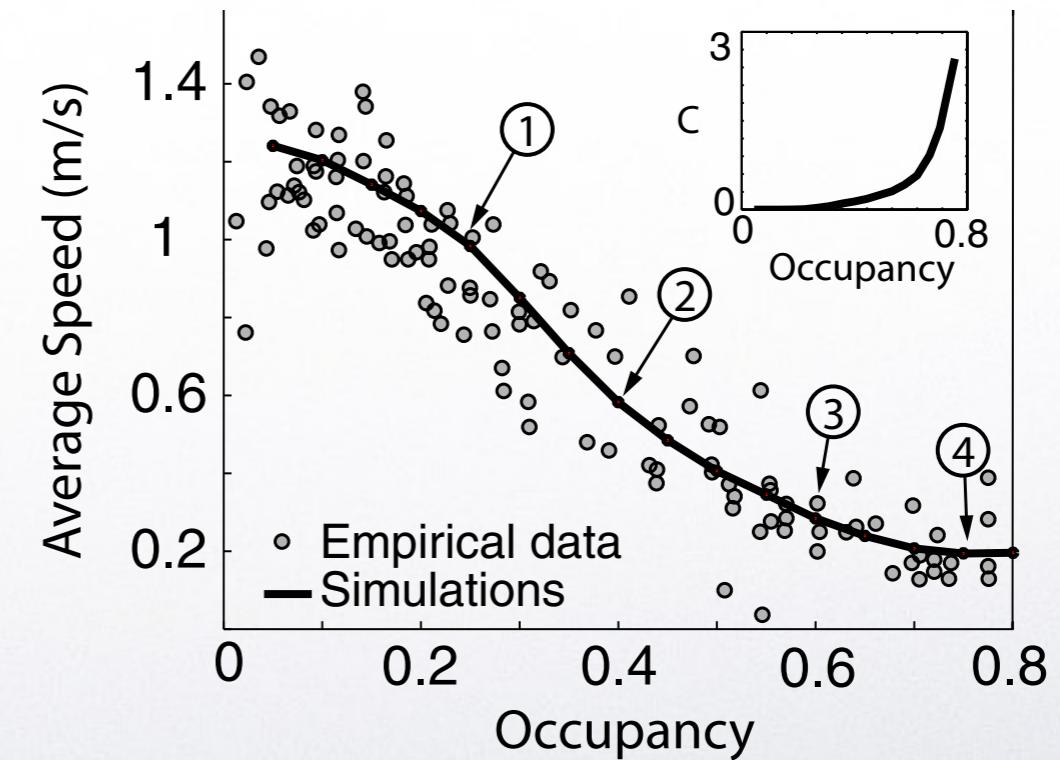
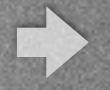


Diagrama fundamental

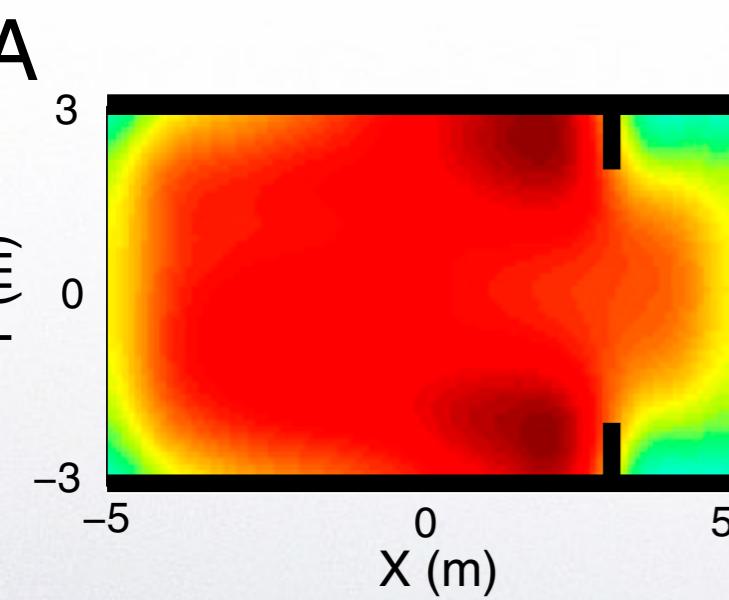




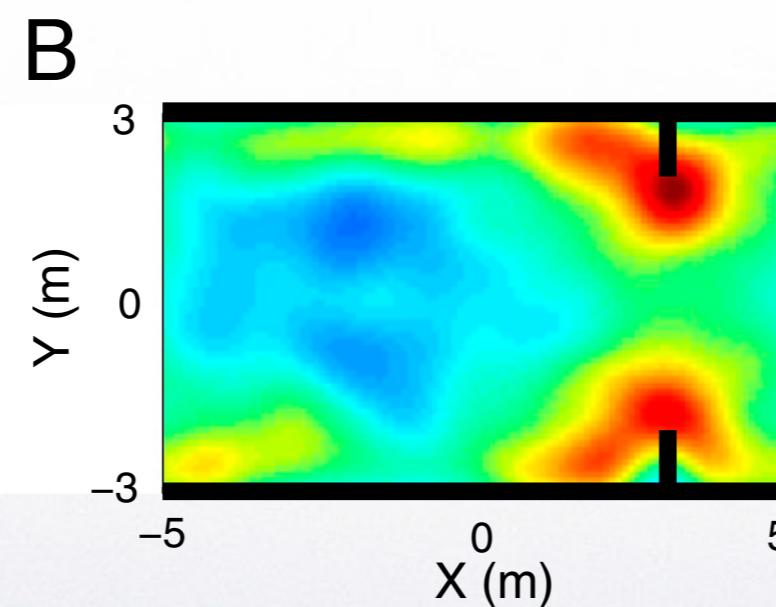
## Heurística Cognitiva

Resultados: “Love Parade disaster (Duisburg 2010)” (Occupancy = 0.98)

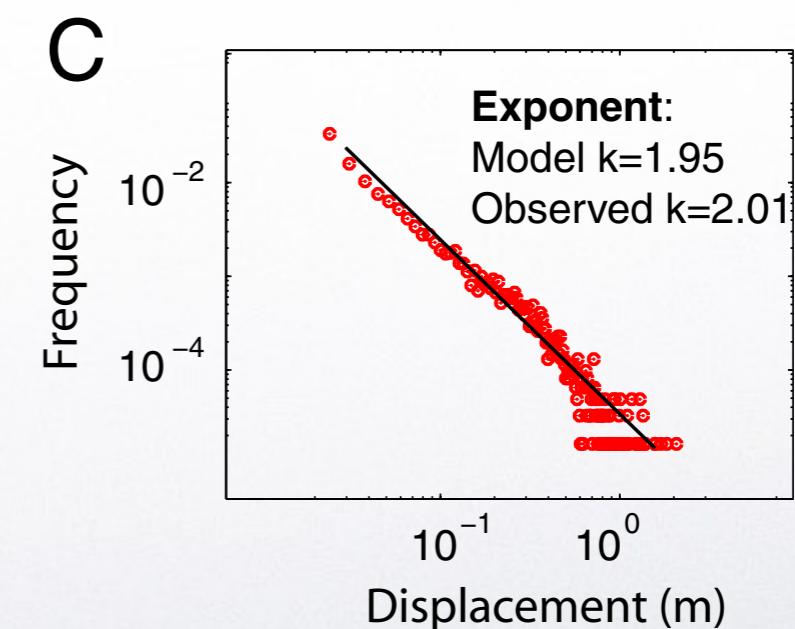
A: Compresión corporal



B: Probabilidad de caídas



C: Distribución de desplazamientos entre 2 detenidas consecutivas



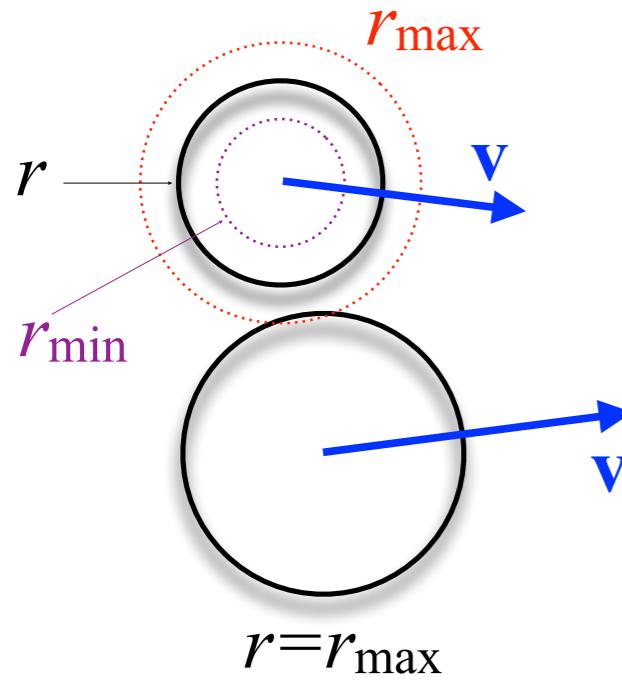
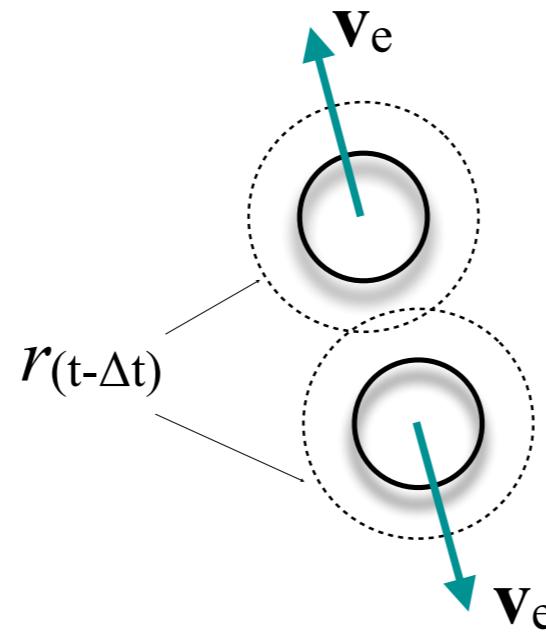
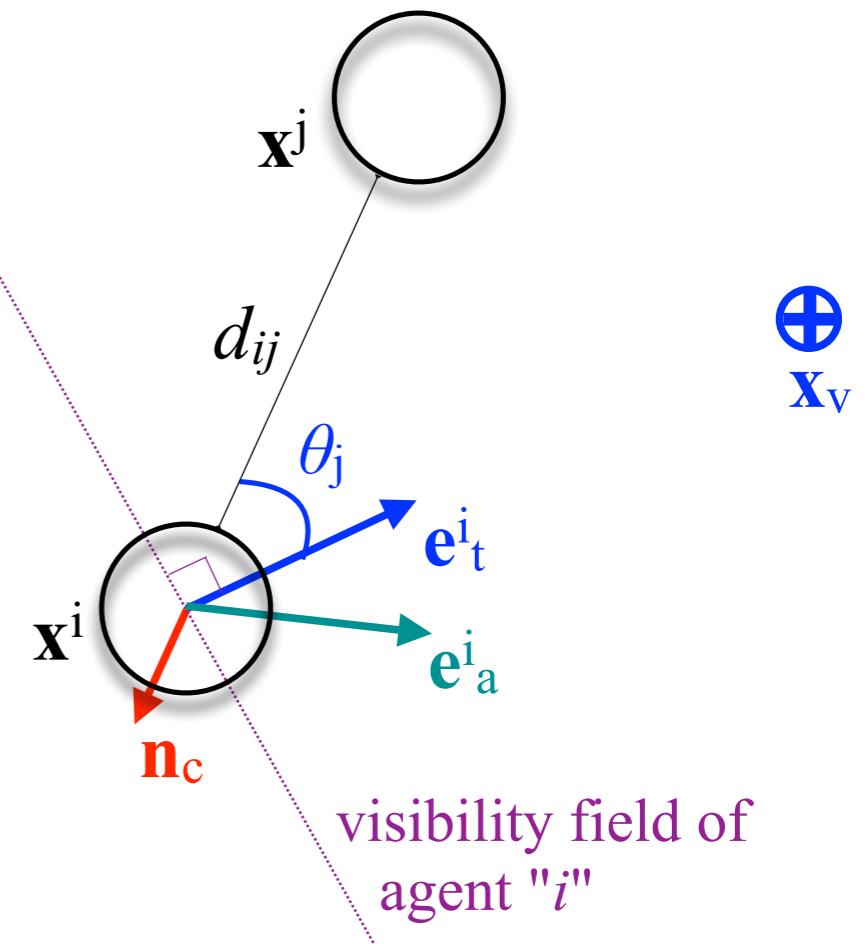


Modificación al CPM



## Modificación al CPM

$$\mathbf{n}_c^i = \mathbf{e}^{ij} A_p e^{-d_{ij}/B_p} \cos(\theta_j) .$$

**A****B****C**



## Modificación al CPM

Si la partícula NO está en contacto:

$$\mathbf{v}_d = v_d \mathbf{e}_a^i \quad \mathbf{e}_a^i = \frac{\mathbf{n}_c + \mathbf{e}_t^i}{|\mathbf{n}_c + \mathbf{e}_t^i|}$$

$$\mathbf{x}(t + dt) = \mathbf{x}(t) + \mathbf{v}_d dt$$

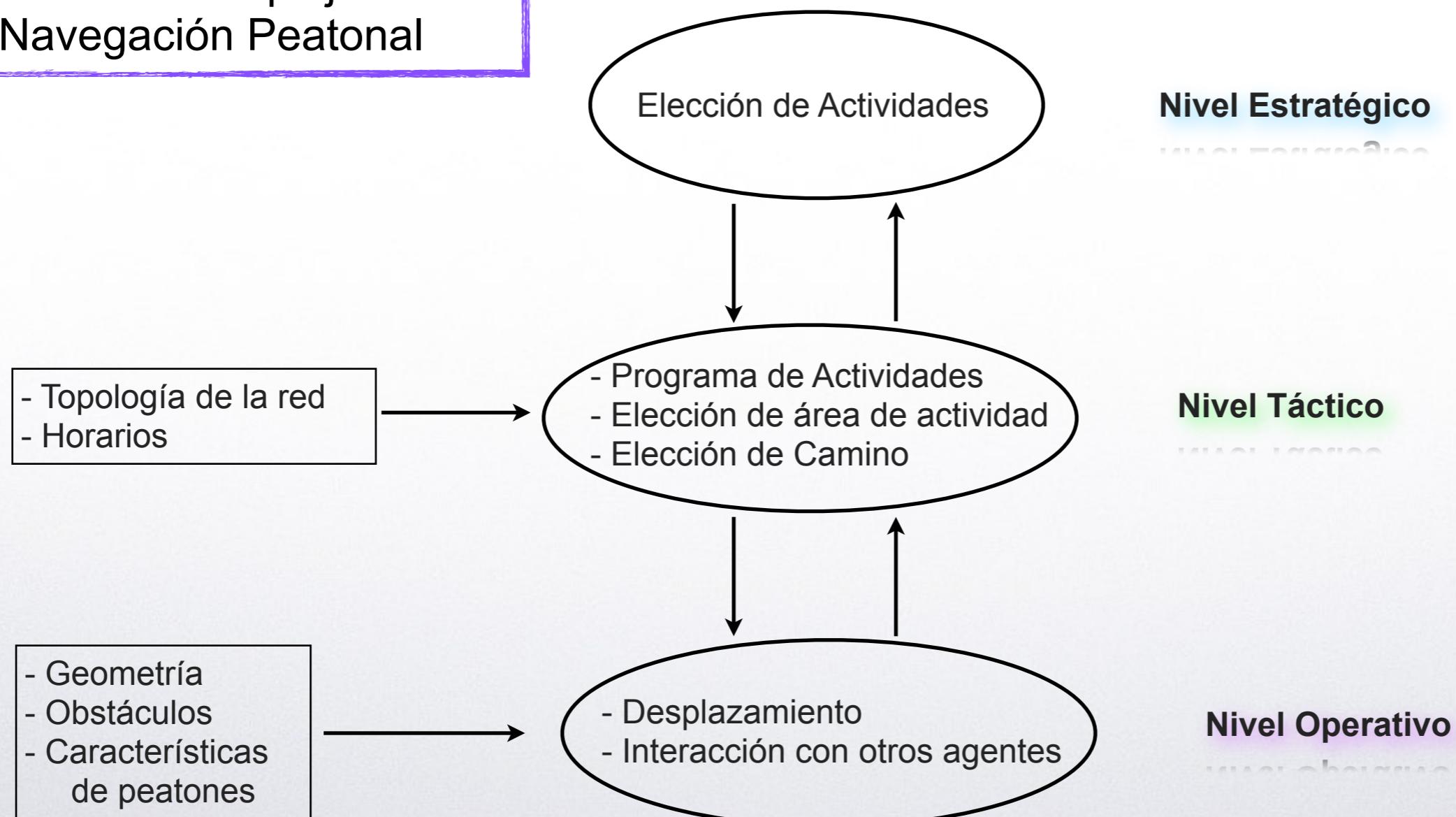


# Software de Simulación



# Software de Simulación

## Niveles de Complejidad en la Navegación Peatonal





# Software de Simulación

## Niveles de Complejidad en la Navegación Peatonal

### Nivel Estratégico

MACRO-ESTRUCTURAS

- Predictive Coll. Avoidance
- Heurística Cognitiva
- Wang Qian-Ling et al. 2015
- Stephen J. Guy et. al 2012

### Nivel Táctico

MICRO-ESTRUCTURAS

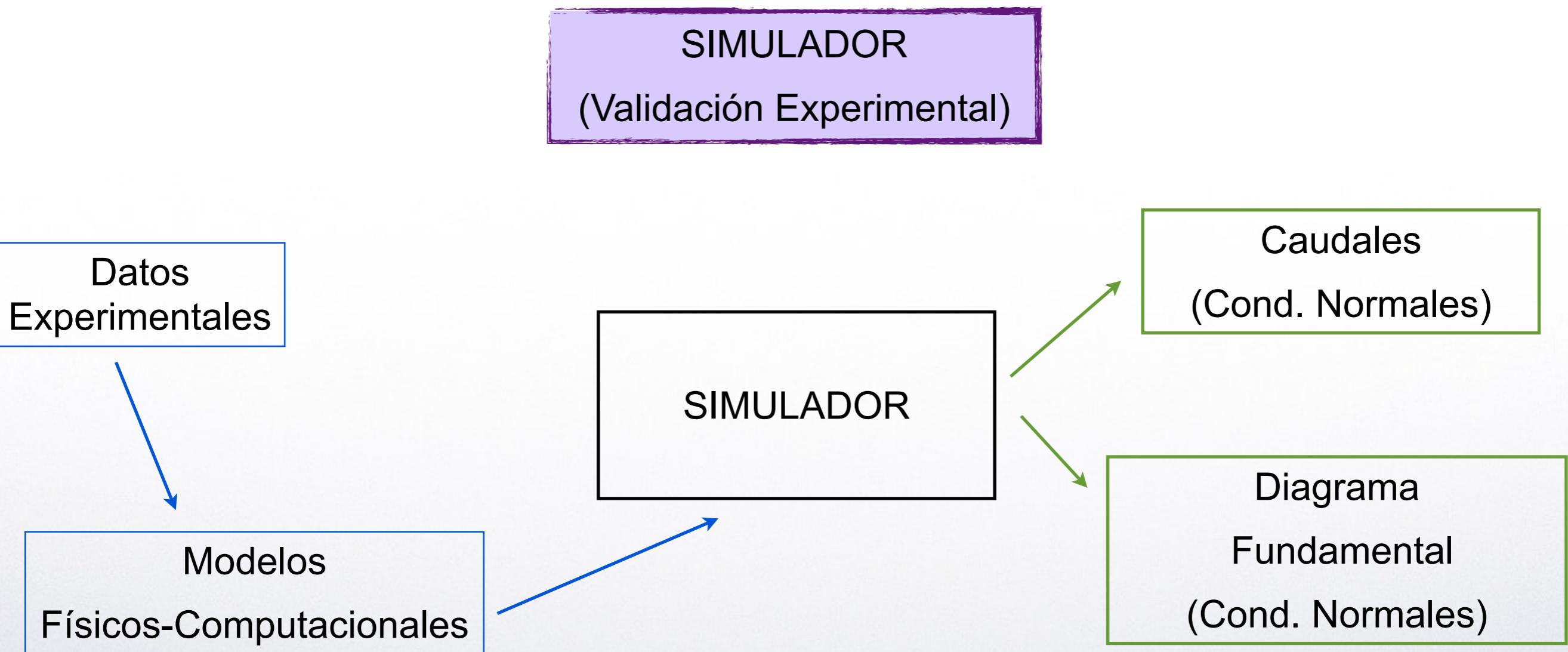
- Soc. Force Model
- Bionic Inspire
- Contract Part. Model

### Nivel Operativo

MACRO-ESTRUCTURAS



# Software de Simulación





# Software de Simulación

## Inputs generales

- Geometría.
- Ocupación / Demanda (caudales de llegada)
- Ubicación de Servidores y Tiempo de Procesos
- Matriz Origen-Destino. Lista de tareas.
- Plan de Evacuación.



# Software de Simulación

## Observables típicos

- Tiempos de tránsito y de Evacuación
- Tiempos de espera en procesos
- Curvas de Población
- Mapas de densidad
- Animaciones 2-D
- Ocupación por sectores
- Etc.



# Aplicaciones al Diseño de Sistemas Peatonales



## Sistemas Simples

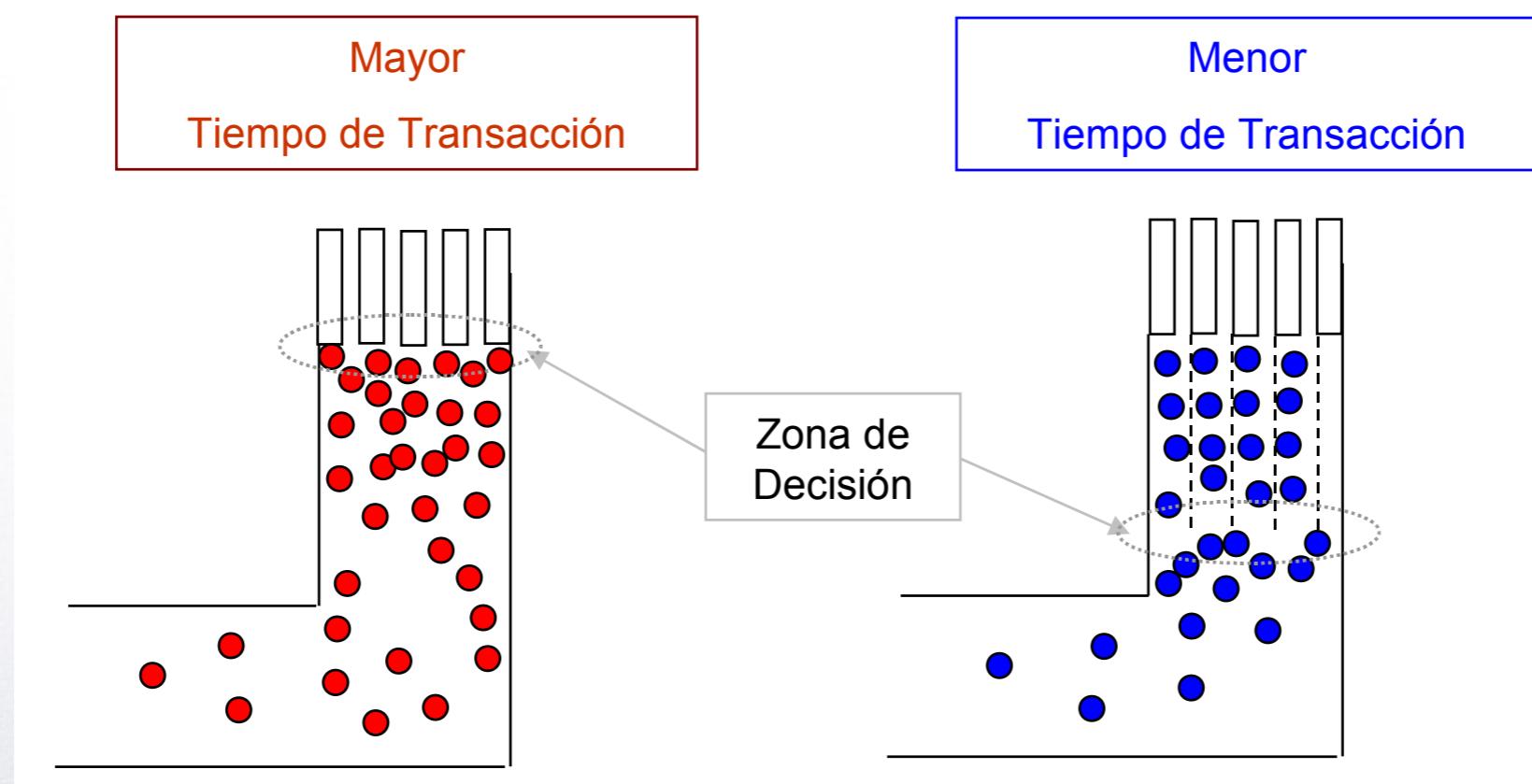
Ejemplo Funcionalidad: Procesos y Filas

Mayor

Tiempo de Transacción

Menor

Tiempo de Transacción

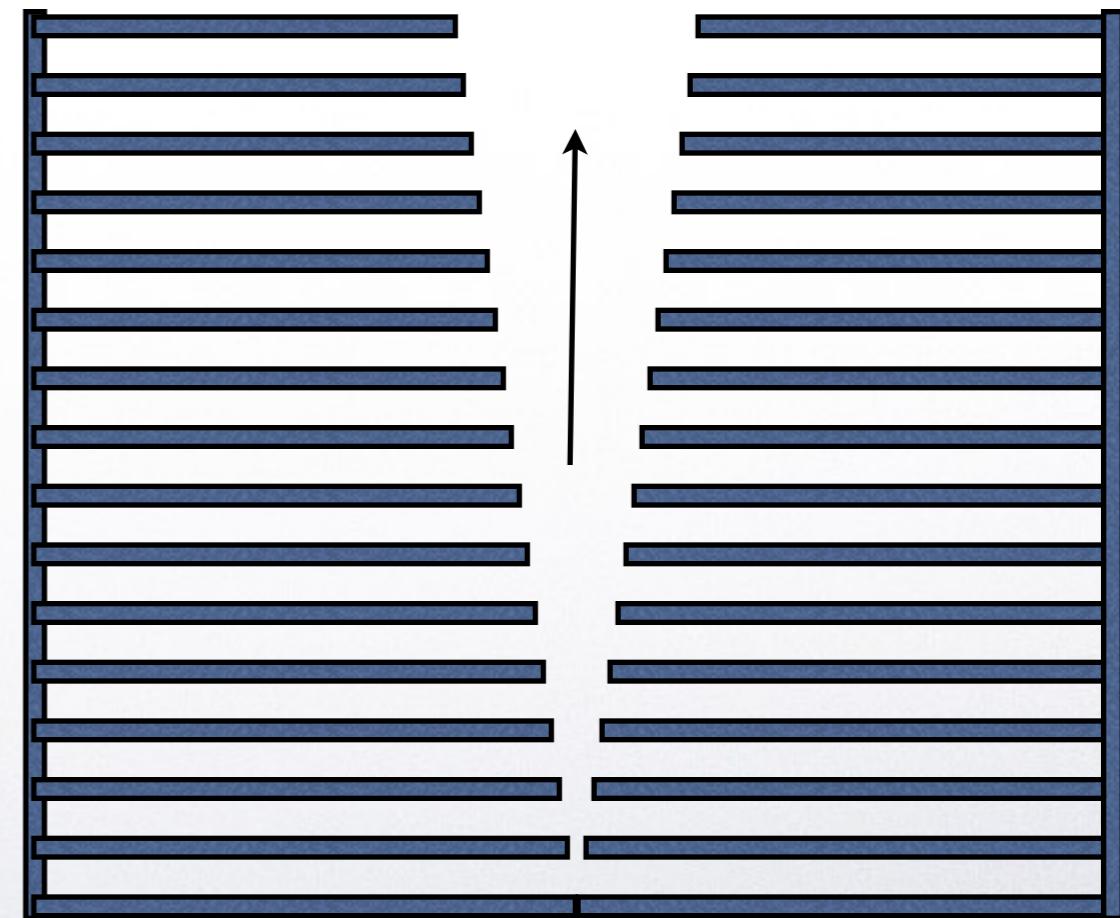
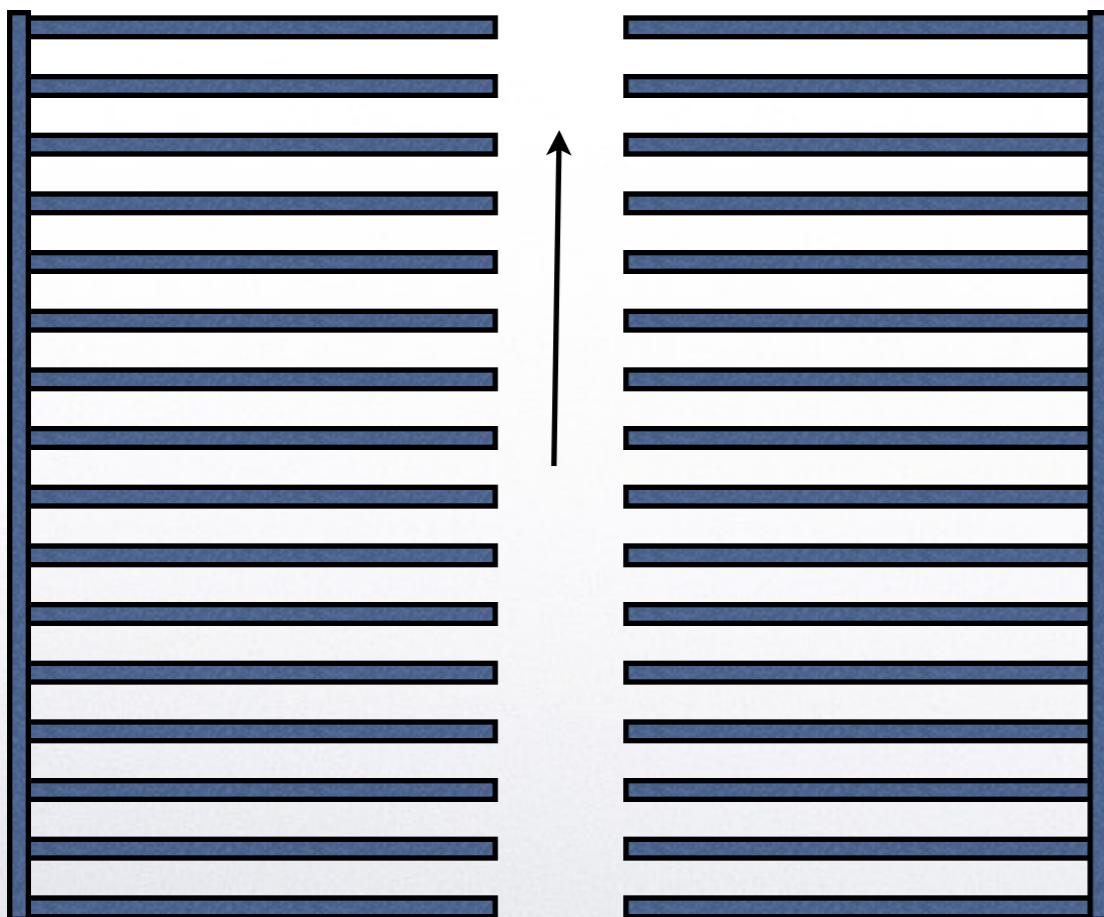




## Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Cambio de “Layout”

(Gradas de un estadio)

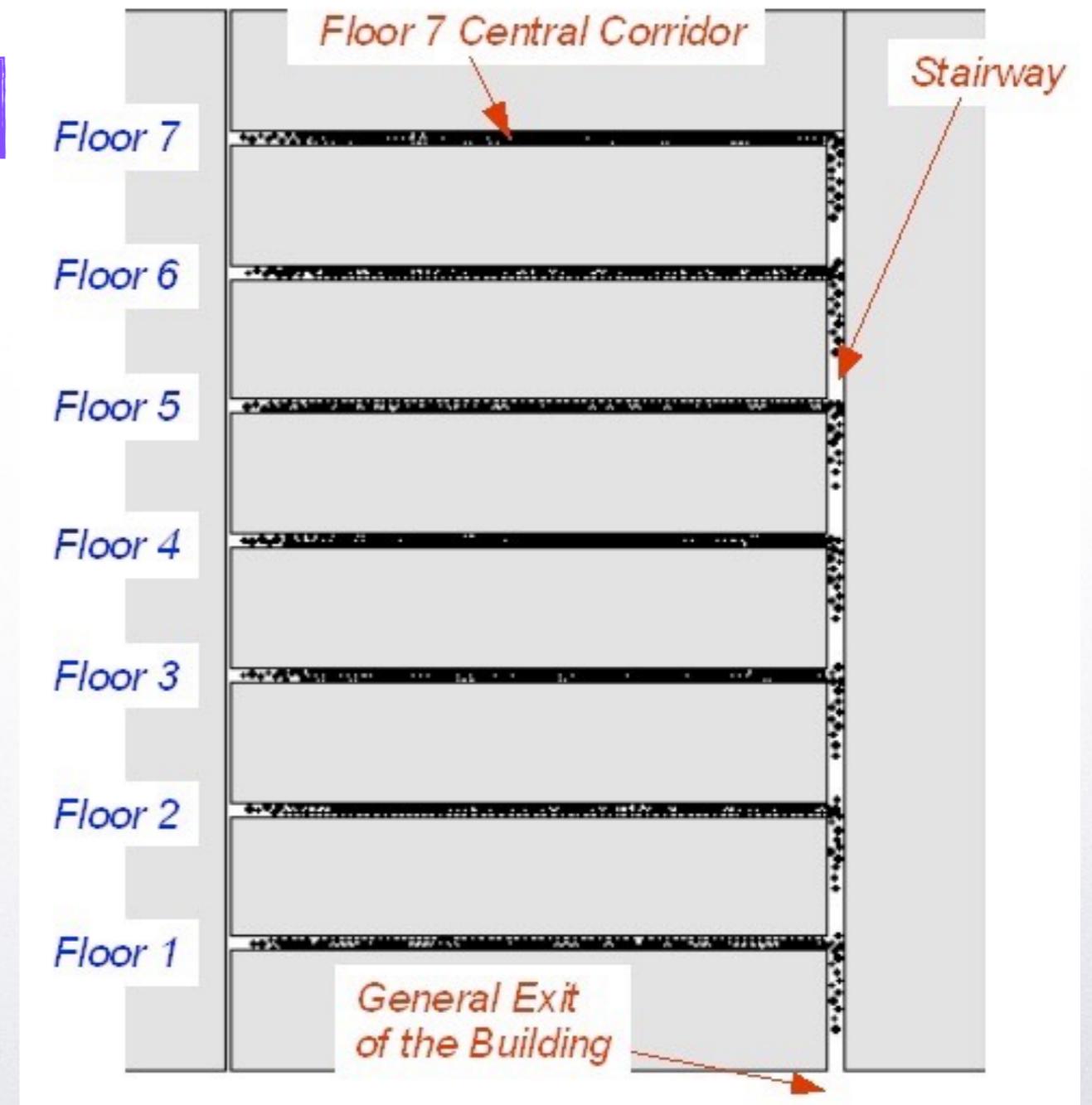


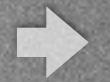


## Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Secuencia de Evacuación

(Edificio de 7 pisos)



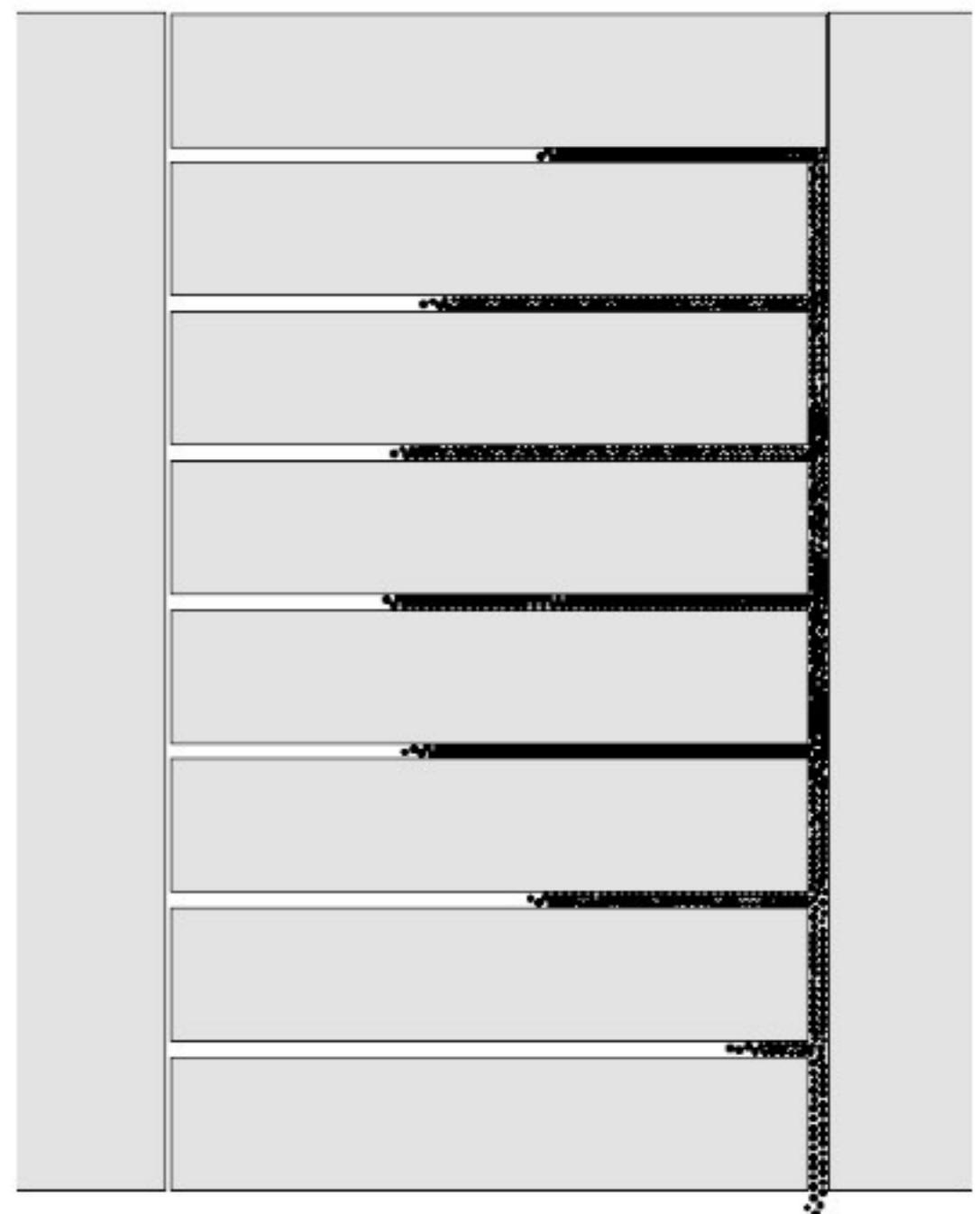


## Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Secuencia de Evacuación

(Edificio de 7 pisos)

Imagen a los 70 segundos de iniciada la evacuación.



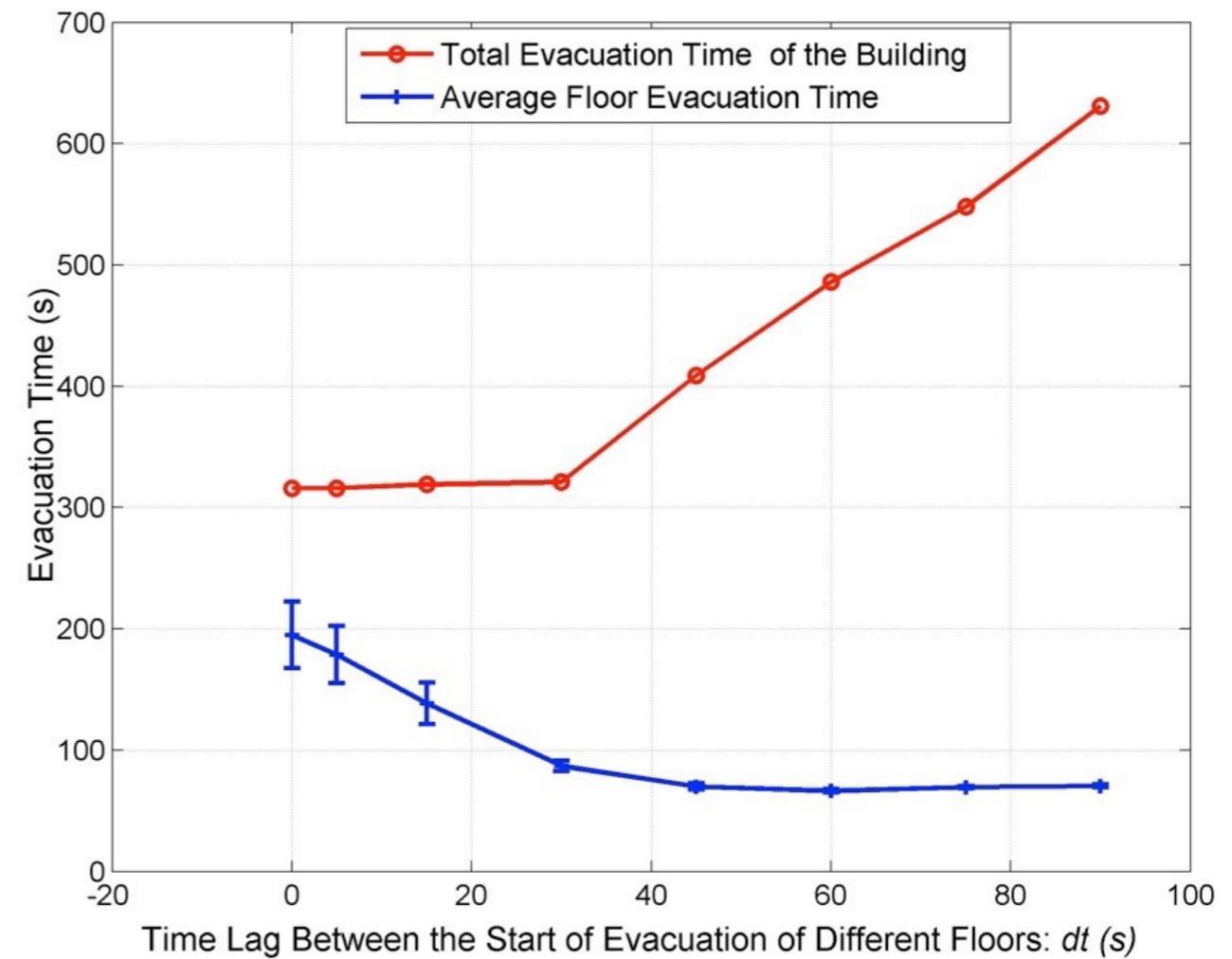


## Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Secuencia de Evacuación

(Edificio de 7 pisos)

Estrategia “bottom-up”

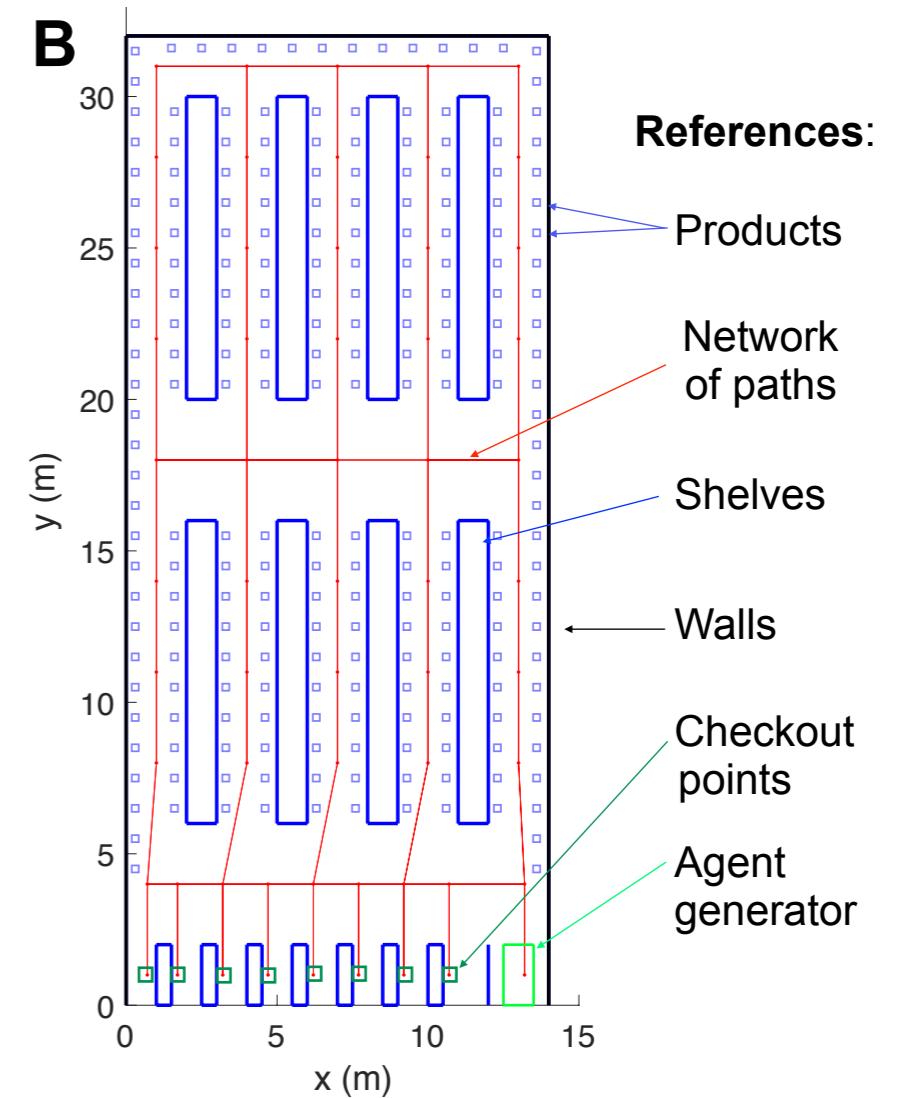
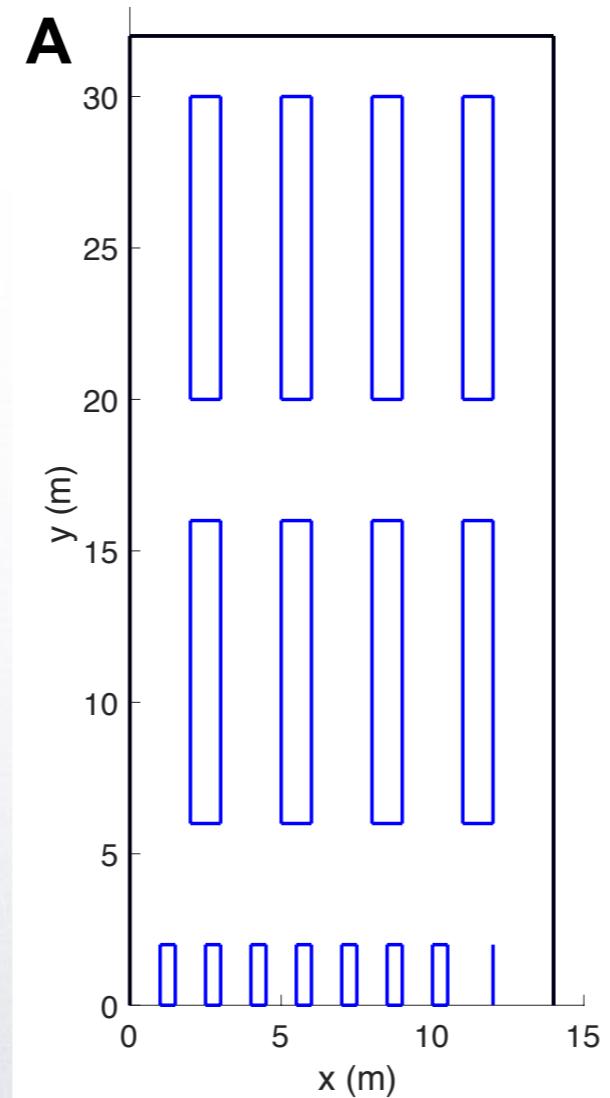




# Sistema Complejo

## Distancia Social en Supermercado

Caracterizar la distancia entre agentes en función de la ocupación permitida ( $N$ )

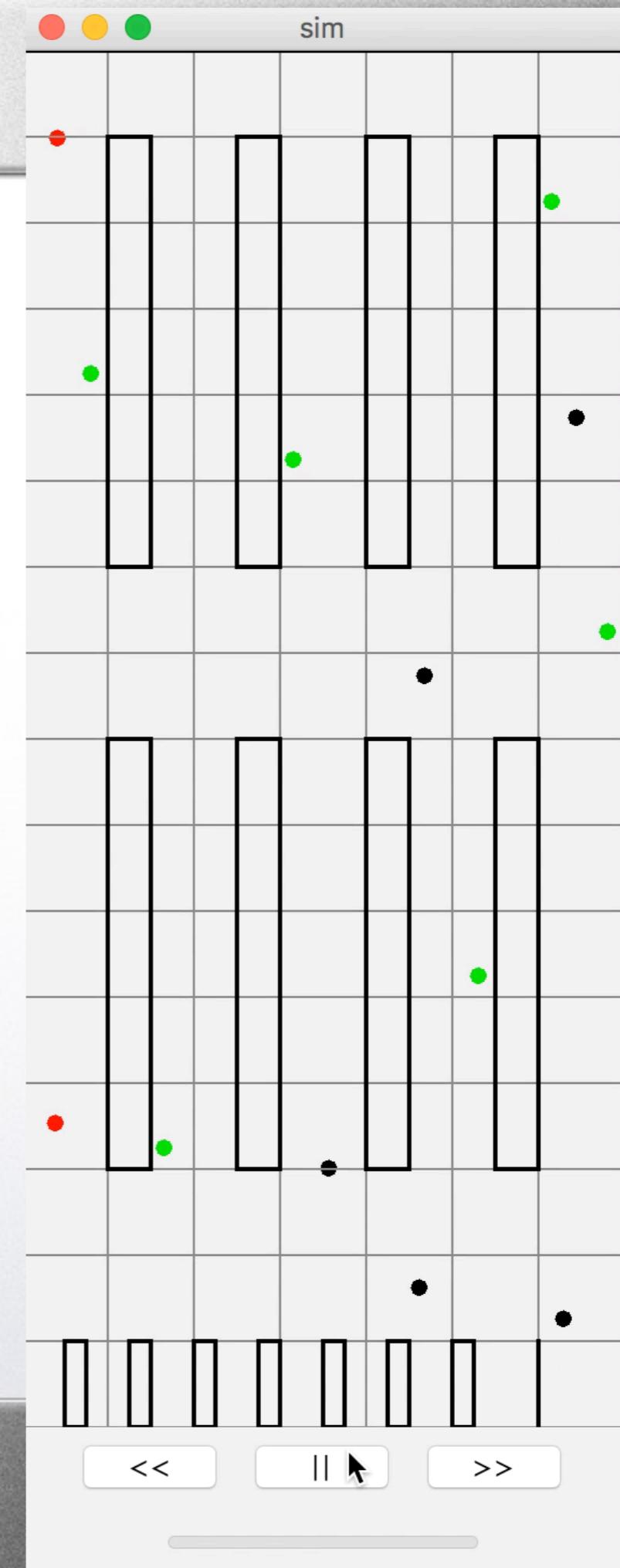




# Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

Caracterizar la distancia entre agentes en función de la ocupación permitida

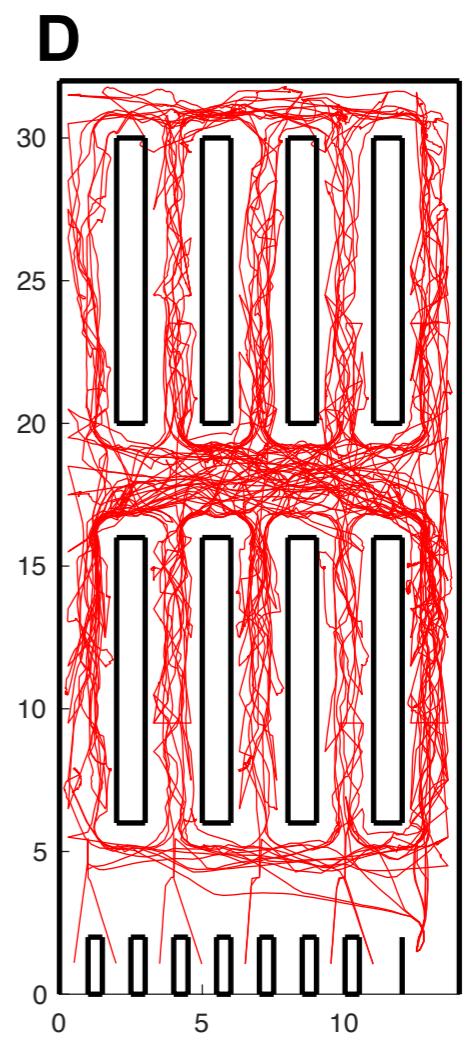
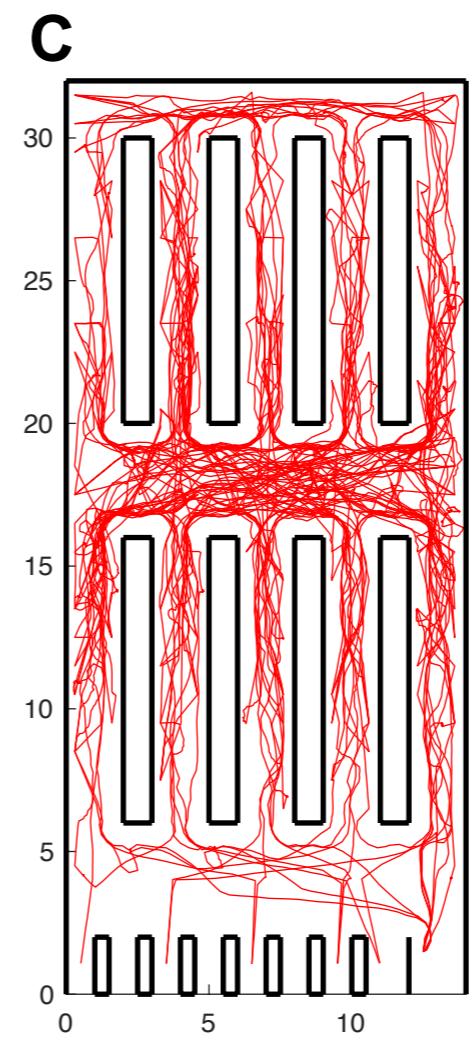
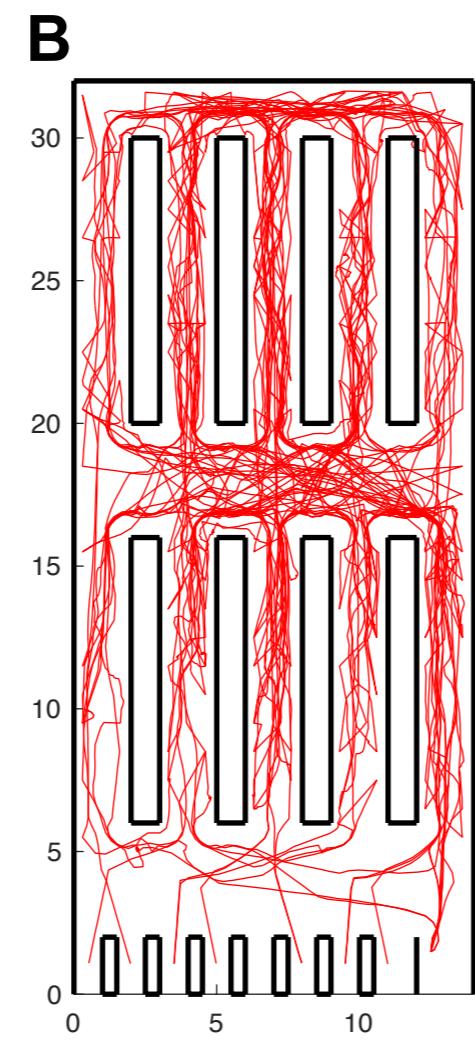
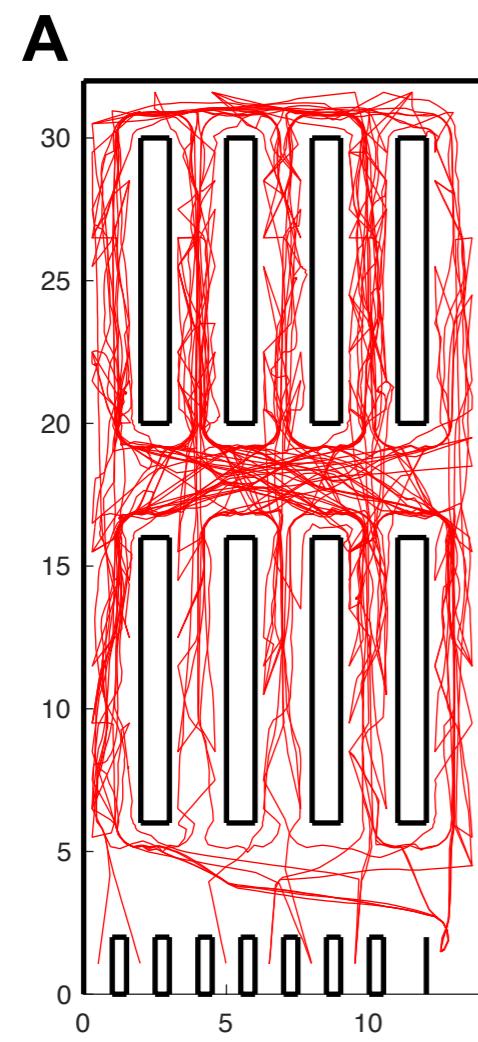




# Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

Trayectorias

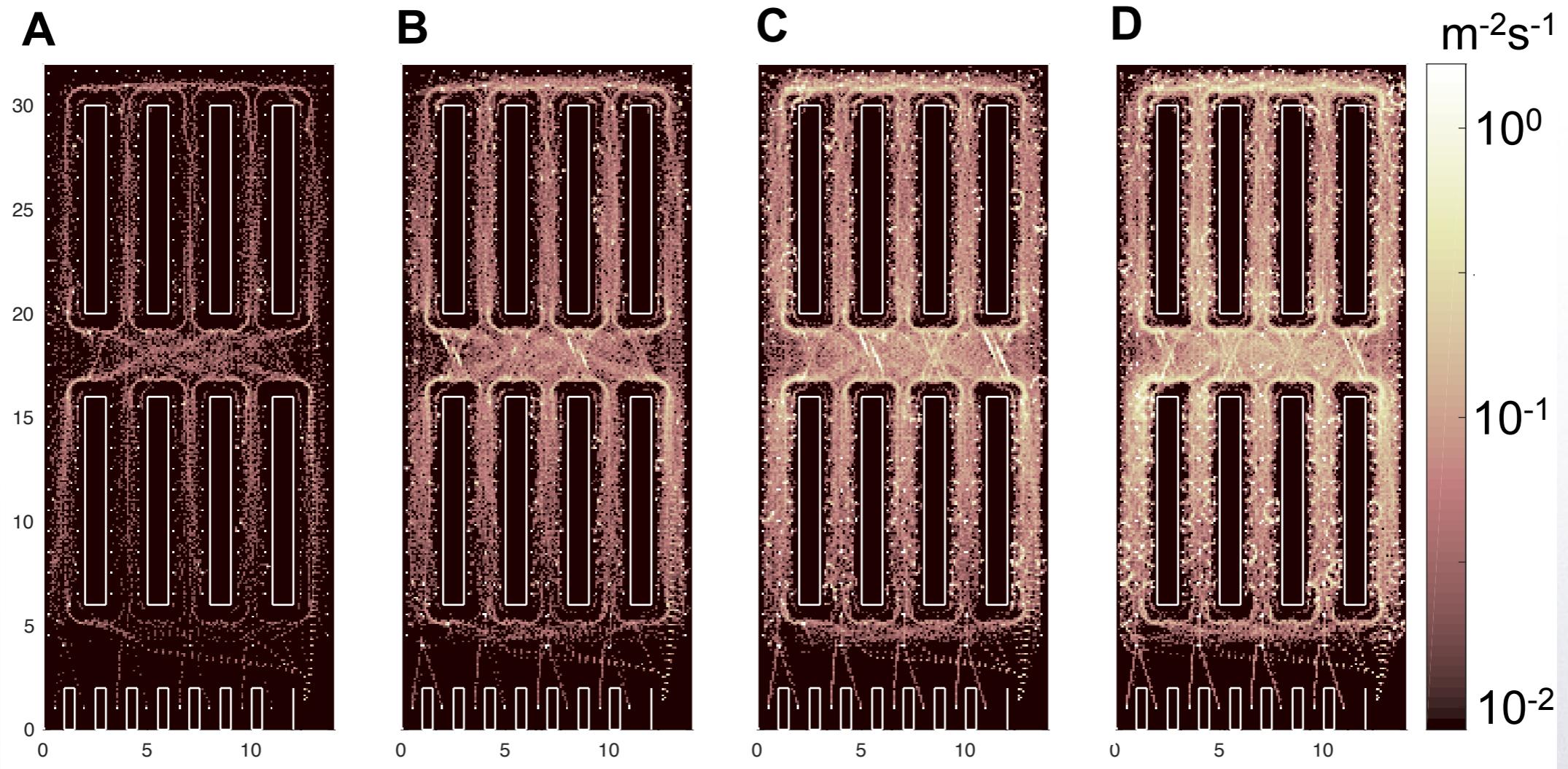




# Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

Densidades Medias

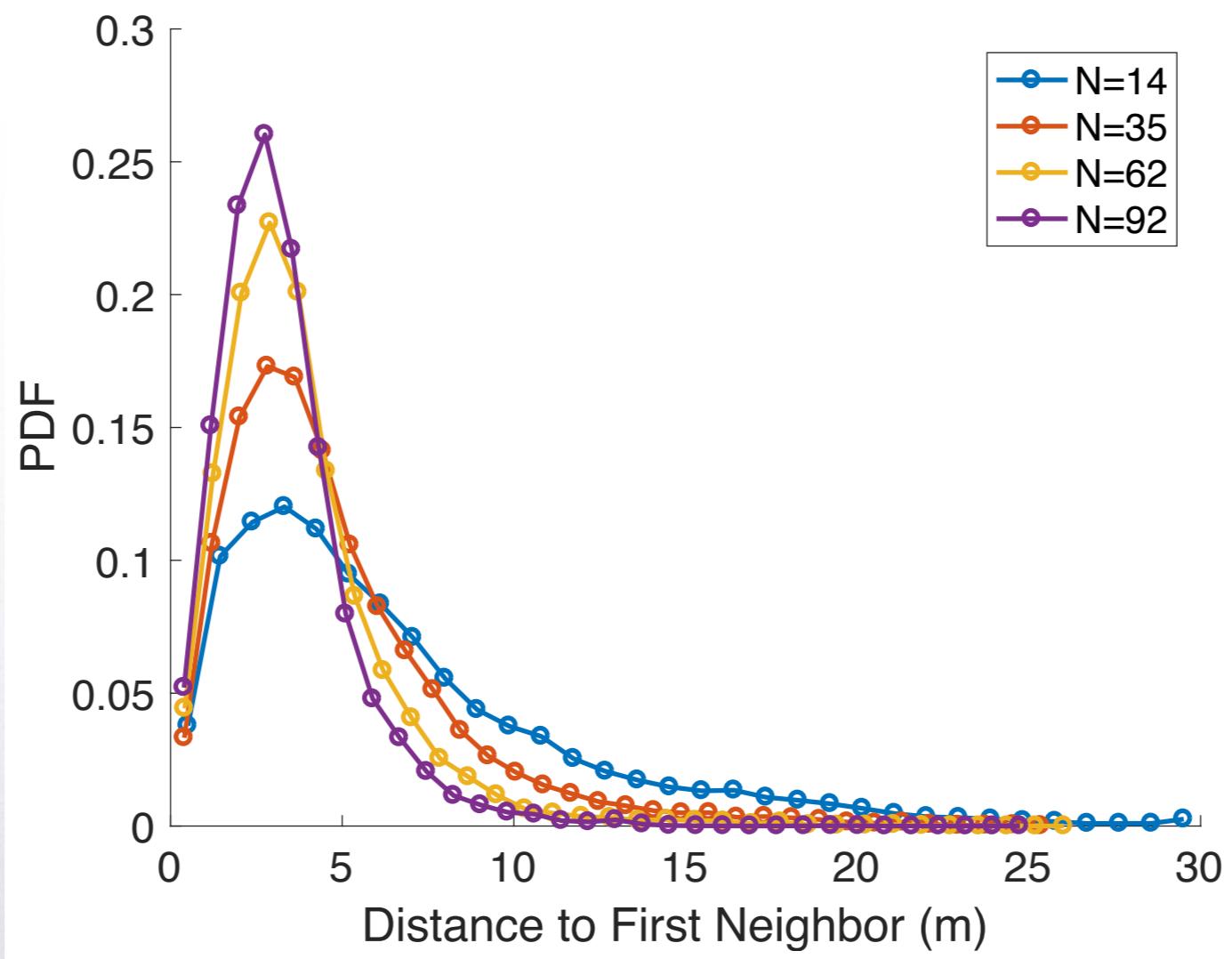




# Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

Distancias a primeros vecinos

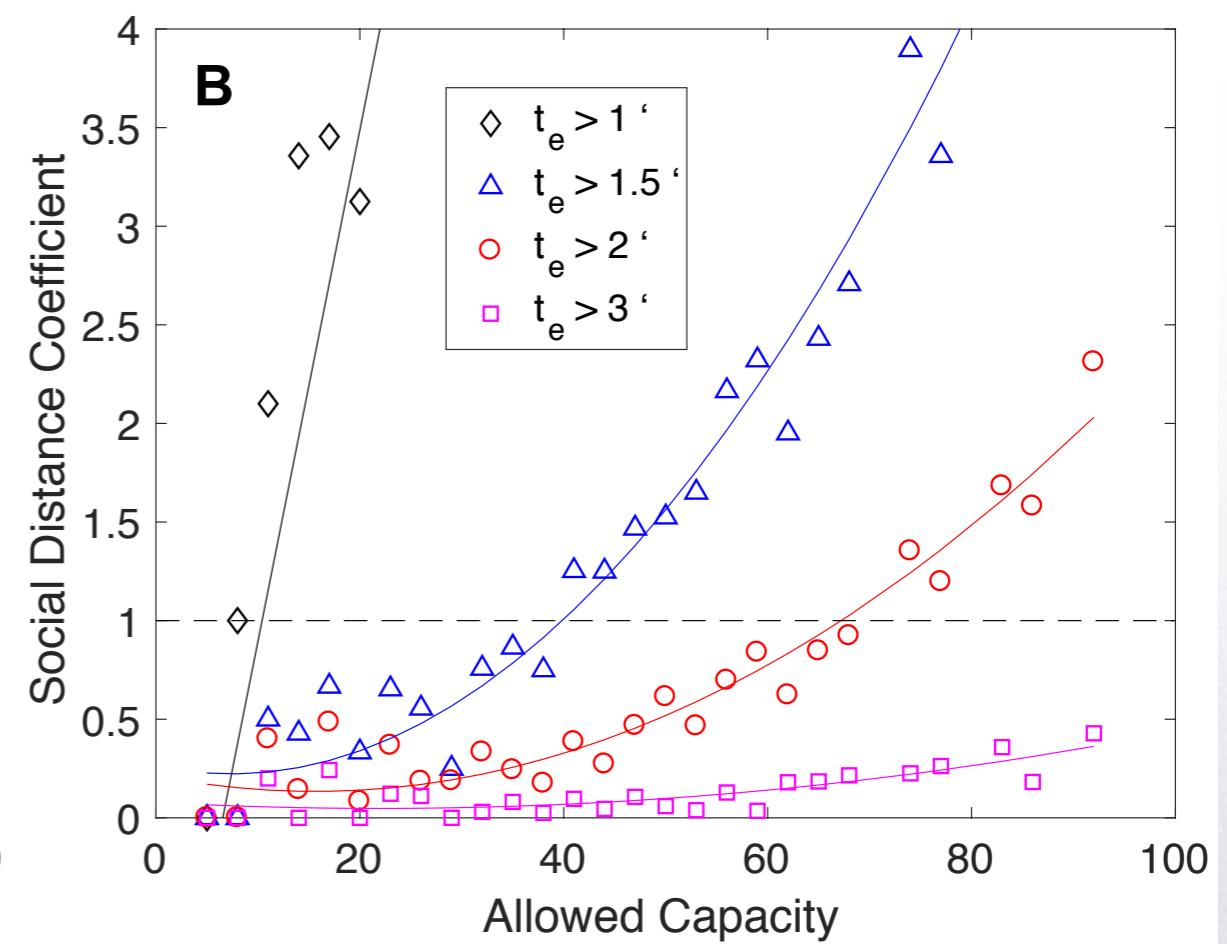
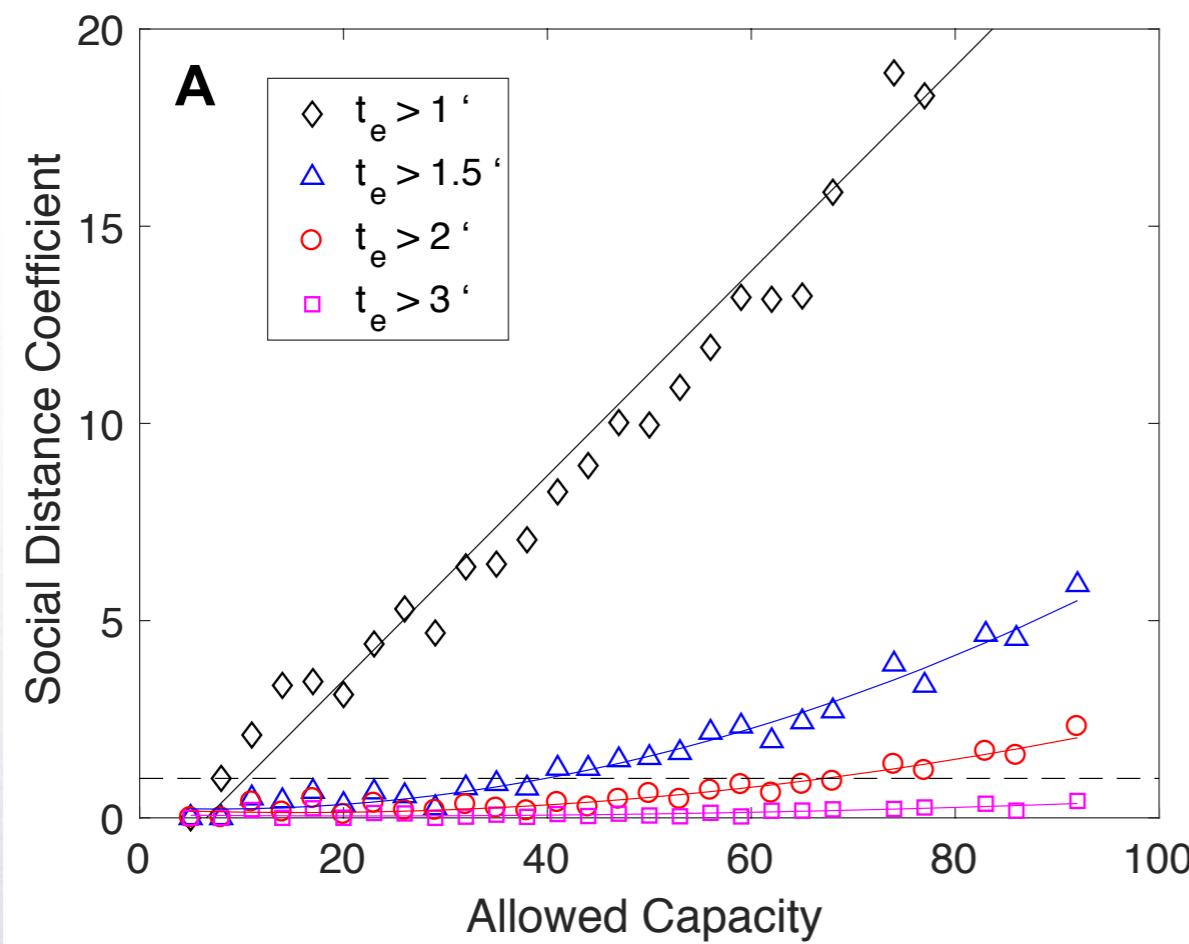




# Sistema Complejo

## Distancia Social en Supermercado

Número de agentes a menos de 2 m durante los tiempos indicados dividido el total de agentes procesados.





# Aplicaciones basadas en Simulación

## Simulación

- Sistemas Peatonales son complejos  
(Edificios, Espectáculos Musicales y Deportivos, ...)
- Asistencia en el Diseño y Operación de Instalaciones Peatonales.



# Aplicaciones basadas en Simulación

## Beneficios de simular un Sistema Complejo

- Evaluar el impacto que producirían cambios de las variables operativas y/o geométricas.  
Asistiendo en la toma de decisiones.
- Se evita realizar ensayos sobre el proceso y la infraestructura real.
- Evaluar muchas configuraciones posibles sin costo de obras ni molestias para los usuarios.
- Brinda datos detallados de cada peatón simulado (trayectorias) a partir de lo que se pueden calcular tiempos de tránsito, egreso, mapas y variados indicadores.



# Aplicaciones basadas en Simulación

## Beneficios de simular un Sistema Complejo

- Mejorar el Confort en Condiciones Normales.
- Mejorar la Seguridad ante Evacuaciones de Emergencia.



# Aplicaciones basadas en Simulación

## Problemáticas

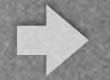
- Funcionamiento - Funcionalidad y Procesos.
- Egreso - Normal o de Emergencia.



# Aplicaciones basadas en Simulación

## Códigos Genéricos

- VisWalk (<http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-viswalk/>)
- Legion (<http://www.Legion.com/>)
- MassMotion (<http://www.oasys-software.com/products/engineering/massmotion.html>)
- PedSim (<http://pedsim.silmaril.org/>)
- Vadere (<http://www.vadere.org/>). (Open Source)



# Aplicaciones basadas en Simulación

## Códigos Evacuación

- Pathfinder (<https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>)
  - Exodus (<http://fseg.gre.ac.uk/exodus/>)
  - PedGo (<http://traffgo-ht.com/en/pedestrians/products/pedgo/>)
- ....



**FIN**