

Evacuación de Recintos

Trabajo Práctico Final - 72.25 Simulación de Sistemas

Matías Ezequiel Daneri María Mercedes Baron Thomas Busso Zungri

Instituto Tecnológico de Buenos Aires

11 de diciembre de 2024



Contenido

- 1 Introducción
- 2 Modelo
- 3 Implementación
- 4 Simulaciones
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones

Introducción

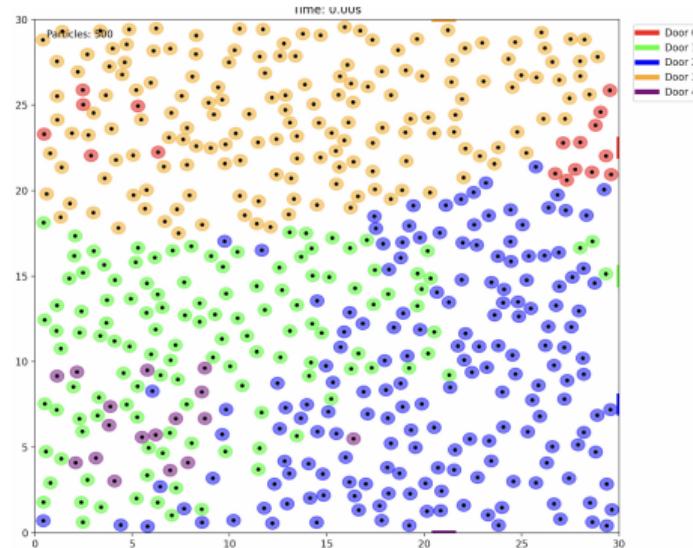
Introducción

- Objetivo: Estudiar la dinámica de evacuación
- Uso del Contractile Particle Model (CPM)
- Análisis de diferentes estrategias de elección de salida
- Evaluación del impacto de los tiempos de re-decisión

Modelo

Descripción del Sistema

- Recinto cerrado de $30m \times 30m$
- Cinco puertas de salida:
 - Dos puertas a 21m sobre paredes superior e inferior
 - Tres puertas distribuidas equidistantemente en pared derecha
- Ancho de cada puerta: 1m



Contractile Particle Model

- Autómata off-lattice
- Cada partícula i definida por:
 - Posición \mathbf{r}_i
 - Radio personal variable $r_i \in [r_{\min}, r_{\max}]$
 - Velocidad deseada \mathbf{v}_d hacia objetivo \mathbf{T}_i

MOVIMIENTO

$$\mathbf{r}_i(t + \Delta t) = \mathbf{r}_i(t) + \mathbf{v}_i(t)\Delta t$$

PASO TEMPORAL

$$\Delta t = \frac{r_{\min}}{2v_{\max}}$$

RADIO

$$r_i(t) = \begin{cases} r_{\min} & \text{si hay colisión} \\ \min(r_{\max}, r_i(t - \Delta t) + \frac{r_{\max}\Delta t}{\tau}) & \text{si no hay colisión} \end{cases}$$

MÓDULO DE LA VELOCIDAD

$$v_i = v_{\max} \left(\frac{r_i - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \right)^\beta$$

- v_{\max} : Velocidad máxima de la partícula
- r_i : Radio actual de la i-ésima partícula
- r_{\max} : Radio máximo de las partículas
- r_{\min} : Radio mínimo de las partículas
- β : Coeficiente

DIRECCIÓN DE LA VELOCIDAD

$$\mathbf{v}_i = \begin{cases} v_i \mathbf{e}_i & \text{si no hay contacto} \\ v_{\max} \mathbf{e}_{ij} & \text{si hay contacto} \end{cases}$$

- \mathbf{e}_i : Vensor desde la partícula hacia el objetivo
- \mathbf{e}_{ij} : Vensor desde la j-ésima partícula hacia la i-ésima partícula

Heurística de Navegación

Score para cada puerta:

$$S(d) = p \times R_{Dist}(d) + (1 - p) \times R_\rho(d) \quad (1)$$

Donde:

- $S(d)$ = score de la puerta d
- $R_{Dist}(d)$ = distancia relativa: $R_{Dist}(d) = 1 - \frac{Dist(d)}{\max(Dist)}$
- $R_\rho(d)$ = densidad relativa: $R_\rho(d) = 1 - \frac{\rho(d)}{\max(\rho)}$

Cálculo de Densidad

$$\rho(d) = \frac{k}{\pi r_k^2 / 2} \quad (2)$$

Donde:

- $k = 5$ partículas más cercanas
- $r_k =$ distancia hasta la quinta partícula
- Se mide desde el centro de cada puerta

Implementación

Diagrama UML

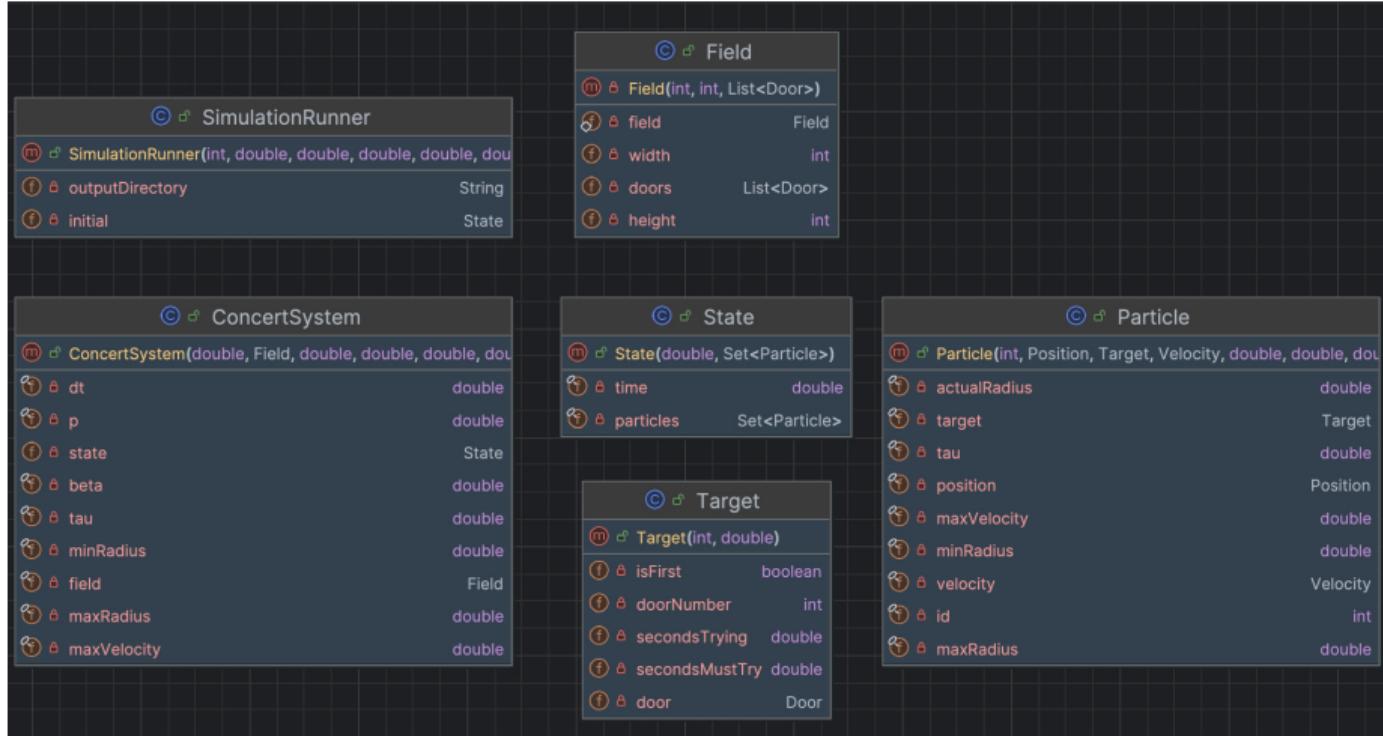


Figura 2: Diagrama UML del sistema de simulación

Evolución Temporal

```
1: newParticles ←  $\emptyset$ 
2: for  $p \in \text{state.getParticles()}$  do
3:   newParticle ← escape( $p$ )
4:   if  $\neg \text{hasEscaped}(\text{newParticle})$  then
5:     newParticles ← newParticles  $\cup \{\text{newParticle}\}$ 
6:   end if
7: end for
8: return new State( $\text{time} + \Delta t$ , newParticles)
```

Mecanismo de Escape

```
1: function ESCAPE( $p$ )
2:   contacts  $\leftarrow$  checkContact( $p$ )
3:   newRadius  $\leftarrow$  updateRadius( $p$ ,  $\neg$ contacts.isEmpty())
4:   newModule  $\leftarrow$  updateModule( $p$ , newRadius)
5:   newDirection  $\leftarrow$  updateDirection( $p$ , contacts)
6:   newPosition  $\leftarrow$  updatePosition( $p$ ,  $\Delta t$ )
7:    $p.\text{target}.\text{step}(\Delta t)$ 
8:   if  $p.\text{target}.\text{needsChange}()$  then
9:      $p.\text{target}.\text{change}(\text{bestNextDoor}(p))$ 
10:  end if
11:  return nueva Partícula( $p.\text{id}$ , newPosition,  $p.\text{target}$ , newDirection, newModule)
12: end function
```

Simulaciones

PARÁMETROS

VARIABLES

- Factor p : Balance entre distancia y densidad
- Tiempo de re-decisión ct : Intervalo de re-evaluación

$$r_{\min} = 0,15 \text{ m}$$

$$r_{\max} = 0,35 \text{ m}$$

$$v_{\max} = 1,0 \text{ m/s}$$

$$N_{\text{agentes}} = 500$$

$$\beta = 0,9$$

$$\tau = 0,5 \text{ s}$$

Observable: Tiempo de Evacuación

- Medición del tiempo total hasta evacuación completa
- Análisis de dependencia con parámetros:
 - Variación con tiempo de re-decisión
 - Impacto del factor de ponderación p

Observable: Cálculo del Caudal

- Caudal total:

$$Q(t) = N(t) - N(t + \Delta t) \quad (3)$$

- Métricas analizadas:

- Q_{global} : agentes por puerta / tiempo total
- Interpolación lineal de curvas $N(t)$

Observable: Densidad Media

$$\rho(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{n_i(t)}{A_c} \quad (4)$$

Donde:

- N = número total de circunferencias
- $n_i(t)$ = partículas en circunferencia i en tiempo t
- A_c = área de cada (semi) circunferencia

Observable: Coeficiente de Uniformidad

- Definiciones:

- $n_i(t)$ = partículas que salieron por puerta i hasta tiempo t
- $\Delta n_i(t) = n_i(t + \Delta t) - n_i(t)$

- Coeficiente:

$$U(t) = 1 - \frac{\sigma(t)}{\mu(t)} \quad (5)$$

Resultados

Animaciones variando p

Análisis del tiempo de evacuación en función de p , con $ct = 45$

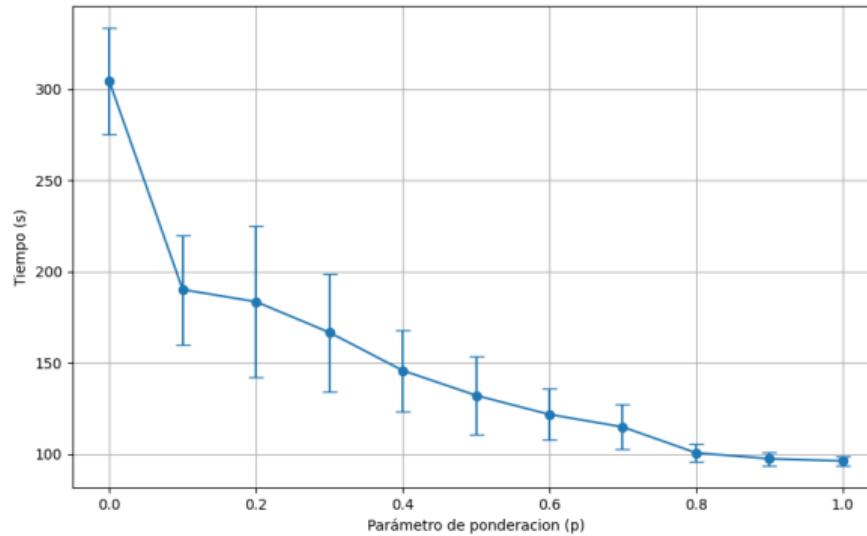


Figura 3: Tiempo promedio de evacuación en función del parámetro de ponderación (p) para $ct = 45$

Flujo Acumulado ($p = 1,00$): Priorizando la Distancia

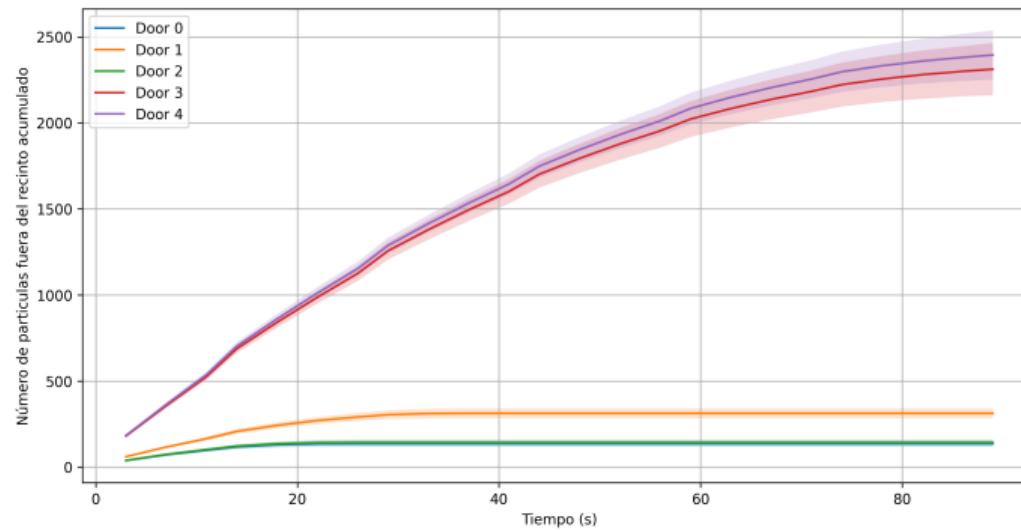


Figura 4: Flujo acumulado de evacuación para $p = 1,00$

Flujo Acumulado ($p = 0,50$)

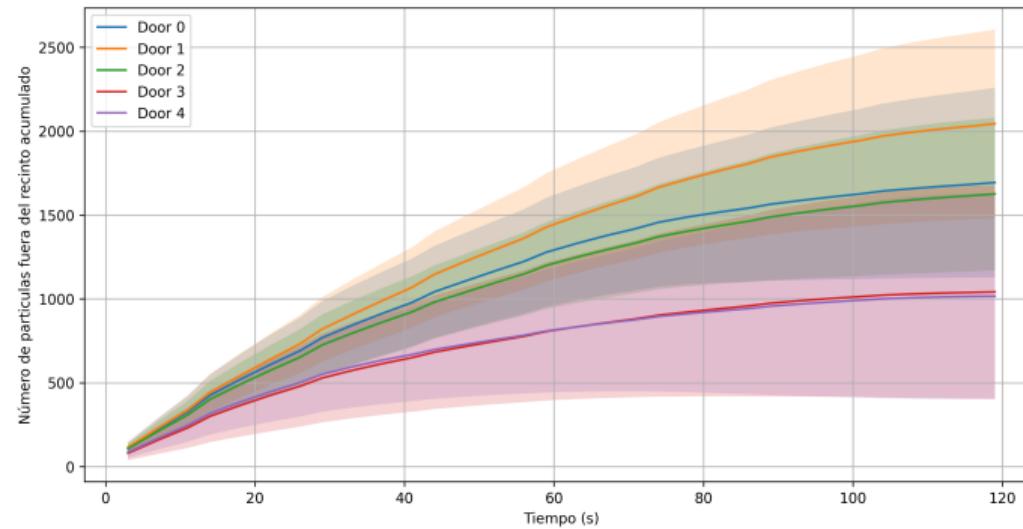


Figura 5: Flujo acumulado de evacuación para $p = 0,50$

Flujo Acumulado ($p = 0,00$)

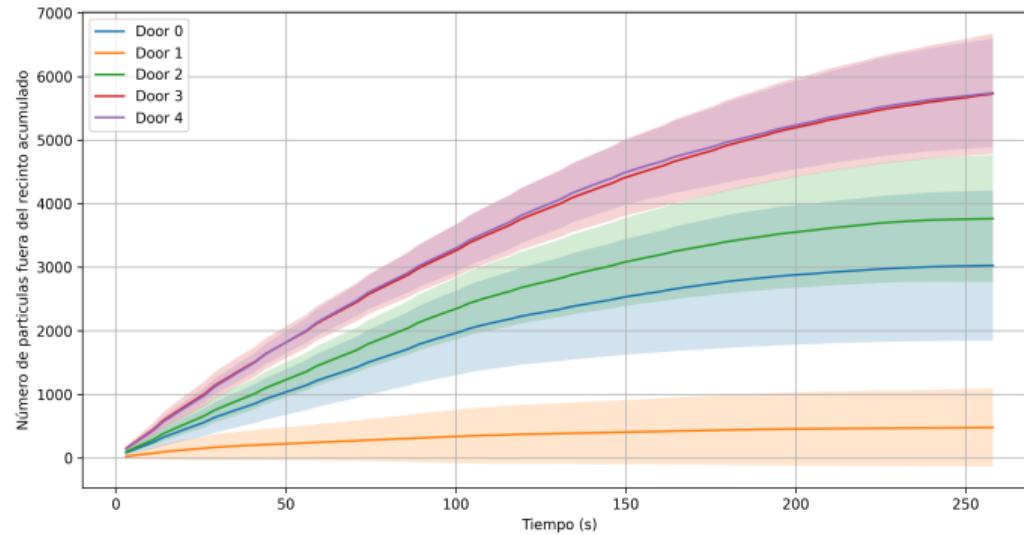


Figura 6: Flujo acumulado de evacuación para $p = 0,00$

Caudal Global

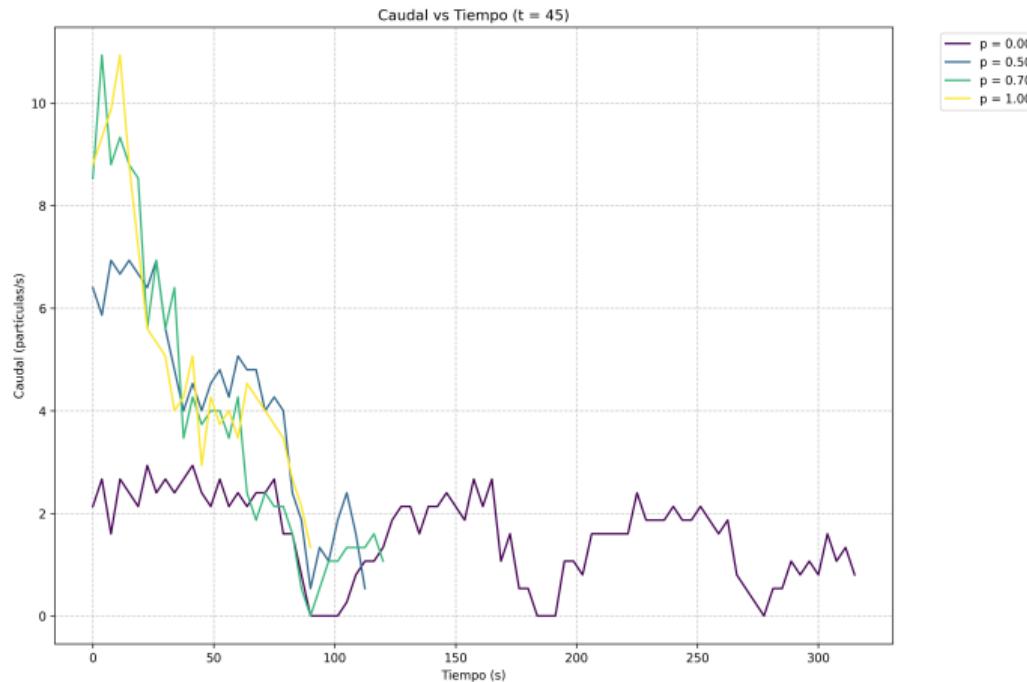


Figura 7: Caudal global en función del tiempo ($ct = 45$)

Caudal por Puerta ($p = 1,00$)

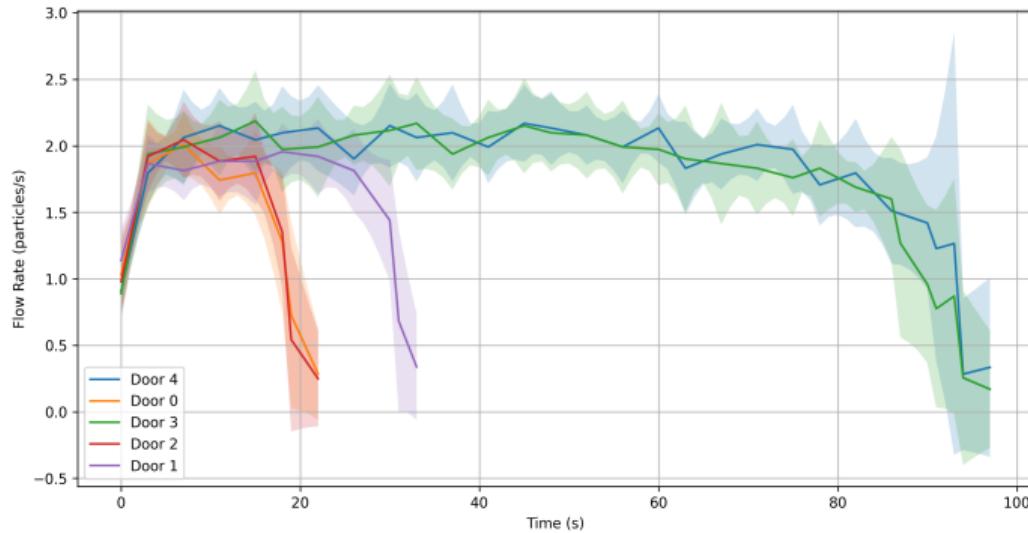


Figura 8: Caudal promedio de partículas ($p = 1,00$)

Caudal por Puerta ($p = 0,50$)

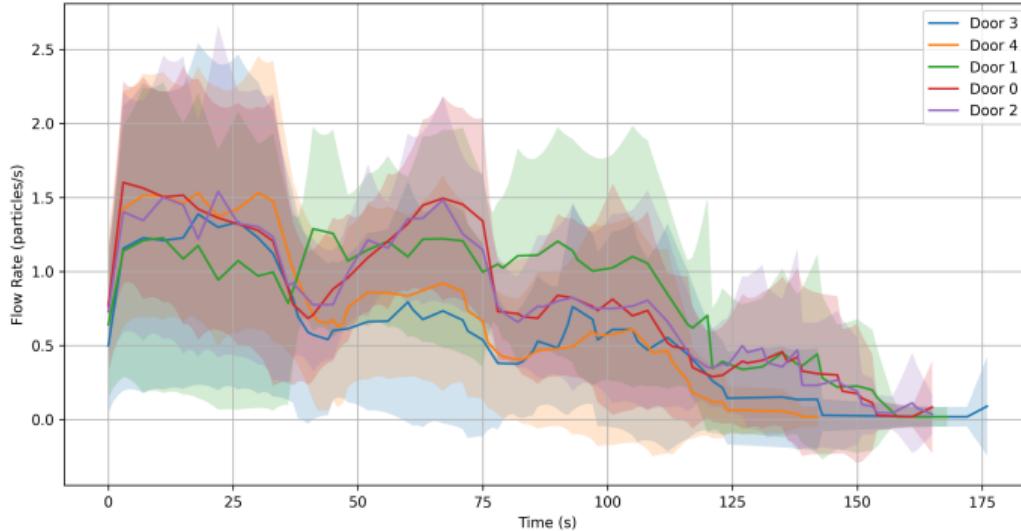


Figura 9: Caudal promedio de partículas ($p = 0,50$)

Caudal por Puerta ($p = 0,00$)

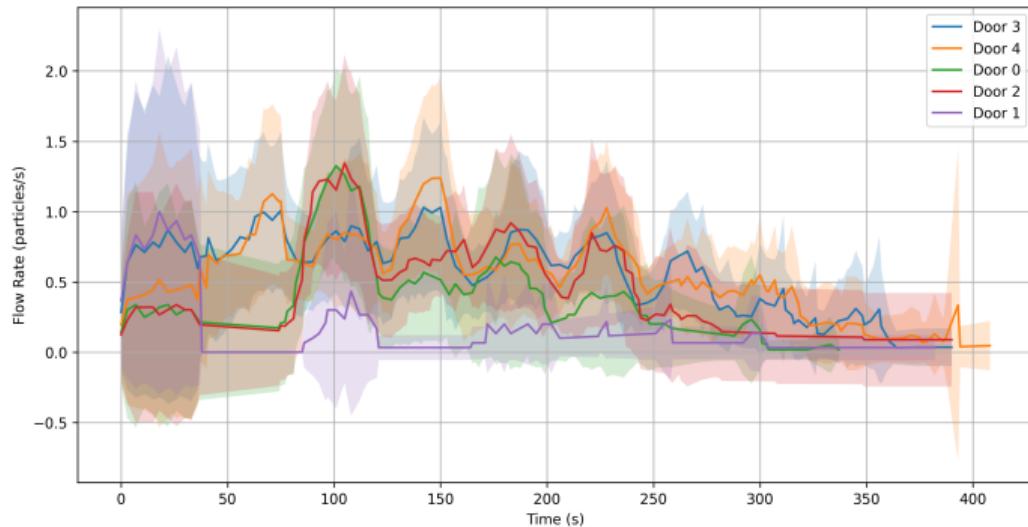


Figura 10: Caudal promedio de partículas ($p = 0,00$)

Densidad en función del tiempo

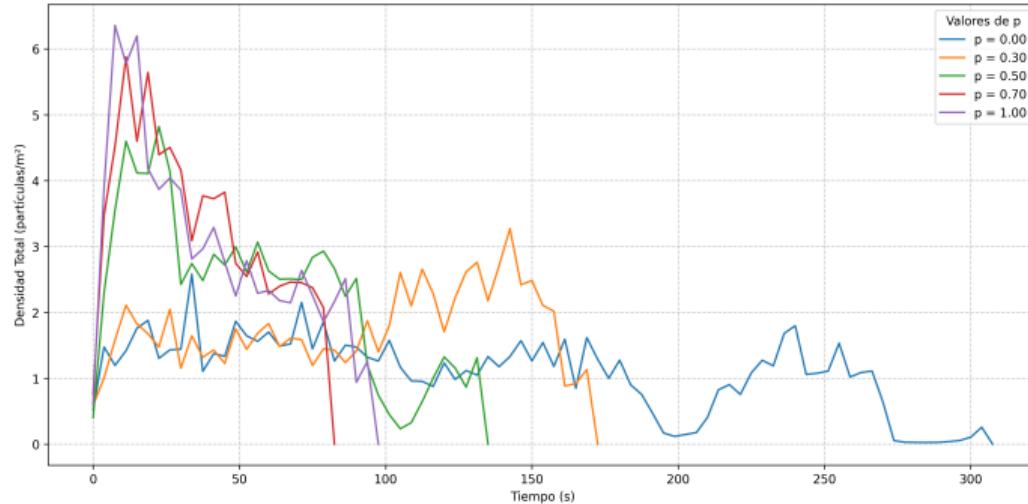


Figura 11: Densidad en función del tiempo para $ct = 45$

Densidad en función de p

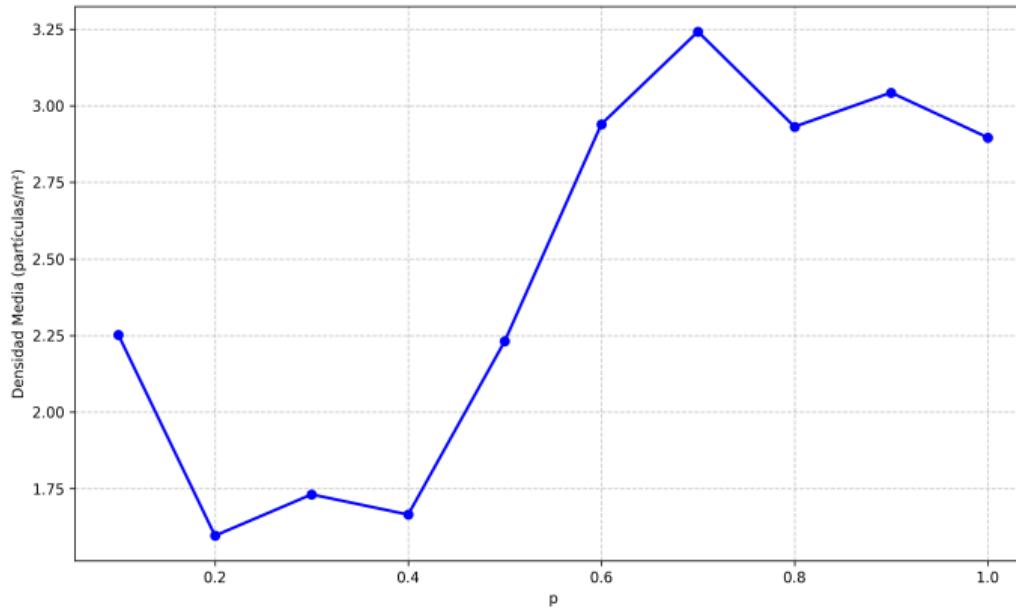


Figura 12: Densidad media en función de p para $ct = 45$

Análisis de Densidades por Puerta: $p = 1,0$ (Prioridad total a la Distancia)

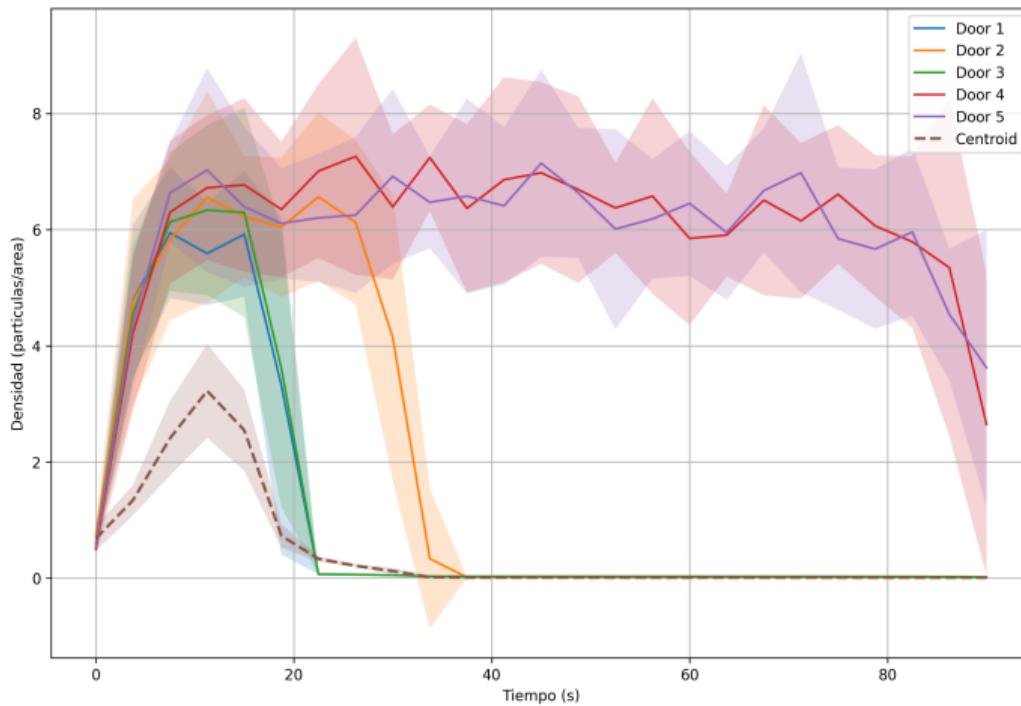


Figura 13: Densidad promedio de partículas en las proximidades de cada puerta para $p = 1,00$

Análisis de Densidades por Puerta: $p = 0,50$ (Balance entre Distancia y Densidad)

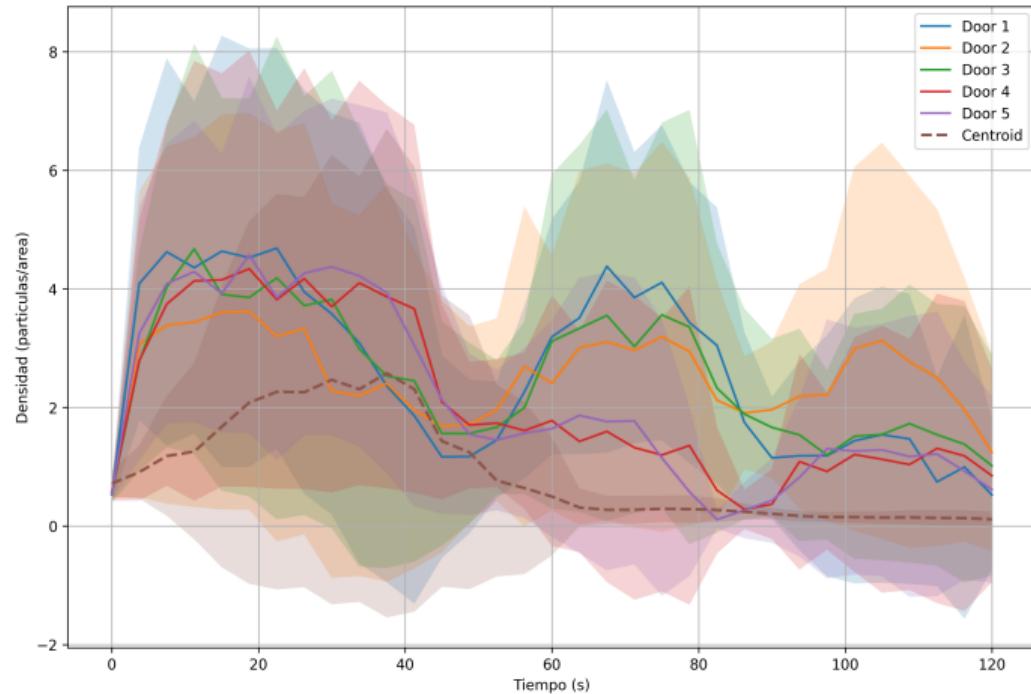


Figura 14: Densidad promedio de partículas en las proximidades de cada puerta para $p = 0,50$

Análisis de Densidades por Puerta: $p = 0,00$ (Prioridad total a la Densidad)

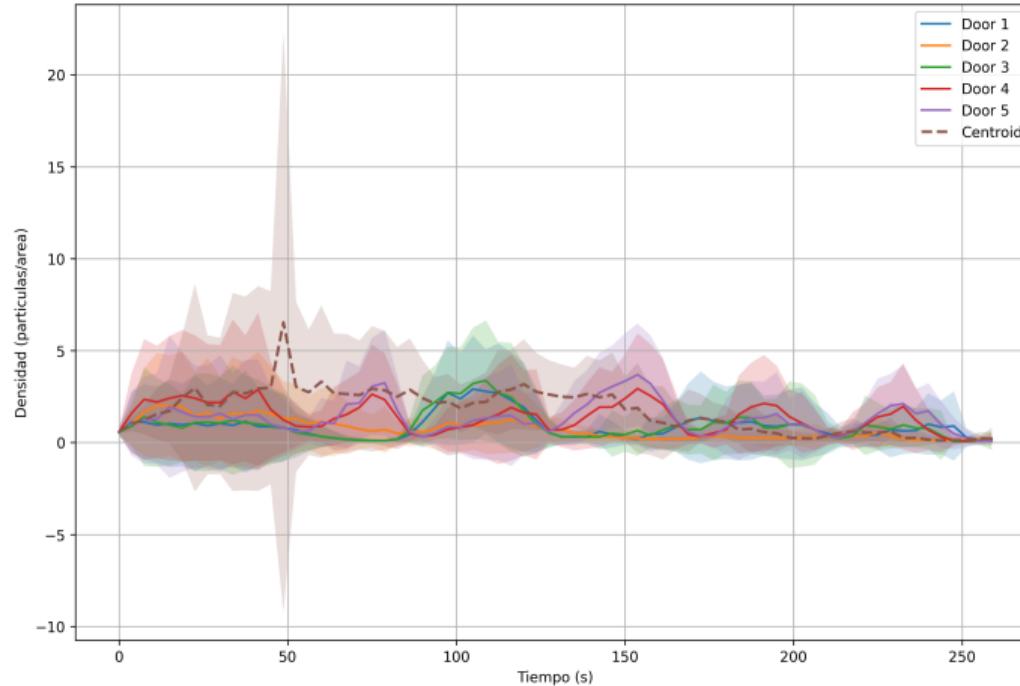


Figura 15: Densidad promedio de partículas en las proximidades de cada puerta para $p = 0,00$

Coeficiente de uniformidad en función de p

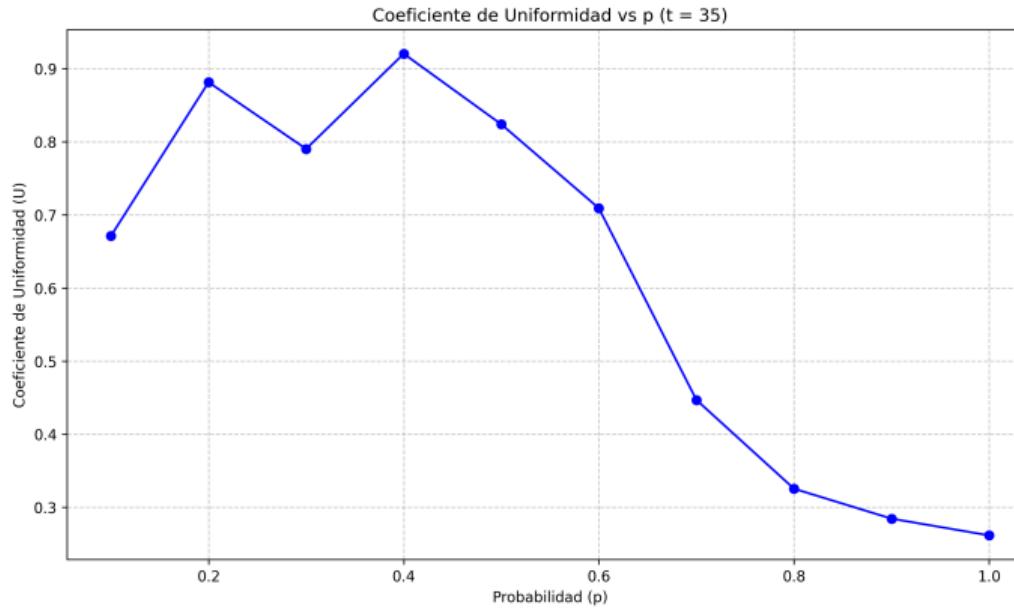


Figura 16: Coeficiente de uniformidad para $ct = 35$

Animaciones variando ct

Análisis del Tiempo de Evacuación en función del Tiempo de Re-decisión

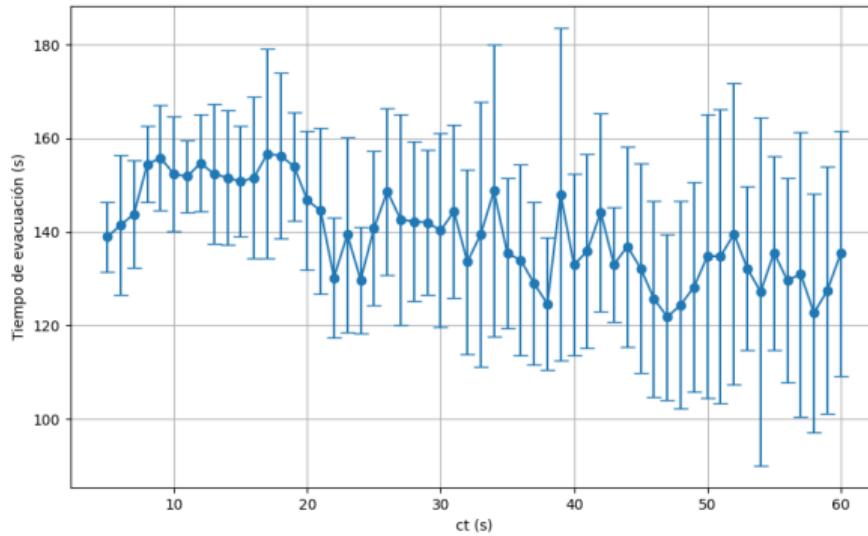


Figura 17: Tiempo promedio de evacuación en función del tiempo de re-decisión (ct) para $p = 0,50$

Caudal en función de ct

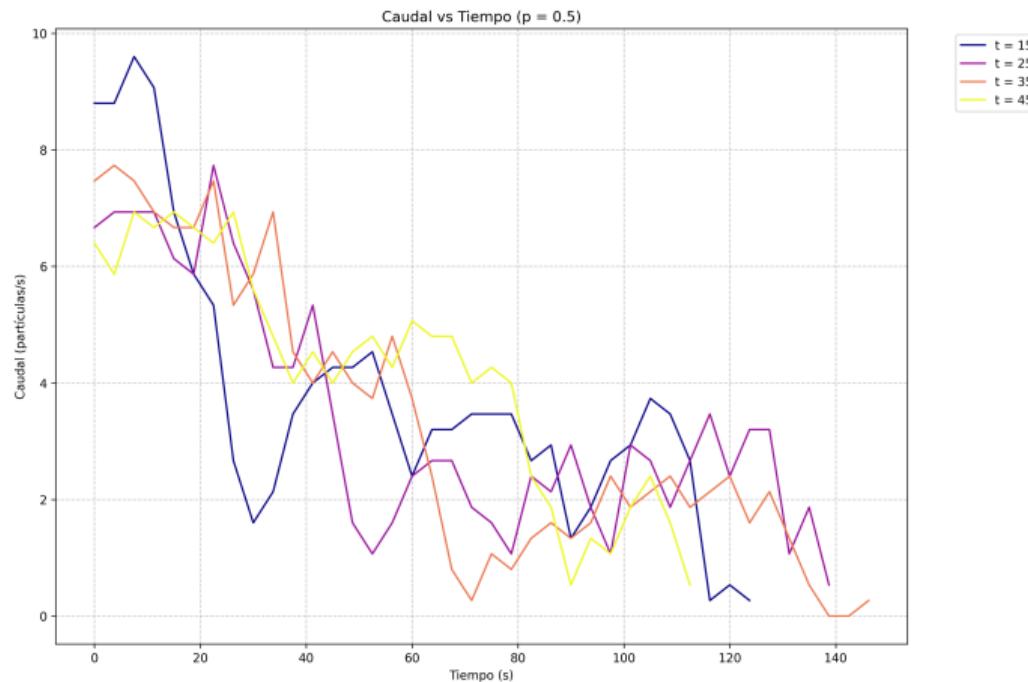


Figura 18: Caudal global en función del tiempo para $p = 0,5$

Densidad en función de ct

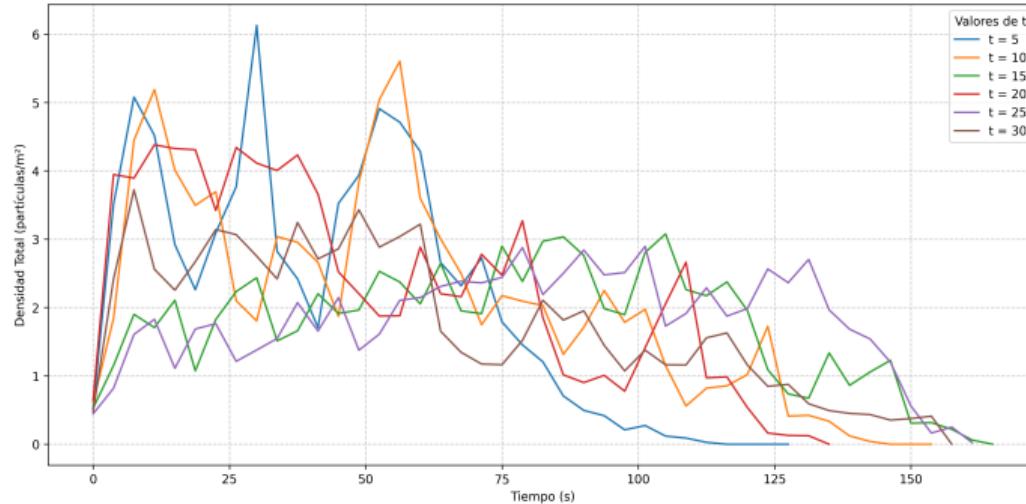


Figura 19: Densidad en función del tiempo para $p = 0,5$

Densidad media en función de ct

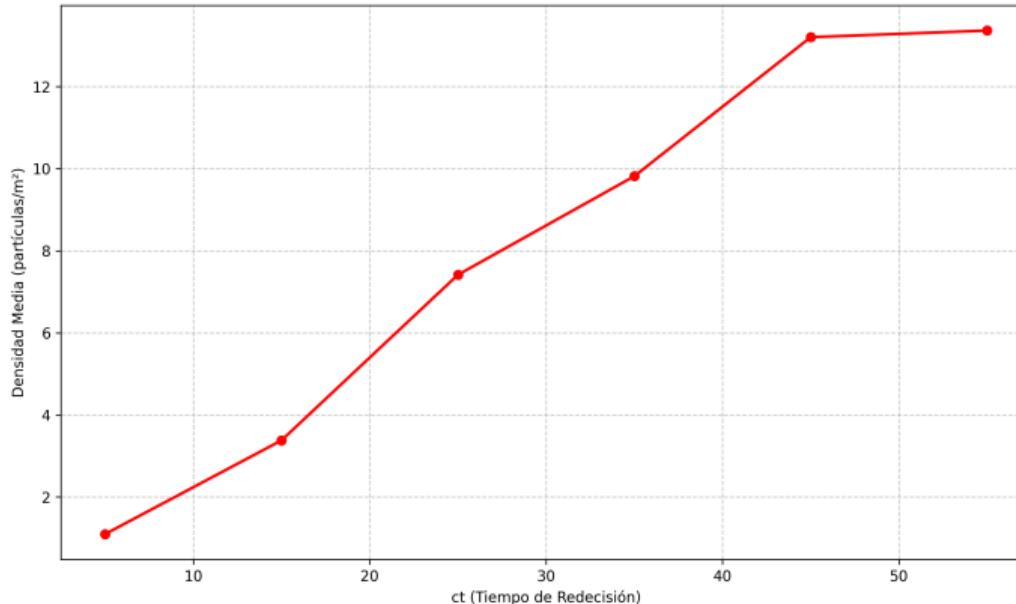


Figura 20: Densidad media en función de ct para $p = 0,5$

Coeficiente de uniformidad en función de ct

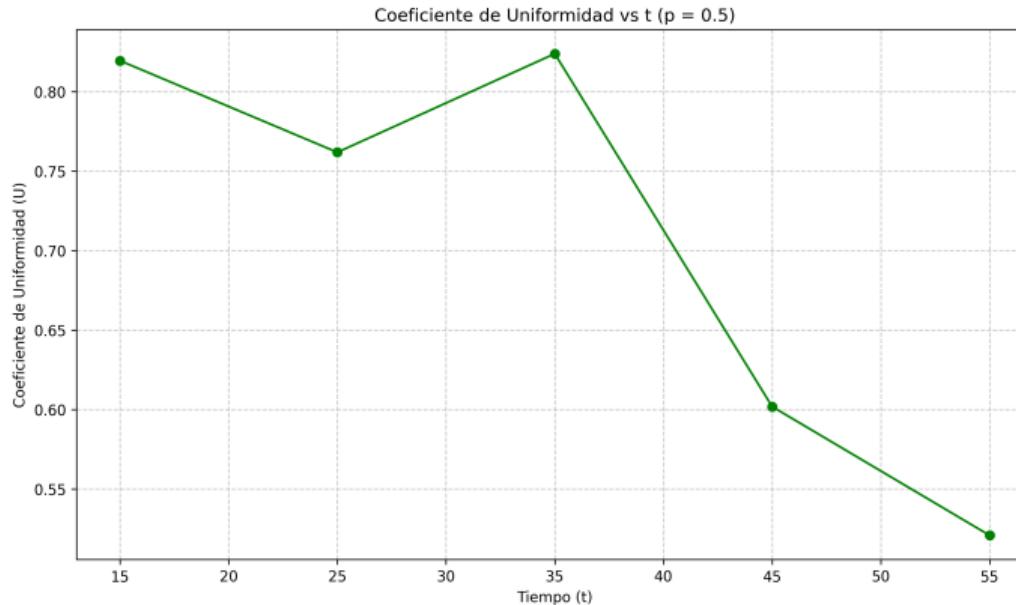


Figura 21: Coeficiente de uniformidad para $p = 0,5$

Conclusiones

Conclusiones

- Factor de ponderación (p):
 - $p \rightarrow 1$: evacuaciones más rápidas (80s) pero mayor congestión
 - $p \rightarrow 0$: mejor distribución pero evacuaciones más lentas (250s)
- Tiempo de re-decisión (ct):
 - ct bajo: mejor uso de todas las salidas
 - ct alto: evacuaciones más rápidas pero mayor concentración
- Balance óptimo:
 - $p = 0.5$ ofrece mejor compromiso entre tiempo y congestión
 - Equilibrio entre proximidad de salidas y densidad de personas