



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).



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.

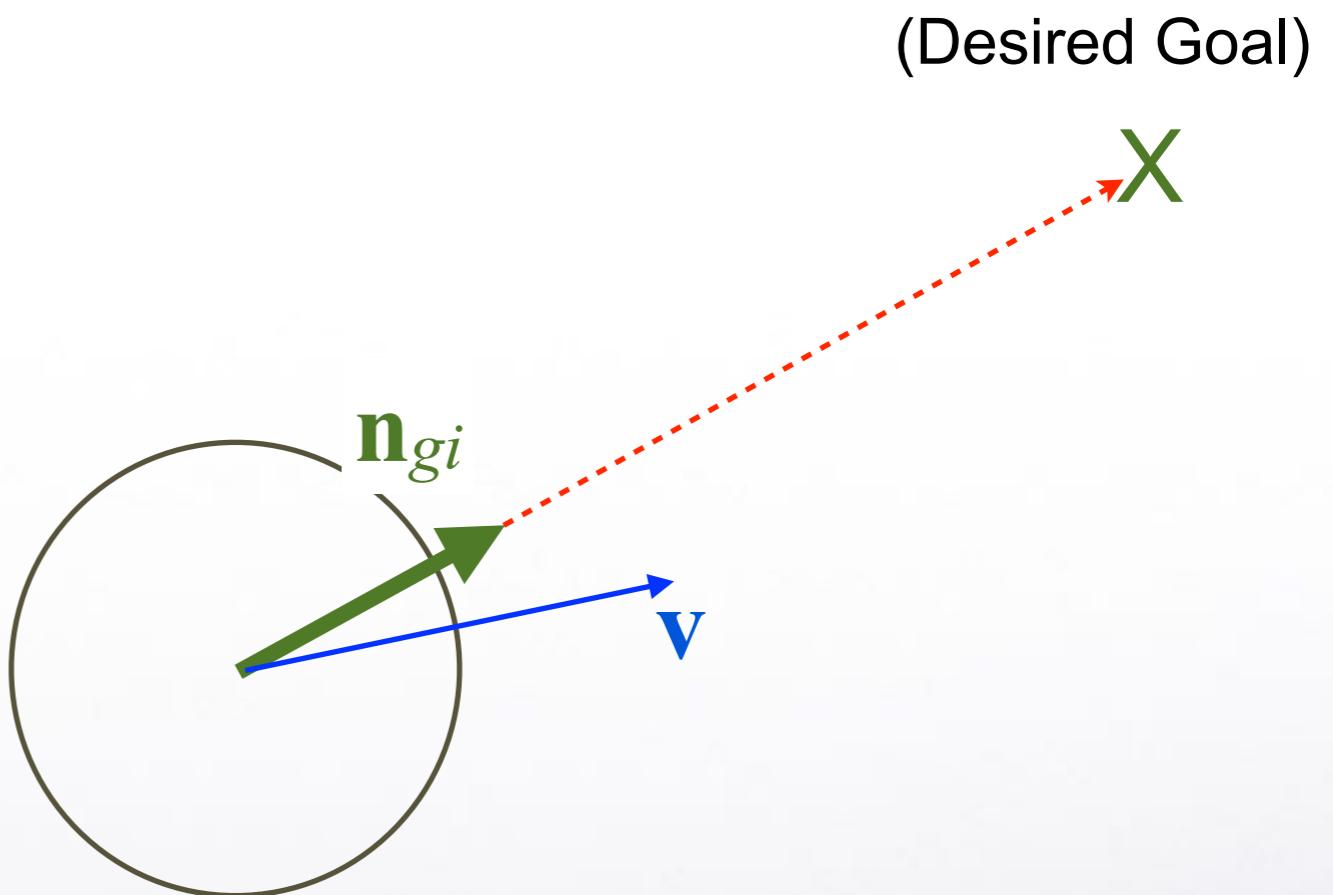
$$m_i \ \mathbf{a}_i = \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_e$$



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

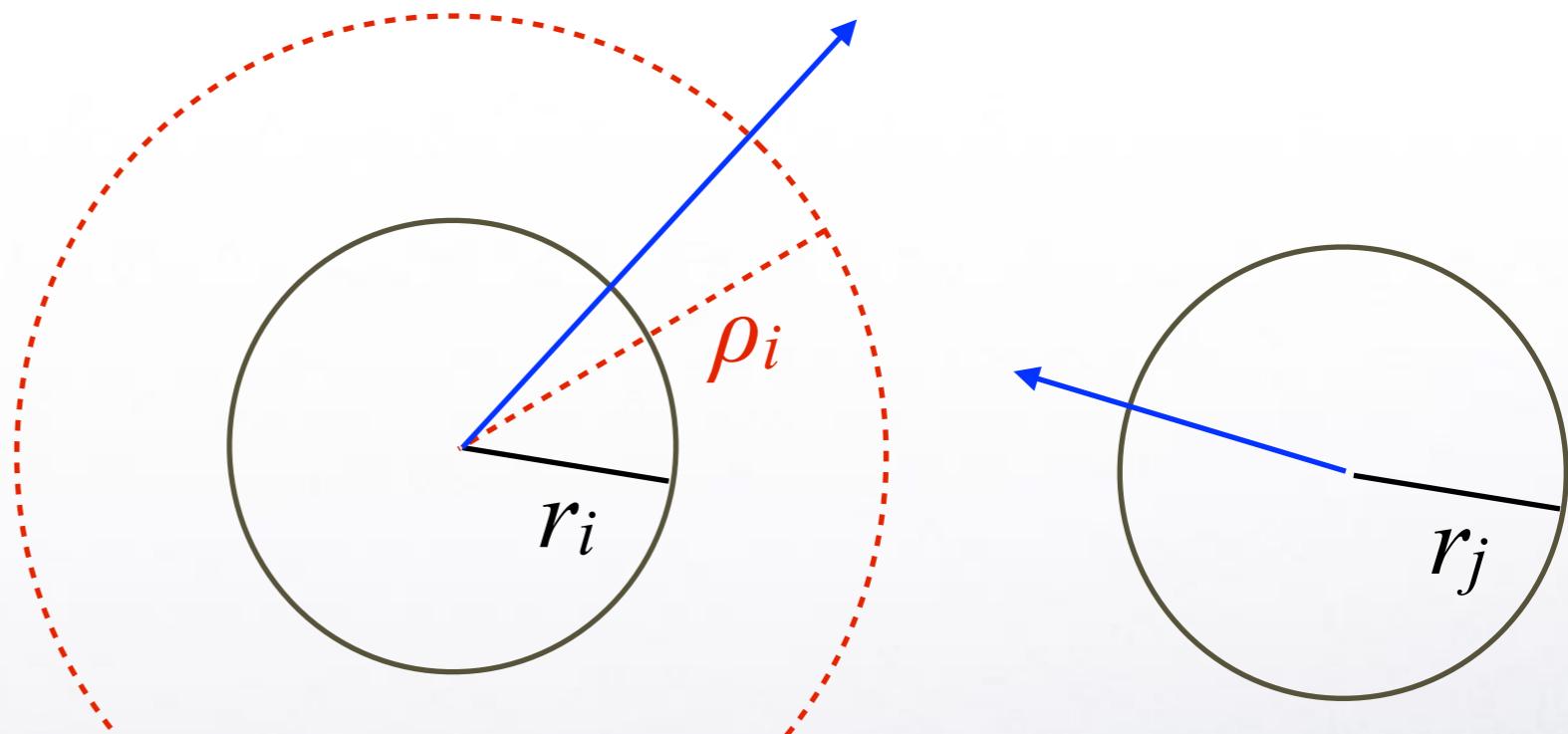
Se intentan evitar colisiones entre peatones y espacios personales.

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_α) Se aplica una Fuerza Evasiva sobre el peatón que evitará la colisión.



Predictive Collision Avoidance

Predicción de la Colisión

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

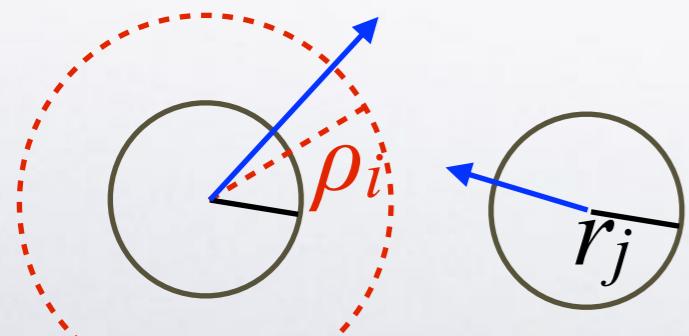
Velocidad deseada hipotética si solo considero la velocidad actual y la Fuerza de autopropulsión.

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

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

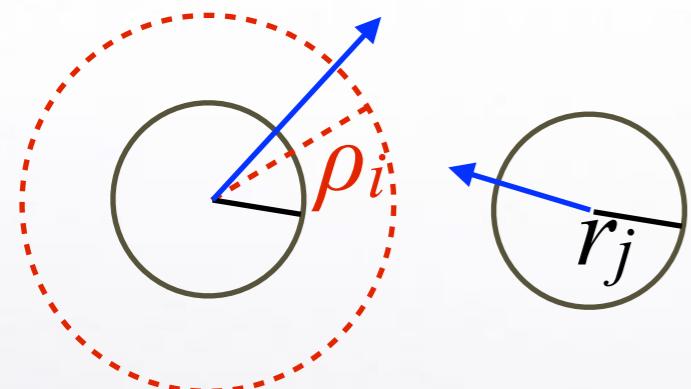


Para computar los tiempos de choque se consideran el radio de espacio personal para i (ρ_i) y el radio físico de la partícula j (r_j). Se resuelven las ecuaciones de encuentro y se calculan los tiempos de choque para las partículas j que están en la vecindad.



Predictive Collision Avoidance

Selección de potenciales choques



De todas las posibles partículas con las que colisionaría la partícula i , se seleccionan las 5 con menor tiempo de choque.



Predictive Collision Avoidance

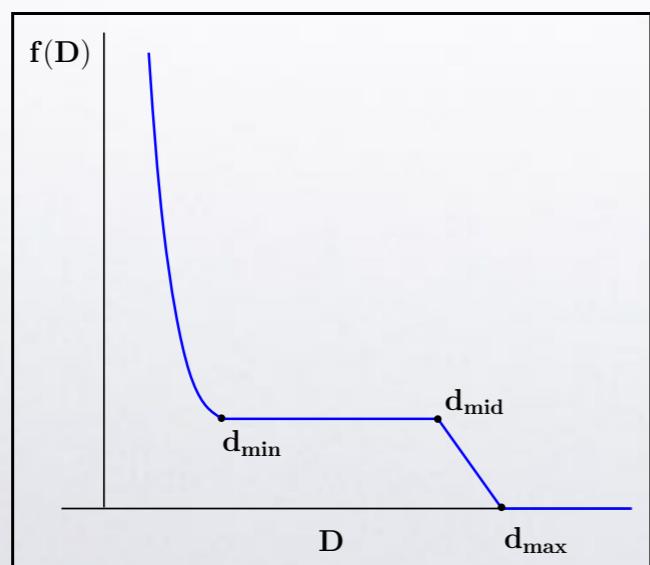
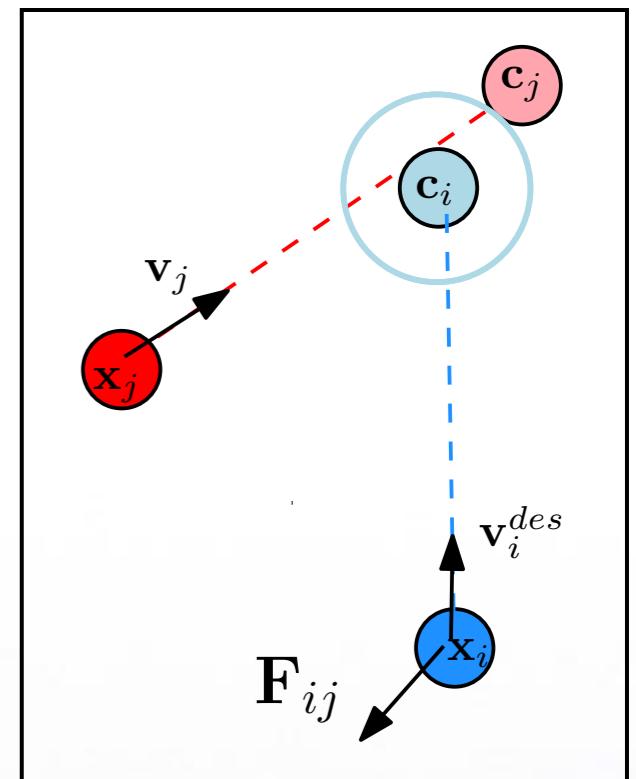
Maniobra de Elusión

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

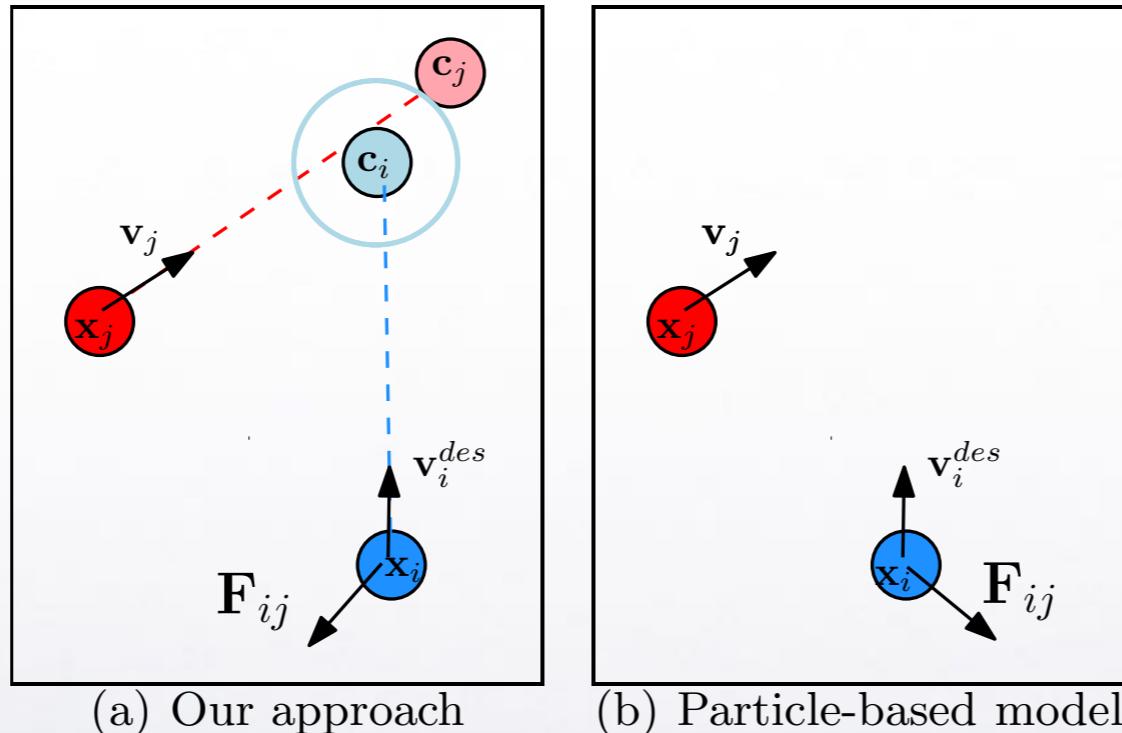
$$\mathbf{F}_e = \sum_j^N w_{ij} \mathbf{F}_{ij},$$

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

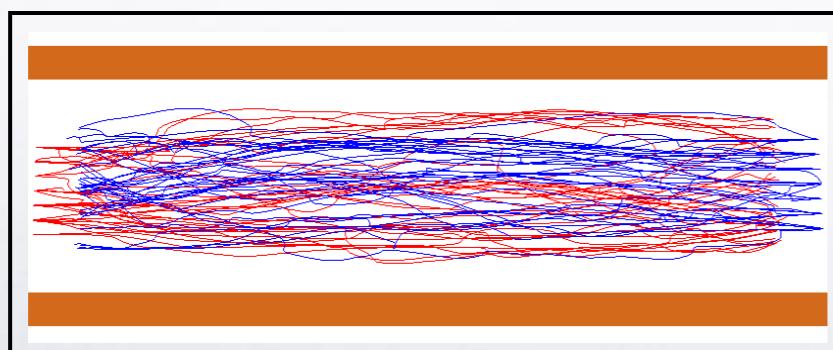




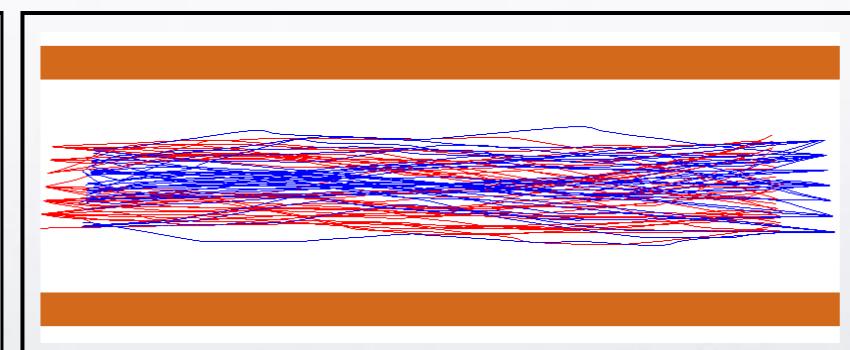
Predictive Collision Avoidance

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
Helbing	30.33	3.71	37.12	2.34	1.23	0.09	1.08	1.08	55.73	28.37	323.22	225.79
Predictive	25.05	2.10	35.14	1.79	1.40	0.05	0.06	0.08	9.4	6.01	76.62	52.29
RVO	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



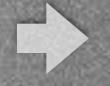
(b) Predictive model



Predictive Collision Avoidance

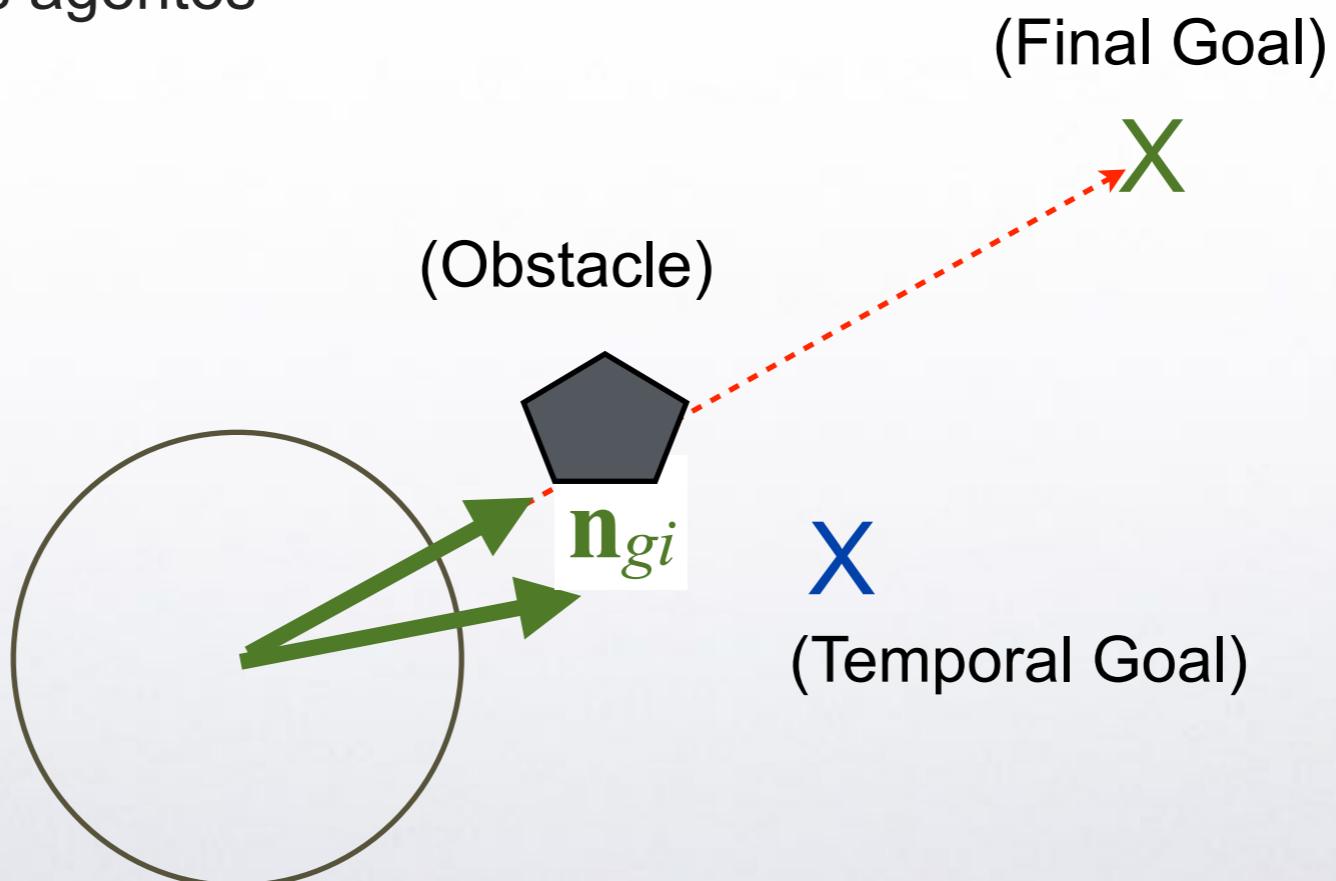
Comparación con Social Force Model

pueden ver animaciones de este modelo en:
<https://sites.google.com/site/ikaramouzas/pam>)



NUEVO ENFOQUE: Concepto Elusión de Colisiones

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





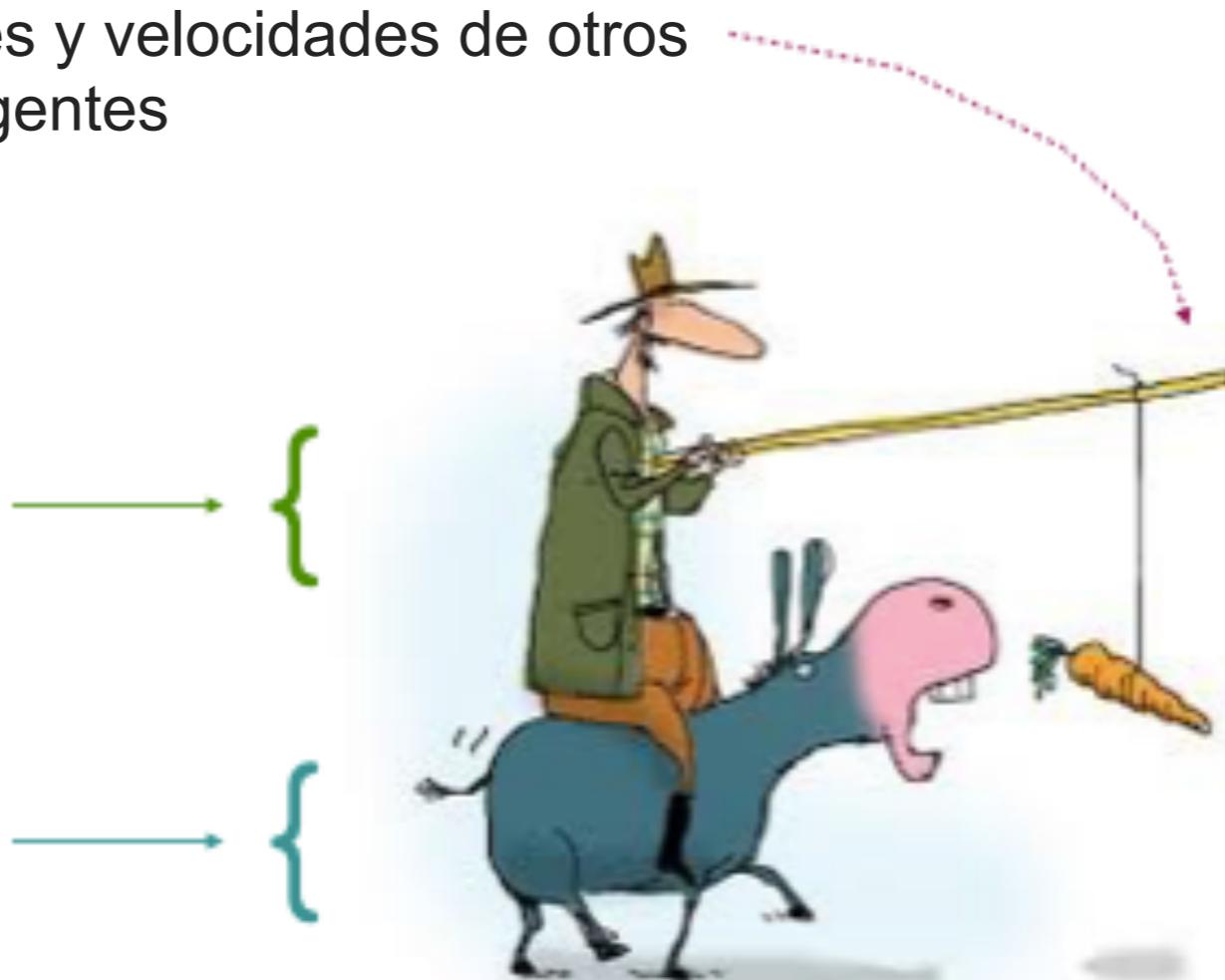
NUEVO ENFOQUE: Concepto Elusión de Colisiones

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

Capa de Elusión Reactiva



Model Operacional





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

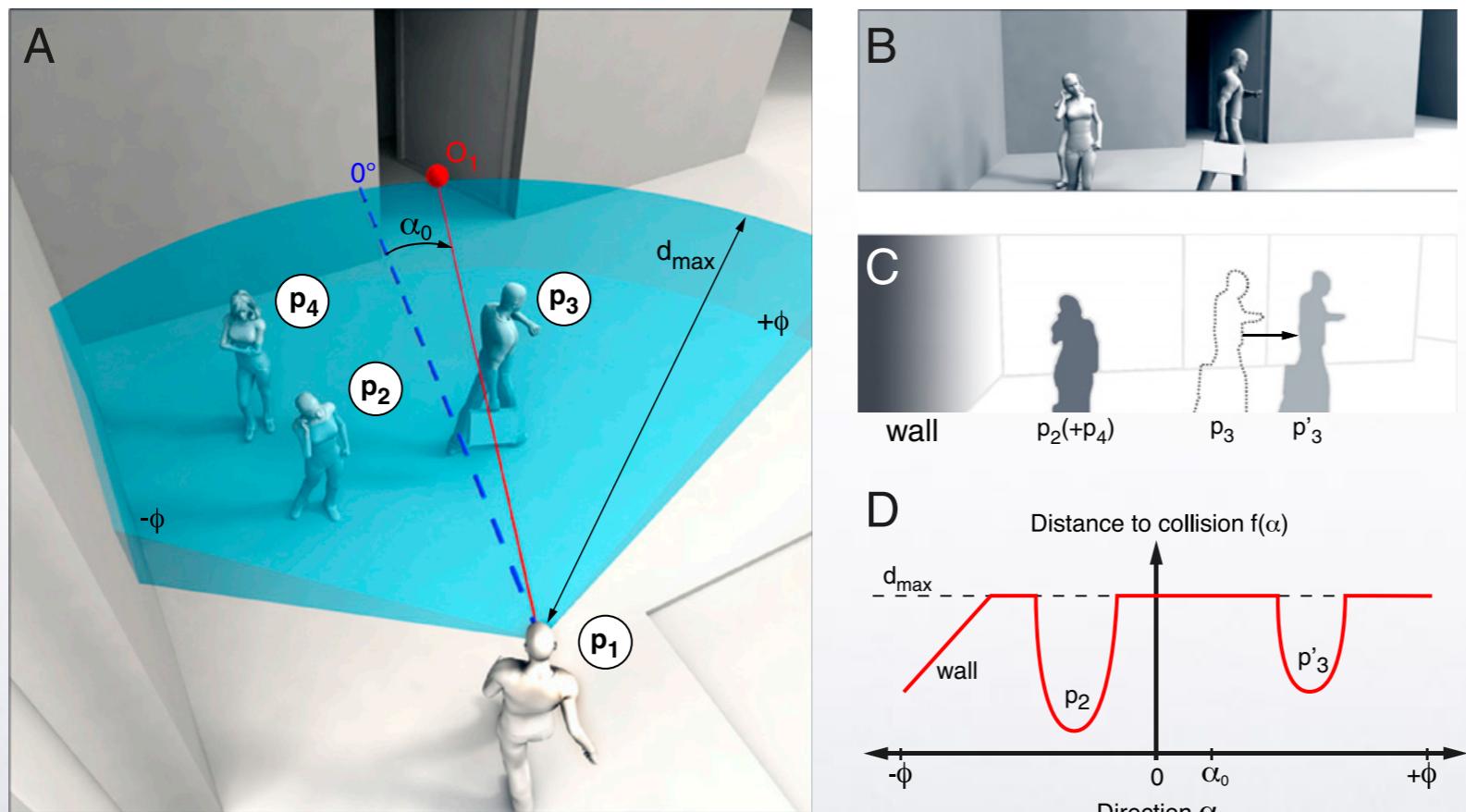
Análogamente al Social Force Model, se consideran peatones circulares con:

- 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 (α_{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 (α_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 τ ”. En consecuencia el módulo de la velocidad deseada será:

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

donde d_h es la distancia entre el peatón i y su primer obstáculo en la dirección deseada α_{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

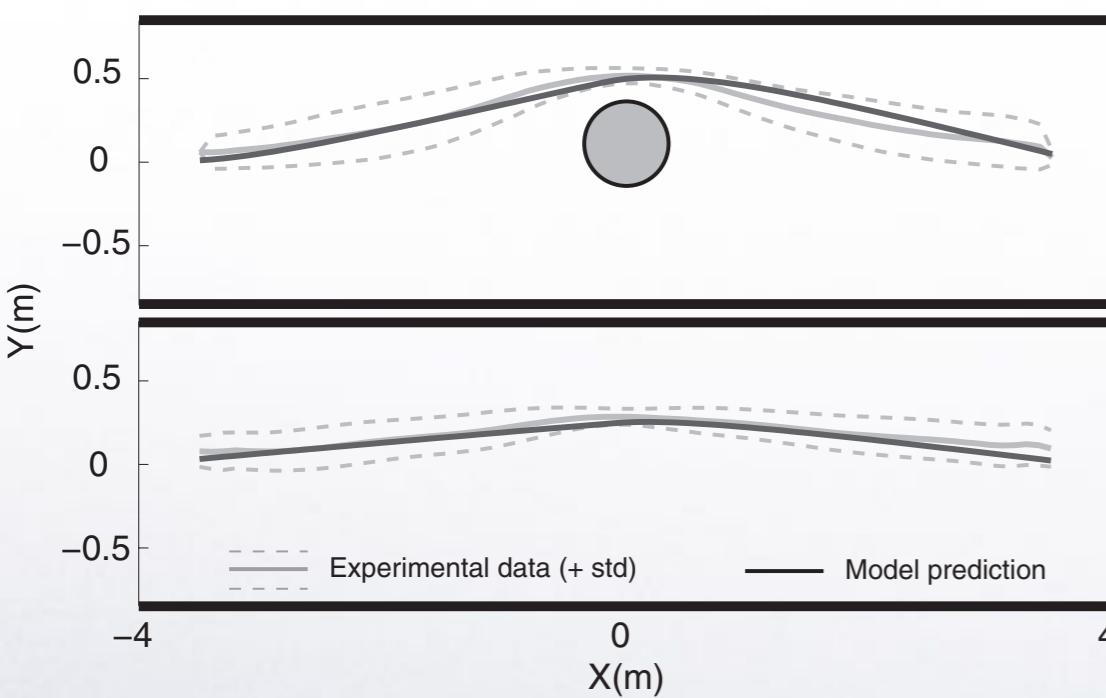
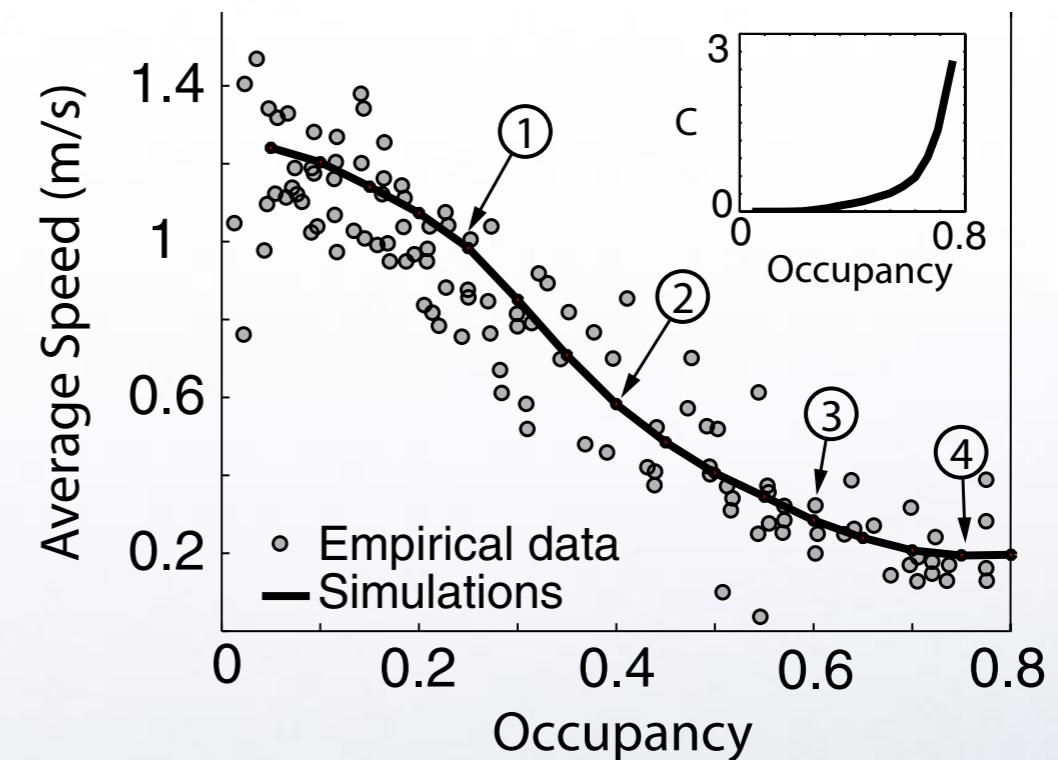


Diagrama fundamental

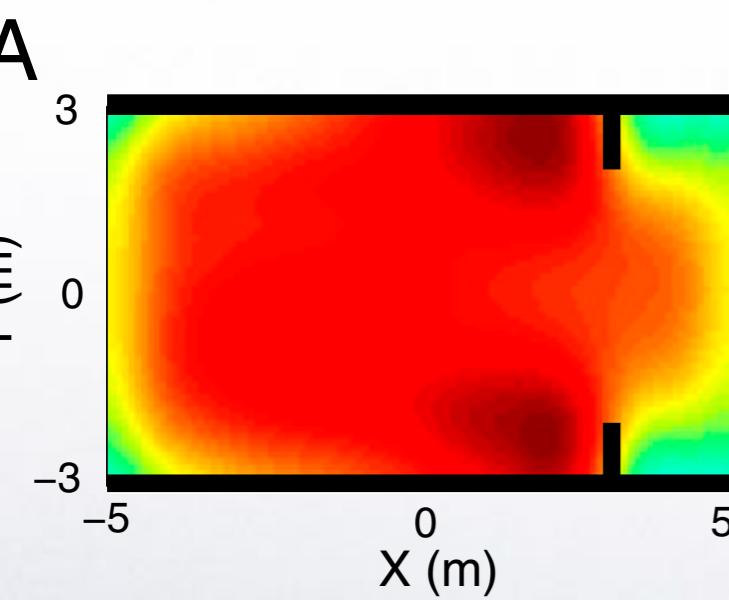




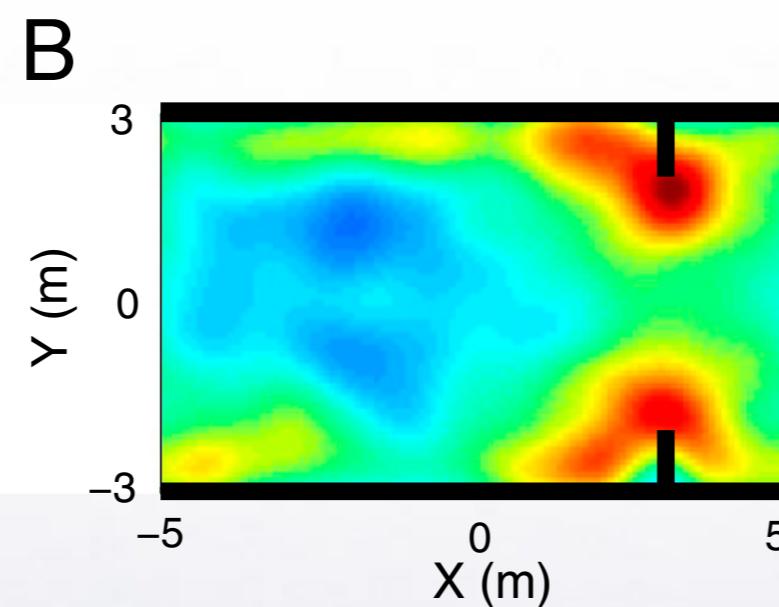
Heurística Cognitiva

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

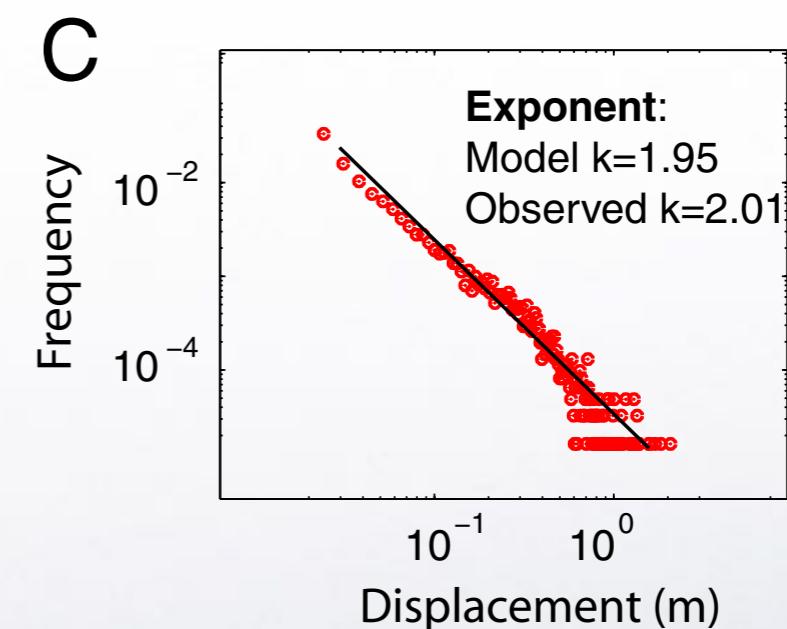
A: Compresión corporal



B: Probabilidad de caídas



C: Distribución de desplazamientos entre 2 detenidas consecutivas



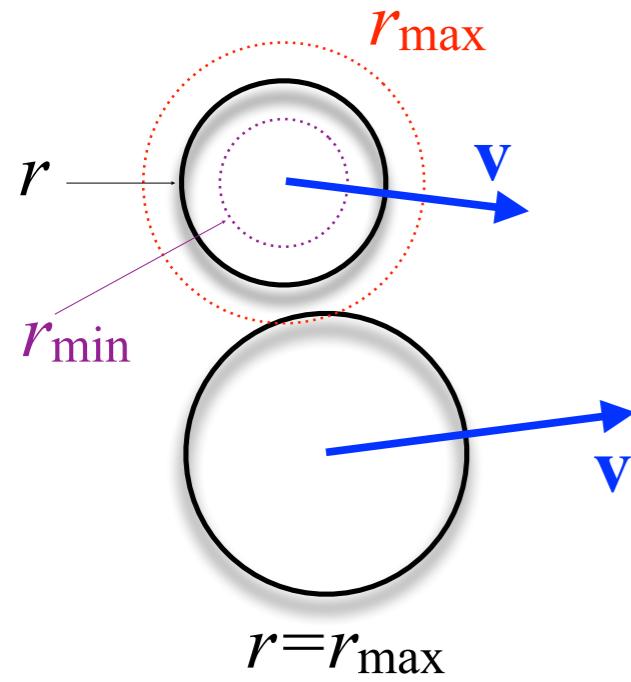
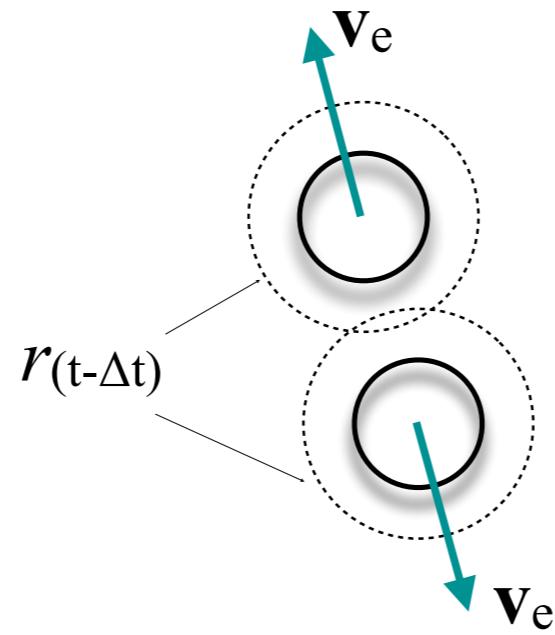
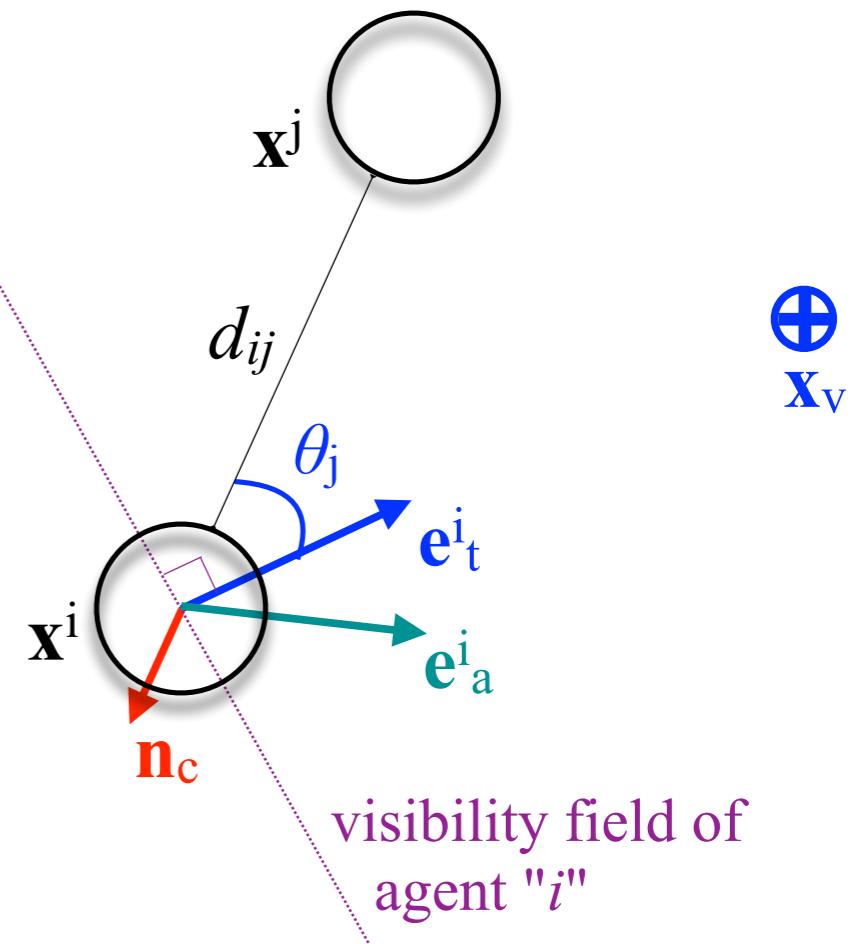


Modificación al CPM



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:

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

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



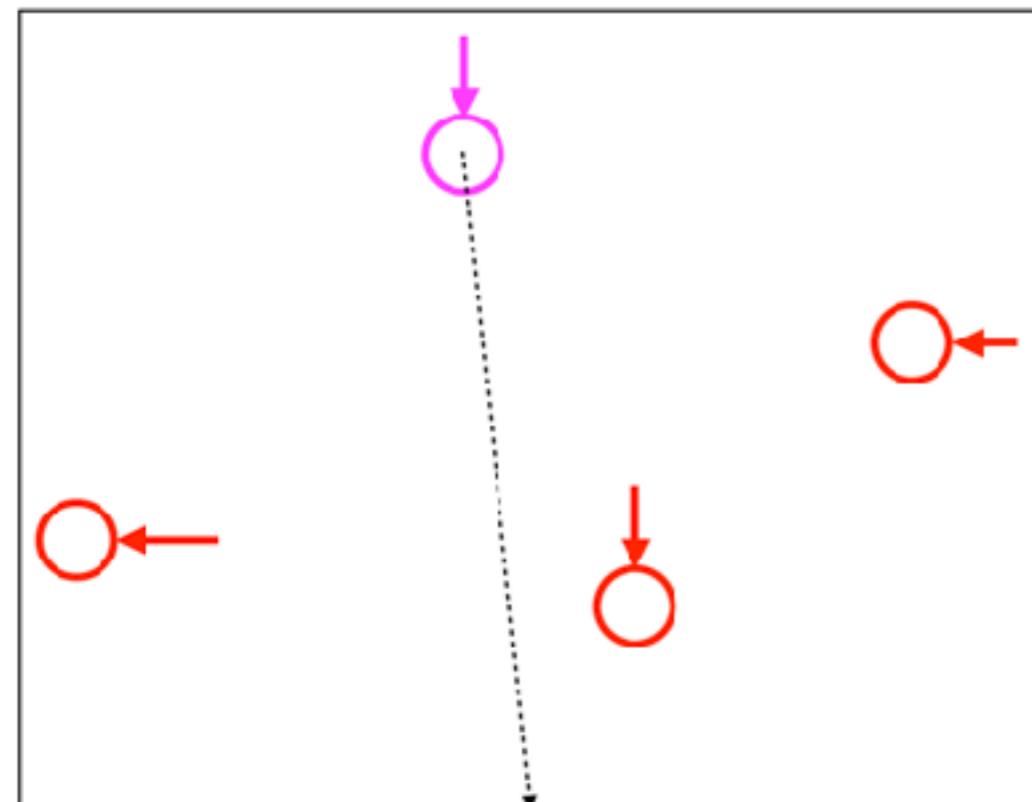
Data-Driven Simulation



Data-Driven Simulation

Basic Idea

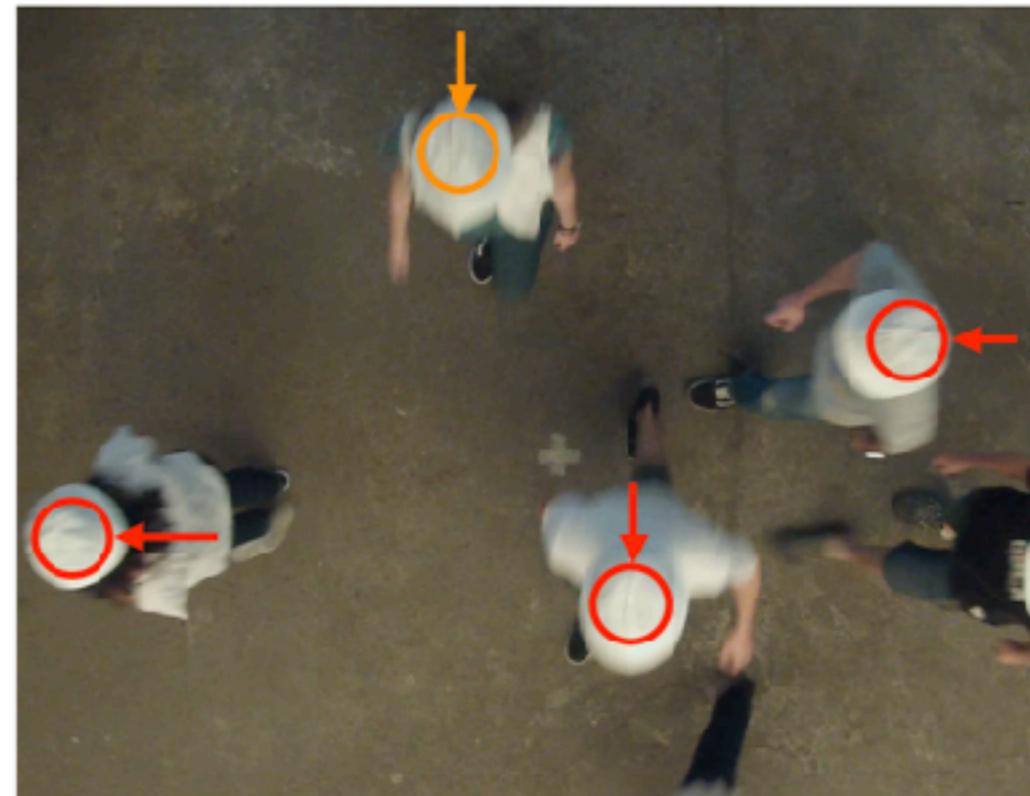
1) Simulation State for $\mathbf{x}_i(t)$



2) Input state

- Relative positions
- Relative velocities
- Final target

3) Find the similar states
in the data: $\mathbf{x}_i^*(t)$

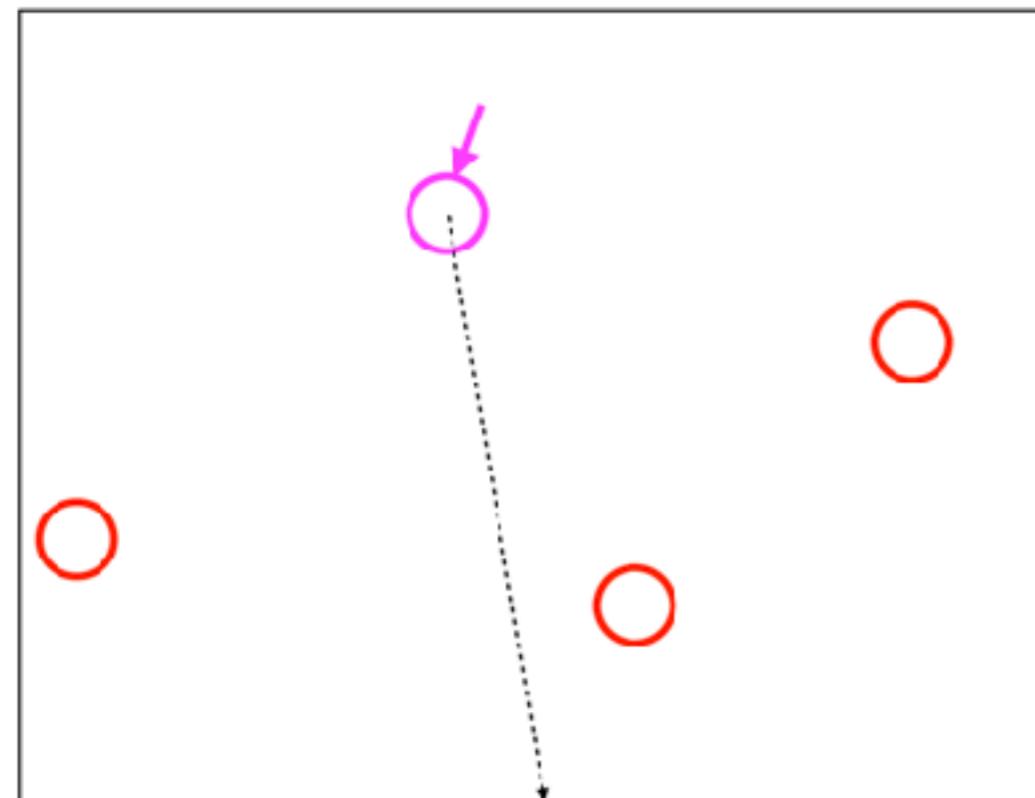




Data-Driven Simulation

Basic Idea

6) Simulation State for $\mathbf{x}_i(t + \Delta t)$



4) Output state
- Look at the next position

$$\mathbf{x}_i^*(t + \Delta t)$$

5) Interpolate and move

$$\mathbf{x}_i(t + \Delta t)$$

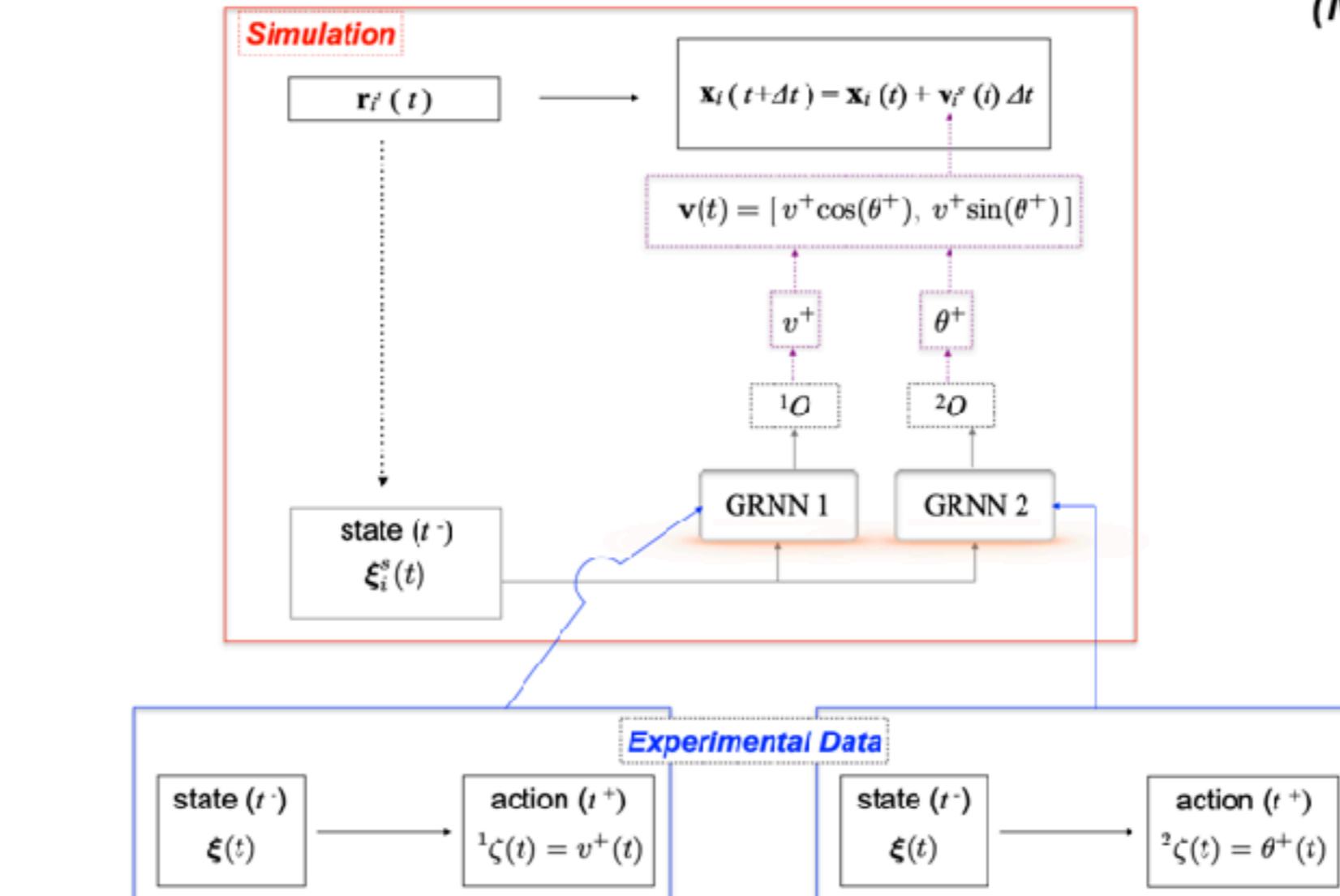




Data-Driven Simulation

Simulation Scheme

(Martín & Parisi, 2020)





Data-Driven Simulation

Advantages:

- Simulations “experimentally validated” (by definition).
- Direct way from [Real Data] —> [Simulations] (No need to “guess” a model).
- Increasingly relevant in light of the current AI revolution.
- Computationally efficient (bigger “dt” than force-based models).

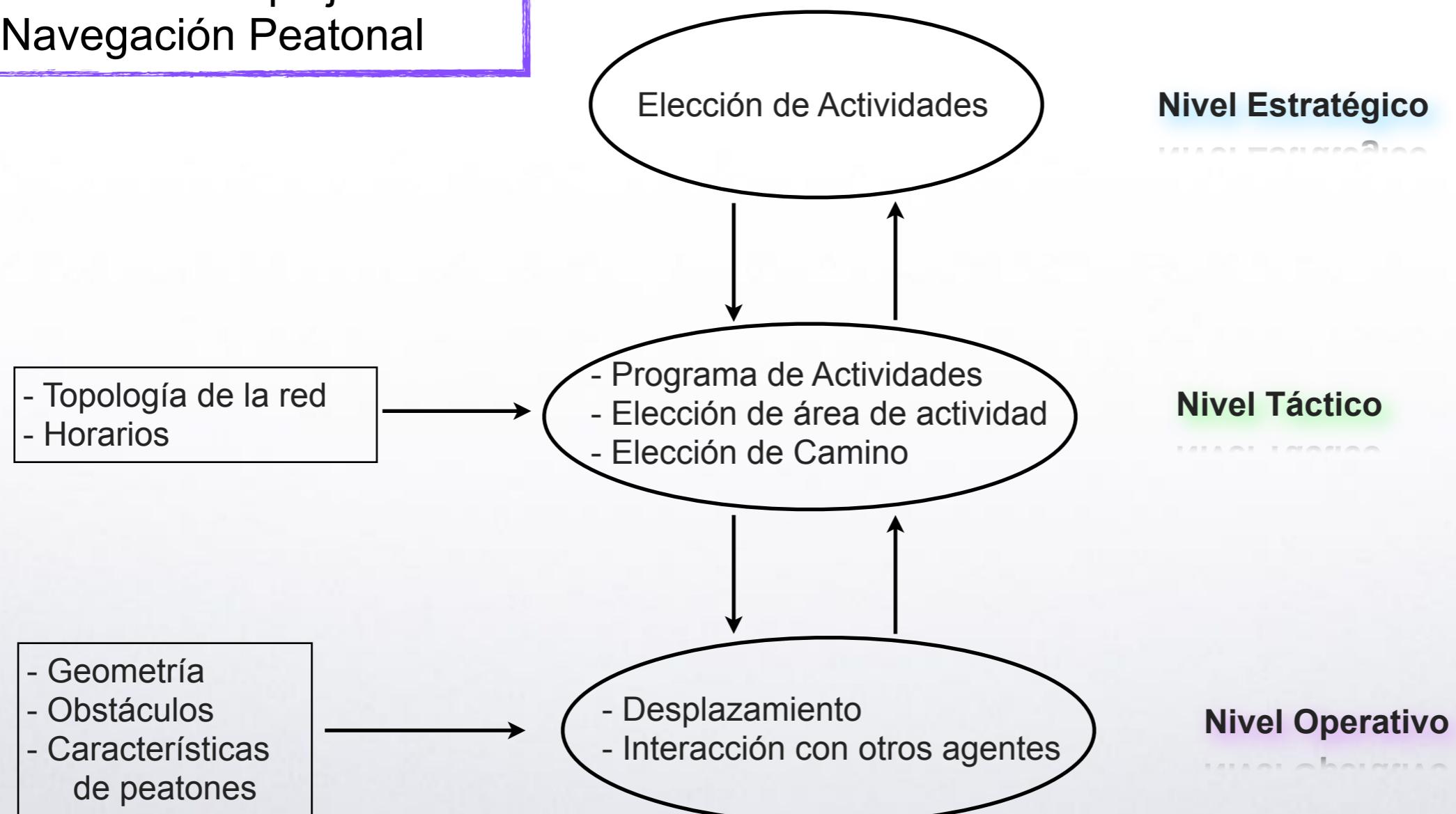


Software de Simulación



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

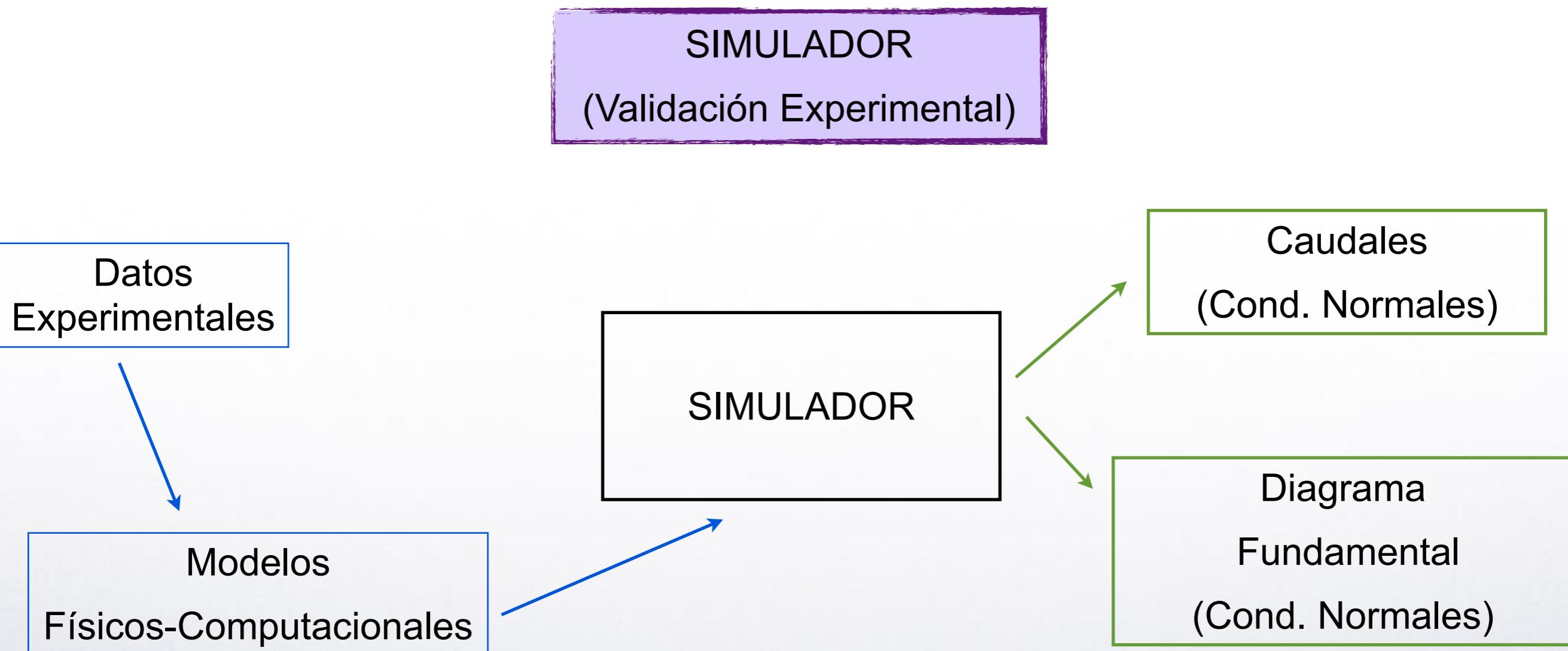
- Soc. Force Model
- Bionic Inspire
- Contract Part. Model

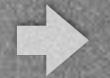
Nivel Operativo

MACRO-PROCESOS



Software de Simulación





Software de Simulación

Inputs generales

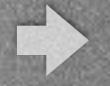
- Geometría.
- Ocupación / Demanda (caudales de llegada)
- Ubicación de Servidores y Tiempo de Procesos
- Matriz Origen-Destino. Lista de tareas.
- Plan de Evacuación.



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.



Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

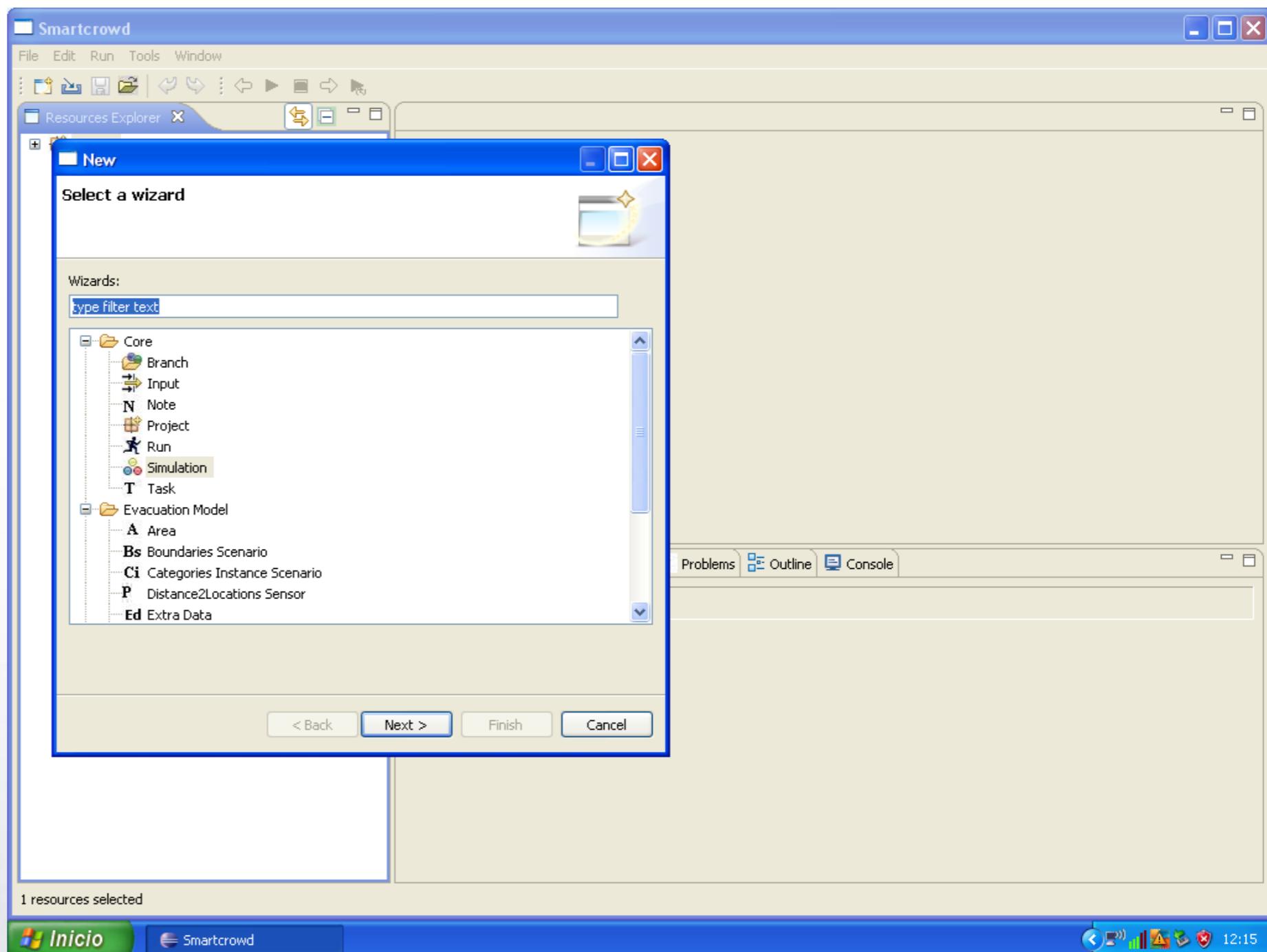
(URBIX - CONICET)



Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Creación de "Proyecto"
y "Branch"

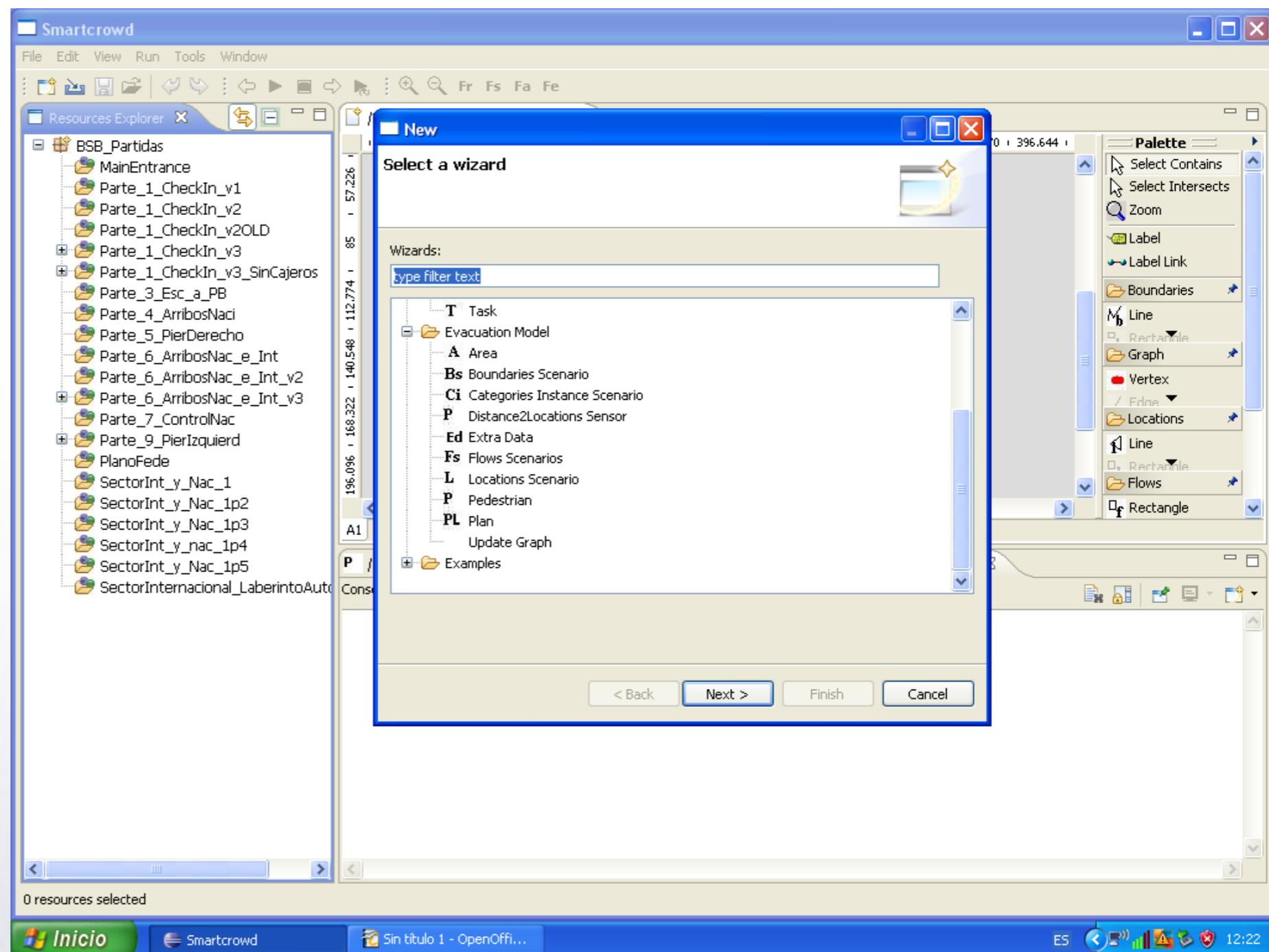


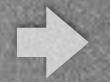


Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Creación de "Area"





Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Definición de la Geometría

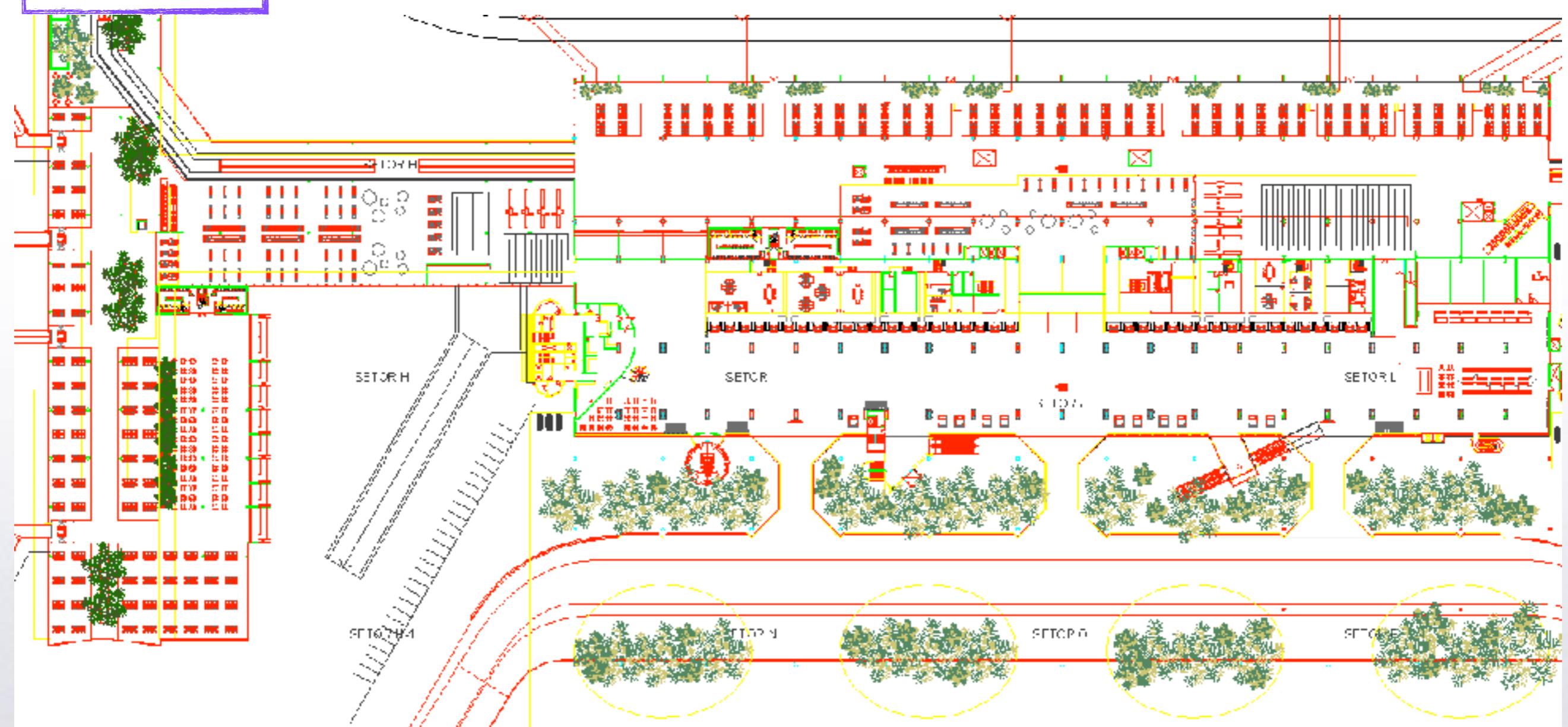
- Se puede dibujar a mano con las herramientas de creación de "Boundaries" del Código.
- Se puede importar un plano de un archivo CAD
(Limpieza de Planos)

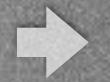


Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Limpieza de Planos





Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Limpieza de Planos:

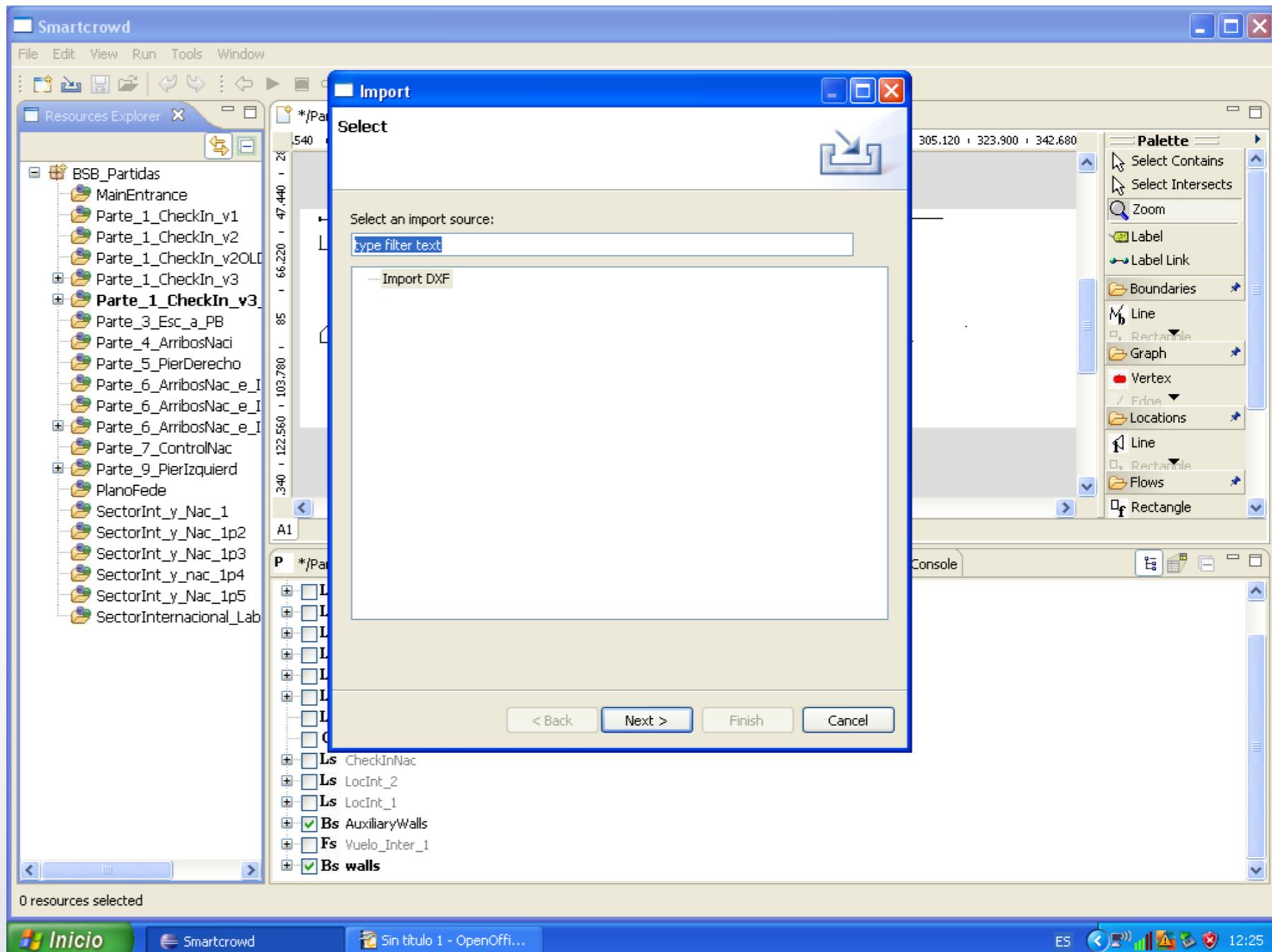
- Exceso de líneas (superpuestas, internas, muy cercanas)
- Líneas que no representan obstáculos peatonales (sobretechos, copas de árboles etc.)
- Textos en el plano.



Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Importación de la
Geometría
(archivo *.dxf)

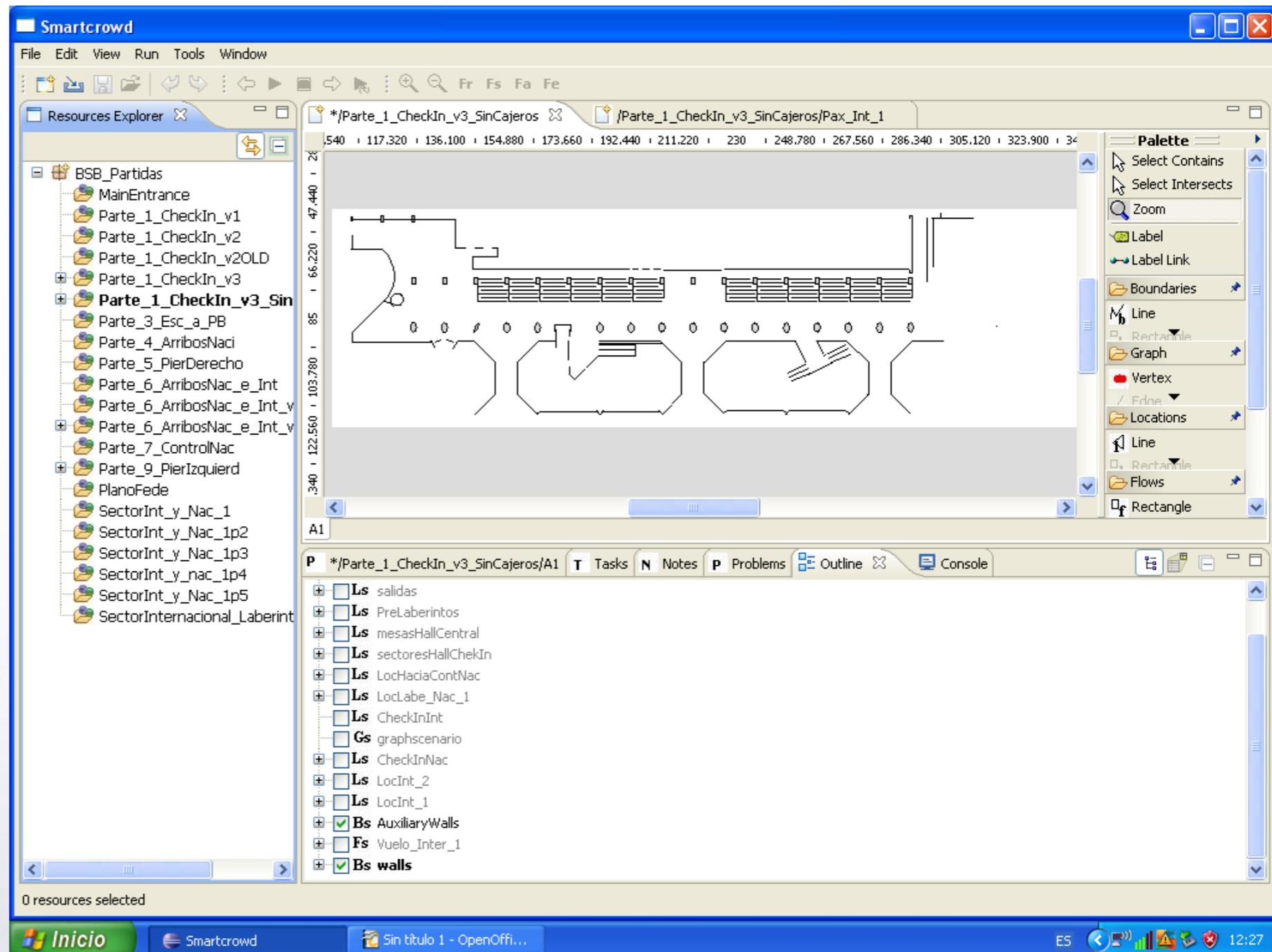




Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Área y Geometría Definida

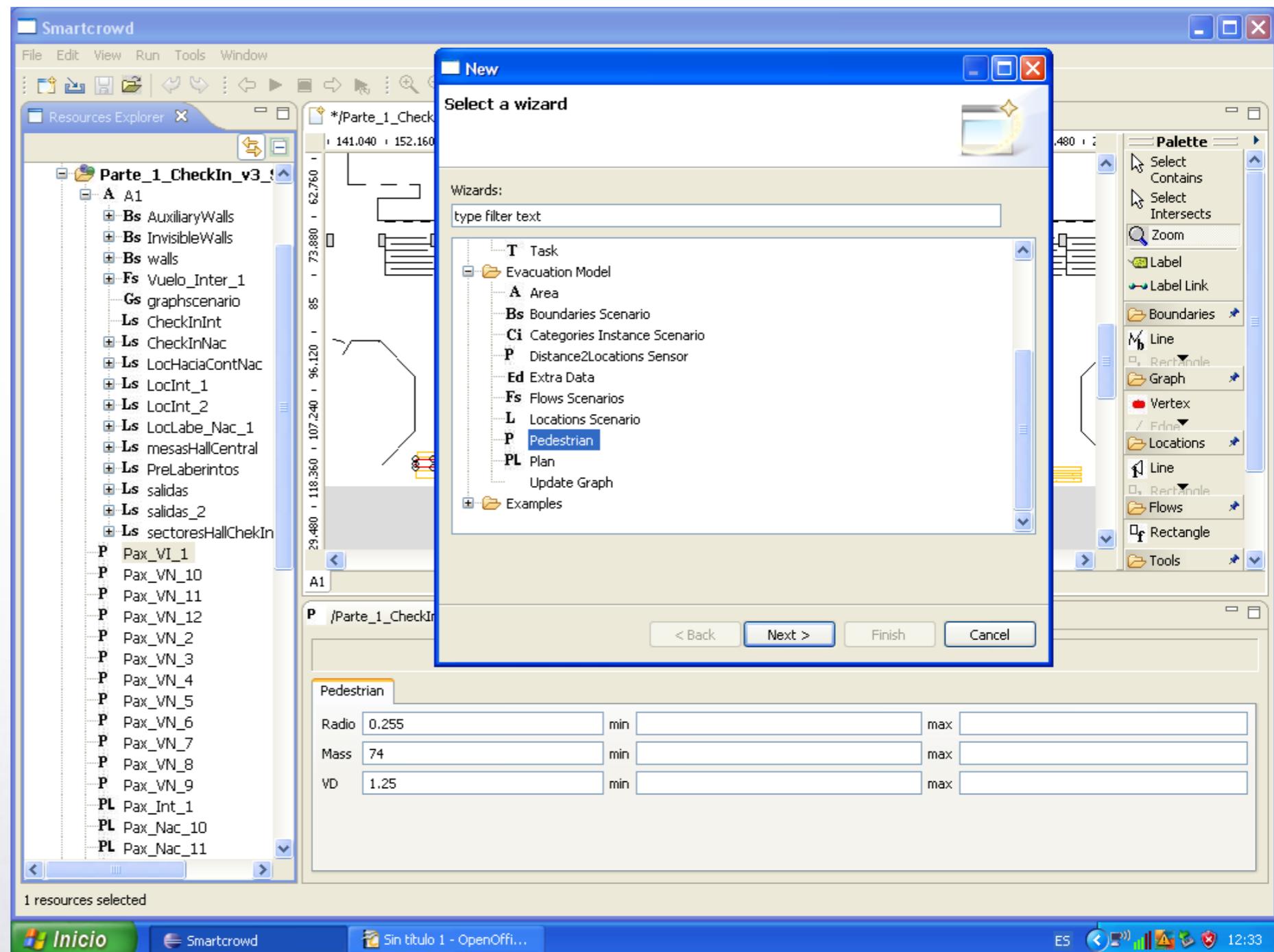




Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Definición de "Pedestrians"

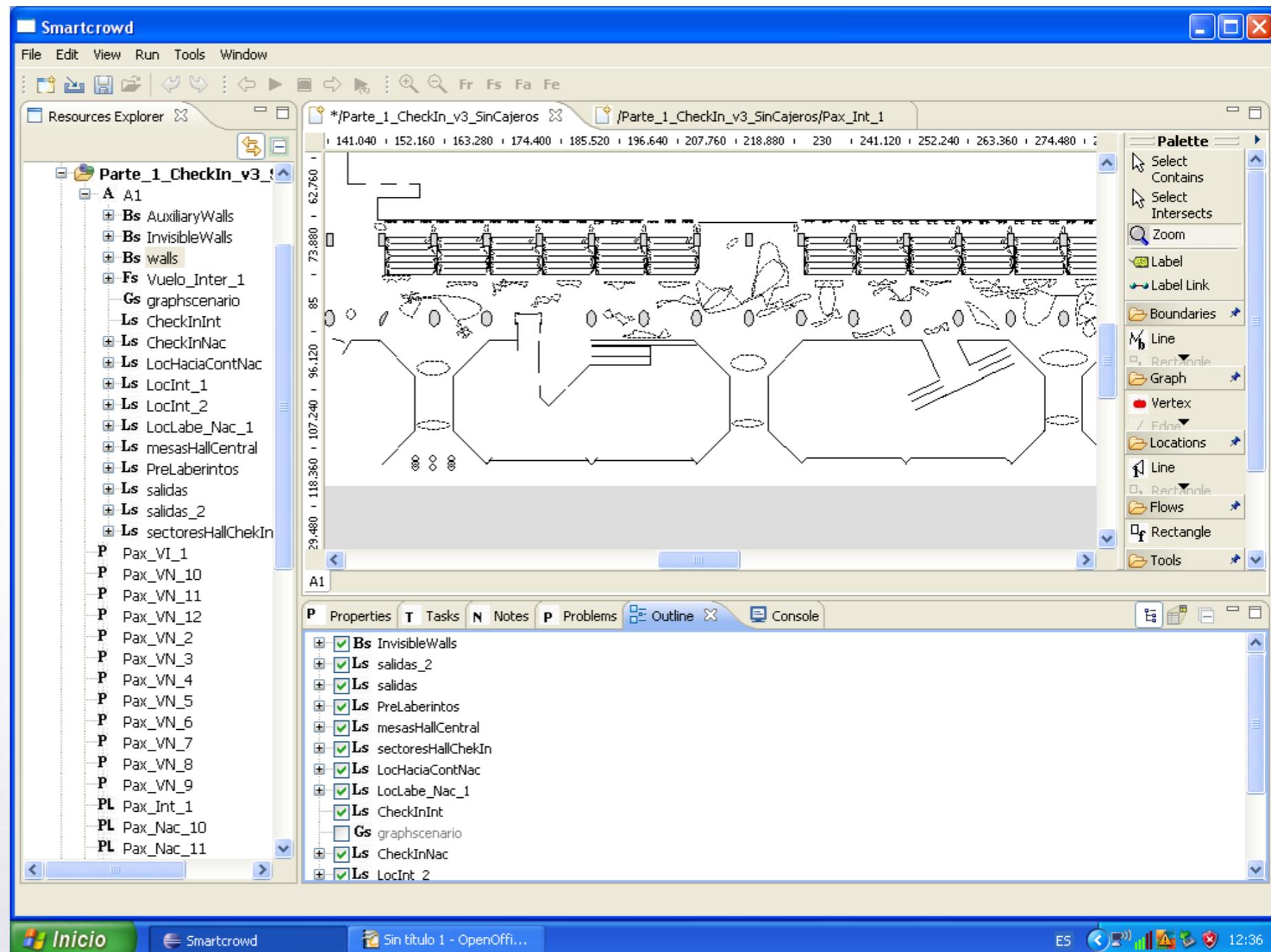




Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Definición de "Locations"

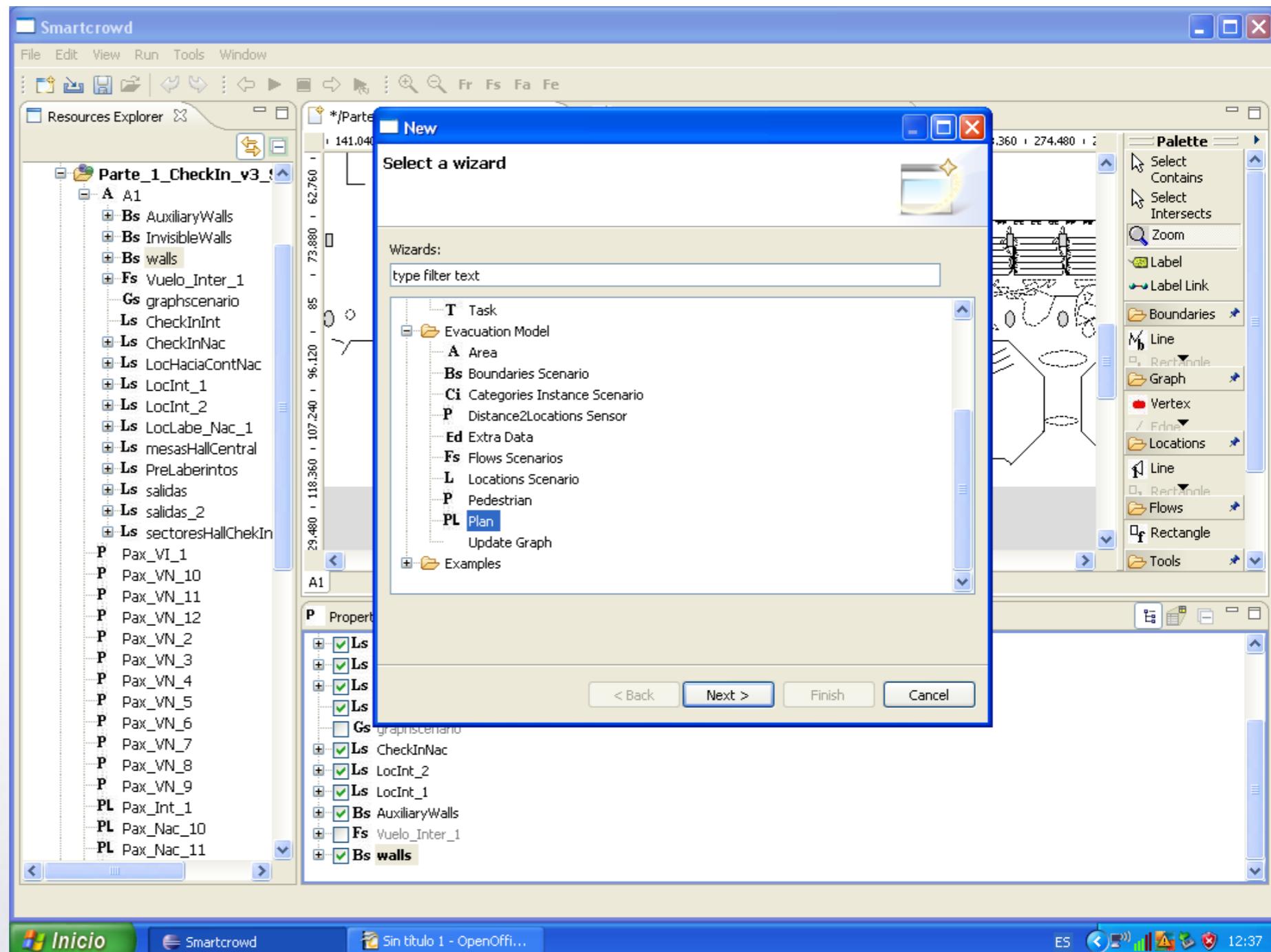




Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Definición de los planes
de los peatones.





Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Plan: Comportamiento. Máquina de Estado

The screenshot displays two instances of the SmartCrowd application interface. Both windows show the same behavioral pattern code for pedestrian simulation, split into two panes.

```
<behavioral-pattern initial-state="start" final-states="end" save="false">

<!--1) Entra al Hall Central -->
  <transition from-state="start" to-state="entrar_1" when-sensor="reached(this)"
    <transition from-state="entrar_1" to-state="entrar_2" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_finion_finished)" />
<!--1 ...) ...y decide si es pasajero o acompañante -->
  <transition from-state="entrar_2" to-state="quesoy" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_finish_finished)" />

<!--.....-->
<!--1.1) Caso wisher-->
<!--.....-->
  <transition from-state="quesoy" to-state="paseo_1" when-sensor="receivedMessage(wisher)"
    <transition from-state="paseo_1" to-state="w_pas_1" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_finish_finished)" />
    applying="startGoto('loc_prelab_nac_g10',0.4,false,-1,random)"/>
    applying="all(startWait(0.3),sendMessage(seguir_paseo_1,uniform(100000,200000)))"/>

  <transition from-state="w_pas_1" to-state="paseo_2" when-sensor="receivedMessage(seguir_paseo_1)" />
  <transition from-state="paseo_2" to-state="w_pas_2" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_finish_finished)" />
    applying="startGotoRandomLocation('sectoresHallChekIn',0,false,-1,random,-1, -1, 0.1, -1, -1,
    applying="all(startWait(0.3),sendMessage(seguir_paseo_2,uniform(12000,53000)))"/>

<!-- Voy a restaurante ? -->

  <transition from-state="w_pas_2" to-state="decidoresto" when-sensor="receivedMessage(seguir_paseo_2:paseo_2)" />
<!--1.1.1) Voy a restaurante ? -->
  <transition from-state="decidoresto" to-state="ir_resto" when-sensor="receivedMessage(resto_si)"
    <transition from-state="ir_resto" to-state="w_resto" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_cation_finished)" />
    applying="startGotoRandomLocation('mesasHallCentral',0,false,-1,random)"/>
    applying="all(startWait(1),sendMessage(salir,uniform(578000,1490000)))"/>

<!--) Me voy a la salida a la calle -->
  <transition from-state="w_resto" to-state="irse_1" when-sensor="receivedMessage(salir)"
    <transition from-state="irse_1" to-state="irse_2" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_finish_finished)" />
    <transition from-state="irse_2" to-state="end" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_finish_finished)" />
    applying="startGotoRandomLocation('salidas',0,false,-1,random)"/>
    applying="startGotoNearestLocation('salidas_2',0.6,true,-1,nearest)"/>

<!--1.1.2) No voy a restaurante ? -->
  <transition from-state="decidoresto" to-state="paseo_3" when-sensor="receivedMessage(resto_no)"
    <transition from-state="paseo_3" to-state="w_pas_3" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocation_fation_finished)" />
    applying="startGotoRandomLocation('sectoresHallChekIn',0.6,false,-1,random)"/>
    applying="all(startWait(0.05),sendMessage(salir_paseo,uniform(120,193)))"/>

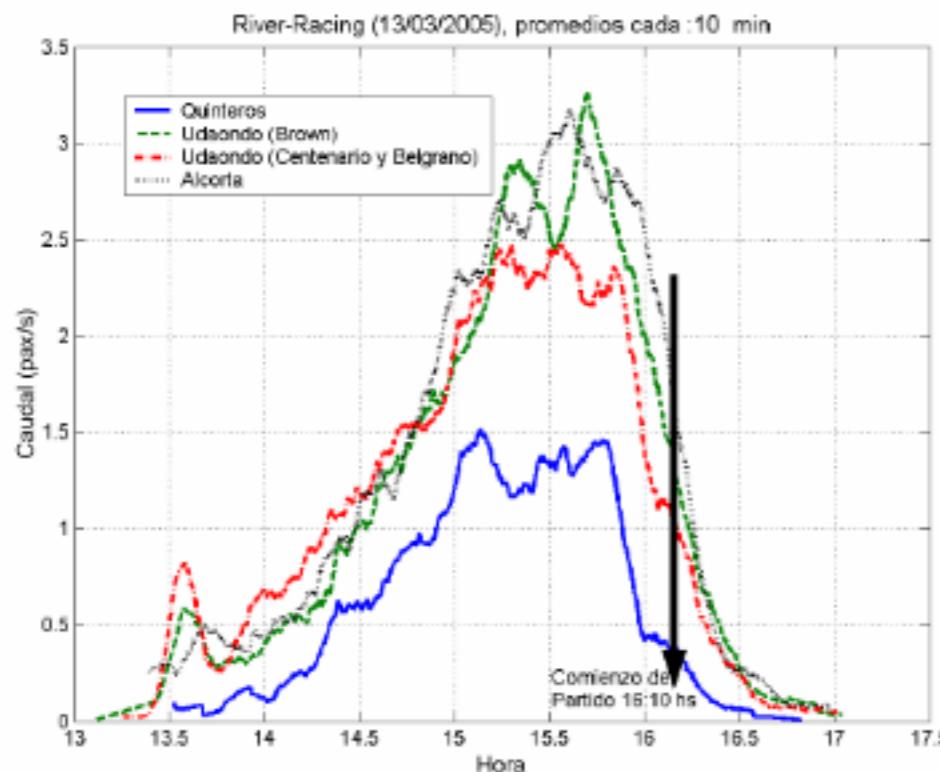
<!--) Me voy a la salida a la calle -->
  <transition from-state="w_pas_3" to-state="irse_paseo_1" when-sensor="receivedMessage(salir_paseo:paseo)"
    <transition from-state="irse_paseo_1" to-state="irse_paseo_2" when-sensor="receivedMessage(mag_gotolocgotolocation_finished)" />
    applying="startGotoRandomLocation('salidas',0.6,false,-1,random)"/>
    applying="startGotoNearestLocation('salidas_2',0.6,true,-1,nearest)"/>
```



Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Caudales de Ingreso



- Es Importante Considerar en las Simulaciones:
- Distribuciones detalladas
 - La naturaleza No-Estacionaria del problema.

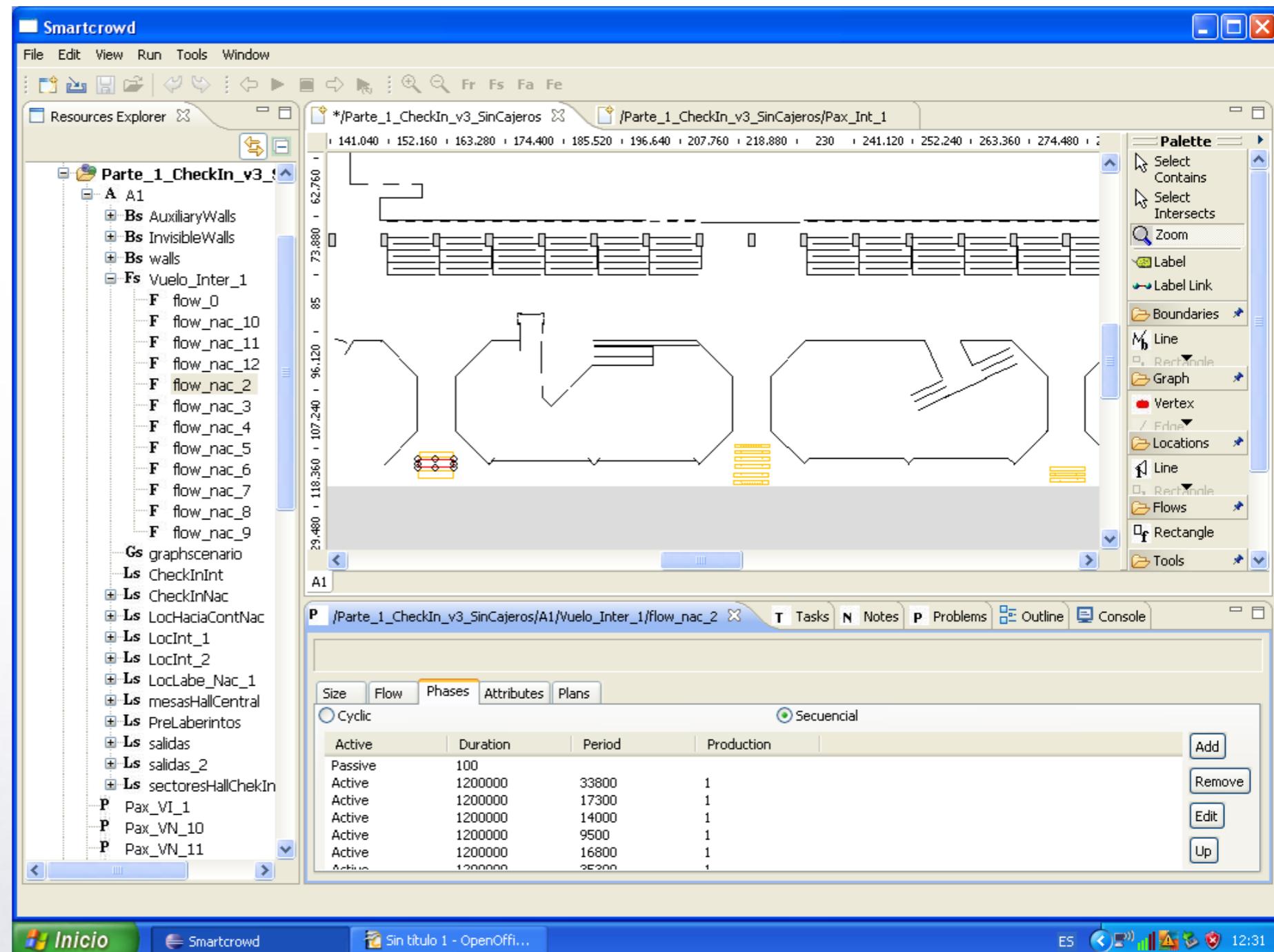
Acceso	Caudal (pax/s)	Publico Total
1.1 Alcorta	2.915	17029
1.2 Quinteros	1.365	7357
1.3 Udaondo (Centenario y Belgrano)	2.305	14879
1.4 Udaondo (Brown)	2.777	15743



Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Generadores de Caudal:
"Phases"

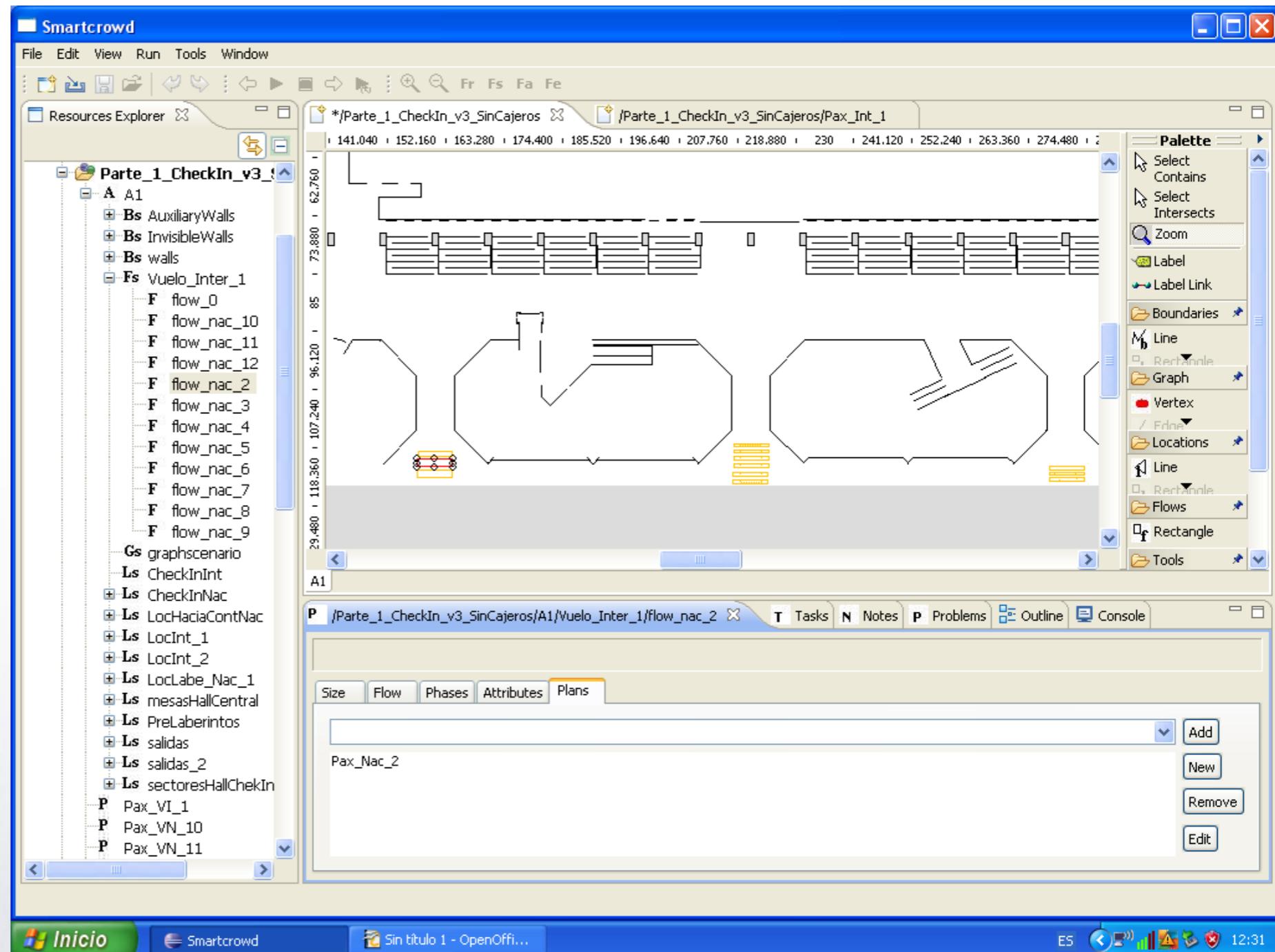


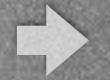


Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Generadores de Caudal:
"Plans" y "Pedestrians"





Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Entre los generadores y los planes (con los destinos finales) queda conformada la Matriz Origen-Destino.

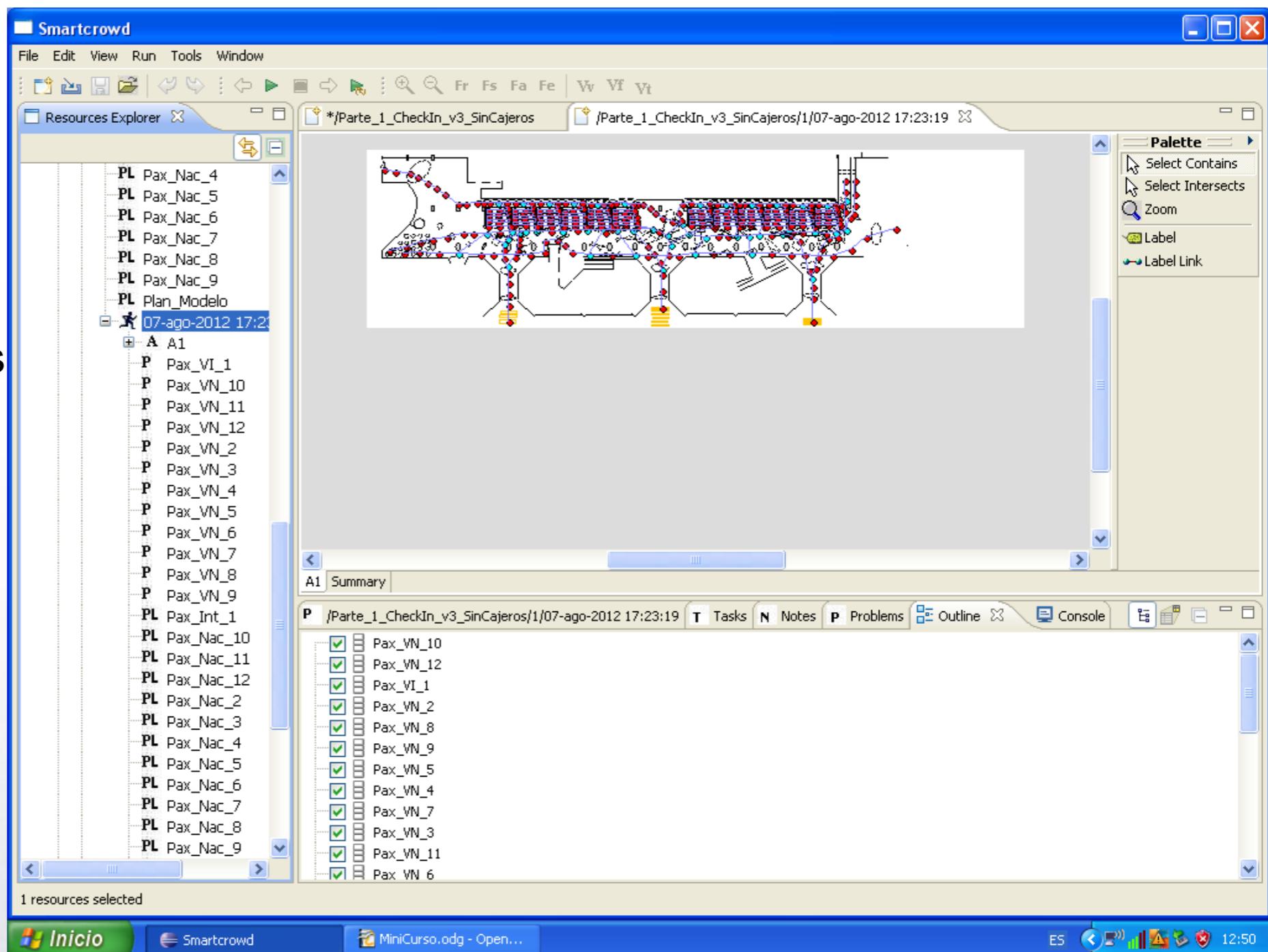


Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

El Grafo

que conecta áreas accesibles

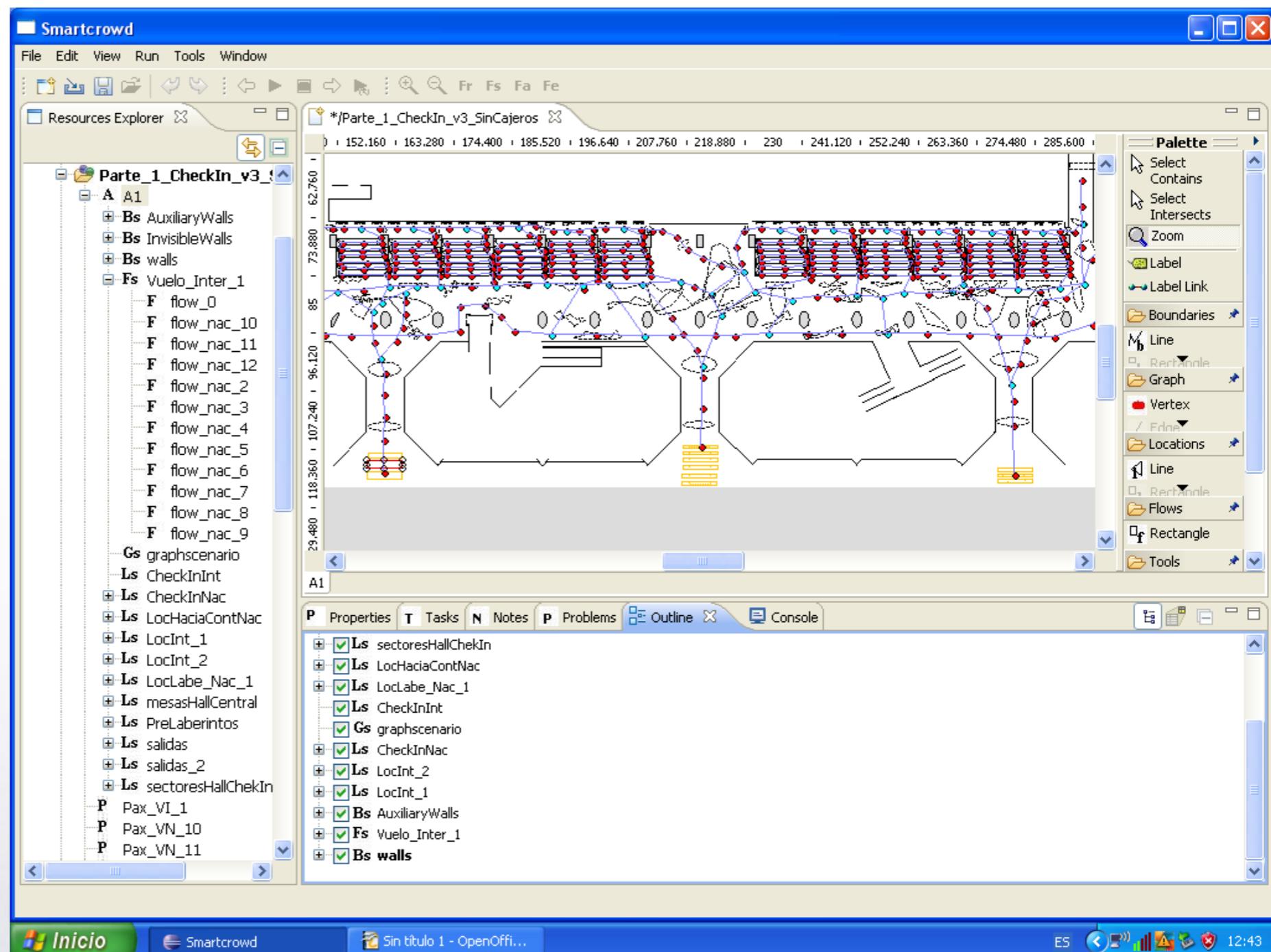




Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Zoom

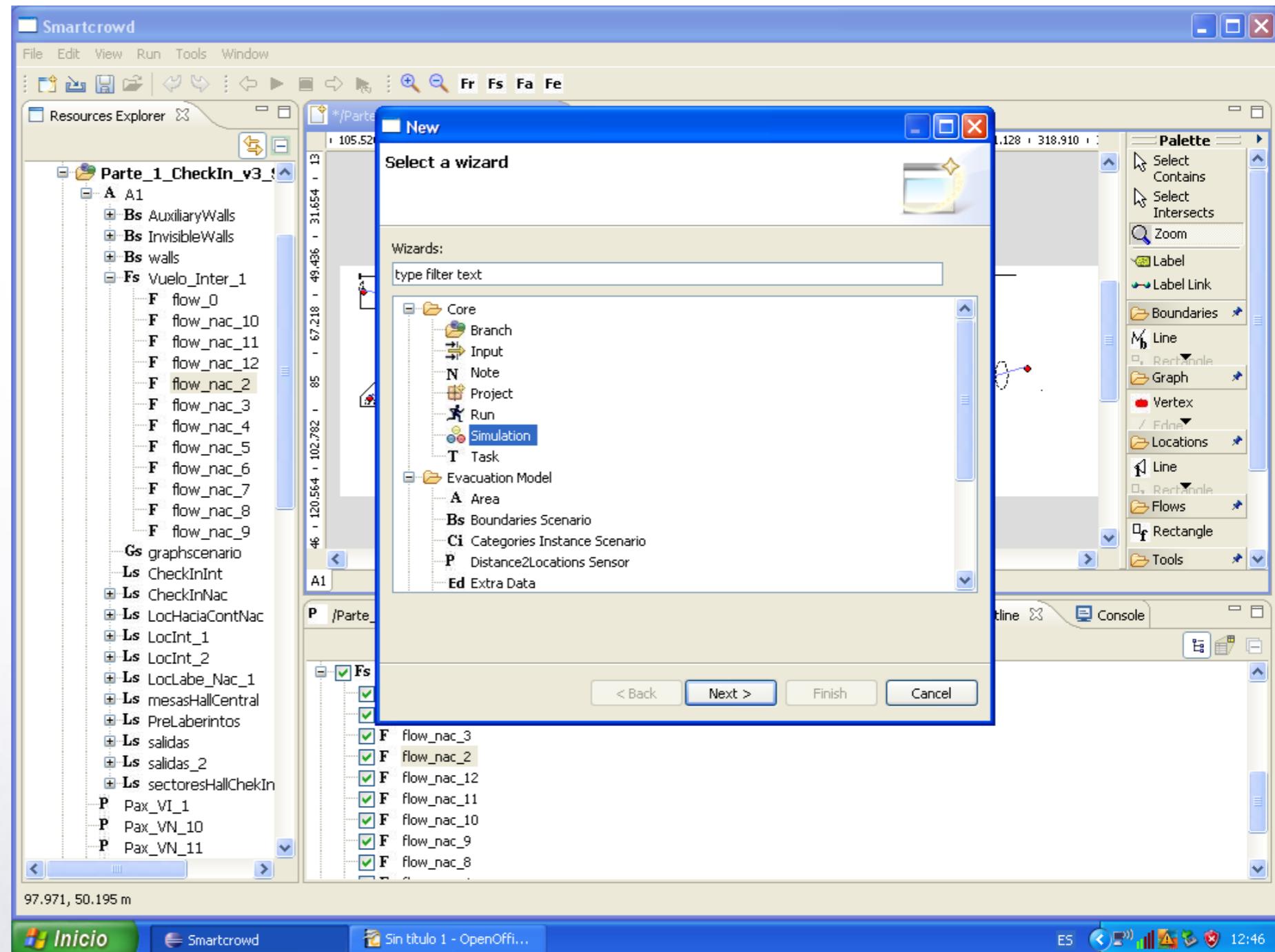




Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Crear una Simulación

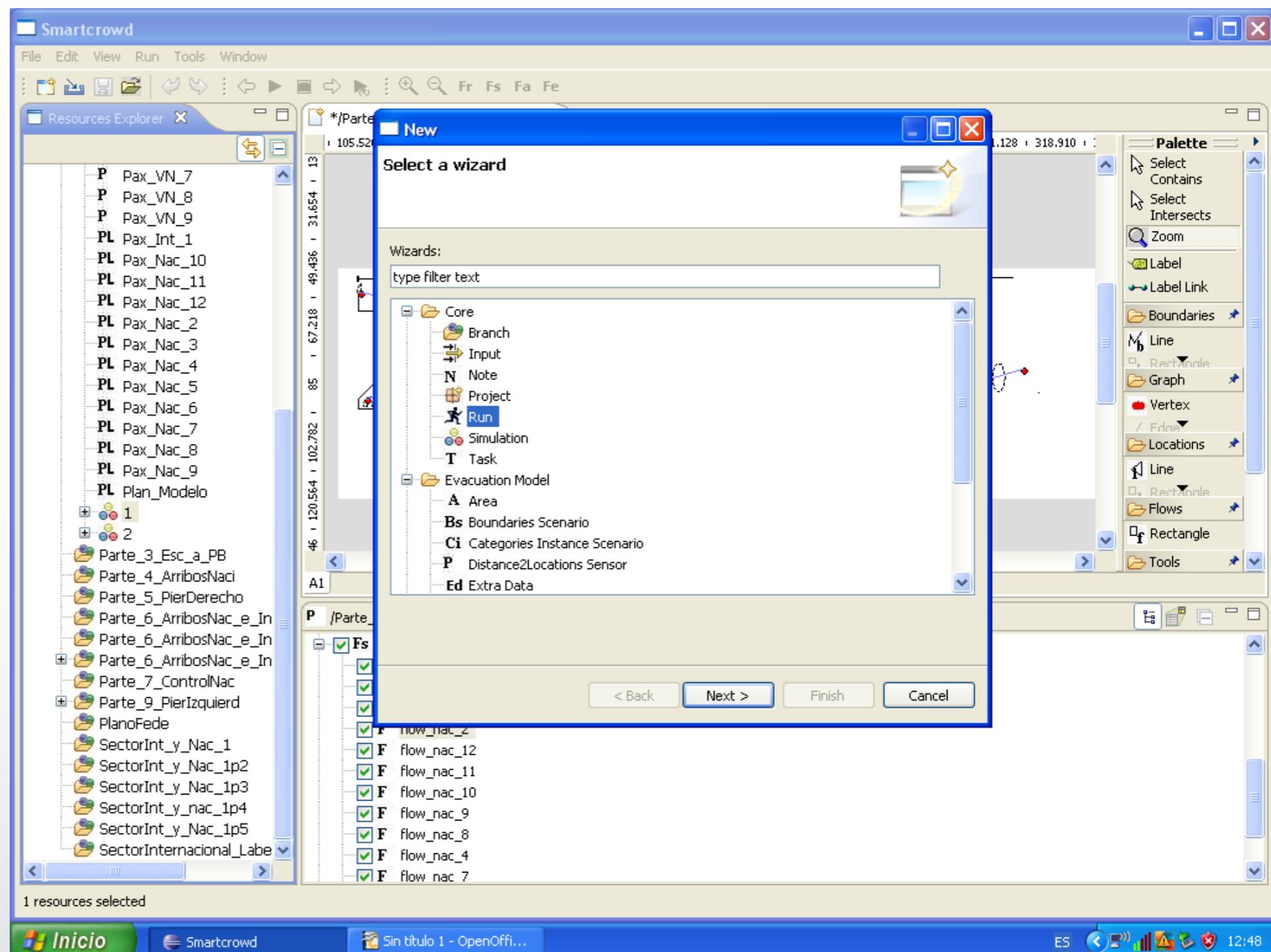




Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

Crear una Corrida

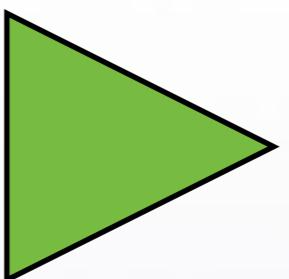




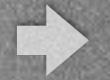
Códigos de Simulación Peatonal

SmartCrowd

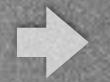
Ya está el modelo creado:



PLAY

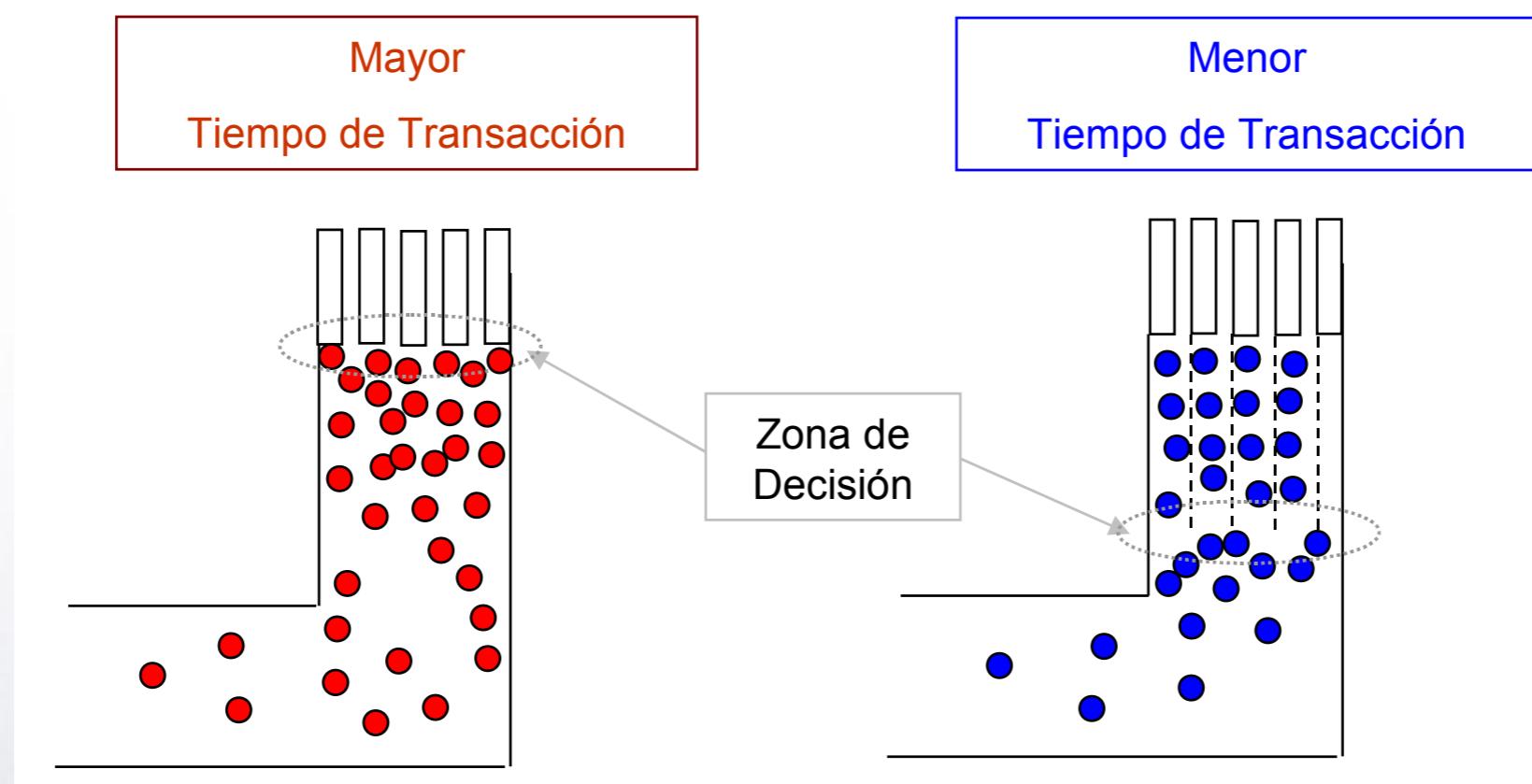


Aplicaciones al Diseño de Sistemas Peatonales



Sistemas Simples

Ejemplo Funcionalidad: Procesos y Filas

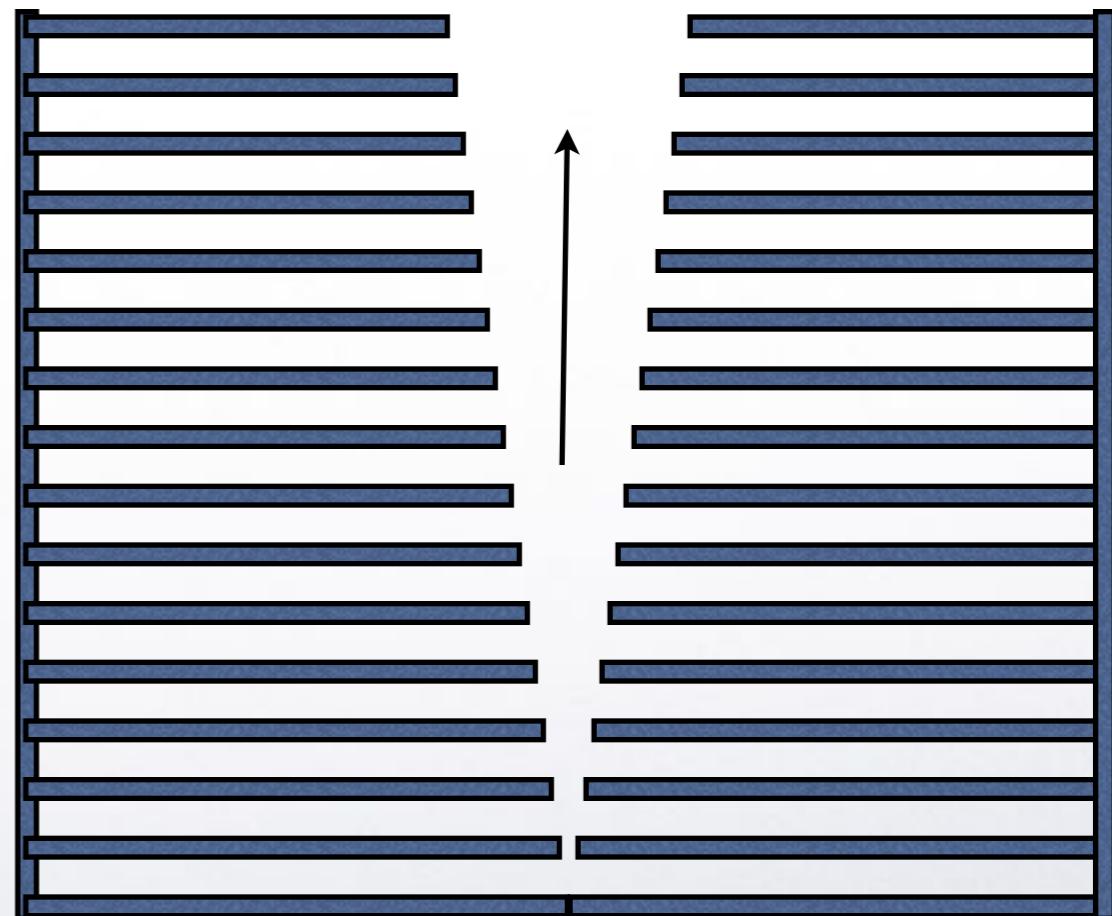
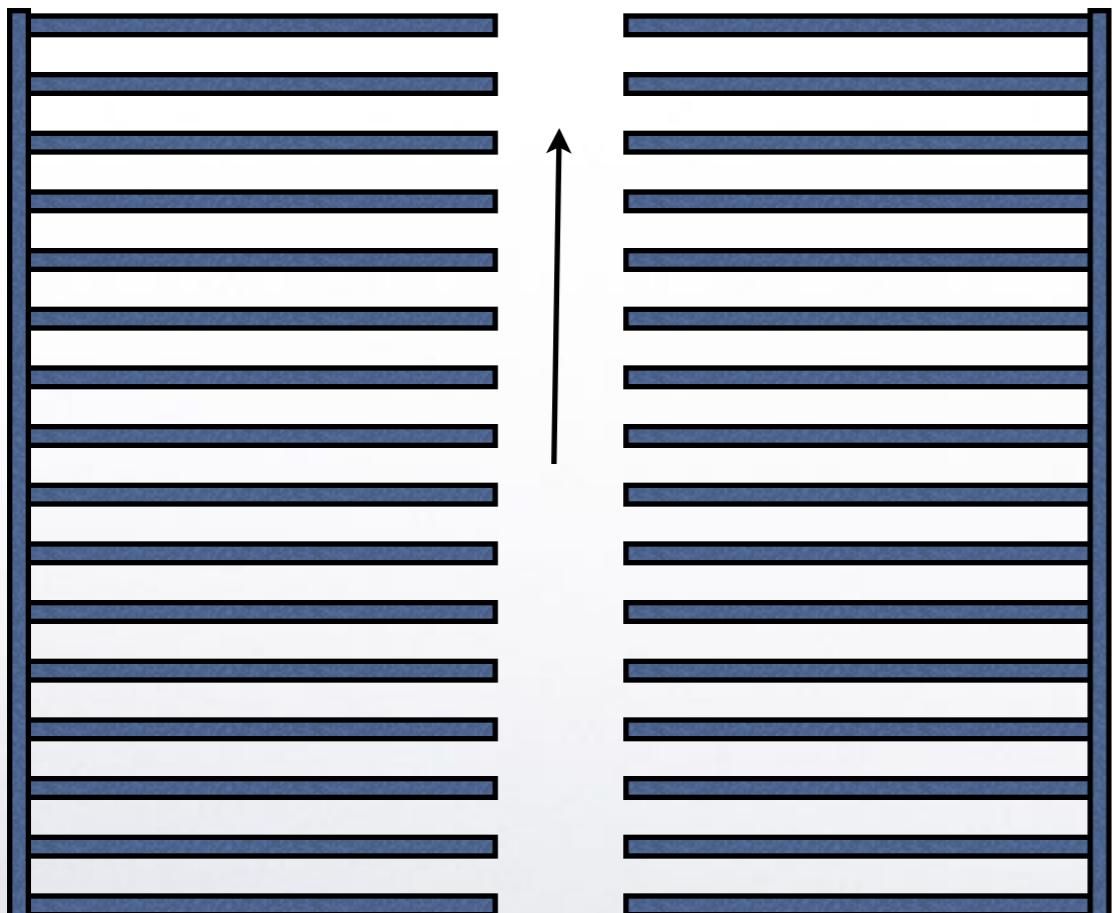




Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Cambio de “Layout”

(Gradas de un estadio)

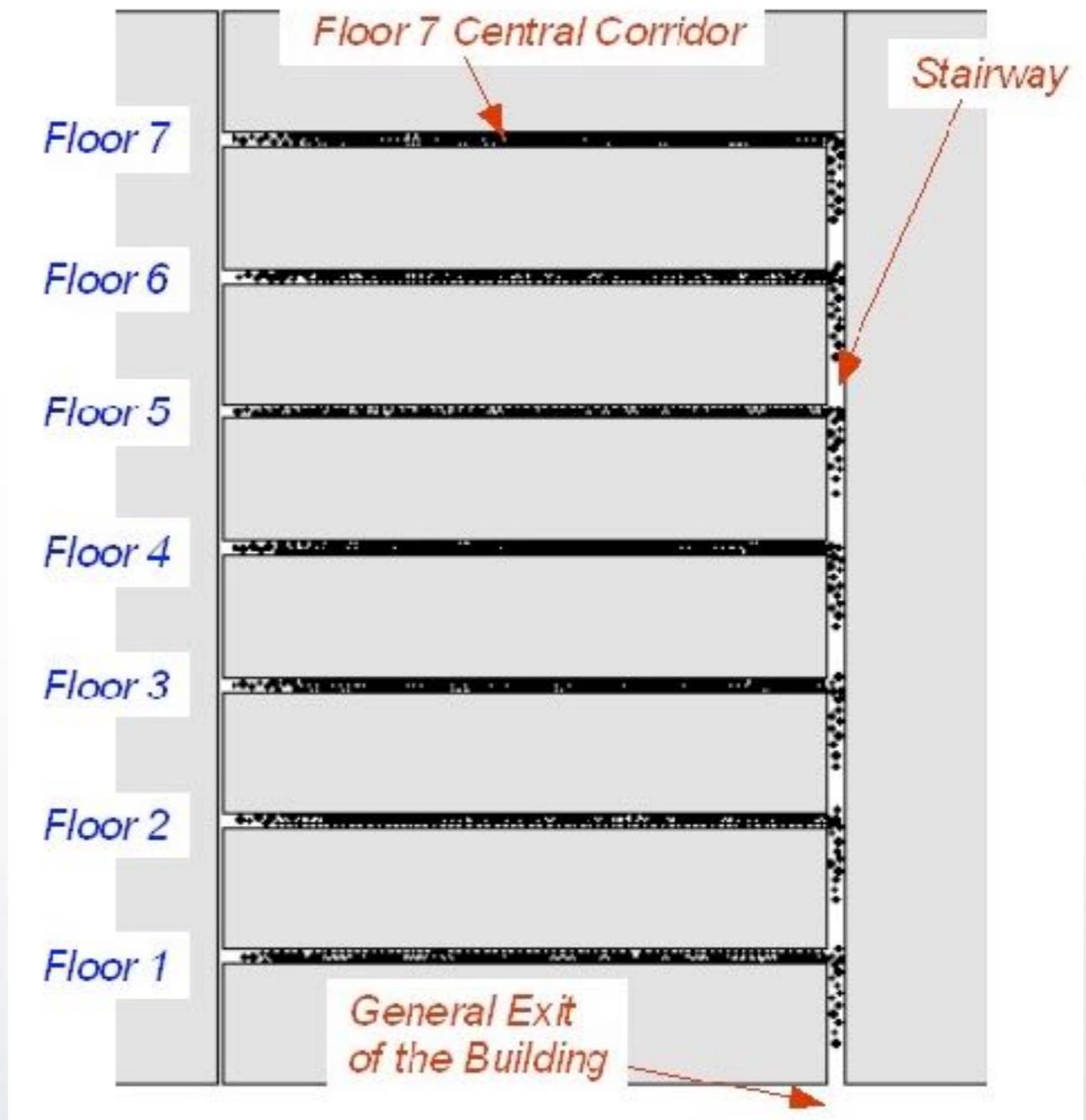




Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Secuencia de Evacuación

(Edificio de 7 pisos)



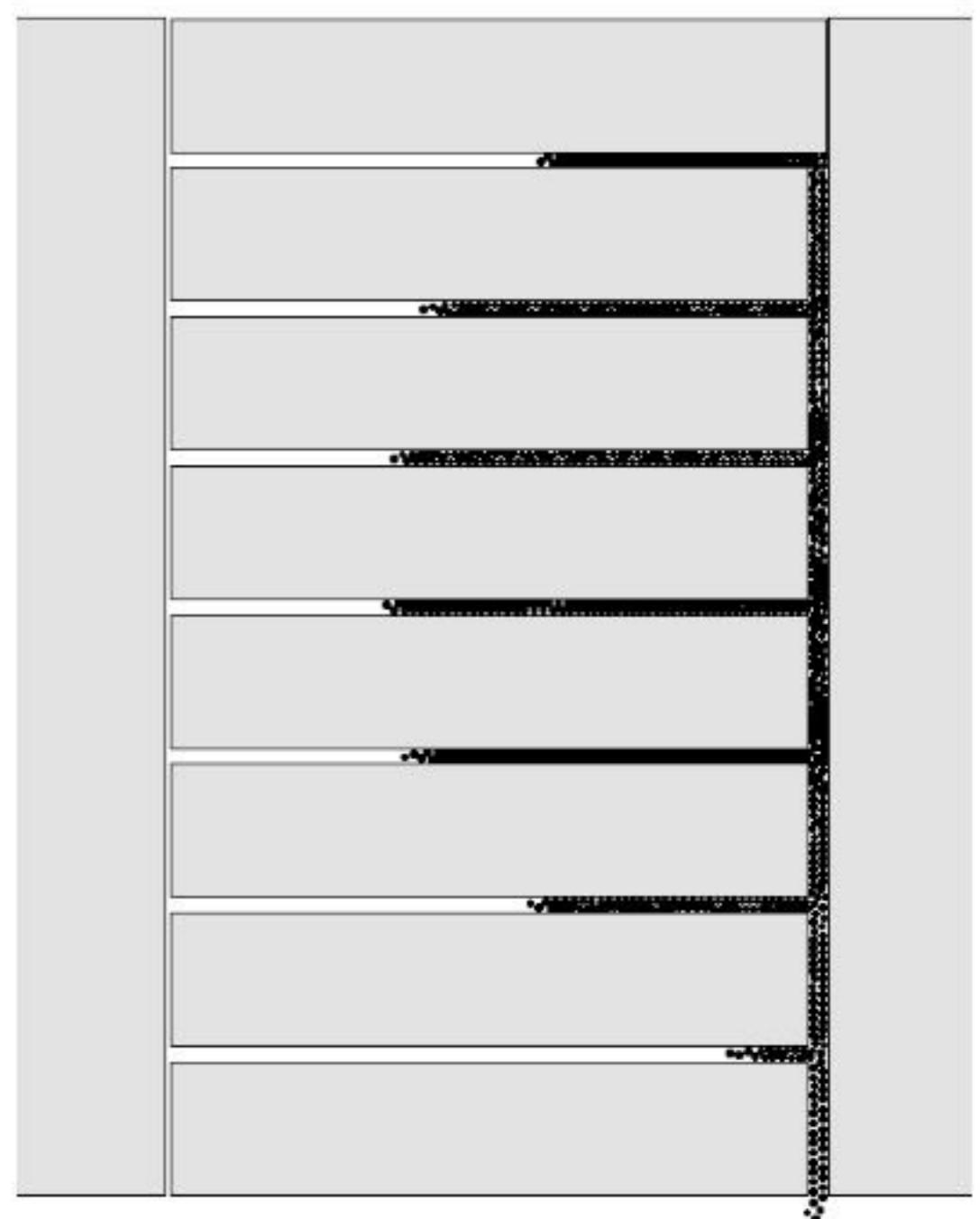


Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Secuencia de Evacuación

(Edificio de 7 pisos)

Imagen a los 70 segundos de iniciada la evacuación.



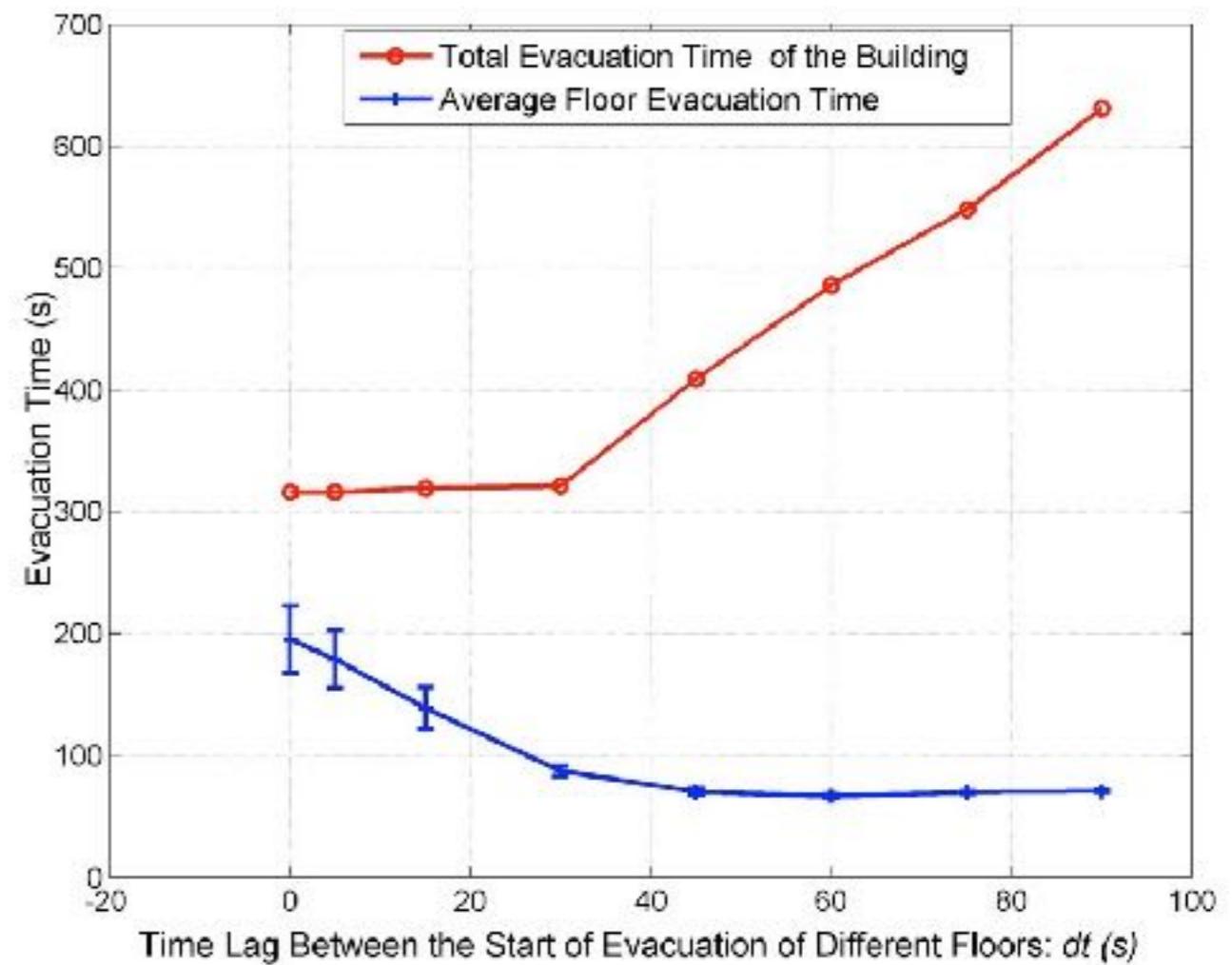


Sistemas Simples

Ejemplo Egreso: Secuencia de Evacuación

(Edificio de 7 pisos)

Estrategia “bottom-up”

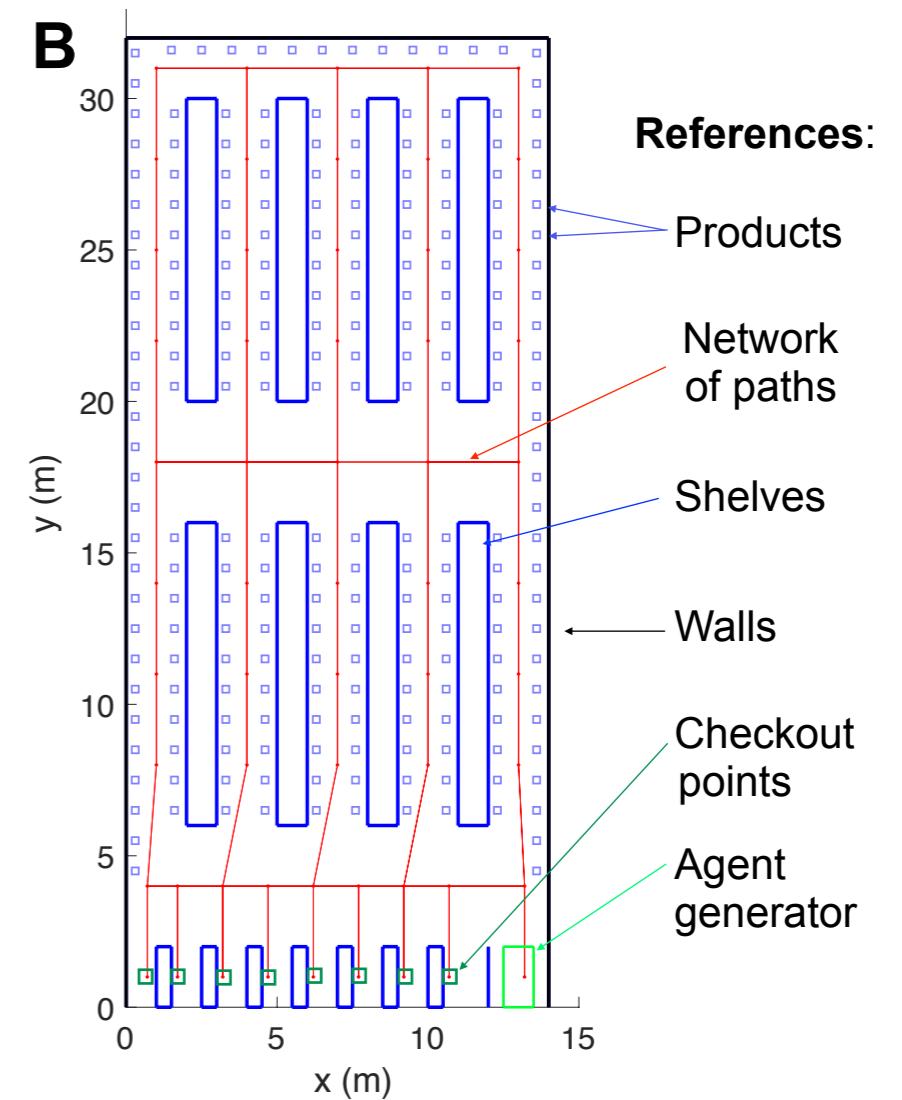
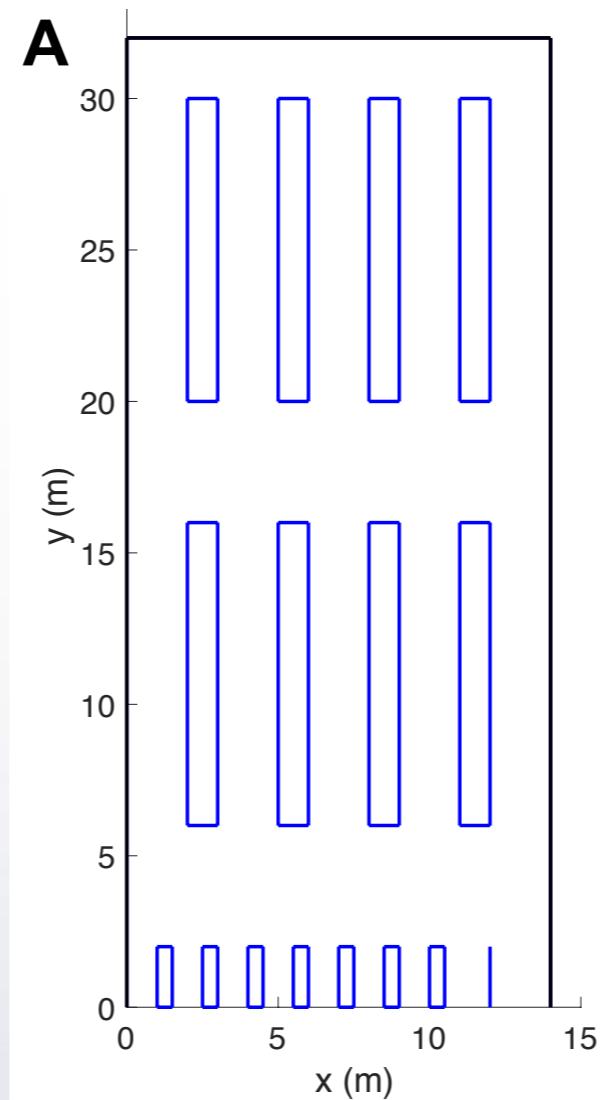




Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

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

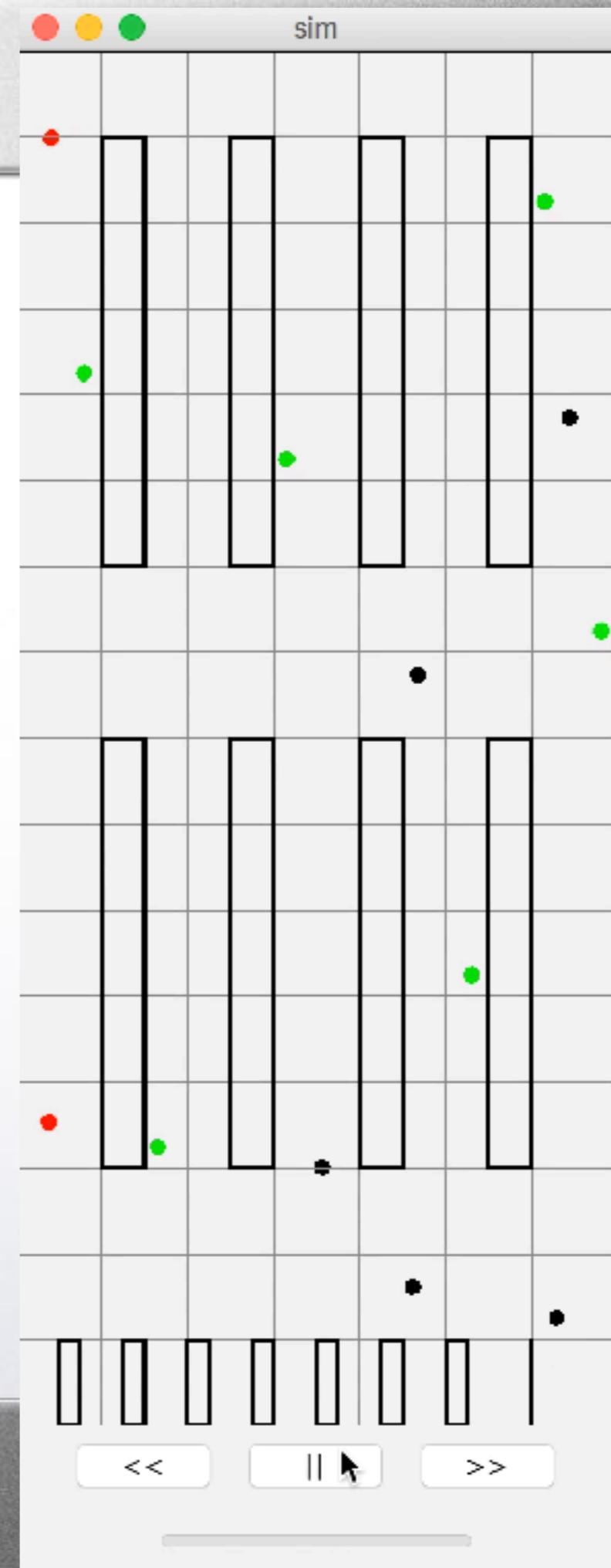




Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

Caracterizar la distancia entre agentes en función de la ocupación permitida

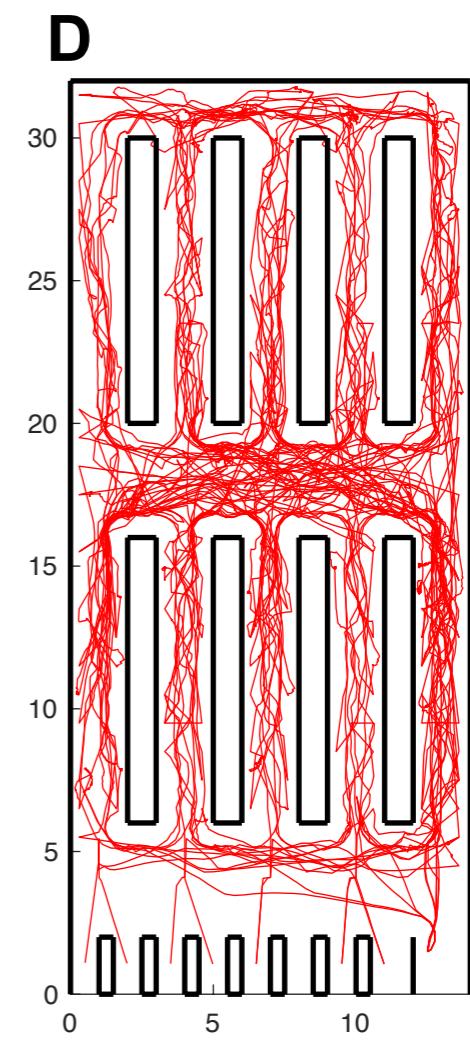
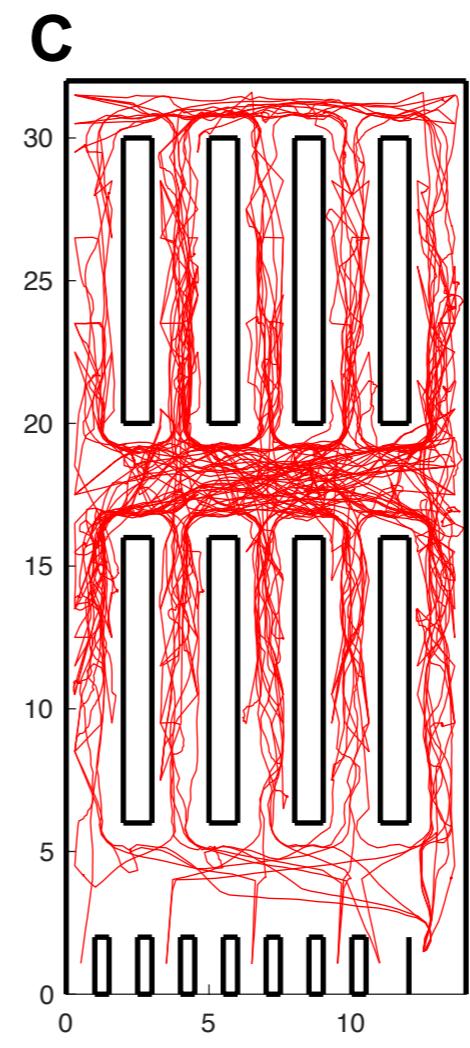
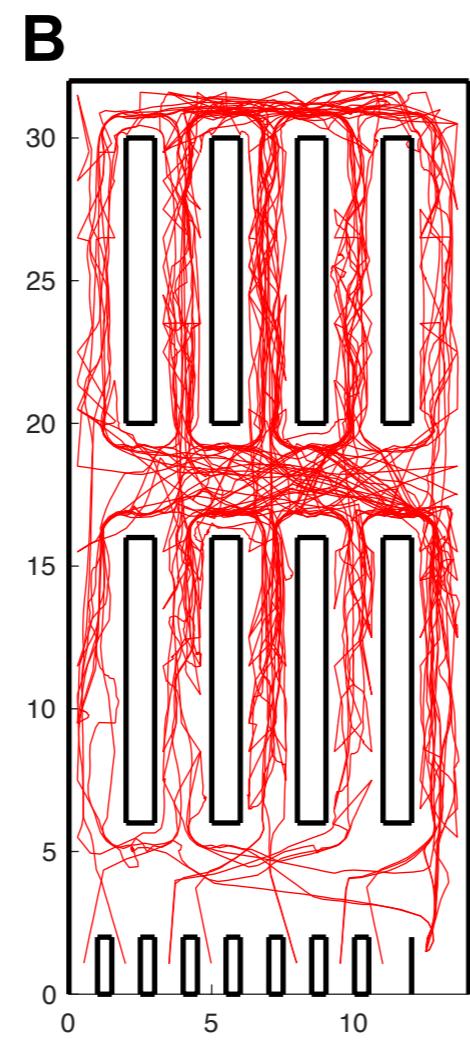
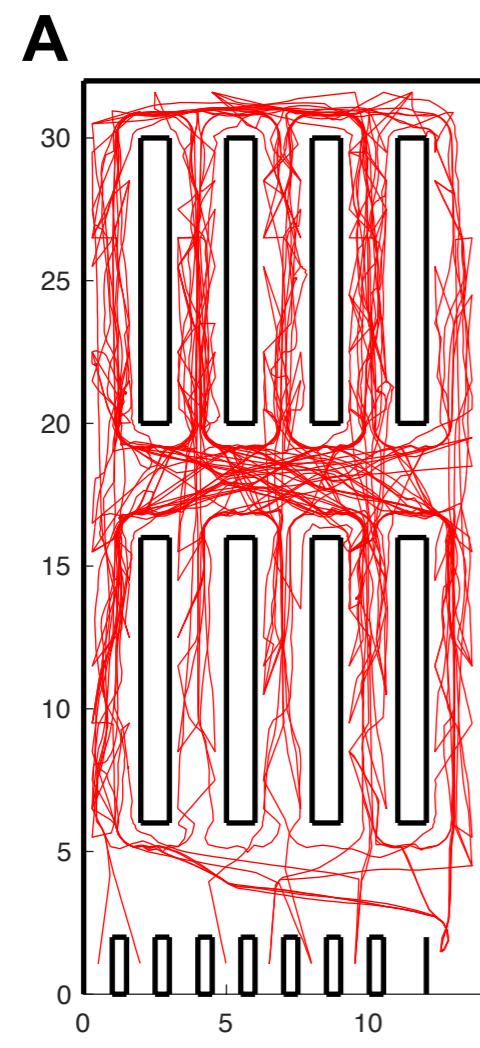




Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

Trayectorias

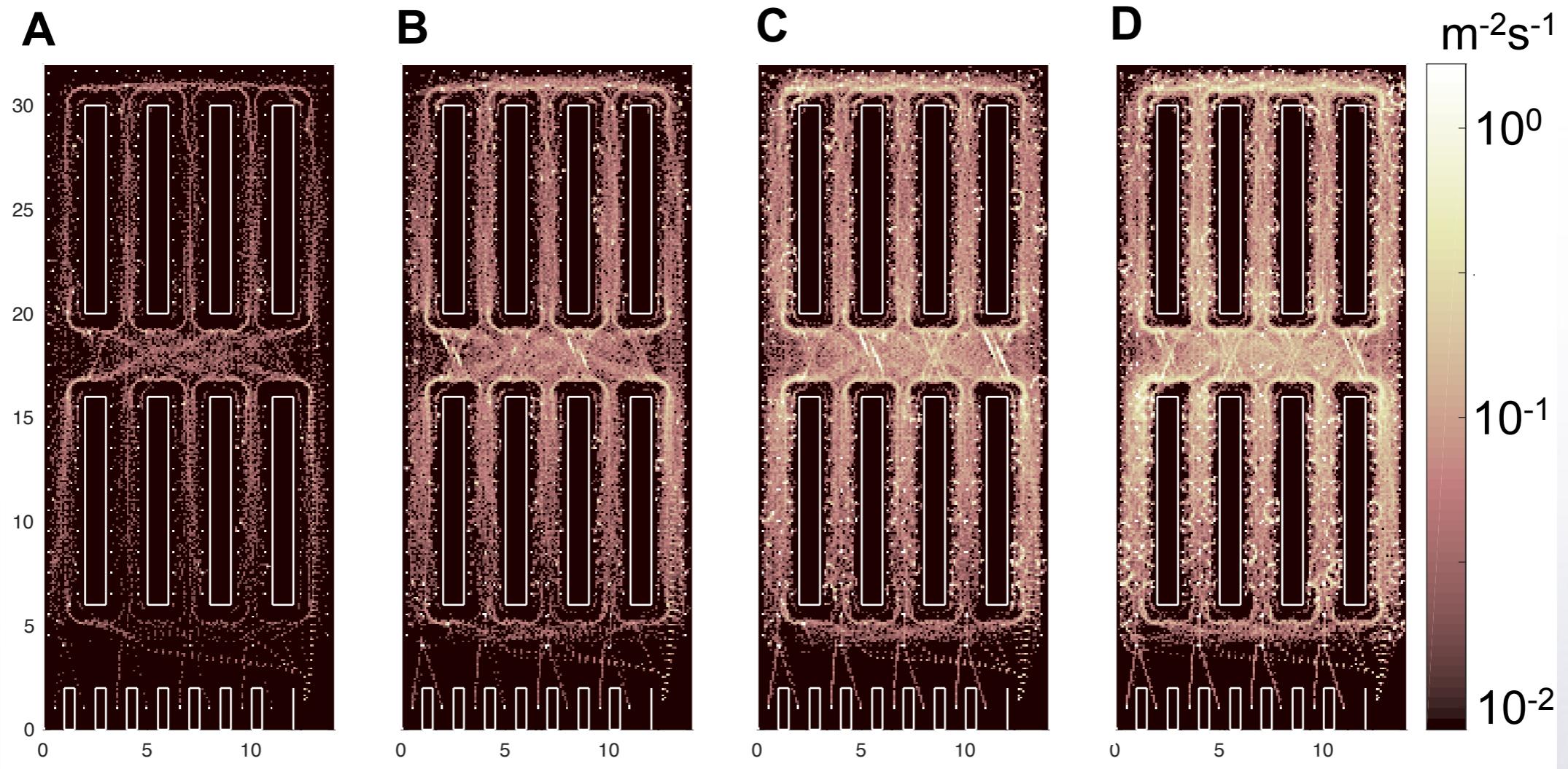




Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

Densidades Medias

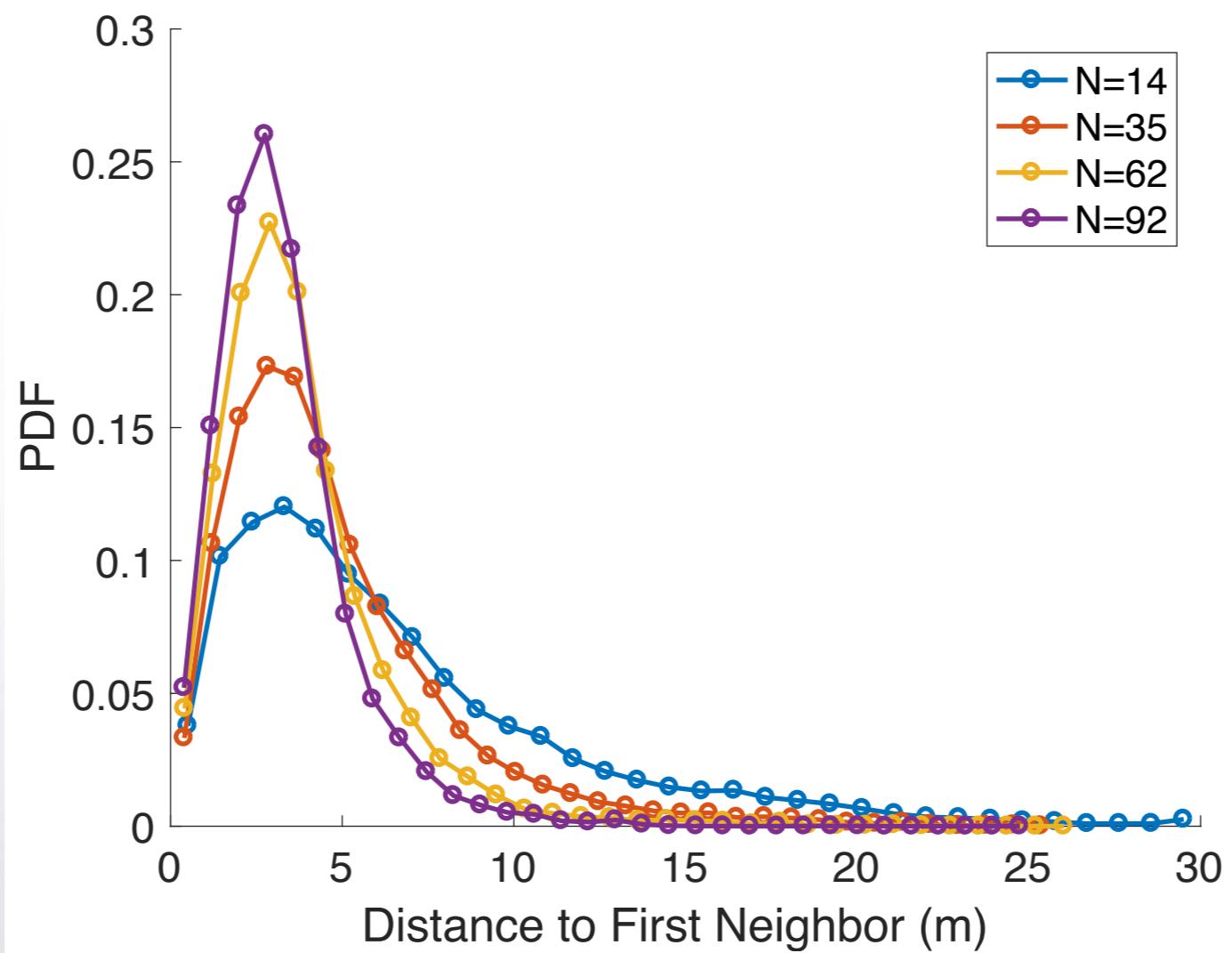




Sistema Complejo

Distancia Social en Supermercado

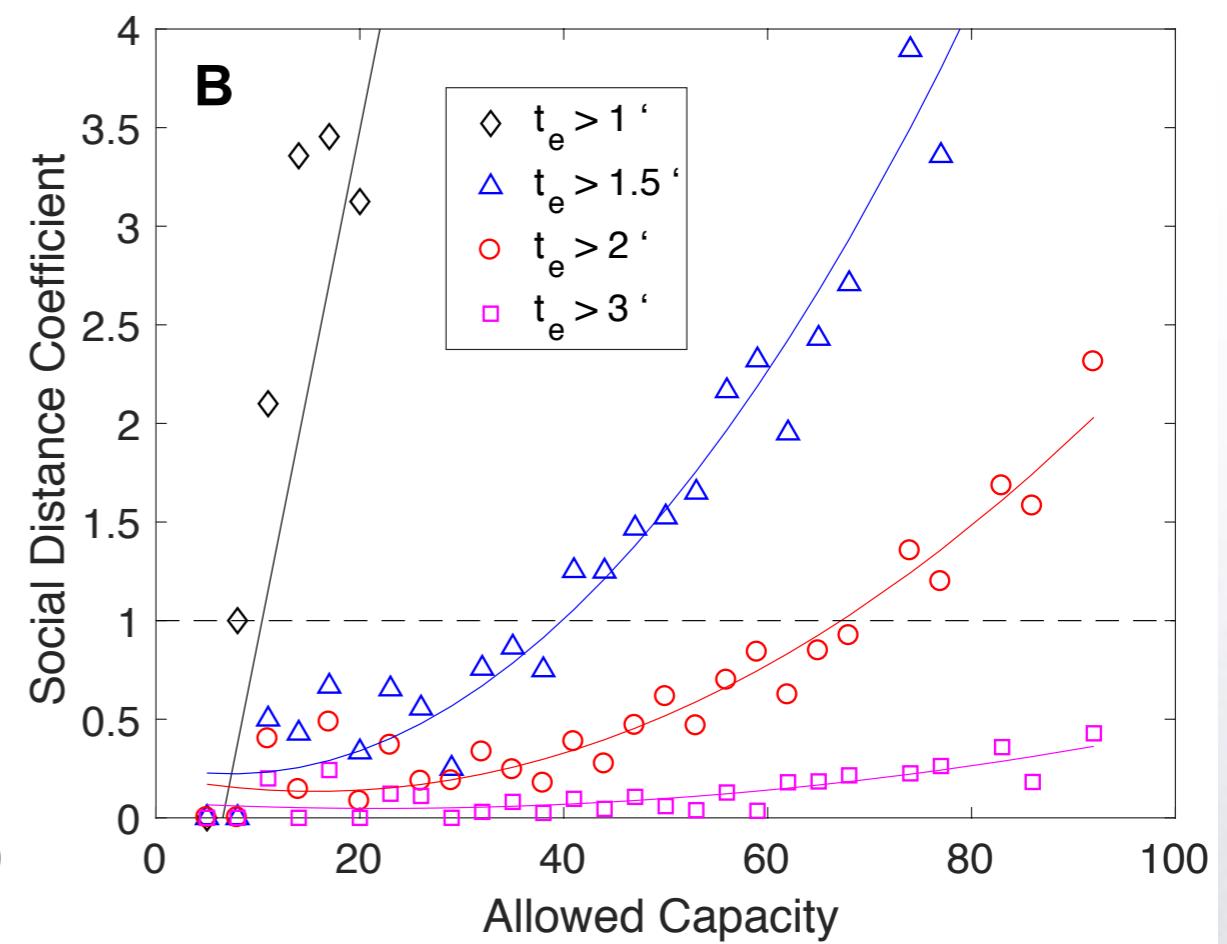
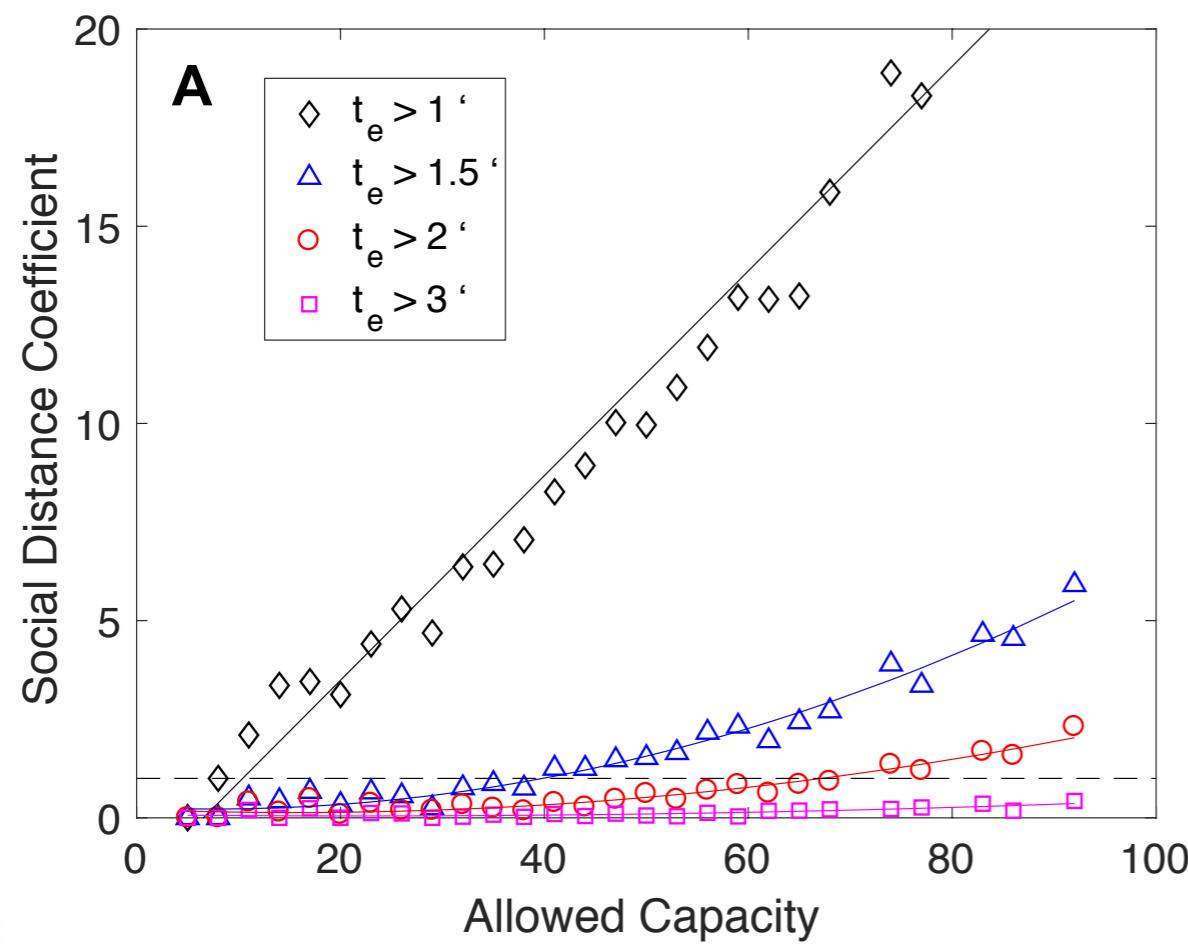
Distancias a primeros vecinos



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

Beneficios de simular un Sistema Complejo

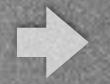
- Evaluar el impacto que producirían cambios de las variables operativas y/o geométricas.
Asistiendo en la toma de decisiones.
- Se evita realizar ensayos sobre el proceso y la infraestructura real.
- Evaluar muchas configuraciones posibles sin costo de obras ni molestias para los usuarios.
- Brinda 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