



# **Simulación de Sistemas**

---

**Clase Teórica 6:  
Simulación de Multitudes I**



# Dinámica Peatonal

## Regímenes

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.



# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.



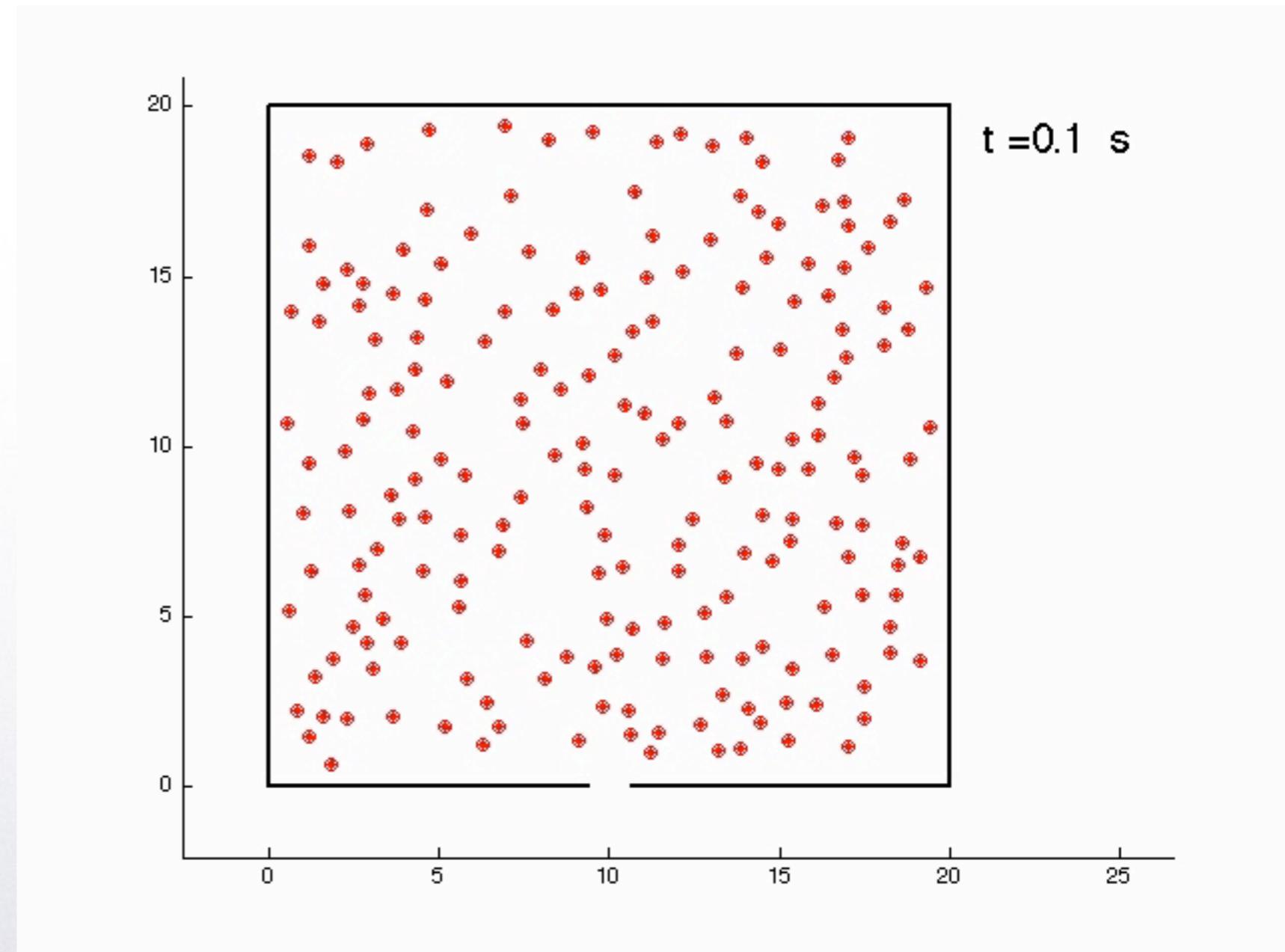
# Dinámica Peatonal

Evacuación de un recinto

Simulaciones  
Microscópicas

(cuando se propuso: sin  
validación experimental)

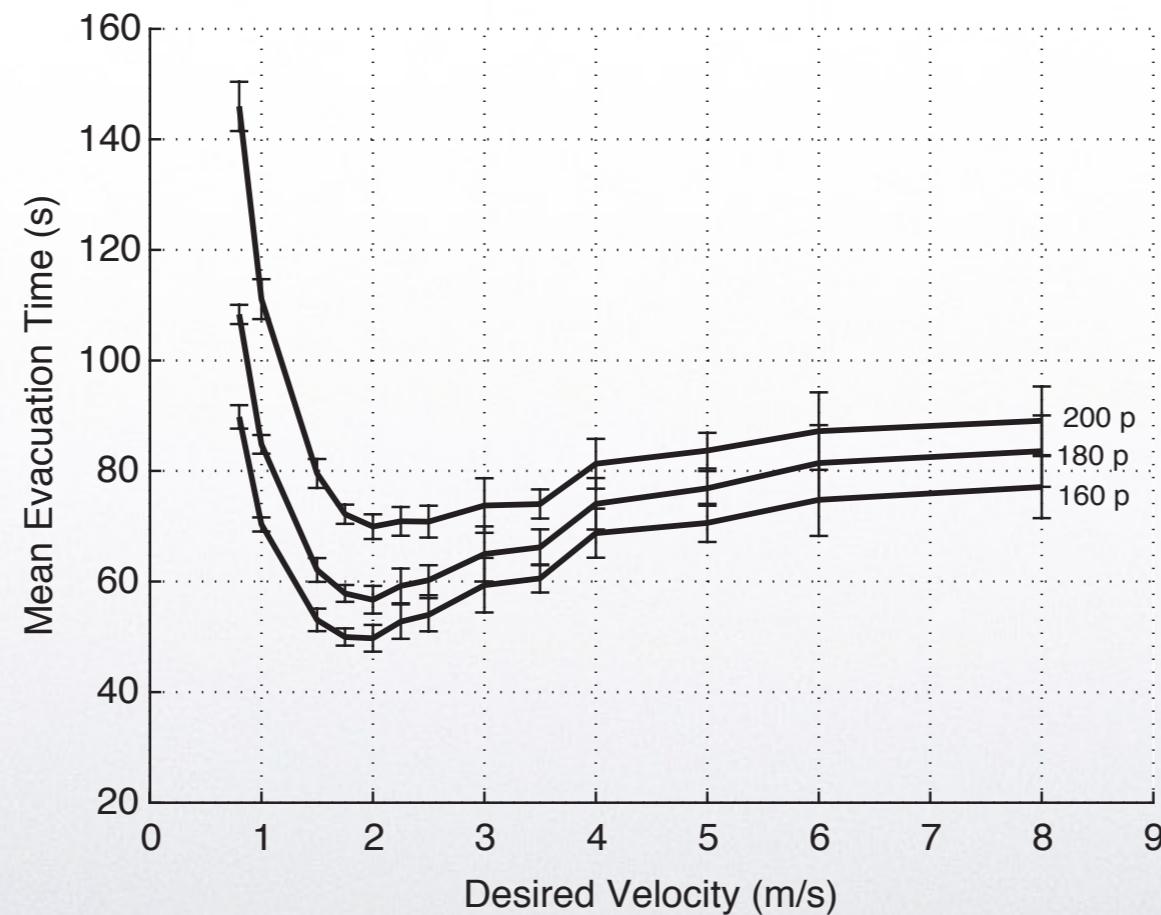
- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

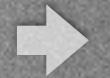




# Dinámica Peatonal

El SFM predice cualitativamente el efecto  
“Faster is Slower” (FIS)





# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

Experimentos para  
investigar sistemas  
similares



# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

Sistemas Similares

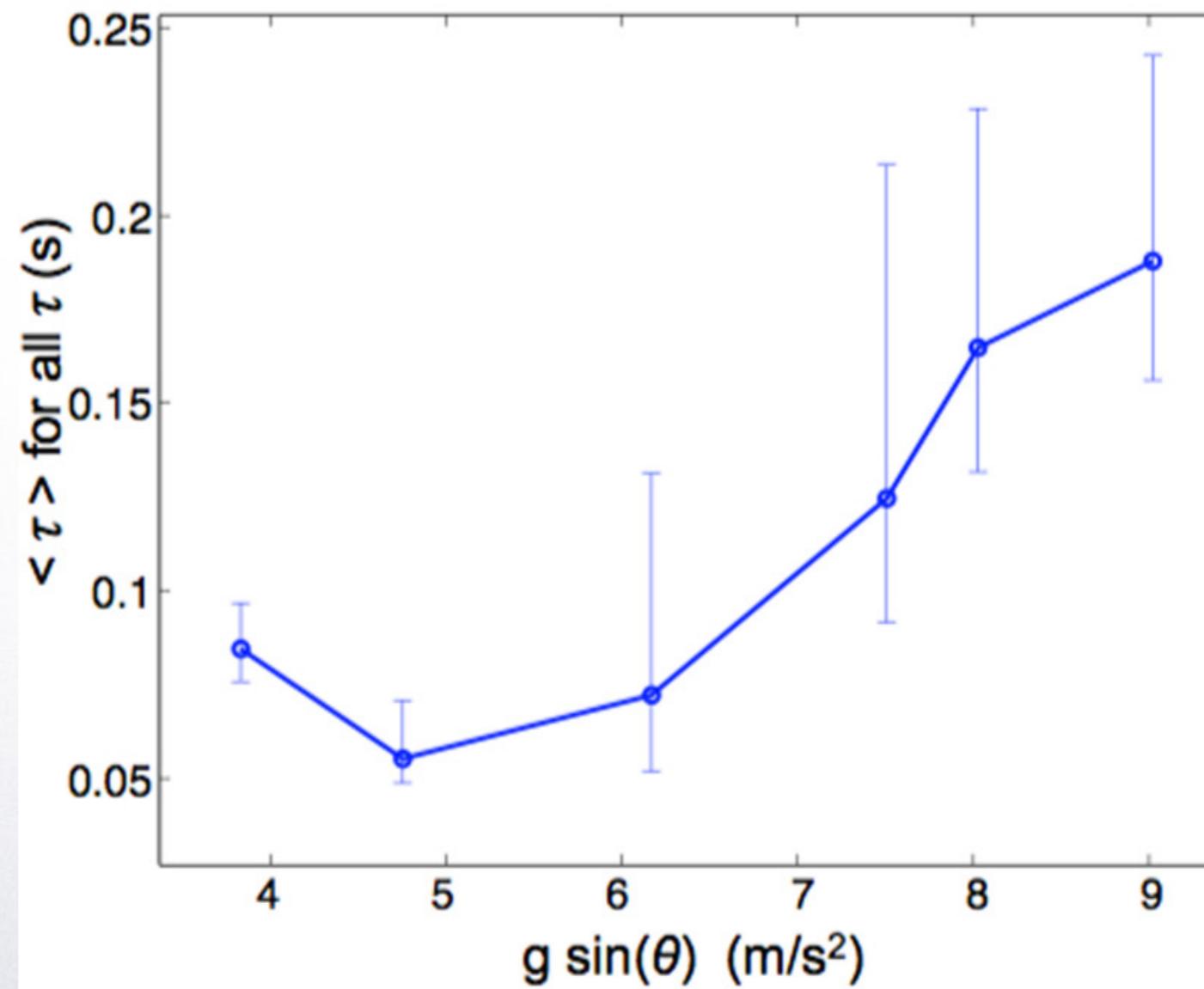
## MATERIAL GRANULAR

Silo 2D sobre plano inclinado





# FIS en Flujos Granulares





# Dinámica Peatonal

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

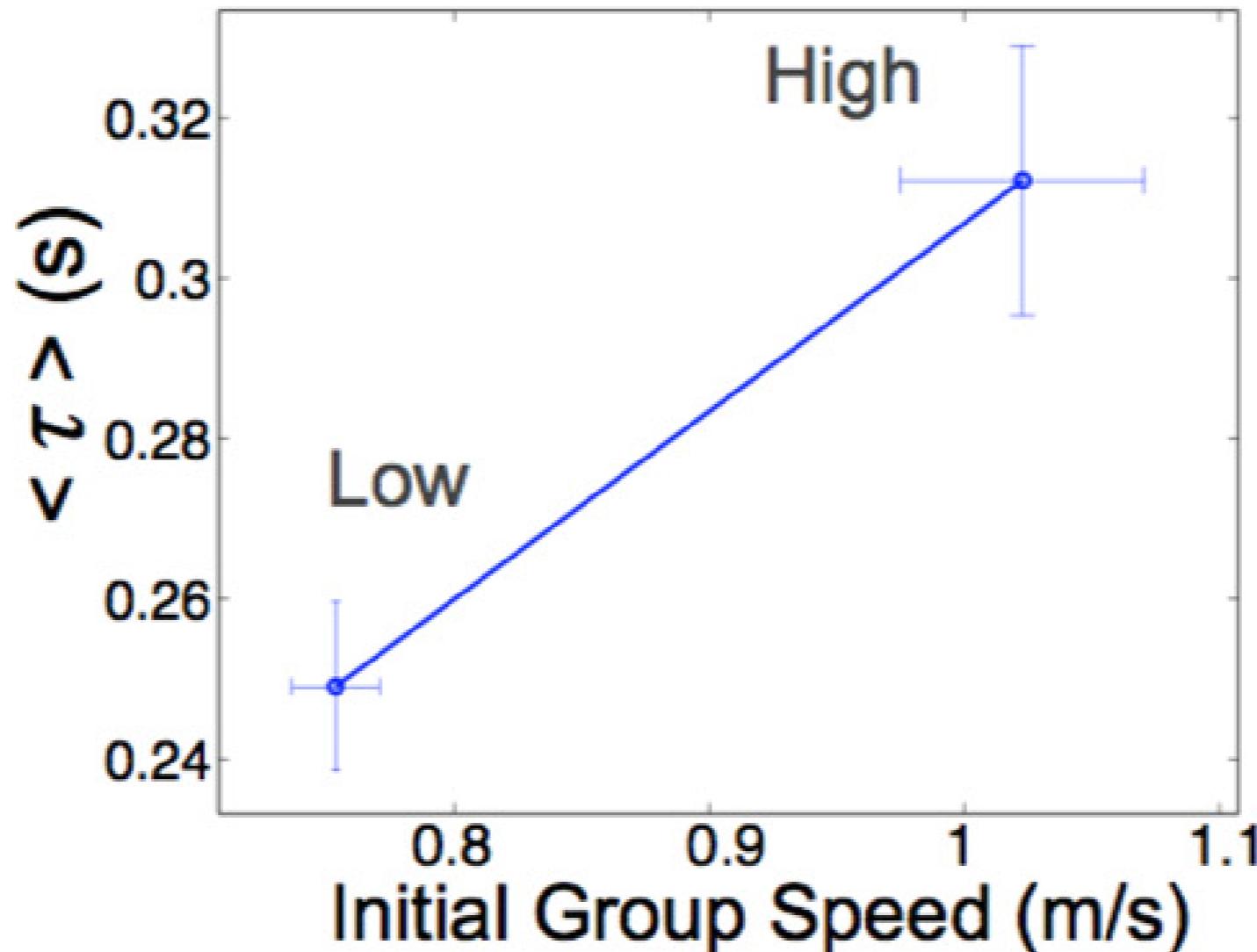
Sistemas Similares

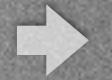
OVEJAS apuradas !!





# FIS en Ovejas





# Dinámica Peatonal

Experimentos para  
investigar sistemas  
similares

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.

HUMANOS !



# WHY PUSHING IS DETRIMENTAL WHEN EVACUATING A ROOM

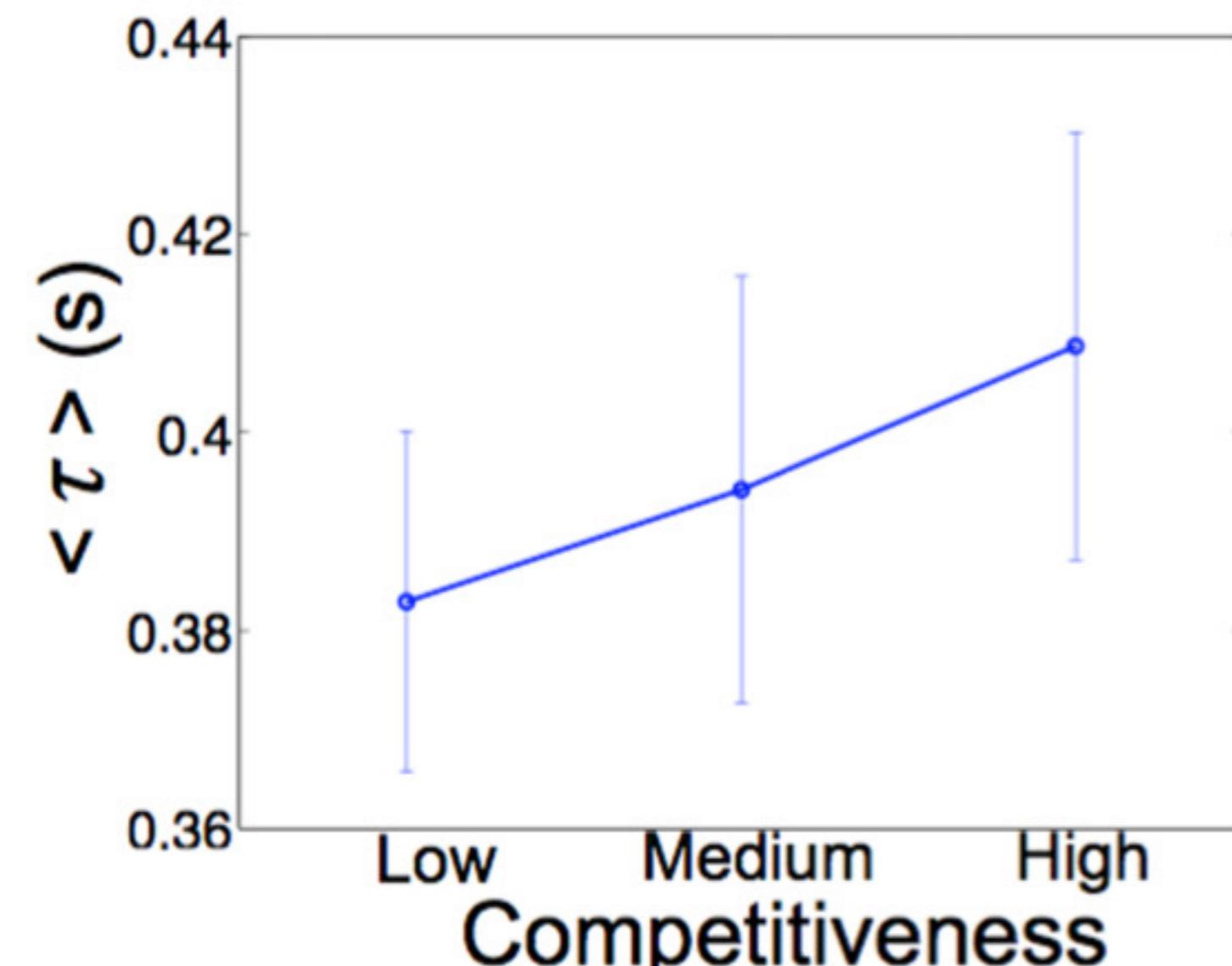


Universidad  
de Navarra





# Dinámica Peatonal





# Dinámica Peatonal

## Regímenes

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.

- Condiciones  
Competitivas o de Stress.



# Dinámica Peatonal

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.



# Dinámica Peatonal

Experimentos para  
investigar sistemas

- Condiciones Normales  
o Cooperativas.

Mecanismos de  
Navegación



# Dinámica Peatonal

Experimentos para investigar sistemas

Mecanismos de Navegación

- Condiciones Normales o Cooperativas.





# Dinámica Peatonal

Experimentos para investigar sistemas

Mecanismos de Navegación

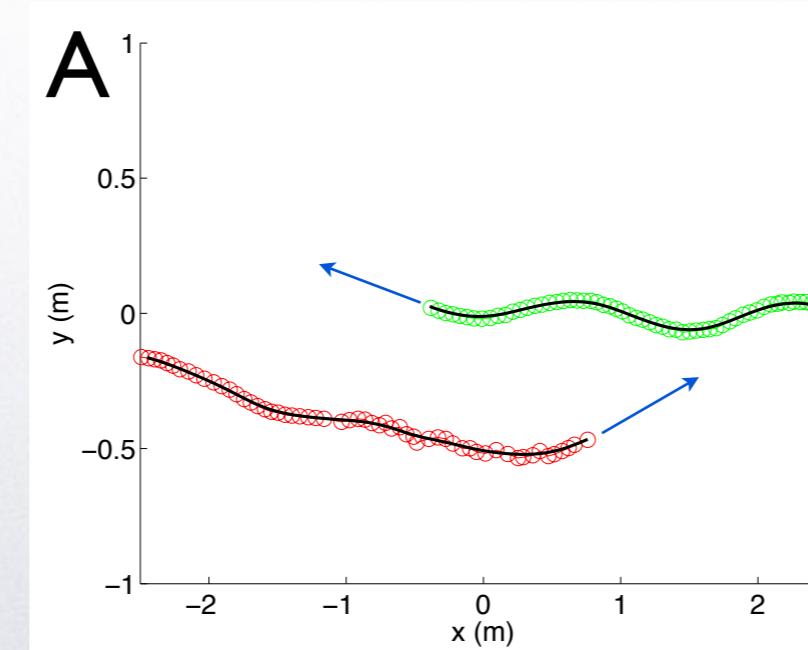
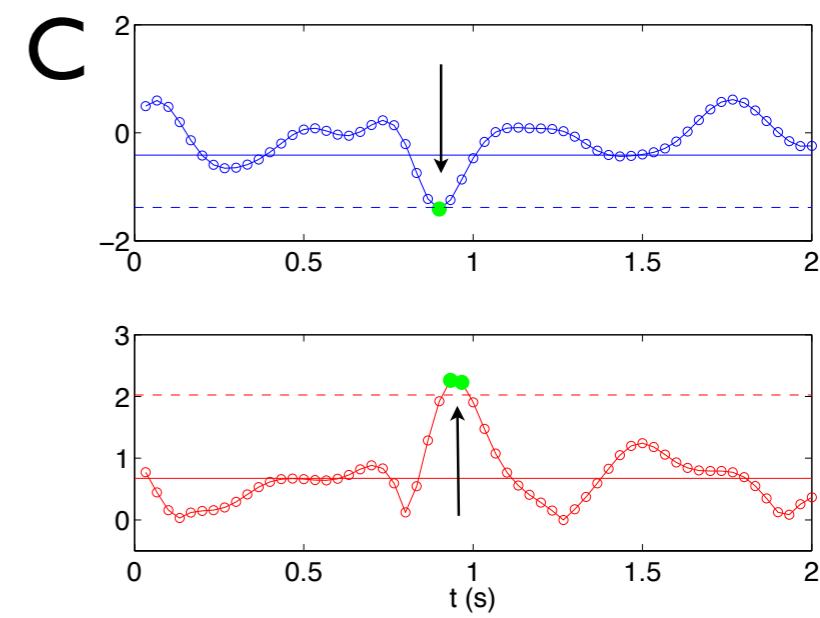
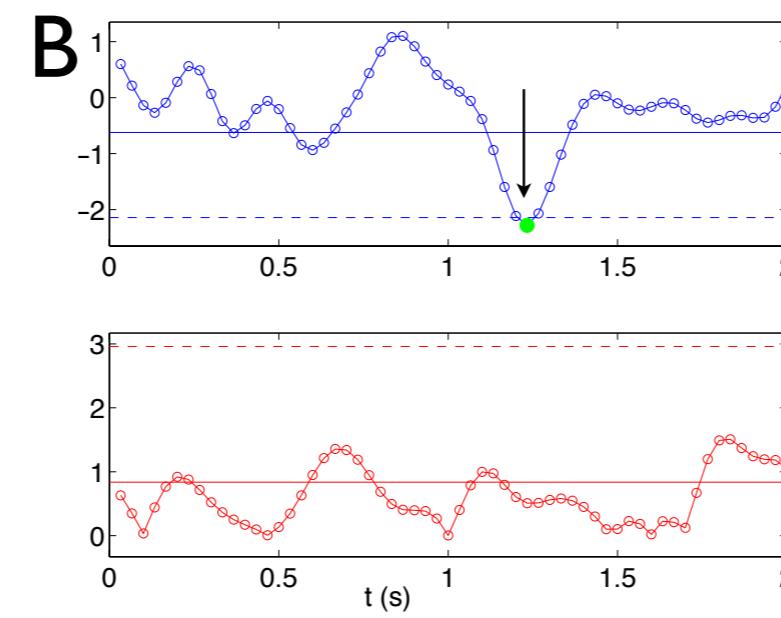
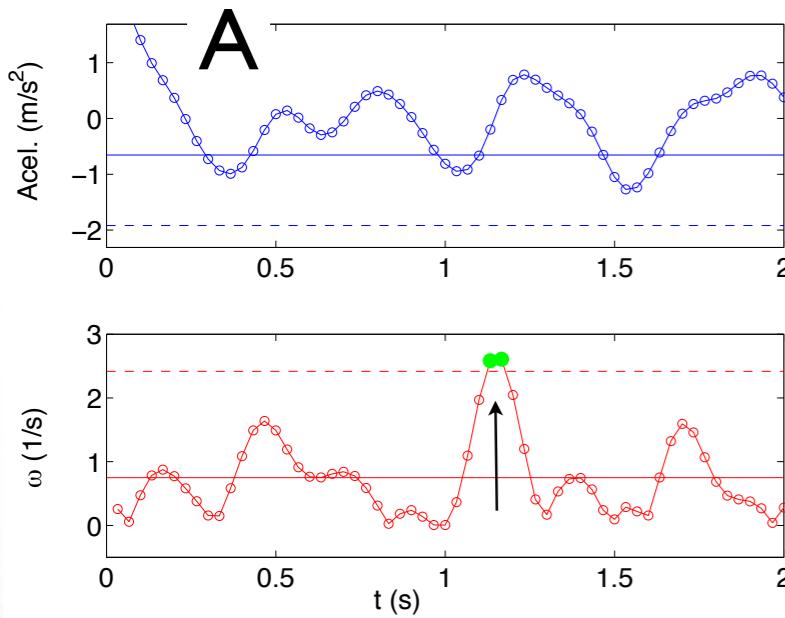
- Condiciones Normales o Cooperativas.





# Dinámica Peatonal

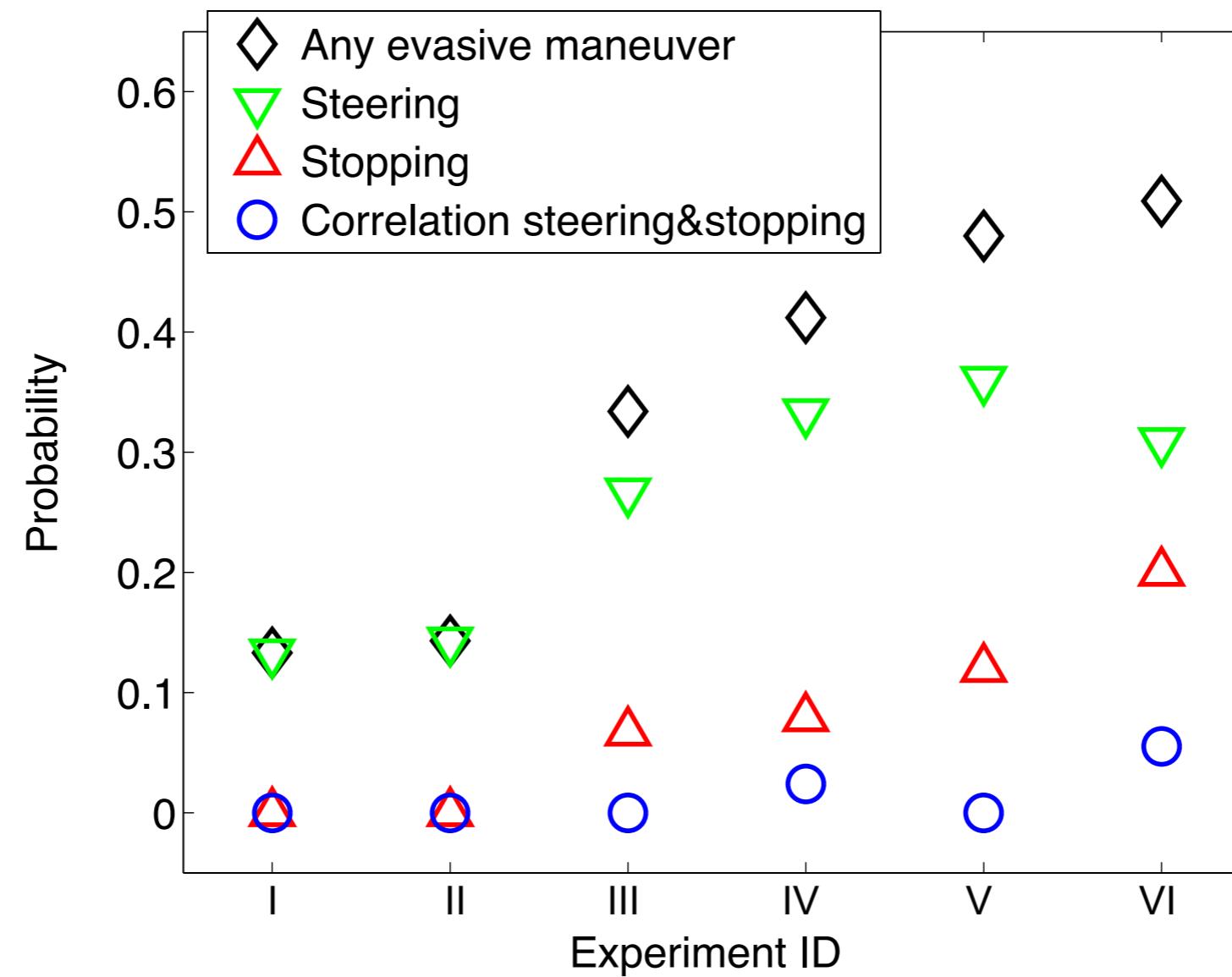
- Condiciones Normales  
o Cooperativas.





# Dinámica Peatonal

- Condiciones Normales o Cooperativas.





# Dinámica Peatonal

Principales Observables  
en Dinámica Peatonal

Diagrama Fundamental : Densidad versus velocidad

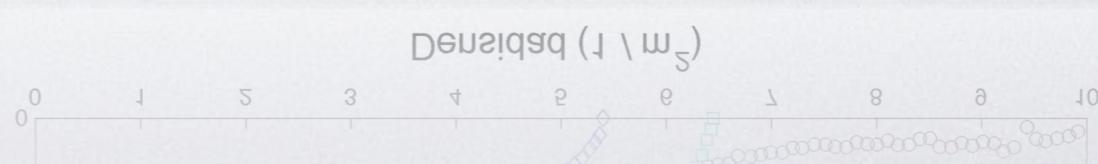
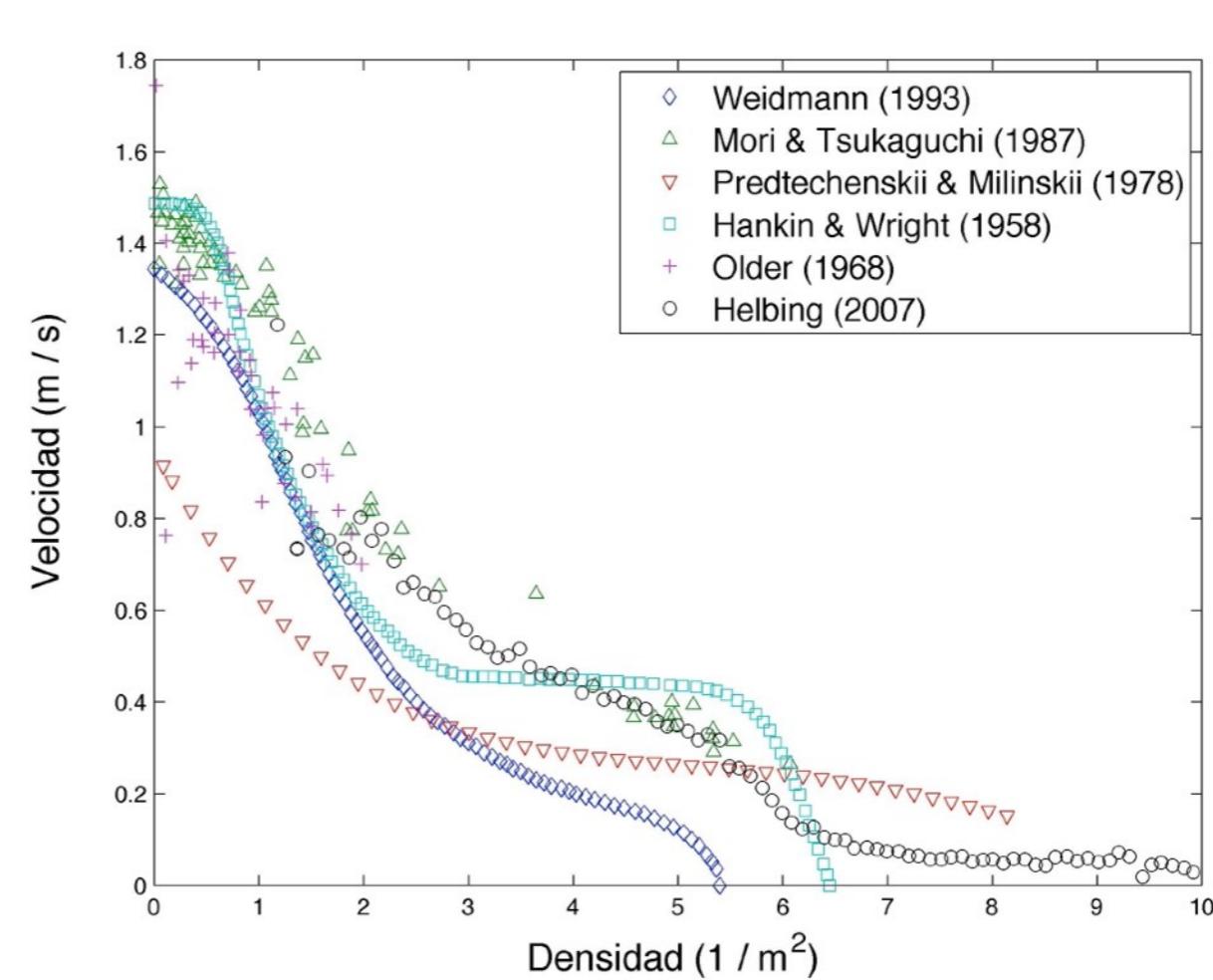
Caudal Específico = Peatones / ( tiempo \* ancho puerta)



# Dinámica Peatonal

Observable 1

Diagrama Fundamental





# Dinámica Peatonal

Observable 2

Caudal Específico

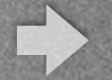
- Regulaciones adoptan un caudal específico 1.33 p/m/s
- Datos Experimentales: 1.25 a 2.0 p/m/s
- Para condiciones normales se asume caudal de salida proporcional al ancho de salida.



# Dinámica Peatonal

## Caudal Específico

CAUDAL ESPECÍFICO (pers./m/s)	FUENTE
1,33	Department of The Environment and The Welsh Office, The Building Regulations-Approved Document B -Section B1,1992. HMSO, London, 1991, pp. 9 – 40.
1,37	J. Fruin, Pedestrian Planning and Design. The Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.
1,82	The Green Guide "Guide to Safety at Sports Grounds". HSMO, London, 1991.
1.48 – 1.92	B. D. Hankin and R. A. Wrigth, Passenger flow in subways, Operational Res. Quart. 9 (1958) 81-8.
1.25 – 1.4	D. Rasbash, G. Ramachandran, B. Kandola, J. Watts and M. Law, Evaluation of Fire Safety, Wiley (2004).
1,77	S. P. Hoogendoorn and W. Daamen, Pedestrian Behavior at Bottlenecks, Transportation Science. Vol. 39, No 2 pp 147-155 (2005).
1,33	IMO Correspondence Group, "Interim guidelines for evacuation analyses for new and existing passenger ships" Technical Report MSC/Circ.1033 International Maritime Organization (IMO) (2002).
1,9	T. Kretz, A. Grünebohm and M. Schreckenberg, Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, (2006) P10014
1,97	A. Seyfried, T. Rupprecht, O. Passon, B. Steffen, W. Klingsch and M. Boltes, New insights into pedestrian flow through bottlenecks, arXiv: physics/ 0702004v2 [physics. soc- ph] 3 Dec 2007



# Dinámica Peatonal

Modelos Microscópicos



# Dinámica Peatonal

## Modelos Microscópicos

### - Continuos / Basados en Fuerzas

- \* Partículas Newtonianas.
- \* Posición y Velocidad en el Continuo.

### - Discretos / Basados en Reglas:

- \* Espacio Discretizado en una Grilla.
- \* Transición de estados basadas en Reglas.
- \* Autómatas Celulares.



# Dinámica Peatonal

## Modelos Microscópicos

- Social Force Model (Basado en Fuerzas).
- Bionics-Inspired CA Model (Autómata Celular)
- Contractil Particle Model (Híbrido)



# Modelos Microscópicos

Social Force Model



# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

(Helbing, Dirk, Illés Farkas, and Tamas Vicsek. "Simulating dynamical features of escape panic." Nature 407, no. 6803 (2000): 487-490)

- Ecuación de Newton para cada Peatón “  $i$  ”:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i = \mathbf{F}_{GRANULAR} + \mathbf{F}_{SOCIAL} + \mathbf{F}_{DESEO}$$

- Sistema de N ecuaciones diferenciales acopladas.
- Métodos de Dinámica Molecular.



# Modelos Microscópicos

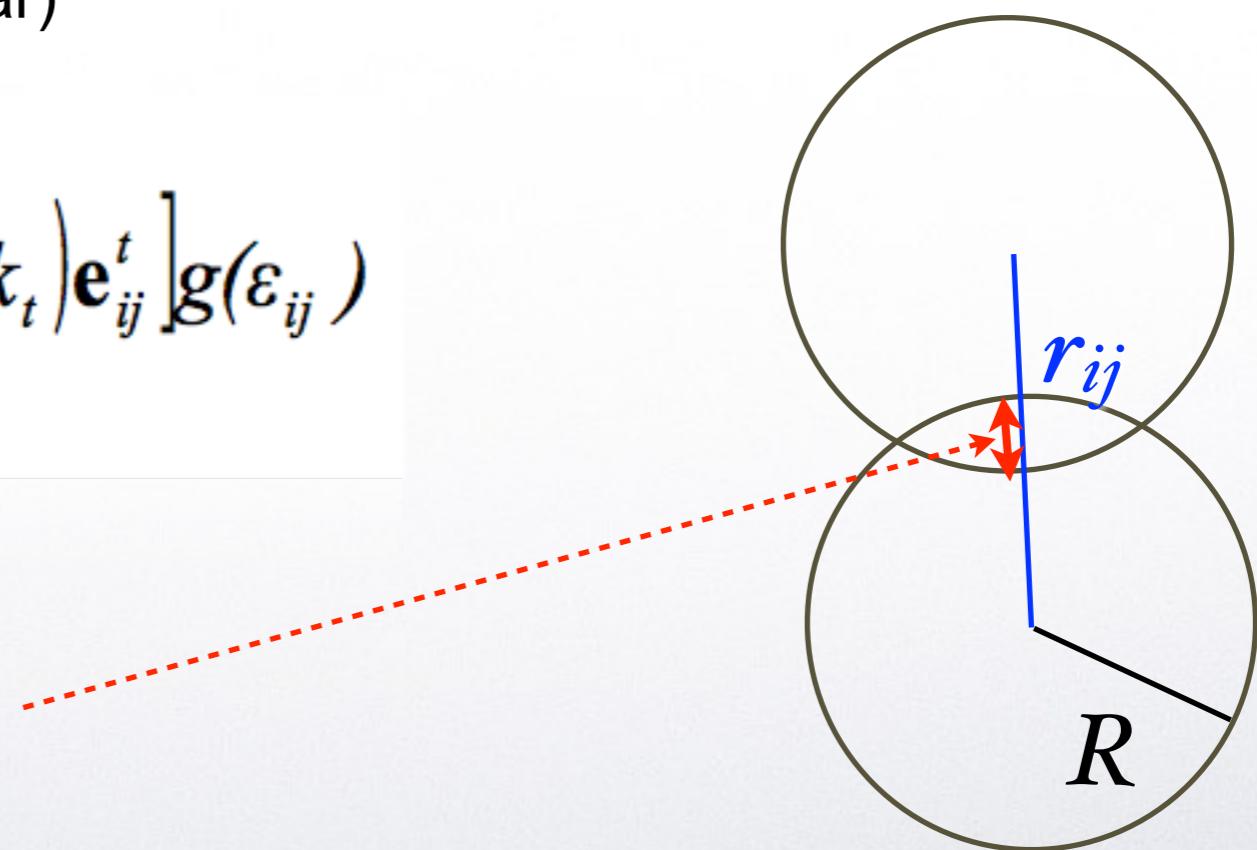
## Social Force Model

Fuerza de Contacto (Granular)

$$\mathbf{F}_{Gi} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_p} [(-\varepsilon_{ij} k_n) \mathbf{e}_{ij}^n + (\nu_{ij}^t \varepsilon_{ij} k_t) \mathbf{e}_{ij}^t] g(\varepsilon_{ij})$$

Y = I<sup>2</sup> / V<sub>2</sub> T

$$\varepsilon_{ij} = r_{ij} - (R_i + R_j)$$



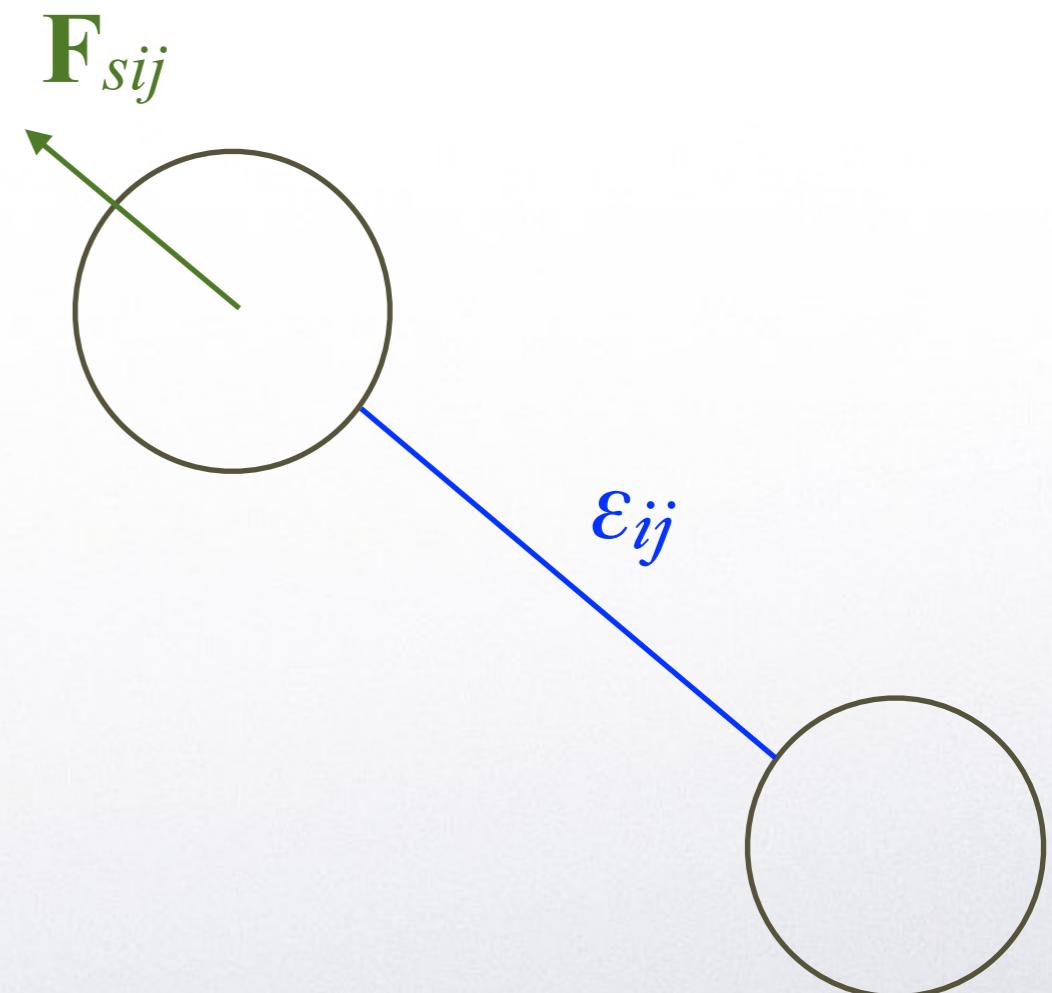


# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

Fuerza Social

$$\mathbf{F}_{Si} = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_p} A \exp\left(-\frac{\varepsilon_{ij}}{B}\right) \mathbf{e}_{ij}^n$$



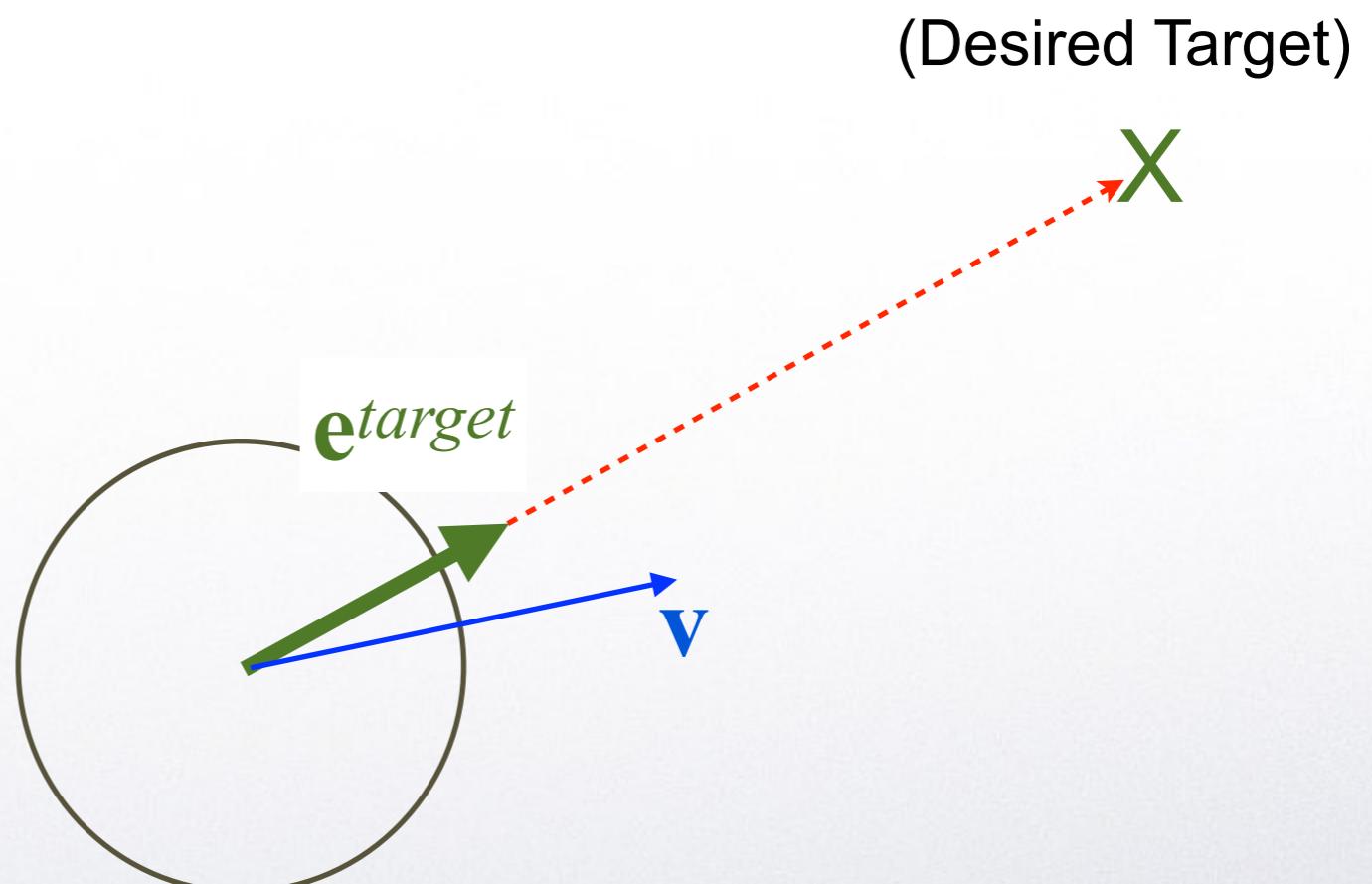


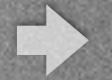
# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

Fuerza de autopropulsión  
(driving force)

$$\mathbf{F}_{Di} = m_i \frac{(v_{di} \mathbf{e}_i^{target} - \mathbf{v}_i)}{\tau_i}$$



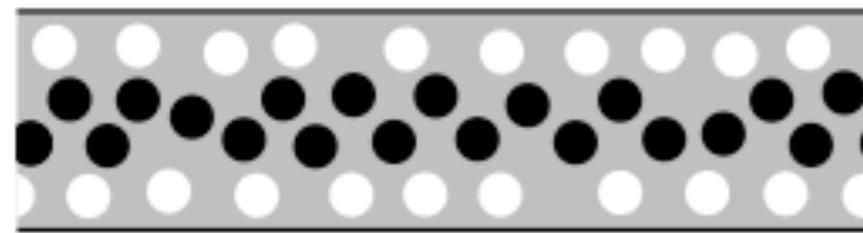


# Modelos Microscópicos

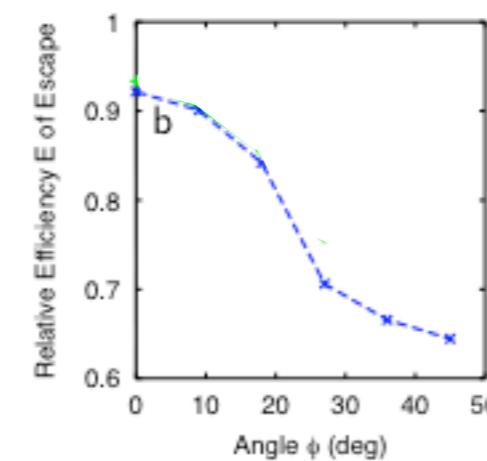
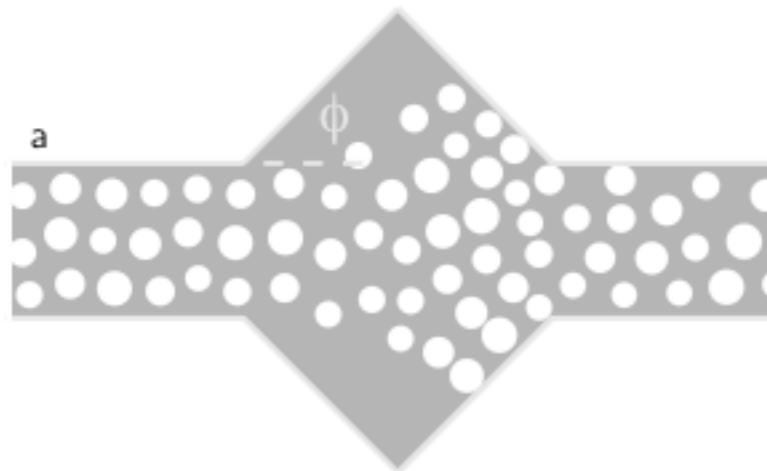
## Social Force Model

Fenómenos que el SFM reproduce cualitativamente

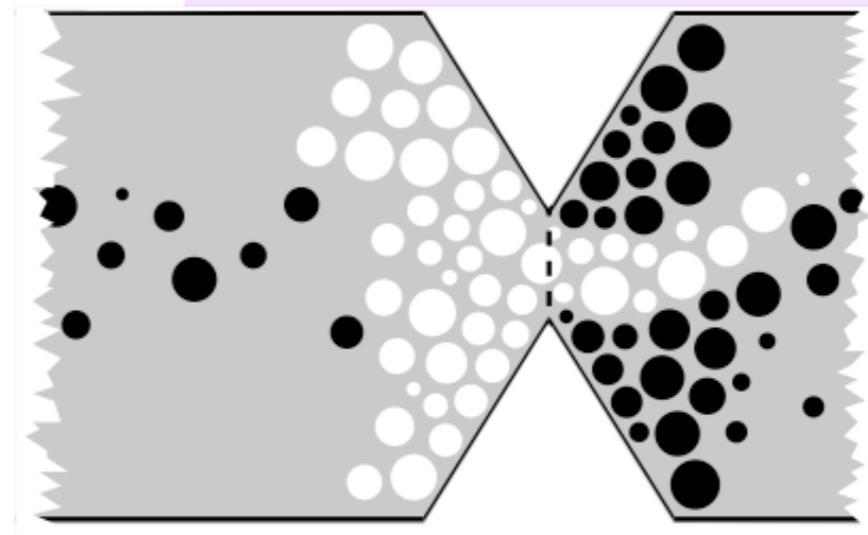
*Formación de Carriles*



*Ineficiencia  
Ampliaciones*



*Oscilación en Cuellos  
de Botella*





# Modelos Microscópicos

## Social Force Model

### Evacuación de un recinto

Nro. de Peatones: 200

Habitación de 20 m x 20 m

Diámetro de peatones : 0,50 - 0,58 m

Ancho Puerta : 1,2 m

**Variando la Velocidad Deseada:** entre 0,8 y 6 m/s

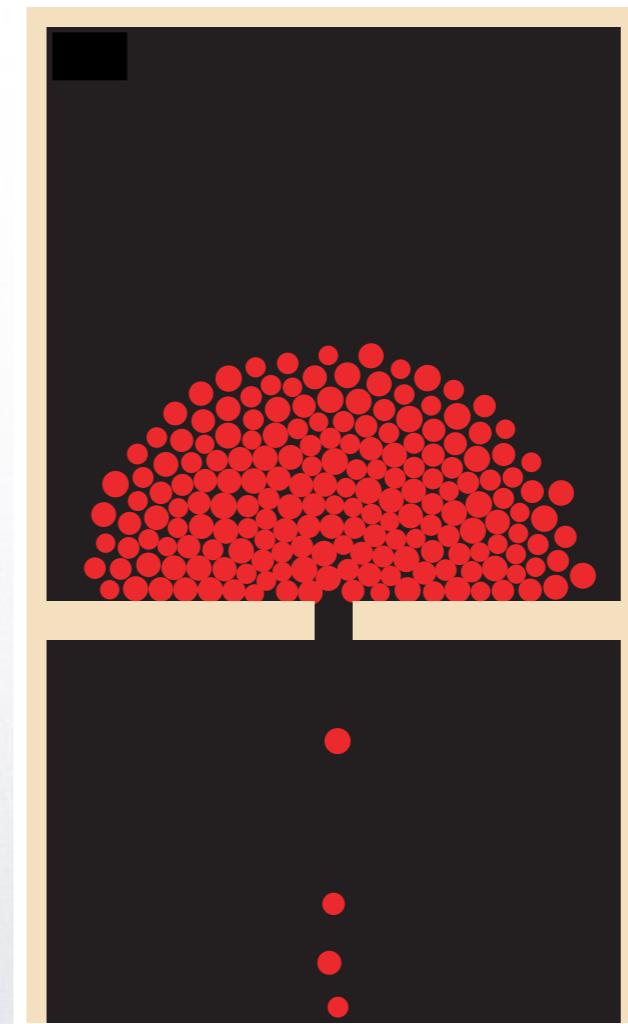
Parámetros del Modelo:

A=2000 N ; B =0,08m ;

$kn = 1,2 \cdot 10^5$  N/m ;  $kt = 2,4 \cdot 10^5$  kg/m/s

$\tau = 0,5$  s

El SFM predice cualitativamente el efecto  
“Faster is Slower”

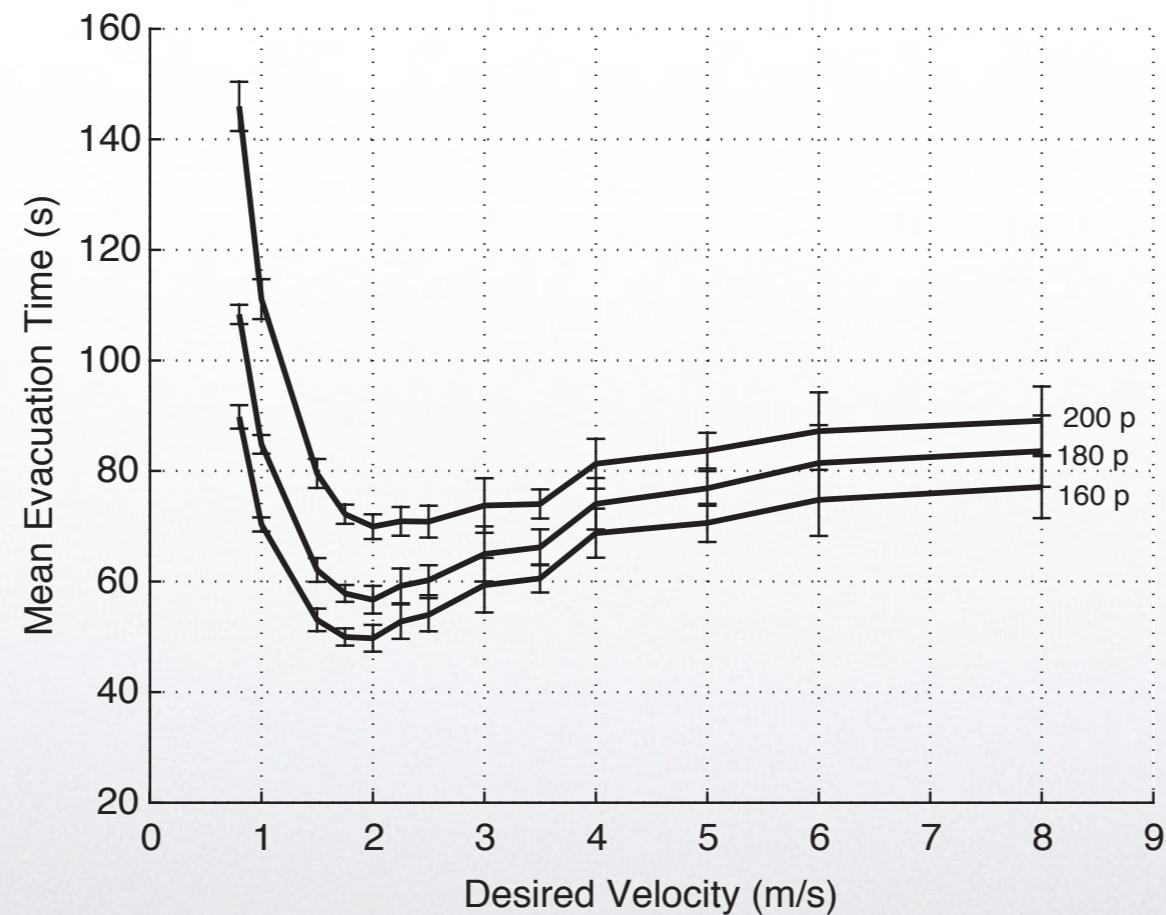




# Modelos Microscópicos

Social Force Model

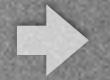
El SFM predice cualitativamente el efecto  
“Faster is Slower”





# Modelos Microscópicos

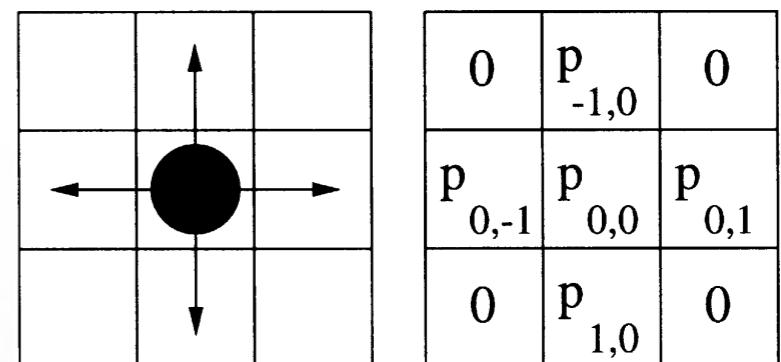
“Bionics-Inspired” Autómata Celular



# Modelos Microscópicos

## “Bionics-Inspired” Autómata Celular

- El espacio está discretizado en celdas.
- Cada celda puede estar vacía u ocupada por una única partícula.
- En cada paso de tiempo, cada partícula puede moverse a una celda desocupada con una cierta probabilidad.



Movimientos permitidos y las probabilidades correspondientes.

Kirchner & Schadschneider (2002)



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

Las probabilidades de transición están dadas por la interacción con dos campos (floor fields):

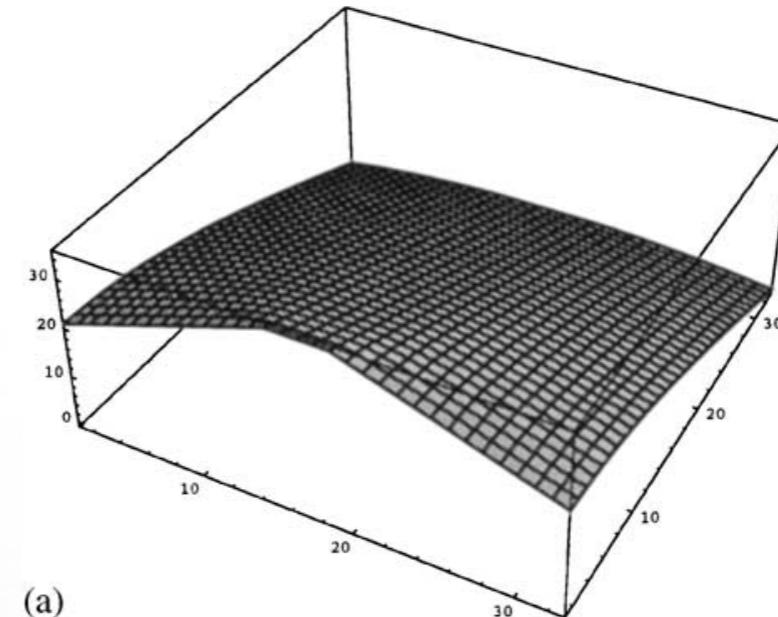
- Campo estático ( $S$ )
- Campo Dinámico ( $D$ )



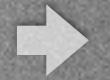
# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

Campo estático ( $S$ )



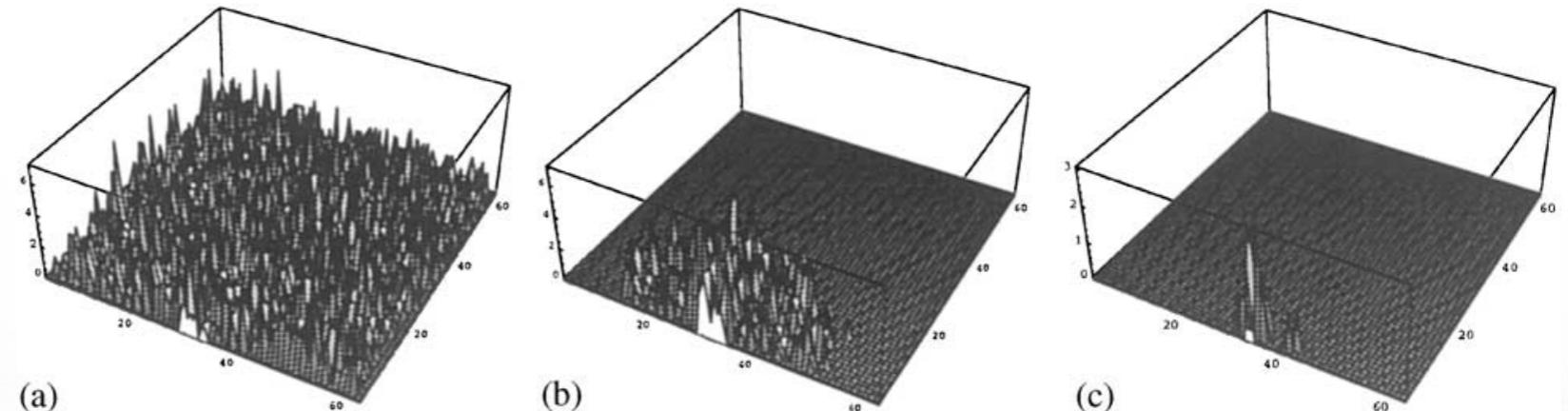
- Considera solo la geometría y, por lo tanto, está fijo durante la simulación.
- Aumenta en el sentido de la menor distancia a la puerta desde cada sitio.  
(ver apéndice Kirchner & Schadschneider, 2002)



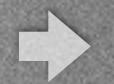
# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

Campo dinámico ( $D$ )



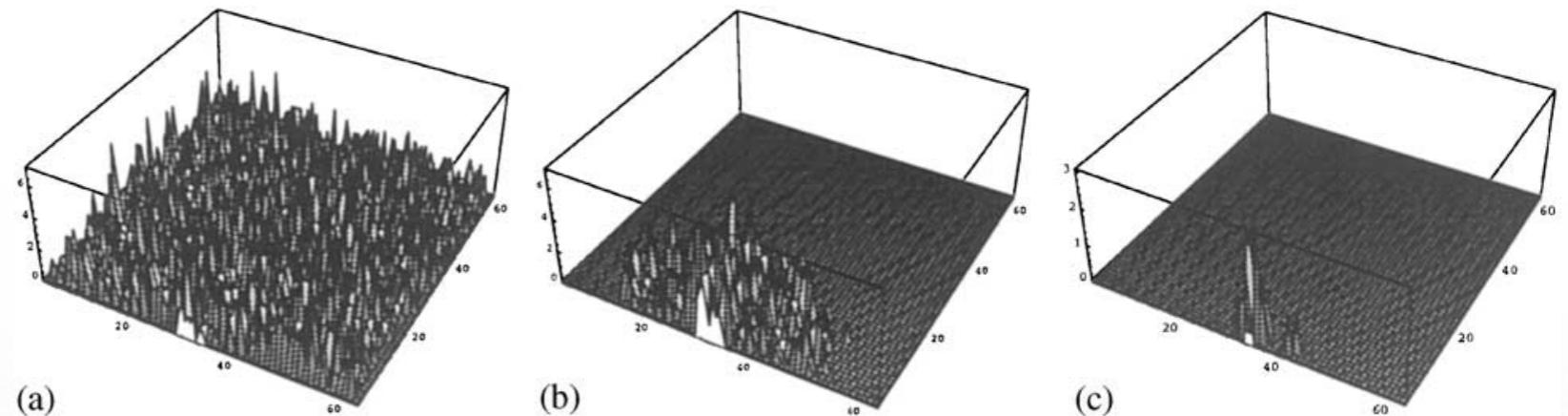
- Se modifica por la presencia de partículas.
- Representa un rastro virtual dejado por partículas que pasaron antes.
- El campo dinámico tiene su propia dinámica de difusión y decaimiento.



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

Campo dinámico ( $D$ )  
Difusión y Decaimiento



- A  $t = 0$  el campo es cero:  $D_{ij} = 0$ .
- Si una partícula pasa del sitio  $(i,j)$  a uno vecino,  $D_{ij} \rightarrow D_{ij} + 1$ .
- En cada paso, el campo dinámico  $D$  decae con una probabilidad  $\delta \in [0,1]$  y difunde con probabilidad  $\alpha \in [0,1]$  hacia una de sus celdas vecinas.  $D = D(t, \delta, \alpha)$ .



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

## Reglas de actualización del autómata

- (1) El campo dinámico  $D$  es modificado de acuerdo a las reglas de decaimiento y difusión.
- (2) Para cada partícula la probabilidad de  $p_{ij}$  para moverse a una celda desocupada  $(i,j)$  es:

$$p_{ij} = N \exp(k_D D_{ij}) \exp(k_S S_{ij})(1 - n_{ij}) \xi_{ij},$$

donde

$k_S \in [0, \infty[$  and  $k_D \in [0, \infty[$  Son parámetros de sensibilidad que actúan como peso de los campos

$n_{ij} = 0, 1$  Ocupación

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{Celdas prohibidas. Ej.: paredes.} \\ 1 & \text{Celdas permitidas} \end{cases} \quad \boxed{\text{Obstáculos}}$$



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

## Reglas de actualización del autómata

donde (continuación)

Normalización

$$N = \left[ \sum_{(i,j)} \exp(k_D D_{ij}) \exp(k_S S_{ij})(1 - n_{ij}) \xi_{ij} \right]^{-1}.$$

- (3) Cada partícula elige una celda a la cual **intentar** moverse de acuerdo a las probabilidades ( $p_{ij}$ ).
- (4) Si hay conflicto (dos partículas eligieron la misma celda), se resuelve probabilísticamente. La partícula elegido ejecuta el movimiento.
- (5) Se incrementa  $D$  según los movimientos de las partículas.

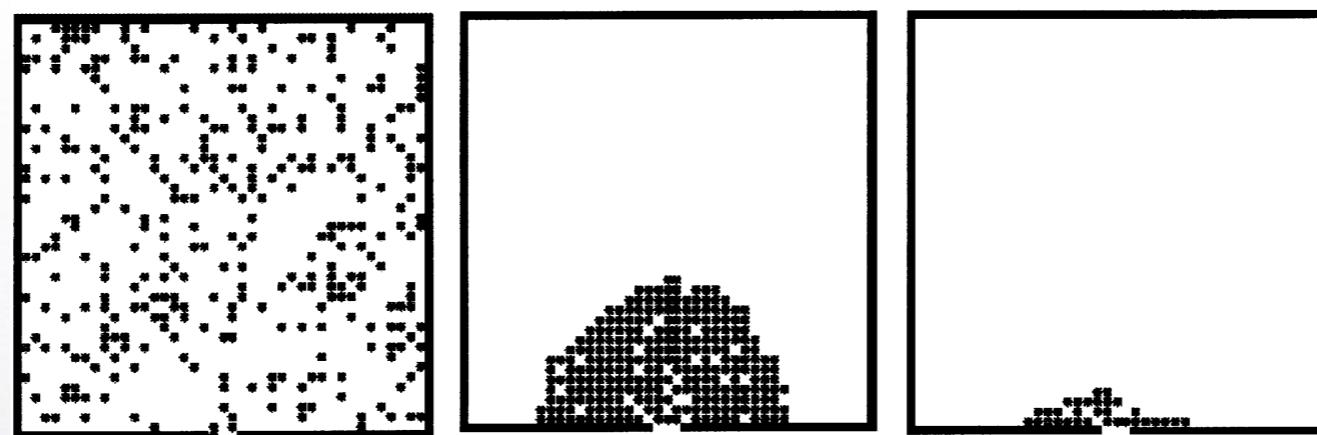
Estas reglas se aplican a todas las partículas en el mismo paso temporal, es decir se ejecutan en forma sincronizada.



# Modelos Microscópicos

“Bionics-Inspired” Autómata Celular

Típico proceso de evacuación de un recinto





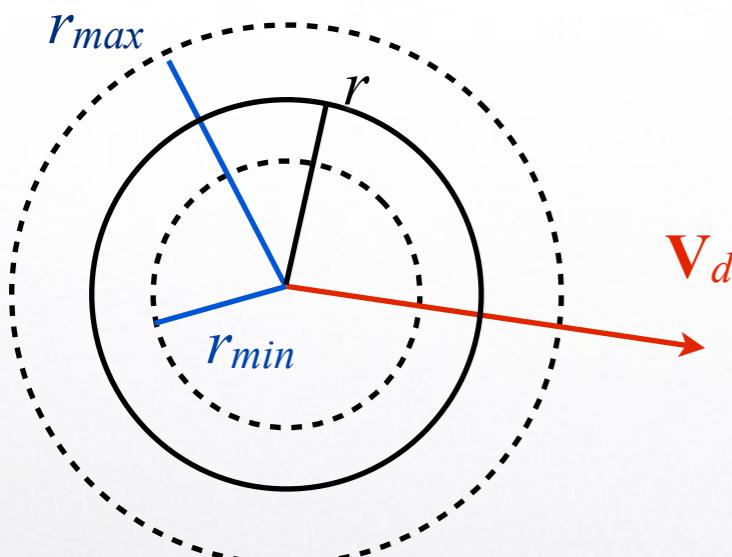
# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model



# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model



- Partículas con radio variable ( $r$ ):
  - Espacio personal para desplazarse
  - Máxima compresión corporal
- Velocidad deseada es función del radio ( $r$ ):

$$|\mathbf{v}_d| = f(r) \quad tq \quad \left\{ \begin{array}{l} v_d(r_{min}) = 0 \\ v_d(r_{max}) = v_{d \max} \end{array} \right.$$

Baglietto, & Parisi (2011)

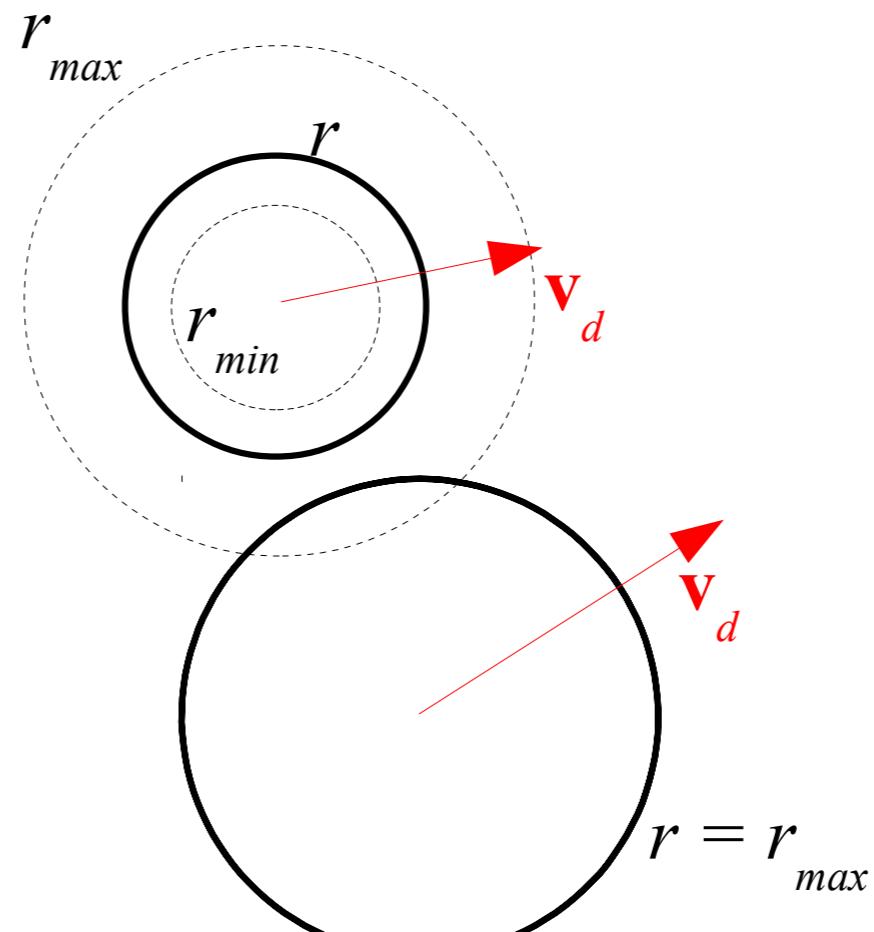


# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

Sin contacto:

Avanzan con la  $v_d$  correspondiente:



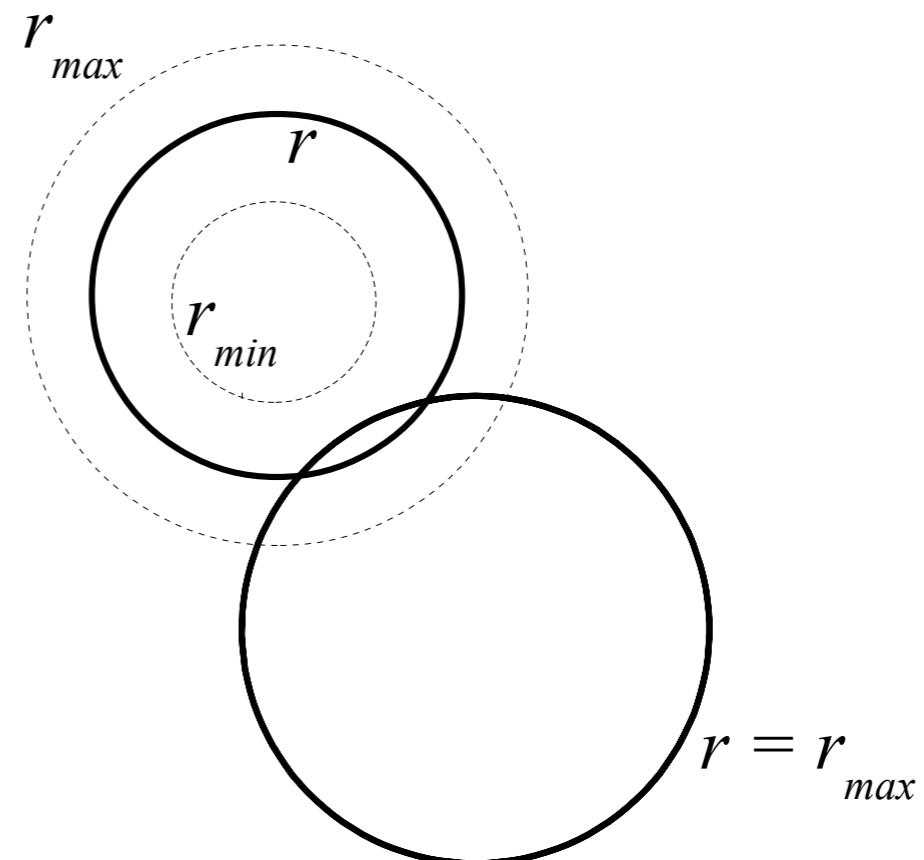


# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

Cuando entran en contacto:

en ese paso temporal ...





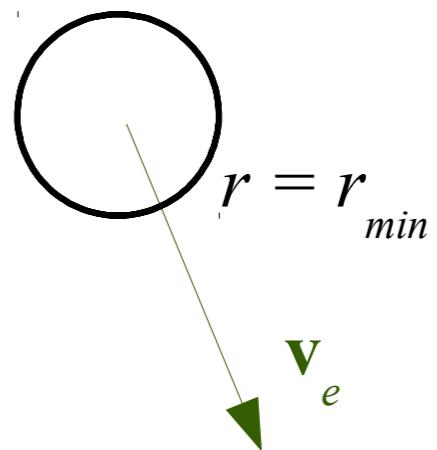
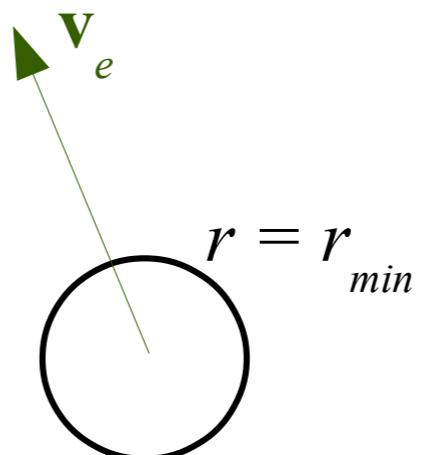
# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

Cuando entran en contacto:

sólo durante un paso  $dt \dots$

- Aparece velocidad de escape ( $v_e$ ).
- El radio colapsa al mínimo.





# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model

Evolución Temporal

Si la partícula NO está en contacto:

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

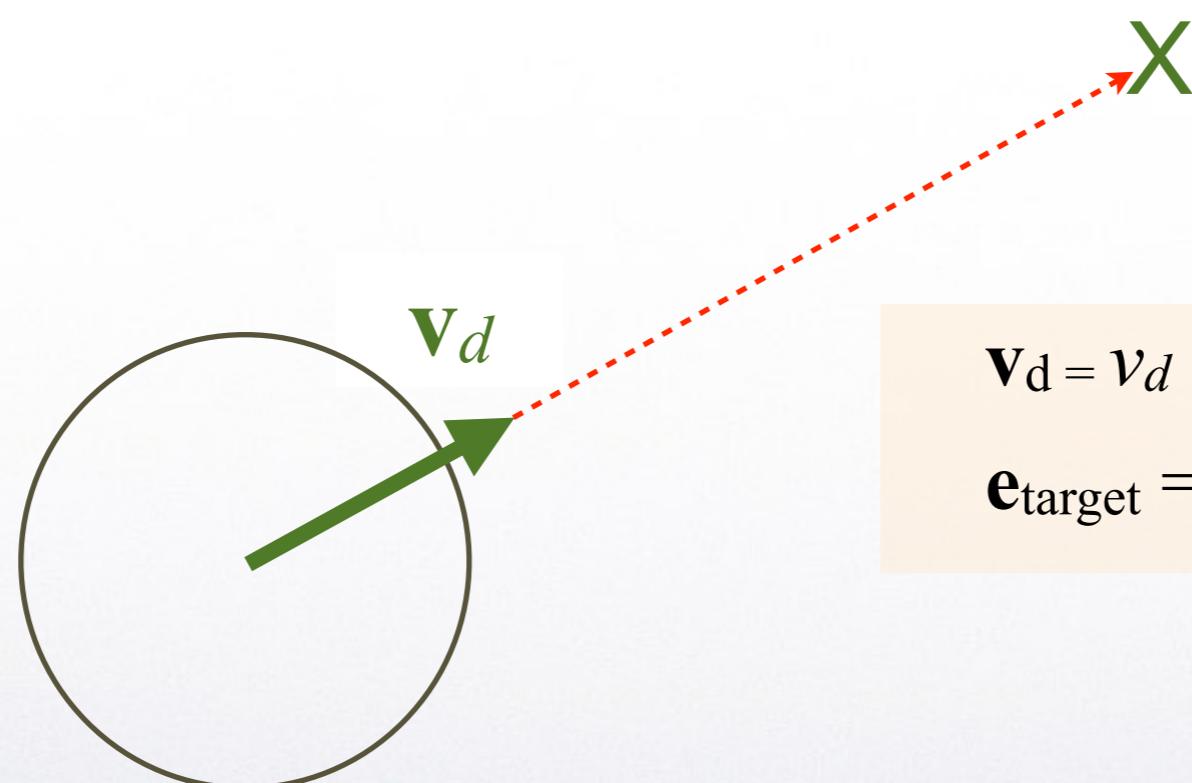
$$|\mathbf{v}_d| = v_d = v_d^{max} [(r - r_{min}) / (r_{max} - r_{min})]^\beta$$

$$r(t + dt) = r(t) + r_{max} / (\tau / \Delta t) \quad (\text{si } r < r_{max})$$



# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model



(Desired Target)

$$\mathbf{v}_d = v_d \mathbf{e}_{\text{target}}$$

$$\mathbf{e}_{\text{target}} = (\mathbf{x}_{\text{target}} - \mathbf{x}) / |(\mathbf{x}_{\text{target}} - \mathbf{x})|$$



# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model

Evolución Temporal

Si la partícula SI está en contacto:

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

$$r = r_{min}$$

$$|\mathbf{v}_e| = v_e = v_d^{max}$$

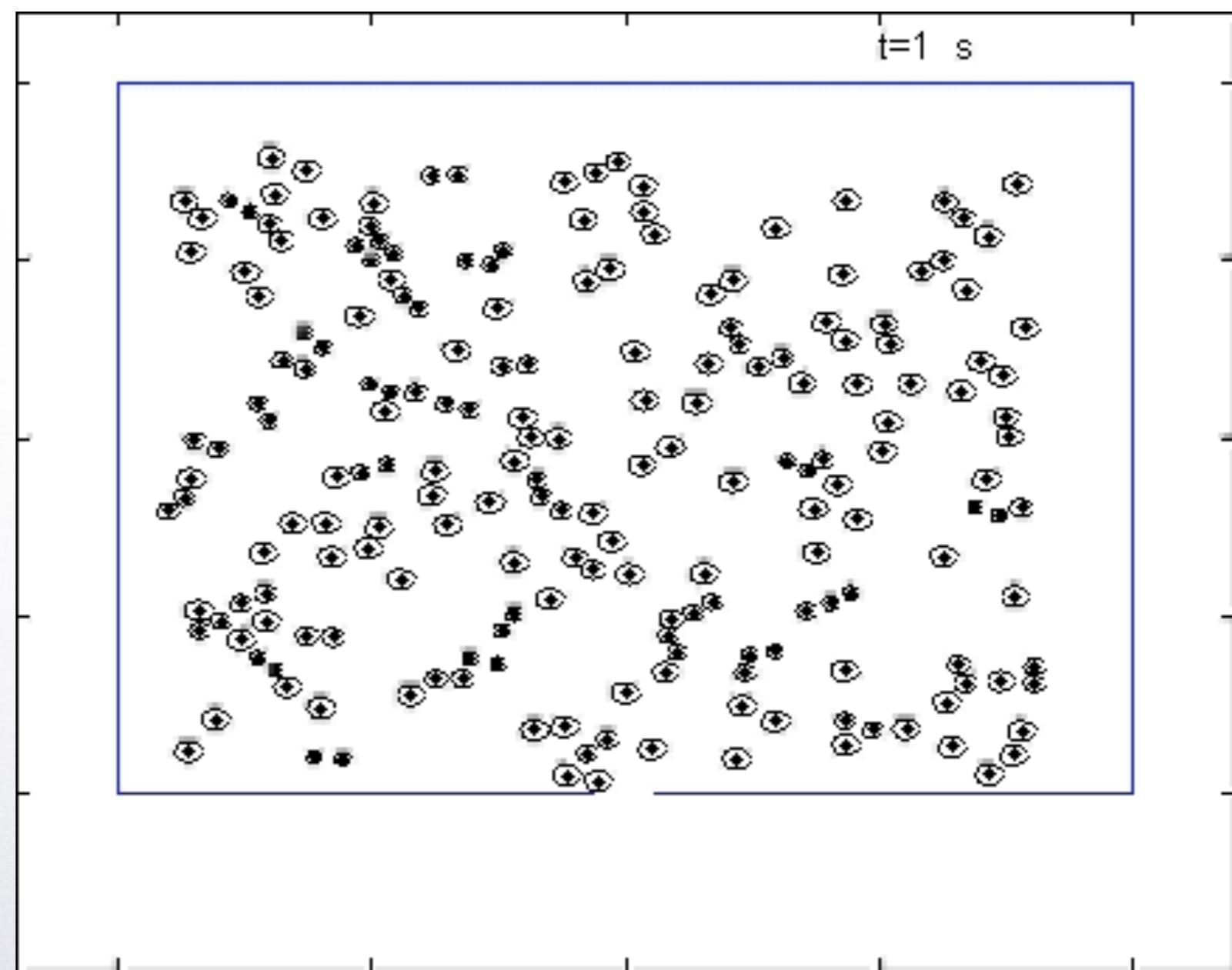


# Modelos Microscópicos

Contractile Particle Model

Evacuación de un recinto

El modelo reproduce los datos experimentales de Caudal específico



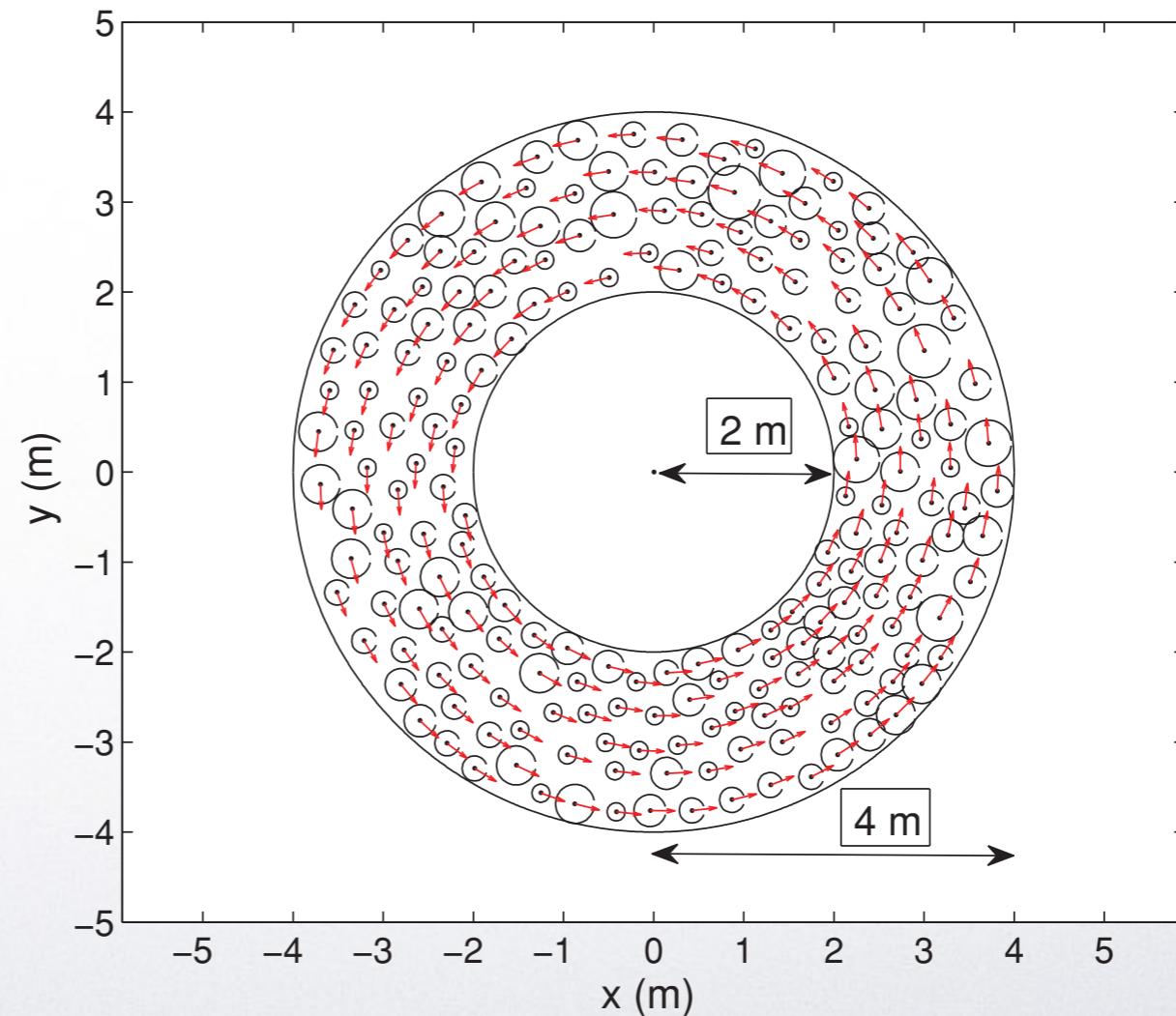


# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

### Pista de Carrera

Variando el Nro. de partículas,  
se estudian distintas  
densidades y se mide la  
velocidad promedio para  
construir el diagrama  
fundamental.





# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

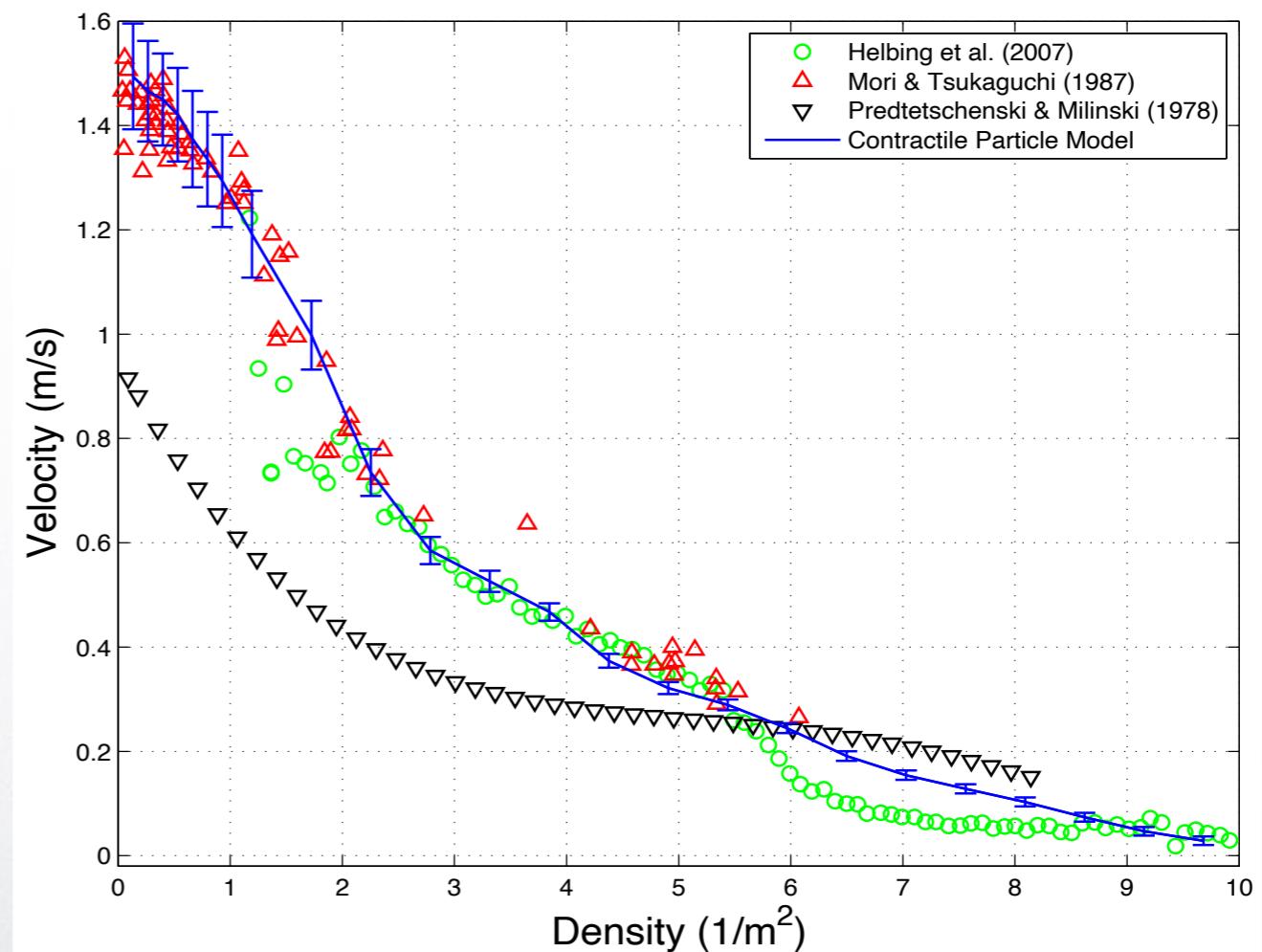
### Diagrama Fundamental

Parámetros:

$$v_d^{max} = 1.55 \text{ m/s}$$

$$r_{min} = 0.15 \text{ m}$$

$$r_{max} = 0.32 \text{ m}$$





# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

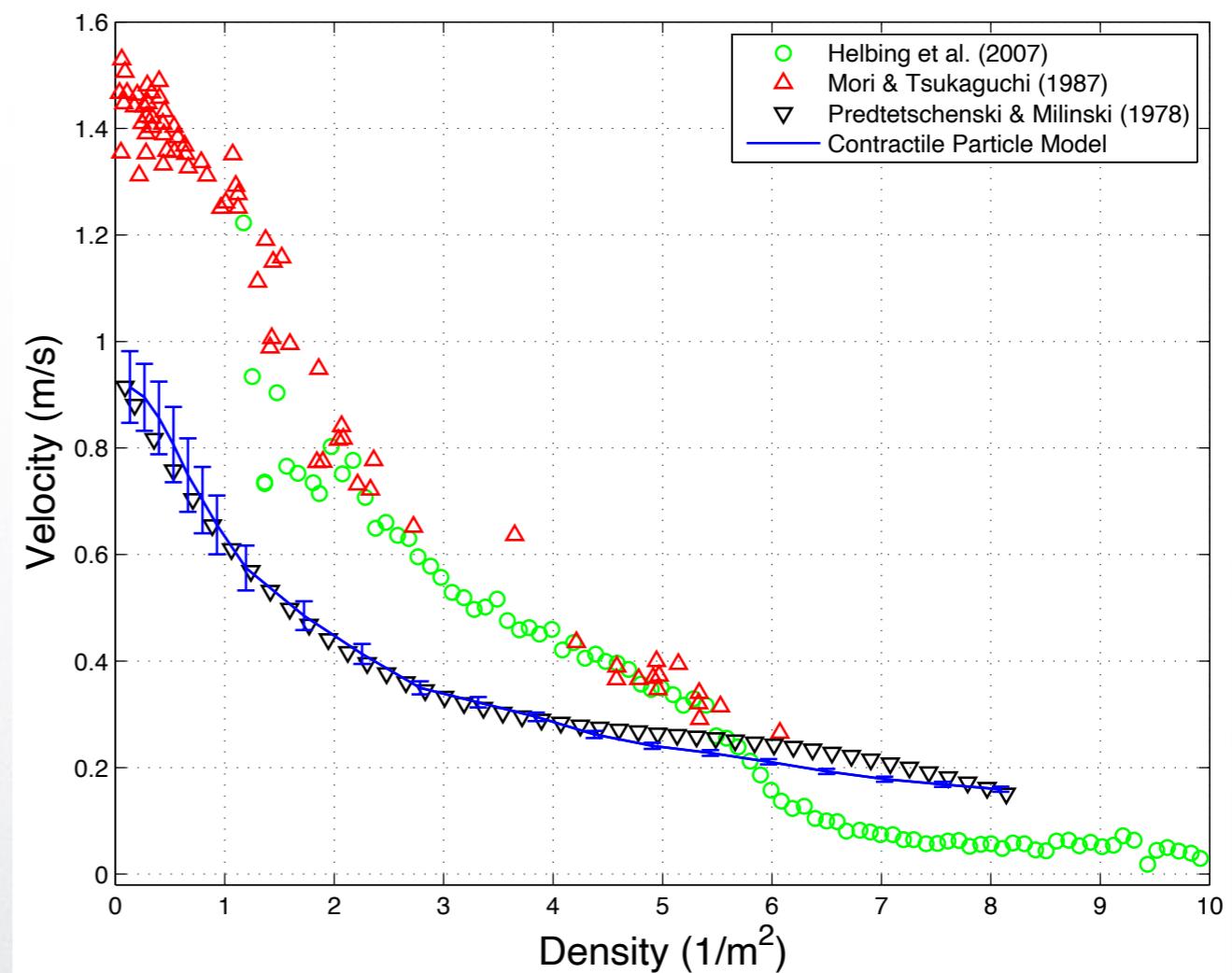
### Diagrama Fundamental

Parámetros:

$$v_d^{max} = 0.95 \text{ m/s}$$

$$r_{min} = 0.10 \text{ m}$$

$$r_{max} = 0.37 \text{ m}$$





# Modelos Microscópicos

## Contractile Particle Model

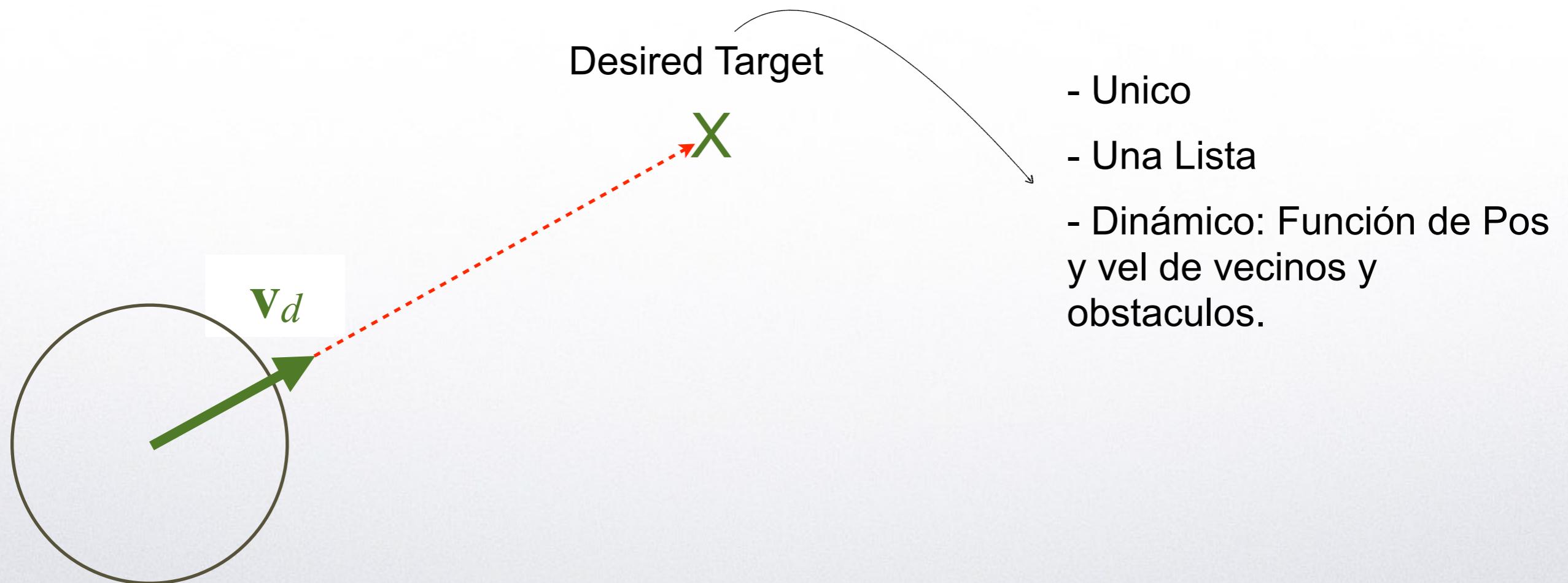
### Bondades del CPM

- Reproduce valores experimentales de Caudal Específico y Diagrama Fundamental.
- Aumenta  $\sim 50X$  la velocidad de cómputo respecto del SFM



# Modelos Microscópicos

- Social Force Model
- Contractile Particle Model





**FIN**