

**Simulació computacional d'evacuació d'espais –
Eines per disposar d'espais adequats per a la
realització d'esdeveniments zona platja Sant Adrià
del Besòs**

PERADEJORDI

www.peradejordi.com

Nil Homar Sesé

Novembre de 2023

1. Avaluació de les condicions d'evacuació – CTE
2. Simulacions Computacionals d'evacuació
 1. Introducció
 2. Beneficis, avantatges i limitacions
 3. Parametrització i altres consideracions
3. Cas pràctic – Zona platja Sant Adrià del Besòs

- Normativament, cal garantir les condicions establertes al CTE DB SI - 3.
 - **Càlcul o justificació de l'ocupació màxima.**
 - Nombre de sortides i recorreguts d'evacuació.
 - Dimensionat dels mitjans d'evacuació.
 - Senyalització.

Tabla 2.1. Densidades de ocupación⁽¹⁾

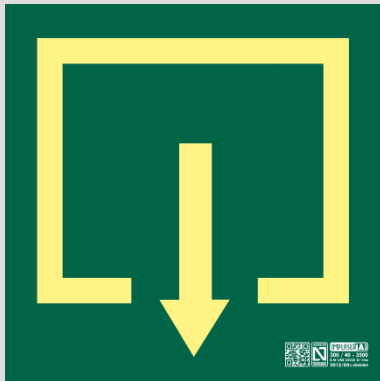
<i>Uso previsto</i>	<i>Zona, tipo de actividad</i>	<i>Ocupación (m²/persona)</i>
Pública concurrència	Zonas destinadas a espectadores sentados:	
	con asientos definidos en el proyecto	1pers/asiento
	sin asientos definidos en el proyecto	0,5
	Zonas de espectadores de pie	0,25
	Zonas de público en discotecas	0,5

- Normativament, cal garantir les condicions establertes al CTE DB SI - 3.
 - Càlcul o justificació de l'ocupació màxima.
 - **Nombre de sortides i recorreguts d'evacuació.**
 - **Dimensionat dels mitjans d'evacuació.**
 - Senyalització.

Tabla 4.1 Dimensionado de los elementos de la evacuación

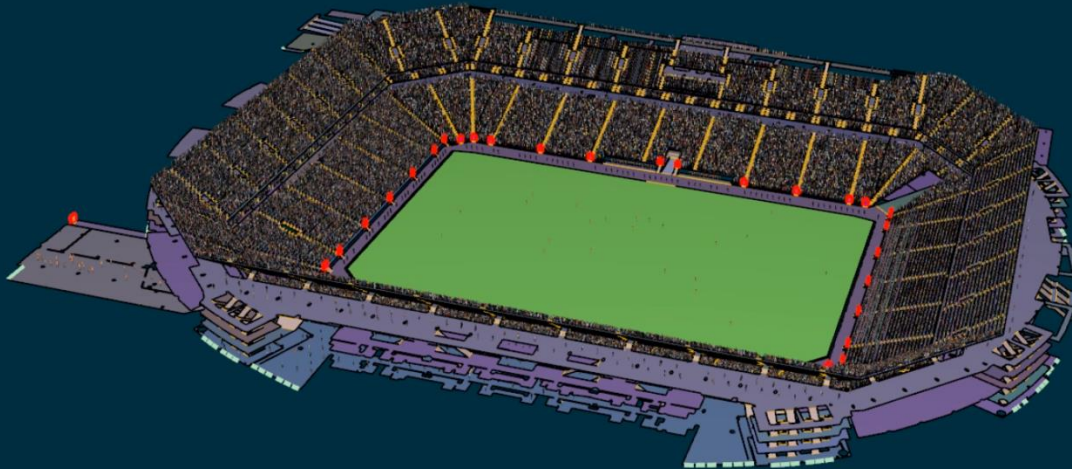
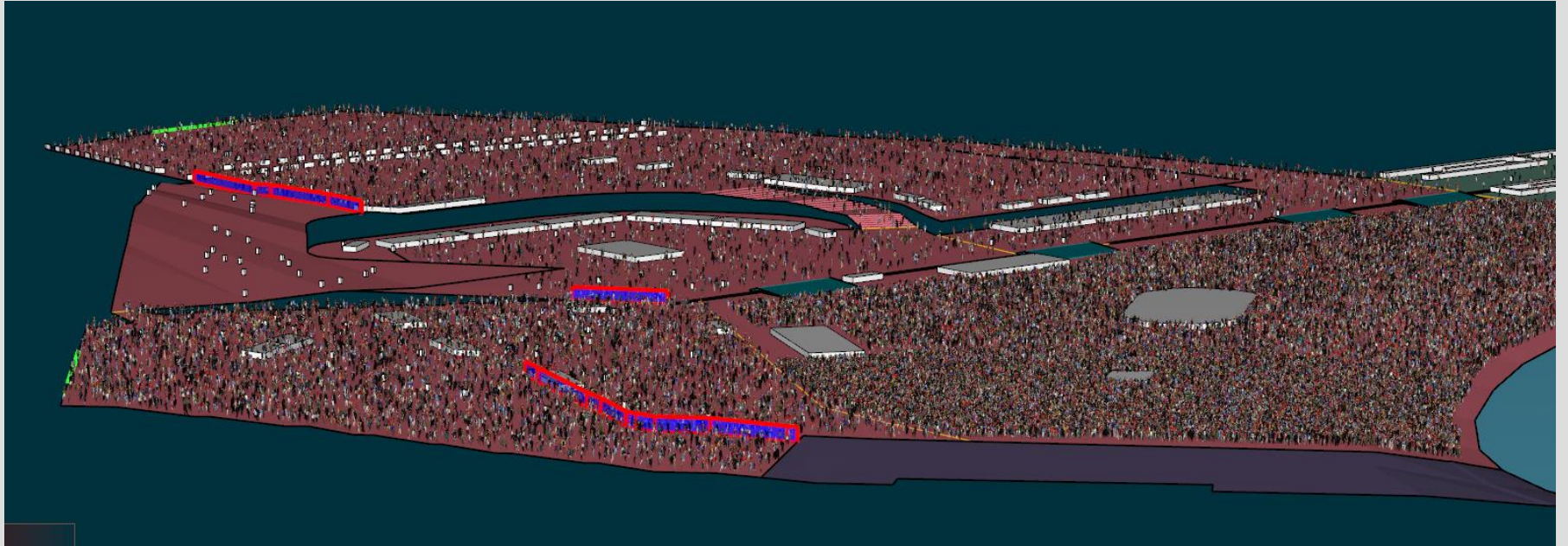
Tipo de elemento	Dimensionado
Puertas y pasos	$A \geq P / 200^{(1)} \geq 0,80 \text{ m}^{(2)}$ La anchura de toda hoja de puerta no debe ser menor que 0,60 m, ni exceder de 1,23 m.
Pasillos y rampas	$A \geq P / 200 \geq 1,00 \text{ m}^{(3)(4)(5)}$
Pasos entre filas de asientos fijos en salas para público tales como cines, teatros, auditorios, etc. ⁽⁶⁾	En filas con salida a pasillo únicamente por uno de sus extremos, $A \geq 30$ cm cuando tengan 7 asientos y 2,5 cm más por cada asiento adicional, hasta un máximo admisible de 12 asientos. En filas con salida a pasillo por sus dos extremos, $A \geq 30$ cm en filas de 14 asientos como máximo y 1,25 cm más por cada asiento adicional. Para 30 asientos o más: $A \geq 50$ cm. ⁽⁷⁾ Cada 25 filas, como máximo, se dispondrá un paso entre filas cuya anchura sea 1,20 m, como mínimo.
Escaleras no protegidas ⁽⁸⁾	
para evacuación descendente	$A \geq P / 160^{(9)}$
para evacuación ascendente	$A \geq P / (160-10h)^{(9)}$
Escaleras protegidas	$E \leq 3 S + 160 A_S^{(9)}$
Pasillos protegidos	$P \leq 3 S + 200 A^{(9)}$
En zonas al aire libre:	
Pasos, pasillos y rampas	$A \geq P / 600^{(10)}$
Escaleras	$A \geq P / 480^{(10)}$

- Normativament, cal garantir les condicions establertes al CTE DB SI - 3.
 - Càlcul o justificació de l'ocupació màxima.
 - Nombre de sortides i recorreguts d'evacuació.
 - Dimensionat dels mitjans d'evacuació.
 - **Senyalització.**



- Aspecte vital per a garantir la seguretat de qualsevol edifici, activitat o esdeveniment.

- Programes informàtics que permeten simular el desenvolupament d'evacuació en edificis recintes, activitats...
- Diferents simuladors:
 - Pathfinder
 - Legion
 - Mass Motion
 - FDS + Evac
 - STEPS
- Permeten la modelització d'un espai i els seus ocupants.
- Ens serveixen per:
 - Calcular el temps d'evacuació
 - Predir el comportament humà
 - Gestió de multituds



Com funcionen?

- L'usuari ha de modelitzar la geometria, definir l'espai disponible per a la circulació de persones.
- L'usuari ha de definir la quantitat d'ocupants (agents), la seva posició inicial i les seves característiques.
- Els programes prediuen el moviment i interacció entre persones. En funció de:
 - La geometria definida.
 - Mètode de modelització de moviment:
 - Model hidràulic
 - Model de forces socials
 - Model d'Steering o flocking
 - Afecten altres paràmetres: tria de recorregut / sortida per part dels ocupants

- Permeten una avaluació més completa de les condicions d'evacuació:
 - Simulació del temps total d'evacuació.
 - Identificació de punts, zones i recorreguts crítics.
 - Comparació directa entre diferents estratègies d'evacuació.
- Permeten un nivell superior de personalització i adaptació a cada cas:
 - Modelització del propi espai.
 - Parametrització dels ocupants i el seu comportament.
 - Adaptació a les condicions de l'entorn.
- Relativament simple i ràpid d'utilitzar

- És necessari un coneixement previ del funcionament del programa.
- La parametrització s'ha de realitzar en base a estudis i dades de casos reals.
- Una mala definició dels paràmetres pot portar a resultats i conclusions errònies.

- Temps d'inici d'evacuació:
 - Temps de detecció.
 - Temps de notificació i alarma.
 - Temps de retard o premoviment.

- Paràmetres dels ocupants
 - Velocitats de moviment
 - Dimensions

- Zones de reducció de velocitats:
 - Tipus de terreny
 - Inclinació - rampes i escales

- Tots els paràmetres escollits han d'estar correctament referenciats / justificats.
- Cal verificar una representació realista del comportament dels ocupants. Recorreguts i sortides d'evacuació escollits...
- Cal tenir en compte un cert grau d'incertesa en els resultats.
- Cal mantenir els paràmetres dins el rang de calibratge del simulador.
- Evitar utilitzar models de simulació no validats amb dades experimentals.

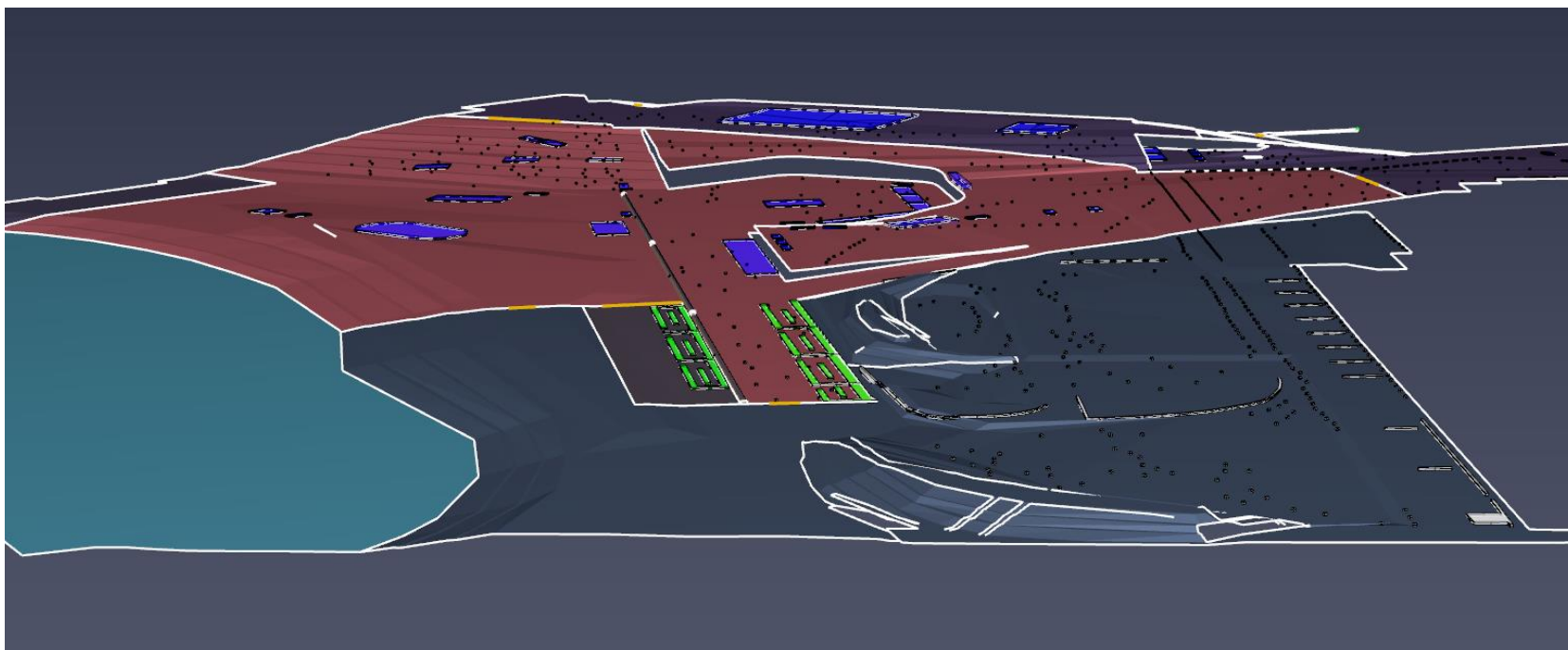
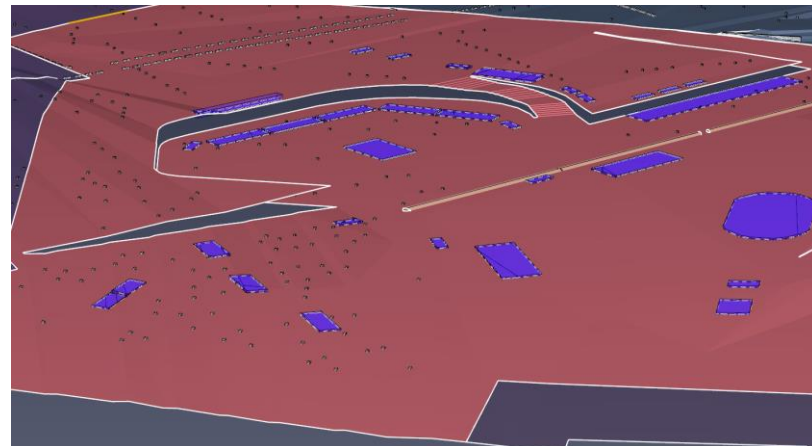
- Cas real d'estudi per esdeveniments en la zona de platja de Sant Adrià del Besòs.
- Objectiu de l'estudi:
 - Anàlisis de diferents escenaris d'evacuació i identificació dels requeriments i necessitats per garantir unes condicions segures d'evacuació en cas d'esdeveniments multitudinaris.
- Dades segons esdeveniment multitudinari celebrat el 2022.



- **Escenari 1:** distribució d'espais i ocupació segons PAU esdeveniment 2022.
- **Escenari 2:** aplicació de factors limitadors addicionals.
- **Escenari 3:** limitació de recorreguts i sortides per la localització de l'emergència.
- **Escenari 4:** simulació de control i direcció de fluxos per part de personal d'evacuació.
- **Escenari 5:** limitació d'ocupació.
- **Escenari 6:** arribada i circulació de bombers pel recinte.
- **Escenari 7:** canvi de la localització de l'emergència.

S'han considerat les característiques de l'espai:

- Rampes i inclinacions del terreny.
- Arbres i altres obstacles.
- Escales.
- Límits no accessibles.



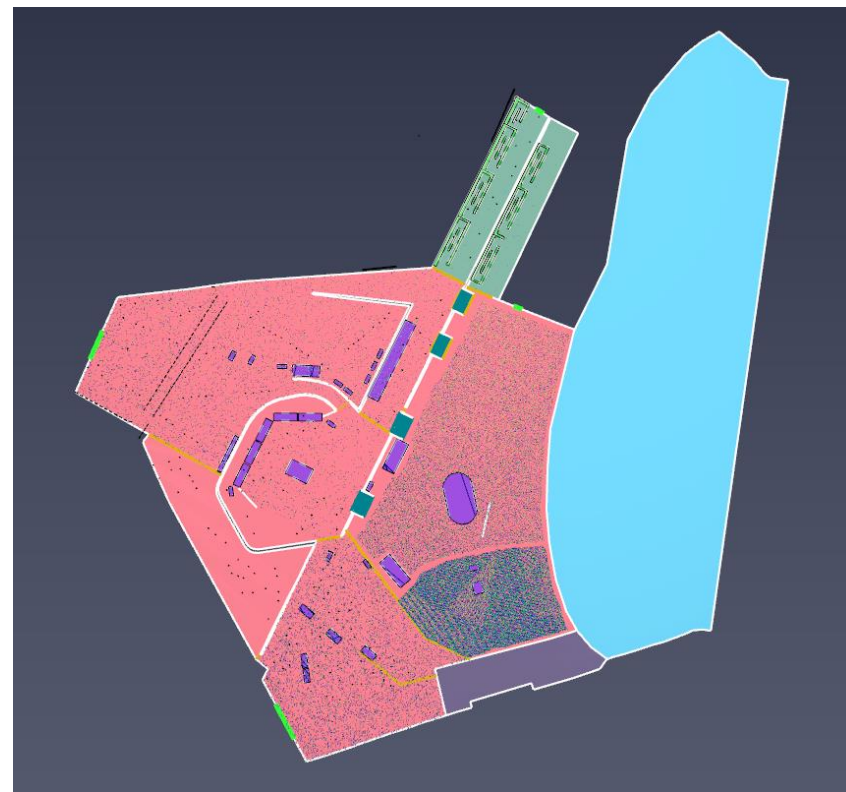
Pel que fa a l'espai simulat, el model d'evacuació inclou l'espai del recinte ocupat pel festival. S'inclouen també obstacles fixos propis de l'activitat com parades, zones de venda...

El nombre d'ocupants considerat és de 40.195 persones.

Tota aquesta informació s'extreu del Pla d'Autoprotecció d'una activitat multitudinària celebrada el 2022.

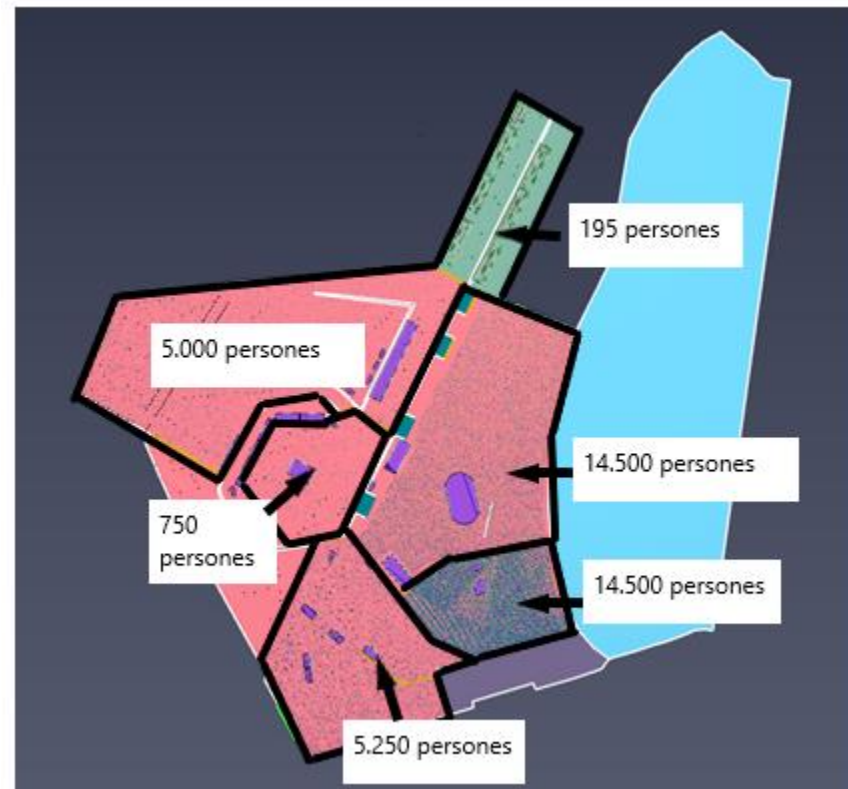
S'analitza amb especial atenció:

- Temps d'evacuació fins a l'exterior del recinte.
- Punts d'aglomeració de persones.
- Punts amb densitats crítiques.



Ocupació de 40.195 persones, distribuïdes pel recinte segons dades del PAU.

- 29.000 persones en la zona de la platja (Àrea de públic 2).
 - 14.500 persones a zona pròxima a l'escenari
 - 14.500 persones repartides per la resta de l'espai
- 5.250 persones en l'àrea Premium i Hospitality.
- 5.000 persones en la zona d'accés i Àrea de públic 1.
- 750 persones en zona de restauració.
- 195 persones en zona de lavabos.





S'han considerat les sortides del recinte segons la informació de les sortides observades el dia de celebració del festival. Els ocupants finalitzen l'evacuació al accedir a una d'aquestes sortides.



- Sortida de 25m en la zona d'accés principal al recinte.
- Sortida de 25m en zona Premium / Hospitality.
- Sortida de 6m en zona de platja.
- Sortida de 6m en zona de lavabos.

Existeixen 4 rampes que connecten l'espai de la platja amb el parc.

Perfil dels ocupants:

Es diferencien 3 perfils de persones:

- Ocupant estàndard (96%)
 - Velocitat d'evacuació horitzontal: distribució normal entre 0,29 i 2,29 m/s (1,29 m/s de mitjana).
- Ocupant amb impediments motrius (3%)
 - Velocitat d'evacuació horitzontal: distribució normal entre 0,1 i 1,68 m/s (0,8 m/s de mitjana).
- Ocupant amb cadira de rodes (40 persones)
 - Velocitat d'evacuació horitzontal: distribució normal entre 0,13 i 1,35 m/s (0,69 m/s de mitjana). Diàmetre segons dades definides al programa de simulació.

Respecte al temps de preevacuació, es considera una distribució log-normal amb els següents paràmetres:

- Valor mínim: 120 segons
- Valor màxim: 360 segons
- Mitjana: 180 segons

Factors reductors de la velocitat:

Els diferents espais on s'han aplica al model uns factors reductors de la velocitat són els següents:

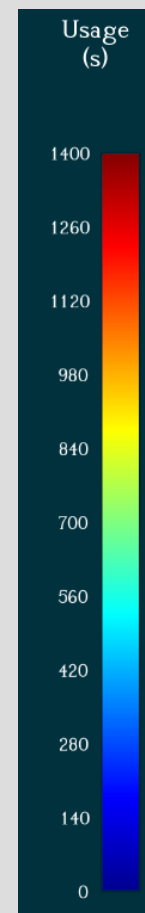
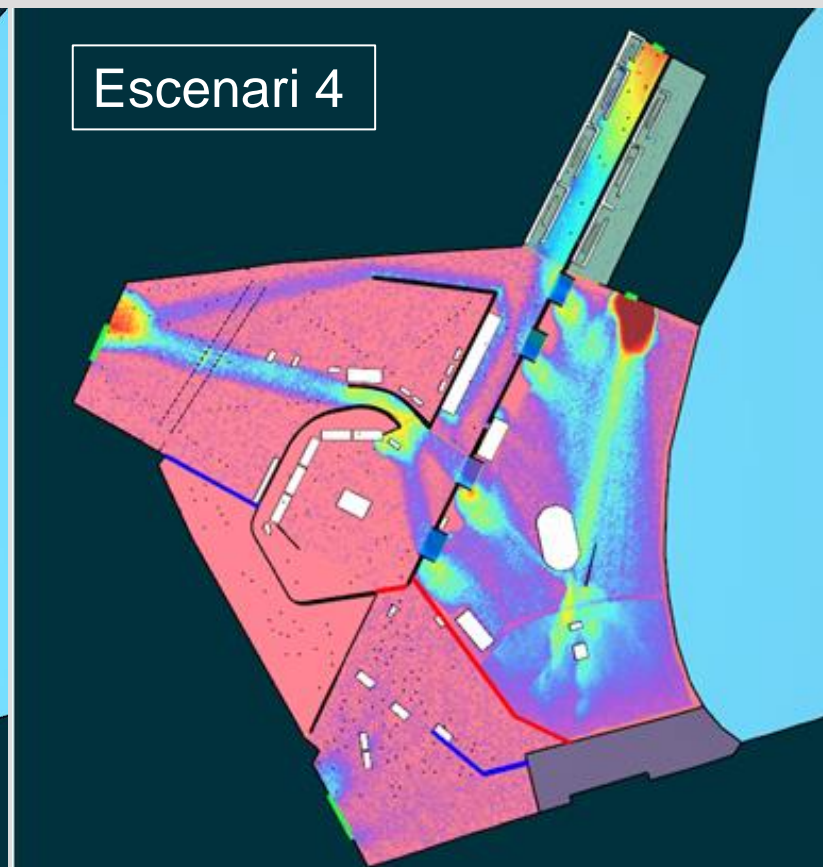
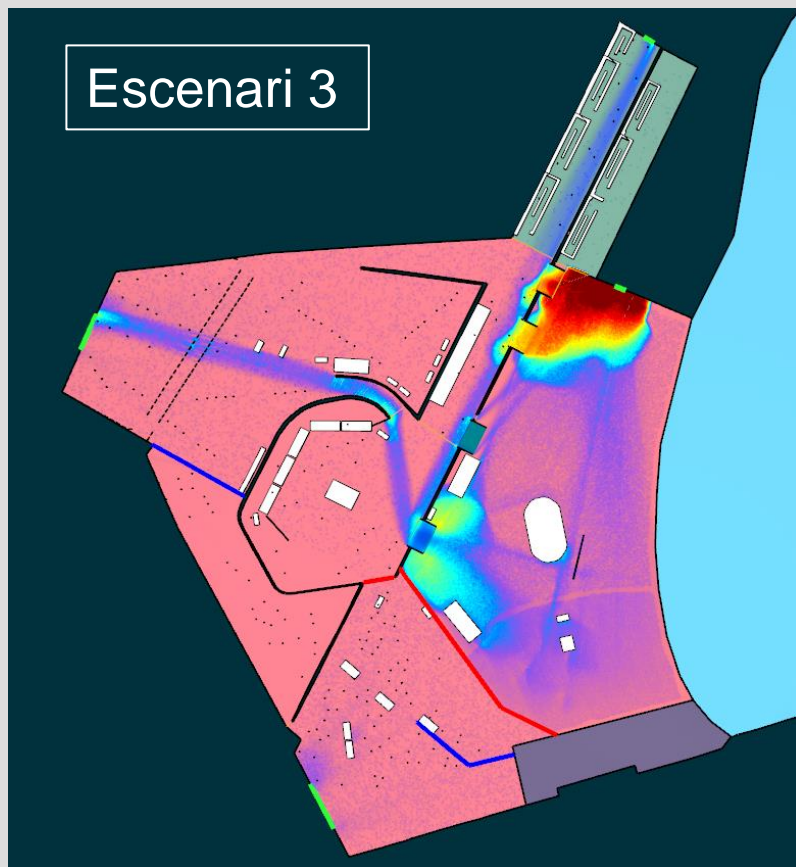
- Zones amb pendent – La inclinació provoca una reducció en la velocitat de moviment
 - Pendent 5% o inferior: sense modificació (factor de velocitat=1).
 - Pendent superior a 5% i inferior a 20%: factor de velocitat=0,90.
 - Pendent superior al 20%: factor de velocitat=0,75.
- Zona de platja – la presència de sorra implica una reducció de velocitat de moviment: factor de velocitat=0,48.

Resultats:

	Temps evacuació 75% dels ocupants	Temps evacuació 98% dels ocupants	Temps total d'evacuació
Escenari 1	19 minuts i 6 segons (1.146 segons)	29 minuts i 35 segons (1.775 segons)	32 minuts i 55 segons (1.975 segons)
Escenari 2	18 minuts i 50 segons (1.130 segons)	31 minuts i 33 segons (1.893 segons)	49 minuts i 35 segons (2.975 segons)
Escenari 3	37 minuts i 27 segons (2.247 segons)	73 minuts i 29 segons (4.409 segons)	82 minuts i 7 segons (4.927 segons)
Escenari 4	21 minuts i 18 segons (1.278 segons)	36 minuts i 47 segons (2.207 segons)	68 minuts i 23 segons (4.103 segons)
Escenari 5	35 minuts i 38 segons (2.138 segons)	59 minuts i 51 segons (3.591 segons)	64 minuts i 5 segons (3.845 segons)
Escenari 6	-	-	-
Escenari 7	20 minuts i 3 segons (1.203 segons)	41 segons i 15 segons (2.475 segons)	63 minuts i 30 segons 3.810 segons

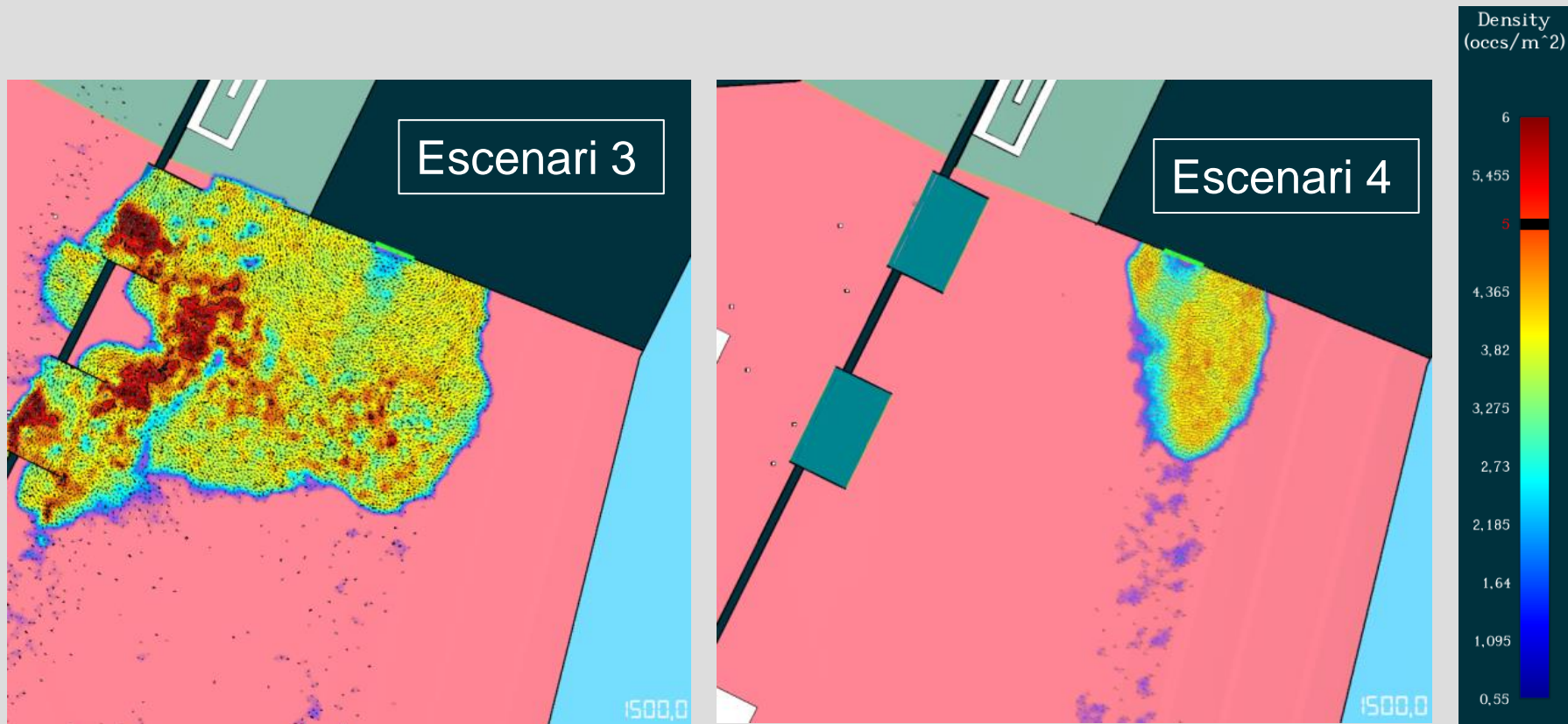
Resultats:

- S'observen acumulacions importants de persones a les sortides.
- Sense control dels fluxos de l'evacuació els ocupants no es distribueixen entre totes les sortides disponibles.



Resultats:

- S'observen punts amb densitats crítiques on es troben fluxos d'evacuació contraris.



Conclusions:

La comparació entre les diferents simulacions realitzades ens permeten identificar els principals problemes i requeriments a nivell de condicions d'evacuació:

- Necessitat de disposar de sortides més àmplies / major nombre de sortides.
 - Cal reduir l'aglomeració de persones, especialment a la zona de platja.
 - Tots els espais han de disposar d'amplada de sortida suficients, preveient les alteracions en recorreguts que pugui haver en funció de l'origen de l'emergència.
- Necessitat de disposar d'un potent dispositiu de personal d'evacuació i de senyalització de recorreguts i sortides.
 - S'observen millores clares en les condicions d'evacuació en els escenaris on simula el seu efecte.
 - Caldrà que el personal estigui disposat en els recorreguts principals d'evacuació per tal de poder dirigir els fluxos d'evacuació.

Conclusions:

La comparació entre les diferents simulacions realitzades ens permeten identificar els principals problemes i requeriments a nivell de condicions d'evacuació:

- S'aprecia que una reducció del nombre màxim d'ocupants només milloraria les condicions d'evacuació només si:
 - Es redueix l'ocupació a la zona de la platja.
 - Si va acompanyada de l'actuació planificada de personal d'evacuació i senyalització d'evacuació.

- L'arribada dels serveis d'emergència per les vies previstes:
 - Produeix un retard de l'evacuació de part dels ocupants, però no afecta significativament en els temps d'evacuació totals.
 - Reservar certs espais per a ús exclusiu de pas pels serveis d'emergència no afecta de forma significativa als resultats.
 - Serà necessari personal suficient per al control de les persones evacuant durant la circulació de vehicles dels serveis d'emergències.

Moltes gràcies per la vostra atenció