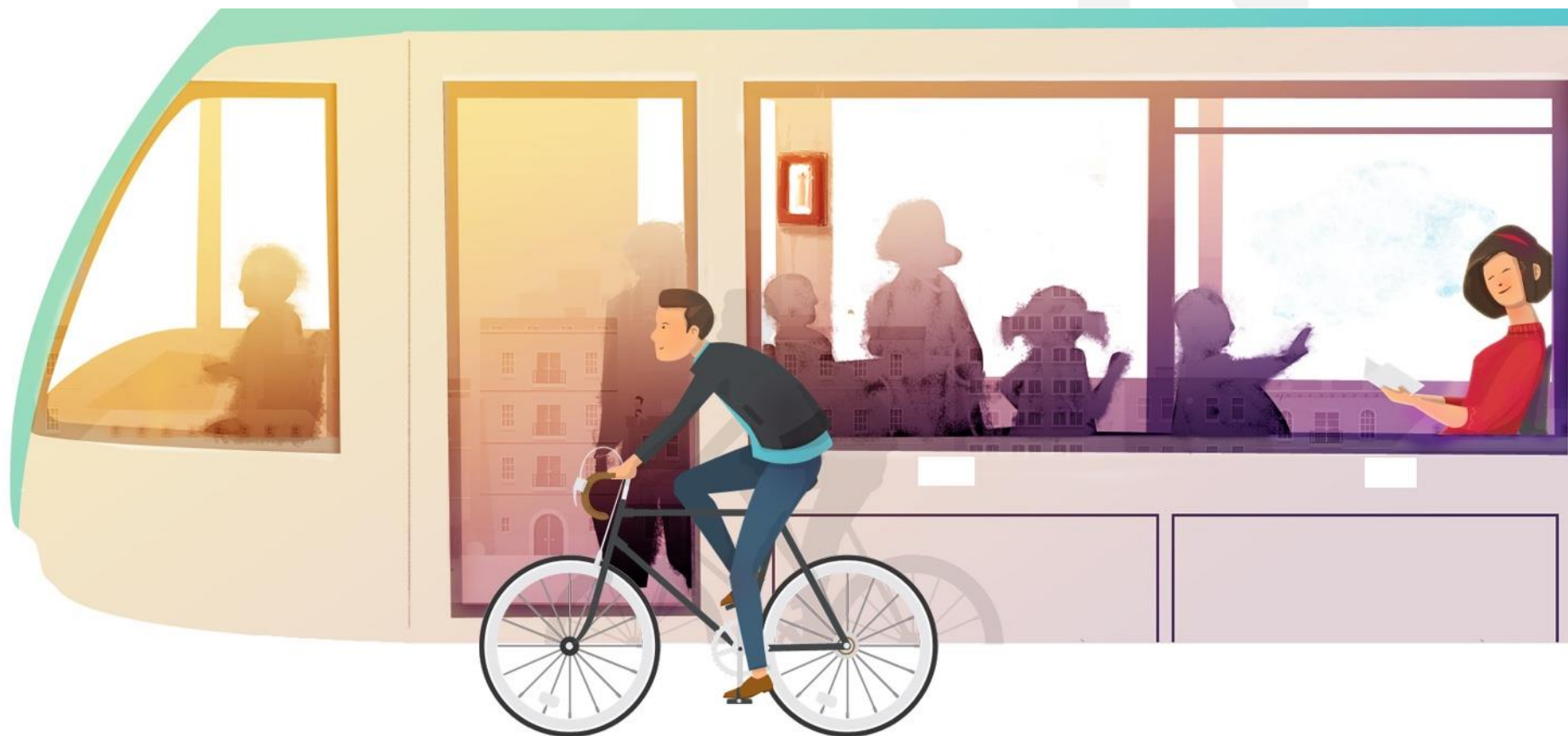


Microsimulació de la circulació del tramvia per l'Avinguda Diagonal entre F. Macià i Glòries

Barcelona, maig de 2017



Sumari

1. Objectius i àmbits de l'estudi.
2. Hipòtesi de treball.
3. Metodologia.
4. Tramvia connectat.
5. Xarxa d'autobusos.
6. Vehicles privats motoritzats.
7. Bicicletes i vianants.
8. Conclusions.



01

Objectius i àmbits de l'estudi



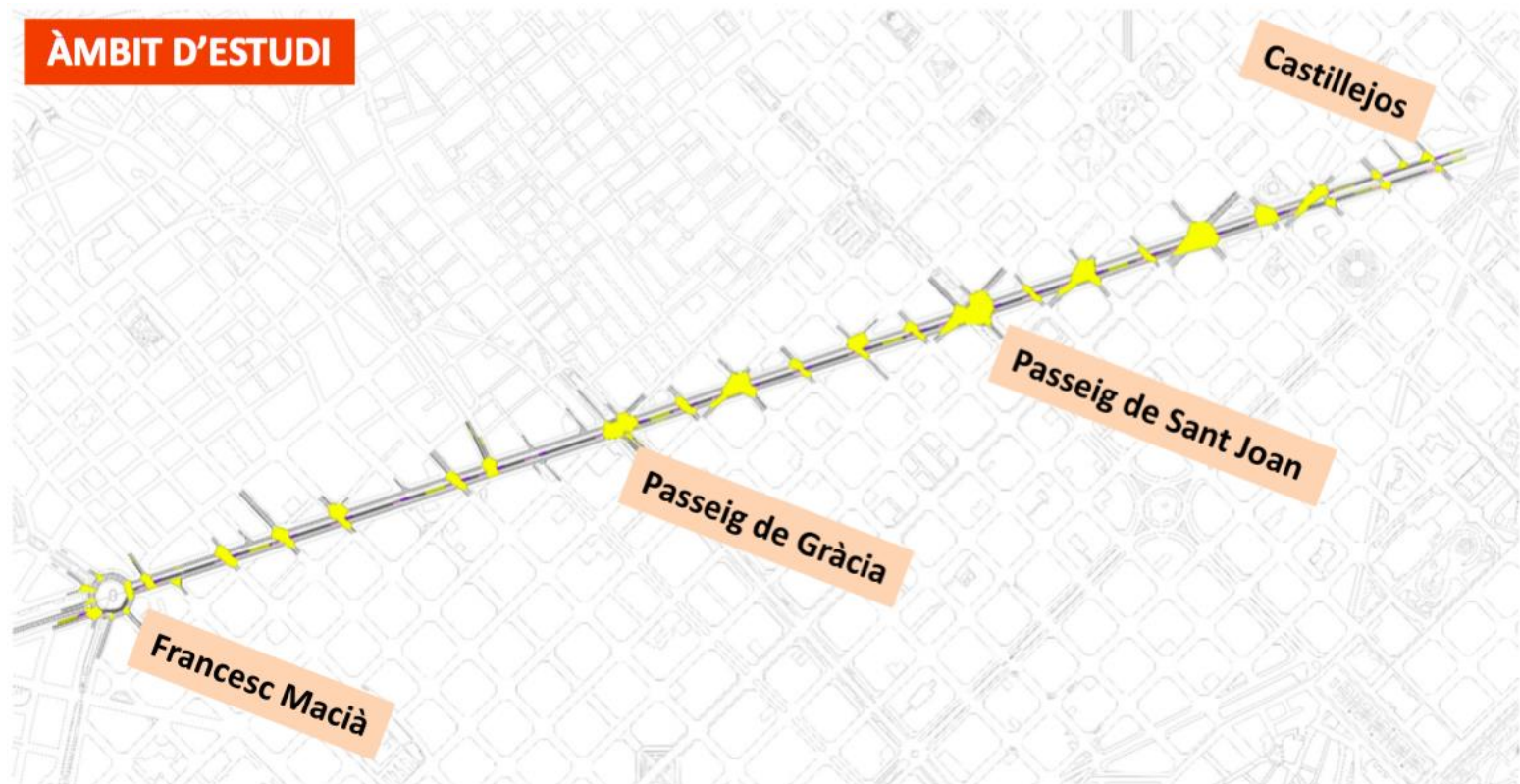


01 Objectius i àmbits de l'estudi

- Saber com es comportarà la **mobilitat a l'Avinguda Diagonal entre Francesc Macià i el carrer Castillejos amb la implantació d'un tramvia.**
- Fer l'anàlisi de **24 cruïlles** i, amb major detall realitzar simulacions en aquelles cruïlles més complexes: **Passeig de Gràcia, Via Augusta, Francesc Macià i Passeig de Sant Joan.**
- Optimitzar la **regulació semafòrica** per garantir l'eficiència en el **funcionament dels diferents modes de transport que hi conviuen**: el tramvia, els autobusos, els vehicles a motor, les bicicletes i els vianants.

L'objectiu és comprovar si amb la inclusió del tramvia es pot garantir la màxima fluïdesa de la resta de transport públic sense augmentar la congestió del vehicle privat.

01 Objectius i àmbits de l'estudi





02

Hipòtesi de treball



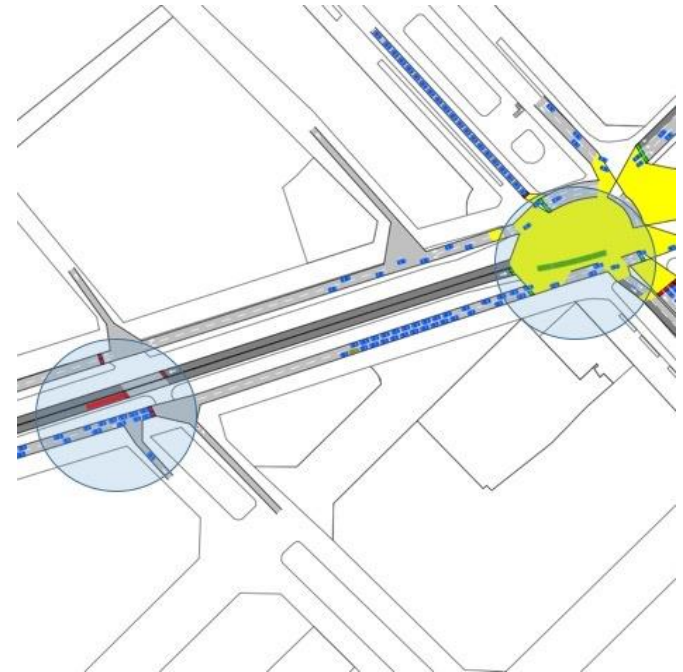
02 Hipòtesi de treball

- Tot l'estudi considera la franja horària més crítica: **l'hora punta compresa entre les 8 i 9 del matí.**
- Com a conseqüència de la connexió tramviària i d'acord amb els estudis de demanda, es preveu una **reducció de 12.500 vehicles al dia a l'entorn de la Diagonal.**



02 Hipòtesi de treball

- Es preveu l'ús compartit d'un carril exclusiu per tramvia i autobús entre Passeig de Gràcia i Via Augusta.
- Aquesta plataforma compartida esdevé un avenç en la coordinació entre modes de transport i millora la regularitat de pas del bus sense afectar la seva velocitat comercial.
- La **plataforma de vies estarà pavimentada i la regulació semafòrica contemplarà la circulació sincronitzada de les línies de tramvia i d'autobús.**





02 Hipòtesi de treball

- Simulacions amb **tramvies de 32 metres** **circulant a una freqüència mitja de 4 minuts** i amb cicles **semafòrics de 120''**, després d'analitzar cicles de 96'' i 105''.
- Previsió del **canvi de sentit del carrer Urgell i d' Avinguda Sarrià**.
- **Dades de partida:**
 - Cruïlles estudiades: 24.
 - Carrers que travessen l'Av. Diagonal estudiats: 30.
 - Carrers que travessen l'Av. Diagonal amb pas de bus: 20.





02 Hipòtesi de treball

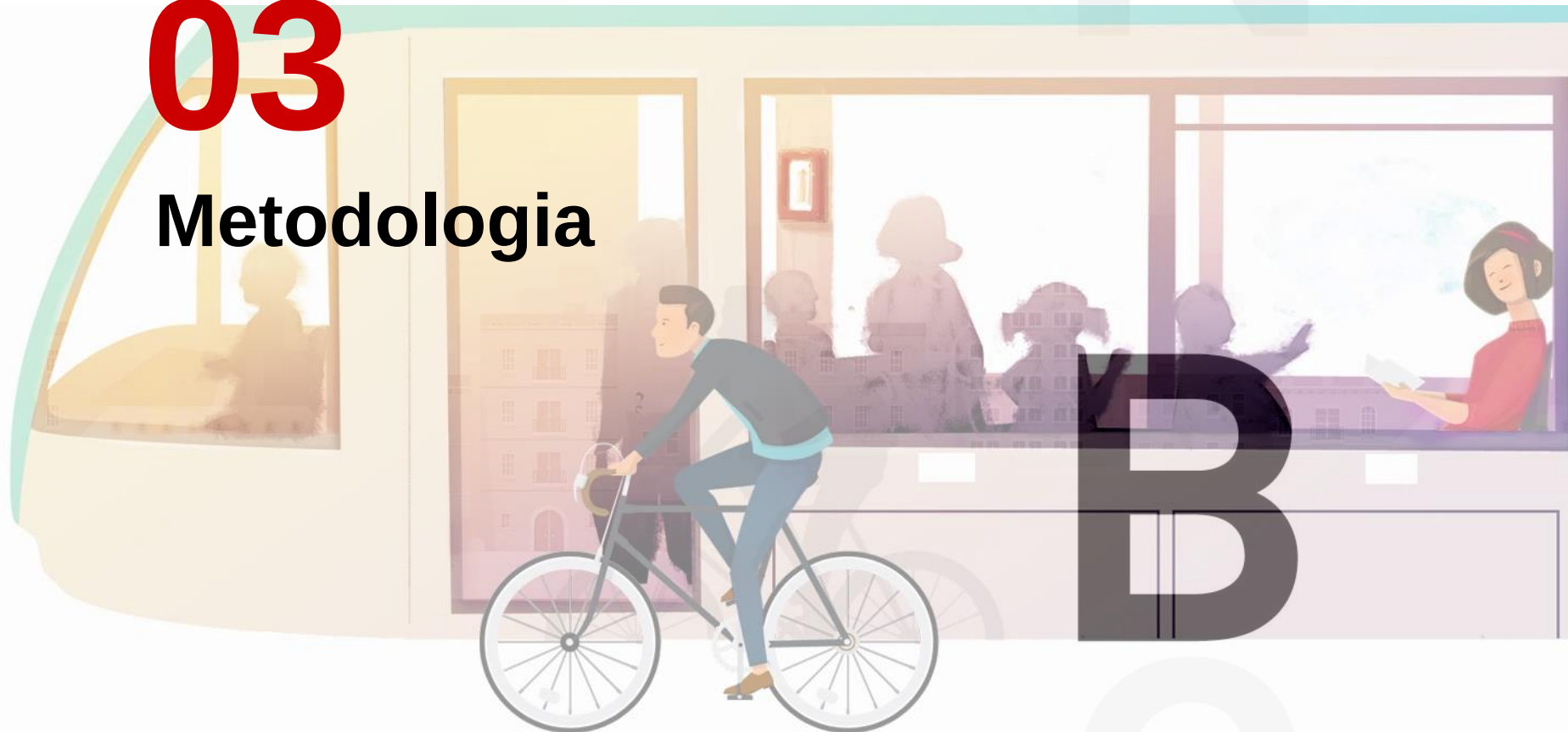
- L'estudi s'ha fet en base al coneixement dels **Estudis Previs i altres complementaris fins a gener del 2017.**
- Les dades del present estudi han estat recopilades i tractades al llarg de l'any 2017.





03

Metodologia



03 Metodologia

- Es tracta d'un eina ad hoc i usada per primer cop a la ciutat de Barcelona, per comprovar la **convivència entre modes de transport en les cruïlles estudiades**.
- L'estudi ha estat desenvolupat pel Centre d'Innovació del Transport (**CENIT**) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- Es basa en un **algoritme específic que incorpora diverses eines de software**, el qual permet harmonitzar no només el tramvia sinó també l'autobús i la resta de modes. Un sistema que s'adapta a problemàtiques concretes amb un software que permet millorar progressivament les solucions.





03 Metodologia

- **Model escalable, flexible i fet a mida** de les característiques específiques de la Diagonal. A partir d'un escenari base s'han analitzat els diferents escenaris corresponents en diversos cicles semaforics.
- Es tracta d'un procés en progrés de manera que a mesura que es realitzen noves iteracions, **el resultat tendeix cap a una solució optimitzada.**

**Es realitzen rèpliques
que permeten obtenir
la solució òptima.**



03 Metodologia

El model ha estat calibrat a partir de:

- Temps de verd mínim als carrers transversals per **garantir el pas dels vianants** amb seguretat.
- Sincronització per **facilitar el pas del bus al tram entre Via Augusta i Passeig de Gràcia**.

El procediment s'organitza en tres fases:

- 1ª. Fase: **Anàlisi dels diferents escenaris possibles**, en funció del temps de cicle i de la freqüència de pas del tramvia (50 iteracions per escenari).
- 2ª. Fase: Estudi en **més detall dels dos millors escenaris** obtinguts a la primera fase.
- 3ª. Fase: **Aprofundiment en l'escenari seleccionat**, on es fan **ajustos sobre la configuració de semàfors per millorar el temps de pas del tramvia i la fluïdesa del trànsit** (100 iteracions per validar el resultat).

03 Metodologia

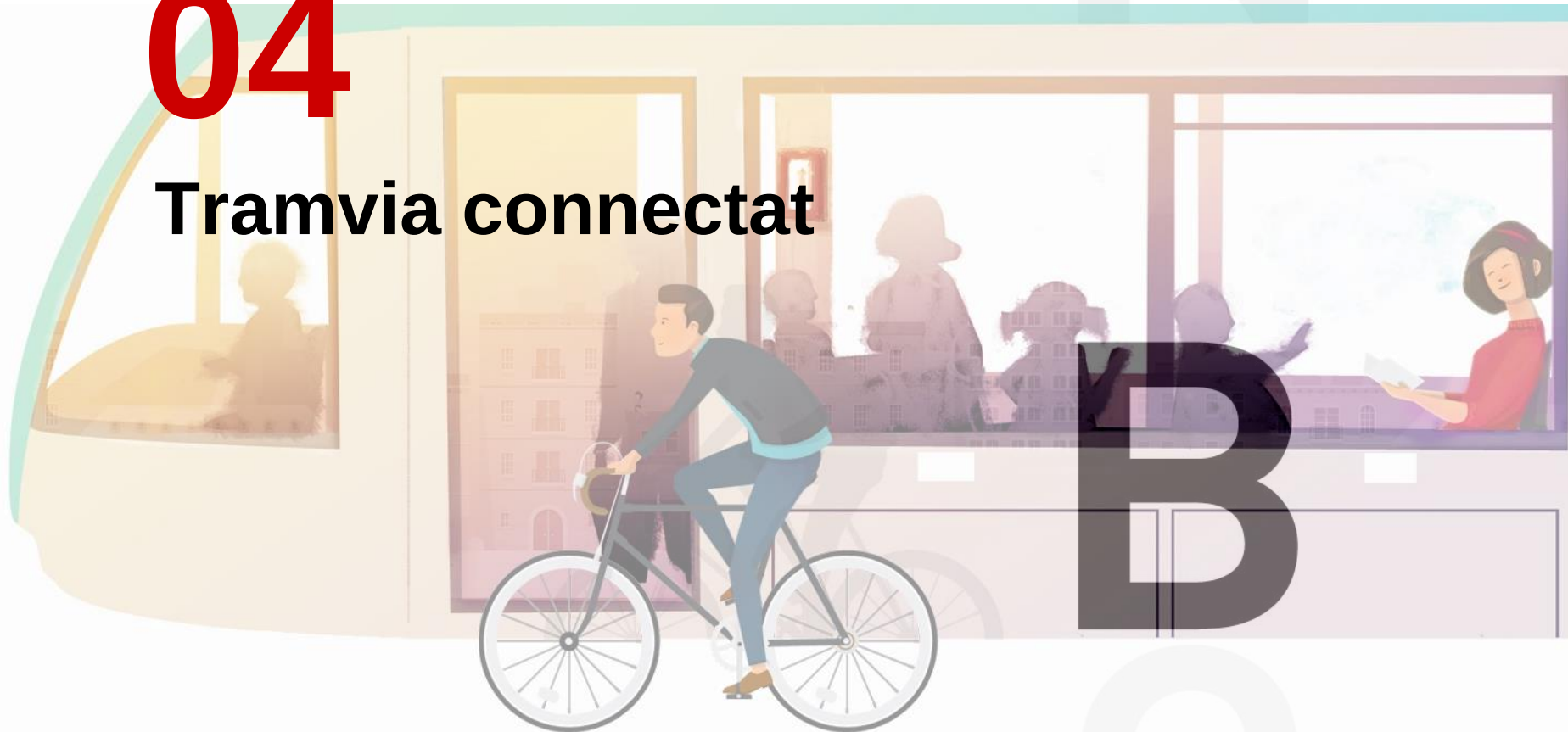
La **funció objectiu** del model matemàtic creat té en compte la **demora mitjana** en els carrils de circulació de **vehicles i autobusos** per cada accés a les interseccions i el **temps d'aturada** amb semàfor vermell per al **tramvia**, **considerant no només la màxima velocitat comercial possible del tramvia**, si no minimitzant, també, el **temps d'espera de l'autobús**.

$$\min_{r,v,\phi,\gamma,n} \quad \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{\substack{j \in N \\ g \in \bar{G}_j}} w_j^g \cdot \frac{\mu_j^g \cdot (r_j^g)^2}{(\mu_j^g - \lambda_j^g) \cdot C}}_{\text{Temps d'espera dels vehicles (privats i autobusos)}} - \underbrace{W \cdot \sum_{(i,j) \in A} \gamma_{ij}^r}_{\text{Temps d'aturada del tramvia amb semàfor vermell}}$$



04

Tramvia connectat





04 Tramvia connectat



S'obté una velocitat mitjana comercial del tramvia molt competitiva, assolint els 17,6 km/h. Es redueix a la meitat el temps de recorregut en transport públic.



04 Tramvia connectat

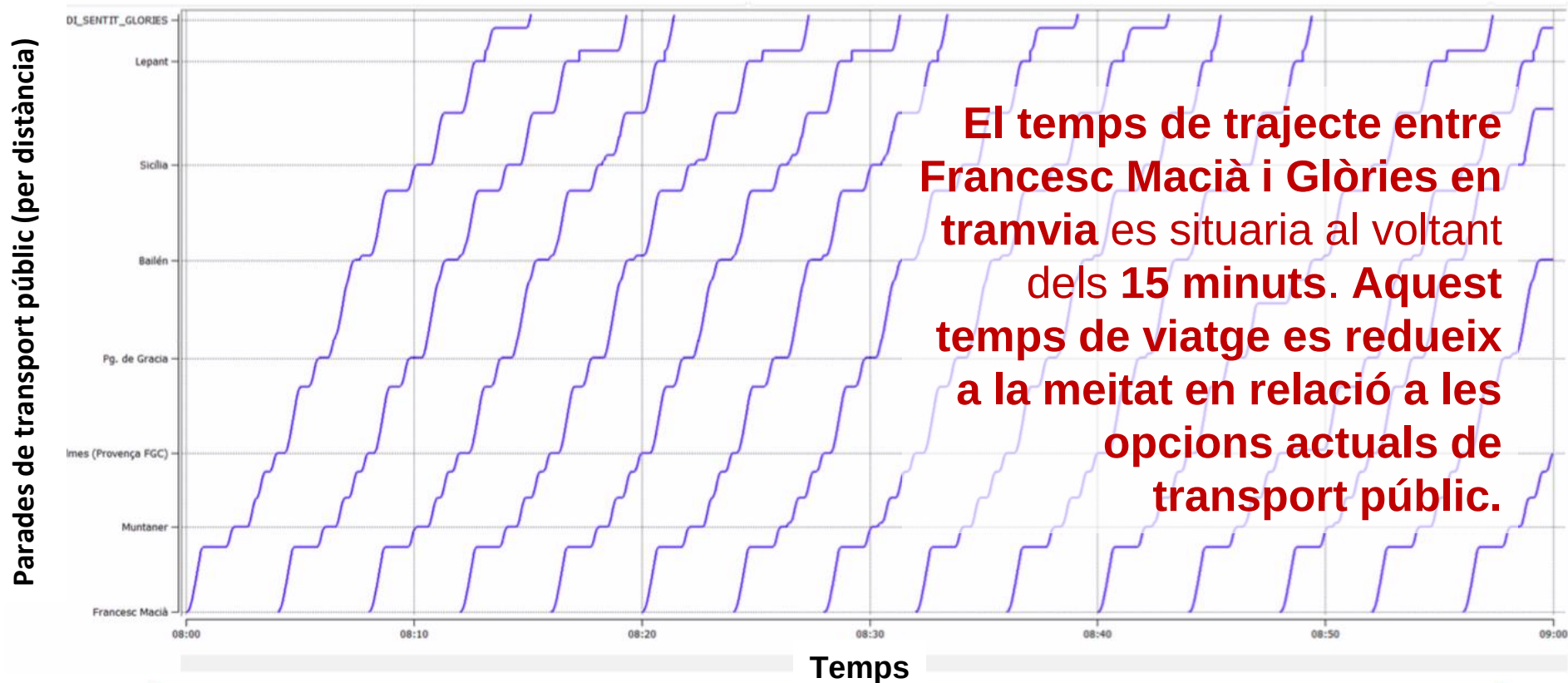
- Amb una correcta regulació semafòrica, optimitzant cada cruïlla, l'estudi preveu que **el tramvia pugui assolir una velocitat comercial mitjana de 17,6 km/h, entre la Plaça Francesc Macià i la Plaça de Glòries, amb una freqüència de pas de 4 minuts.**
- A dia d'avui, el Trambaix circula a una velocitat comercial mitjana de 17,5 km/h i el Trambesòs a 18,0 km/h. Per tant, **la connexió del tramvia per la Diagonal manté la velocitat comercial mitjana actual.**

El tramvia assoleix una velocitat comercial superior a la prevista en els Estudis Previs en el nou traçat, interactuant alhora amb la resta de modes de transport i en l'hora més crítica del dia.



04 Tramvia connectat

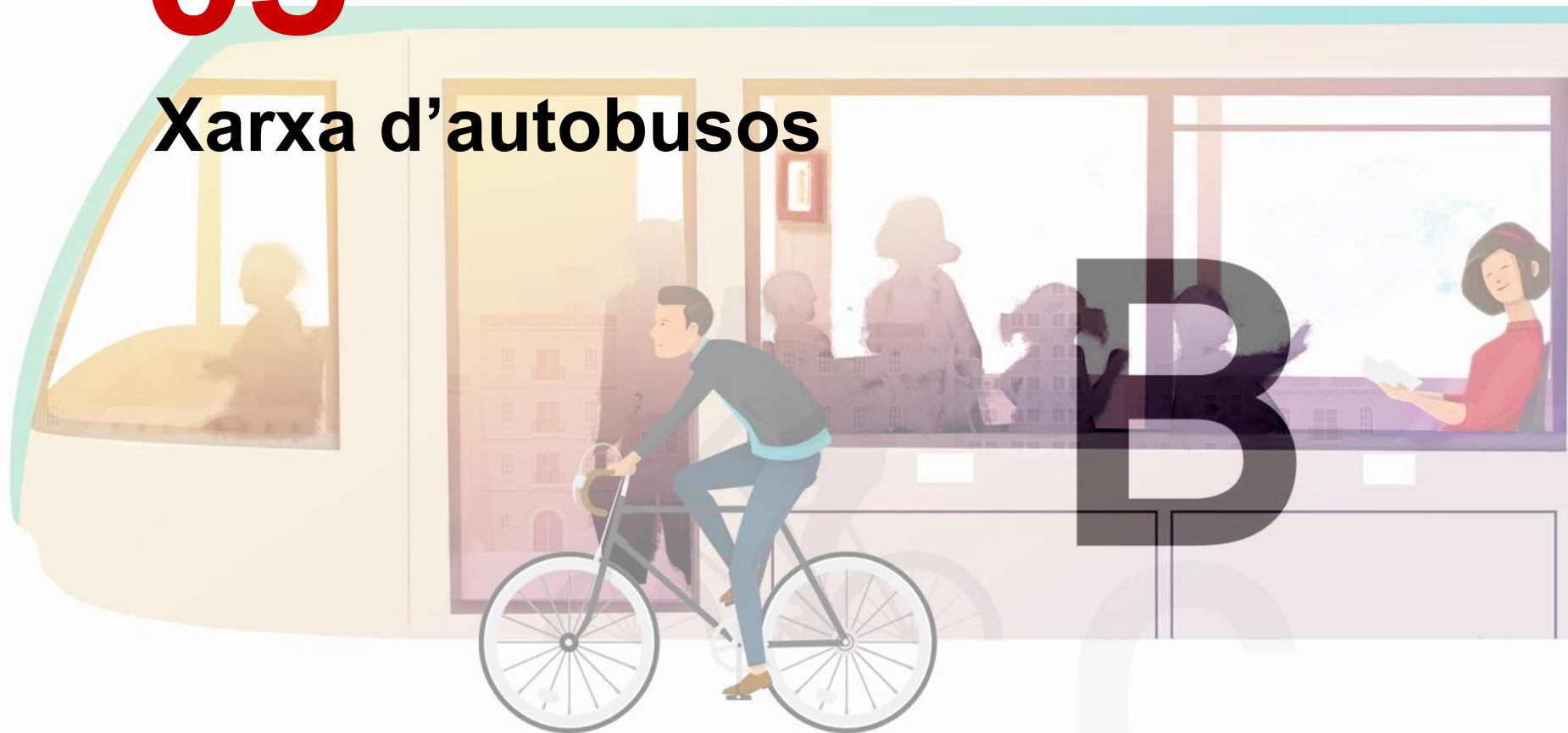
Diagrama Espai-Temps (sentit Glòries)





05

Xarxa d'autobusos





05 Xarxa d'autobusos



**La circulació dels autobusos
pels carrers transversals
millora amb un temps d'espera
menor en la majoria
de les cruïlles.**



05 Xarxa d'autobusos

- En 2 de cada 3 carrers per on els autobusos creuen la Diagonal (65%) **es redueix el temps d'espera en els semàfors.**
- Un **81%** de les 16 línies d'autobús que creuen la Diagonal en l'àmbit d'estudi **milloren els temps actuals d'espera.**

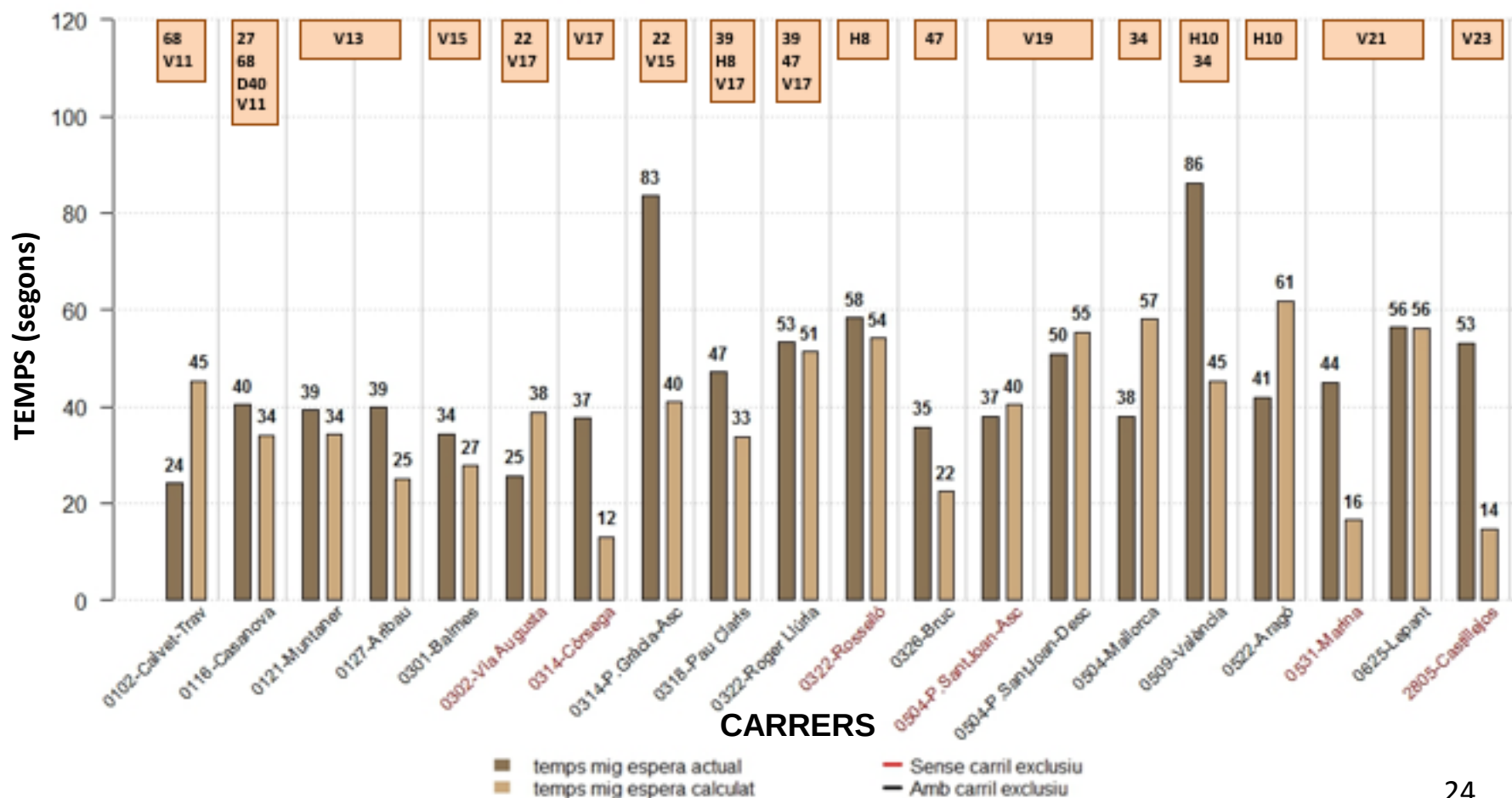
Amb la implantació de la connexió tramviària no només es manté el temps de viatge de la majoria de línies d'autobús, sinó que en molts casos millora, tot garantint un servei òptim als usuaris d'aquest transport públic.



20 carrers estudiats.
13 milloren el temps
mig d'espera.
1 es manté.

05 Xarxa d'Autobusos

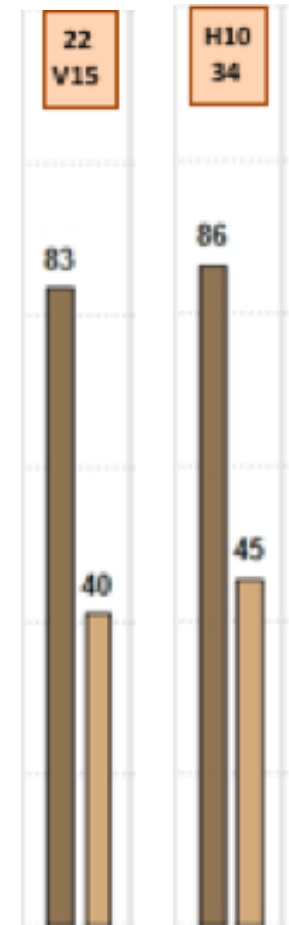
Temps mig d'espera vehicles - Carrers on circulen autobusos





05 Xarxa d'autobusos

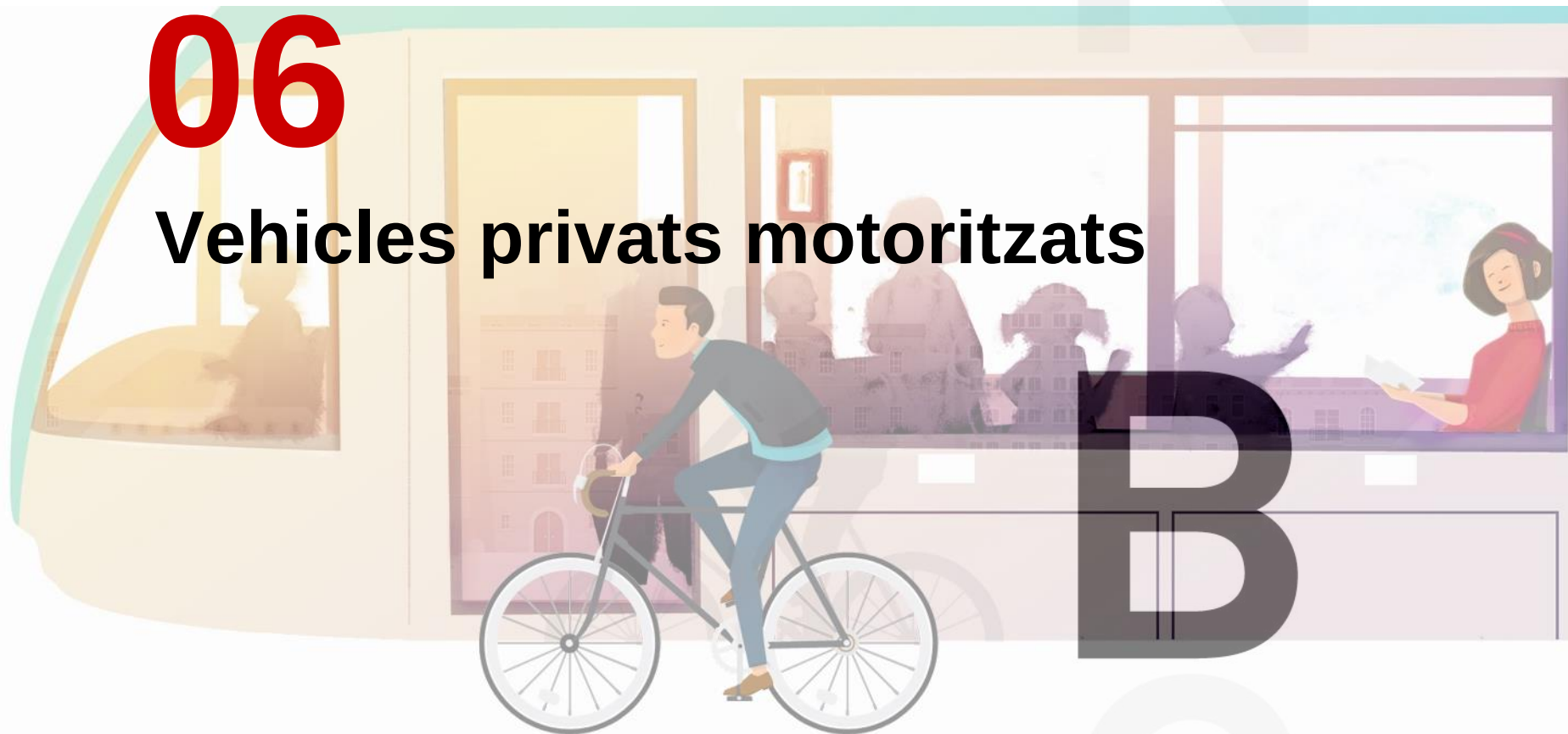
- El temps d'espera mitjà de l'autobús a les cruïlles passa de 46 a 38 segons.
- En les cruïlles de **Passeig de Gràcia i València (pitjors situacions actuals)** el bus millora en un **50%**, passant de **83 i 86 segons a 40 i 45 segons, respectivament.**
- Això permet que les línies 22 i V15 (que creuen per Passeig de Gràcia ascendent), i les H10 i 34 (que travessen per València); redueixin en més de la meitat del seu temps d'espera.





06

Vehicles privats motoritzats





06 Vehicles privats motoritzats



**El vehicle privat
no es veu perjudicat per
la implementació de la
connexió tramviària.**



06 Vehicles privats motoritzats

El temps d'espera

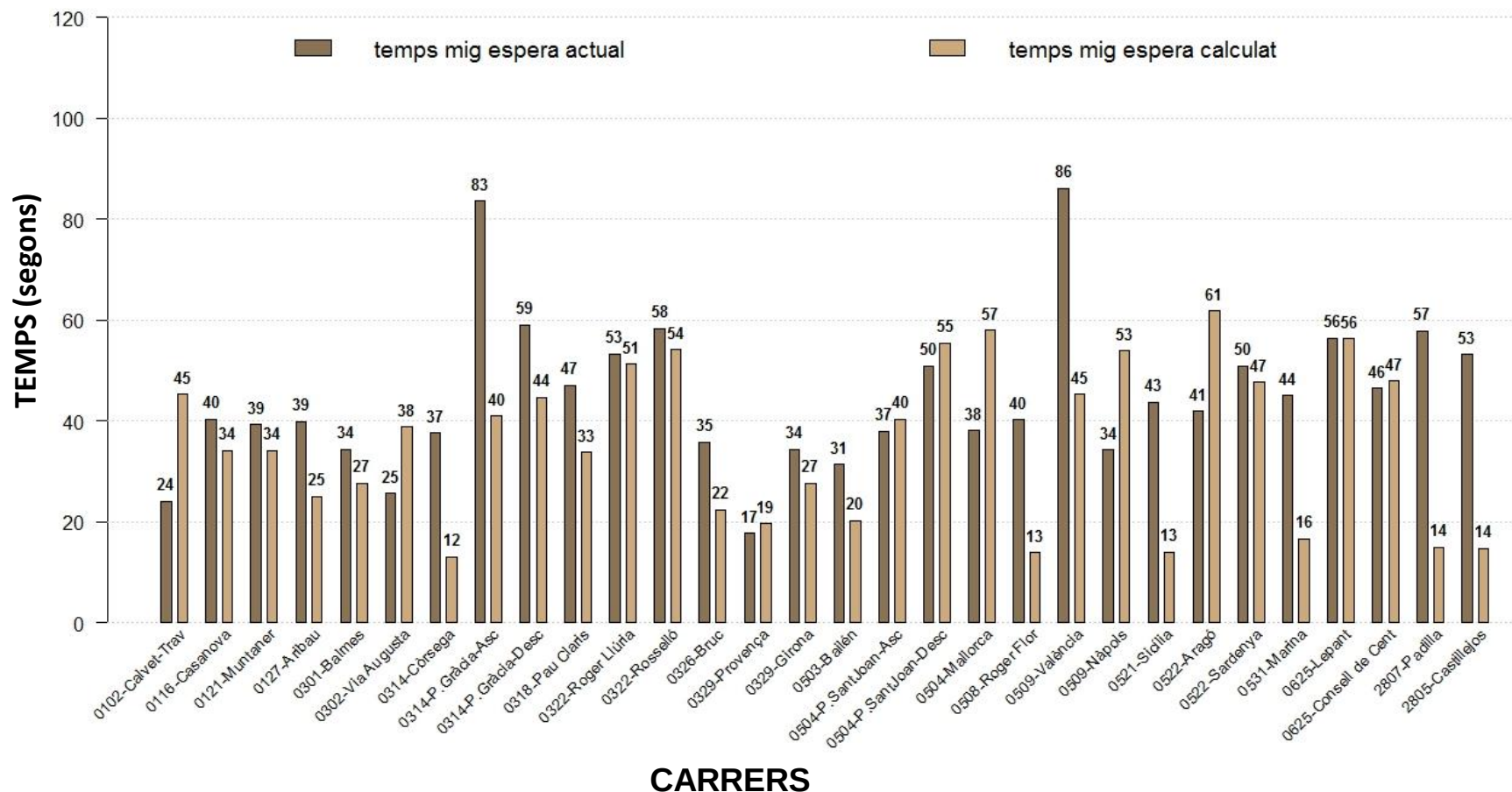
- En el 67% dels carrers que creuen la Diagonal, el vehicle privat experimenta una millora en els temps d'espera en els semàfors.
- En els 30 carrers transversals analitzats, cada usuari d'aquest mode de transport s'estalvia 9 segons de mitjana de temps d'espera, passant dels 44 segons actuals a 35.

Els casos en els que més es millora el temps d'espera són Passeig de Gràcia ascendent (43 segons menys d'espera), Padilla (43 segons), València (41 segons) i Castillejos (39 segons).

30 carrers estudiats.
20 milloren el temps
mig d'espera.
1 es manté.

06 Vehicles privats motoritzats

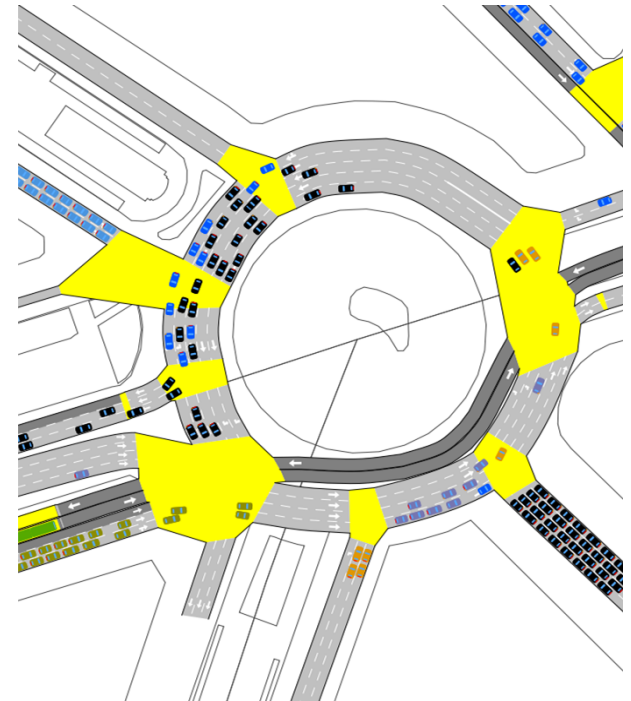
Temps mig d'espera vehicles - Carrers transversals



06 Vehicles privats motoritzats

Les cues

- **20 dels 30 carrers transversals** considerats experimenten **una reducció a les cues de vehicles d'uns 16 metres de mitjana**.
- El total de cua en tots els carrers transversals es redueix **en 7 metres de mitjana**.
- A diverses cruïlles es realitzen disminucions molt substancials de les cues: Passeig de Gràcia ascendent (59 m), València (41 m), Padilla (40 m), Marina i Passeig de Gràcia descendent (25 m) i Castillejos (24 m).

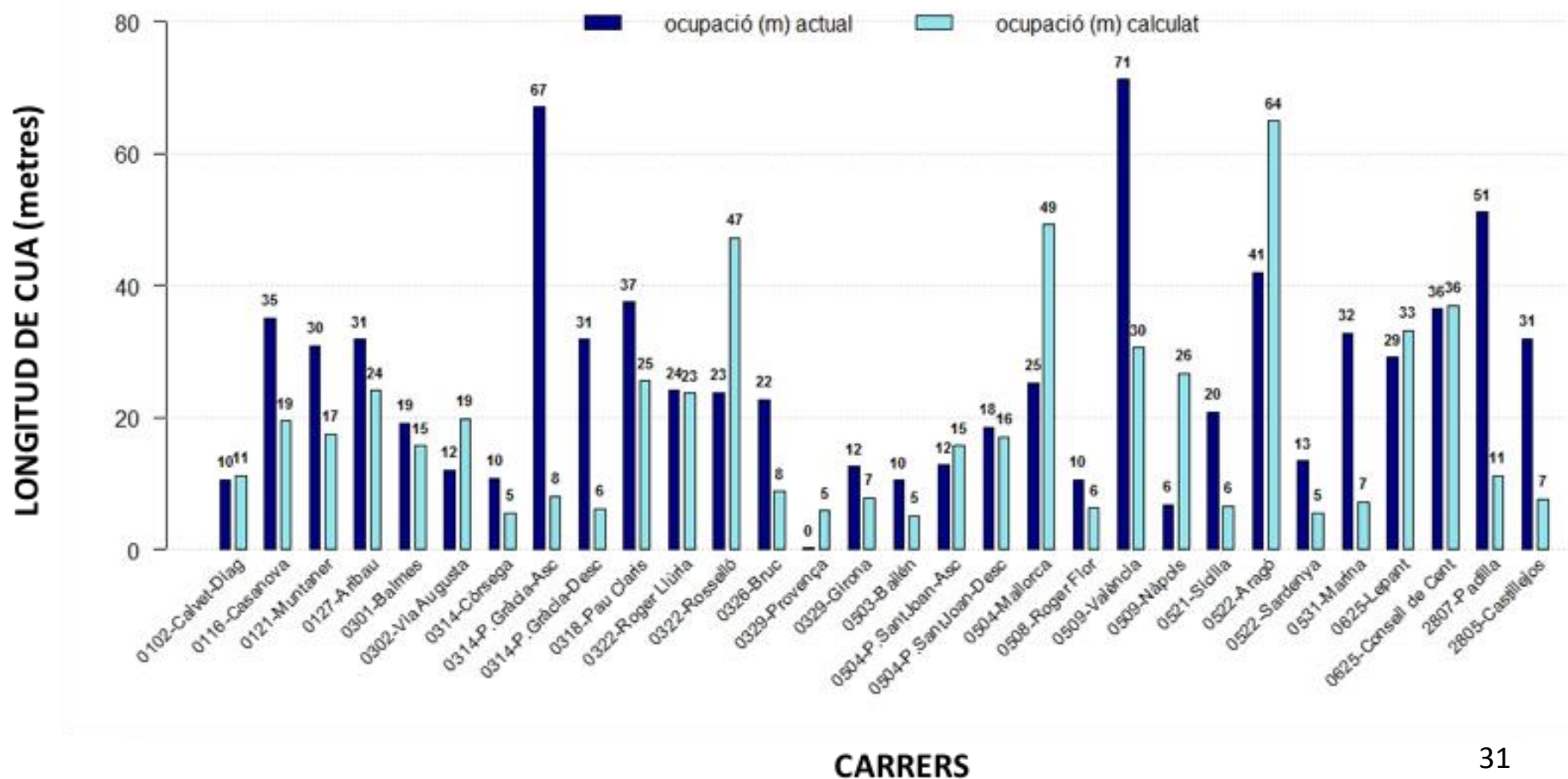


**L'optimització
semafòrica permet
reduir les cues.**

30 carrers estudiats.
20 milloren en
metres de cua.

06 Vehicles privats motoritzats

Ocupació (m) en mitjana per grup semafòric - Carrers transversals





07

Bicicletes i vianants



07 Bicicletes



**Més espai per bicicletes
i més bicicletes a una
velocitat competitiva.**



07 Bicycletes



- Tenint en compte l'optimització semafòrica del tramvia, el recorregut en bicicleta es veu igualment beneficiat per la similitud de velocitats mitjanes entre el tramvia i la bicicleta. **S'estima que un ciclista que circula entre 15 i 20 km/h trigarà 25 minuts, aprofitant l'ona verda.**
- **S'estima que cada ciclista pot guanyar 5 minuts entre Francesc Macià i Glòries.**



07 Vianants



07 Vianants

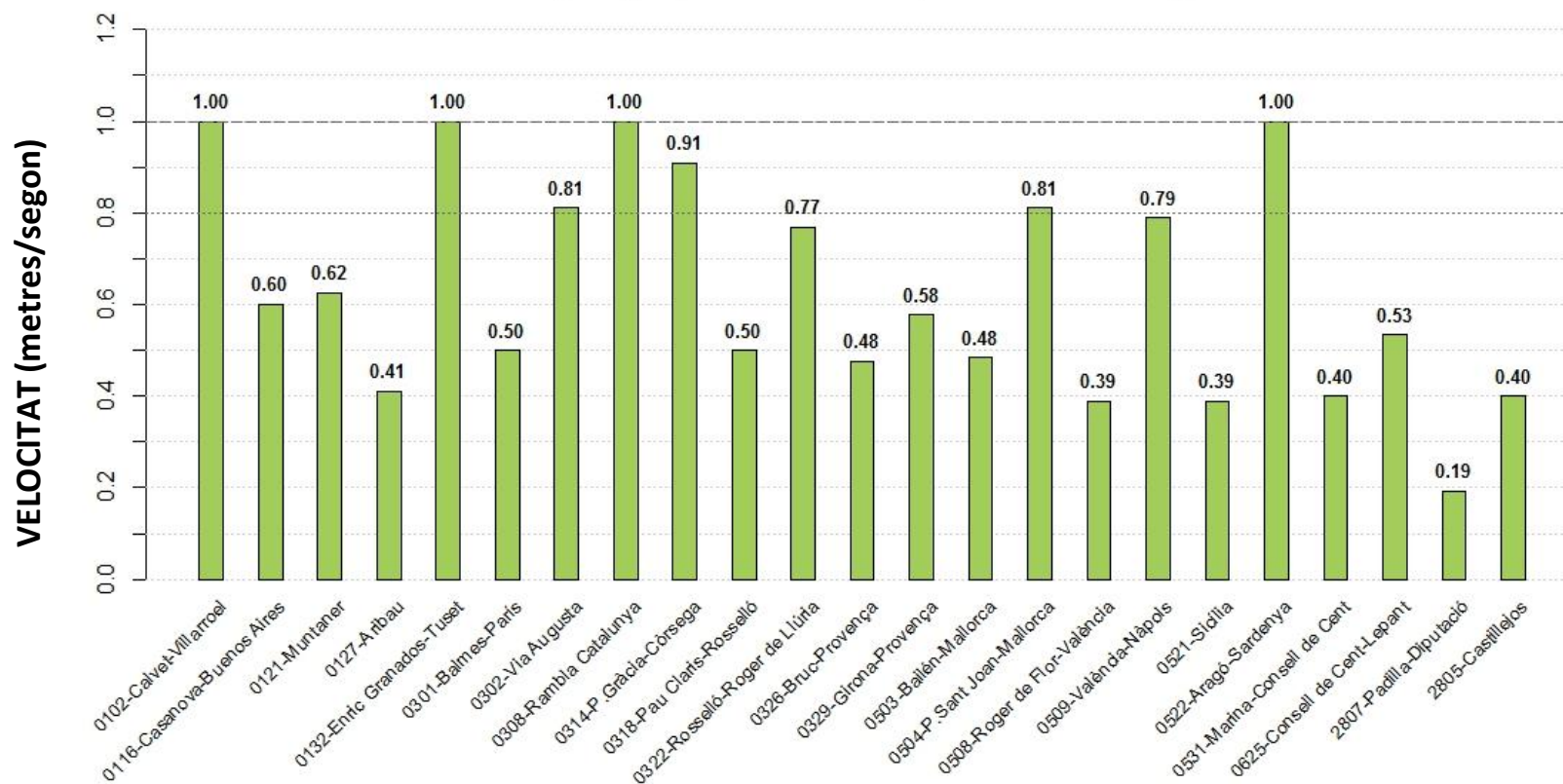
- Per als passos de vianants es garanteixen les mateixes condicions que es donen a la resta de la ciutat, amb **una velocitat de pas d'1,0 m/s**. La modelització s'ha calculat amb aquesta velocitat.
- L'aplicació de la funció objectiu ha determinat **velocitats de creuament inferiors a 0,8 m/s en pràcticament tots els passos de vianants**.
- **19 de les 24 cruïlles s'adeqüen a la velocitat de 0,8 m/s, i les 5 restants es mantenen amb una velocitat mitjana inferior o igual a 1,0 m/s.**



El vianant podrà creuar pràcticament tot aquest tram de la Diagonal a una velocitat de 0,8 m/s.

07 Vianants

Vel.mitjana (m/s) mínima vianants per travessar la Diagonal

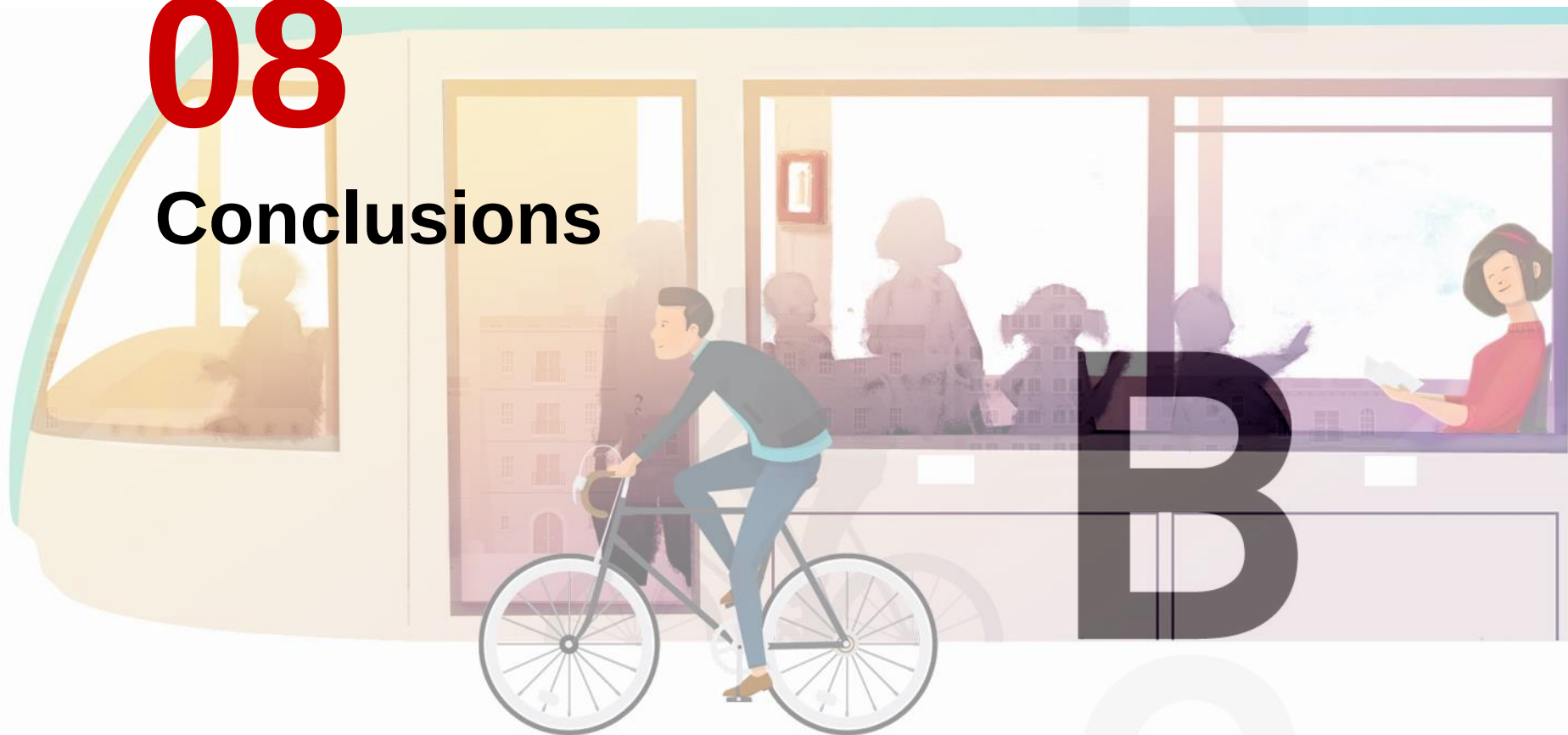


CRUÏLLES



08

Conclusions





08 Conclusions

- L'estudi conclou que **és possible fer passar un tramvia per aquest tram de la Diagonal, a una bona velocitat comercial, garantint alhora la màxima eficiència en la resta de modes de transport públic, millorant en algun cas la circulació d'autobusos i sense augmentar la congestió del vehicle privat.**
- Els vianants i els ciclistes milloren les seves condicions de mobilitat en l'àmbit d'estudi en comparació amb la situació actual.

El tramvia manté la velocitat comercial actual en el tram més complex del nou traçat, essent plenament compatible amb la resta de modes de transport i en l'hora més crítica del dia.



08 Conclusions

- **Els autobusos que creuen la Diagonal** no empitjoren la seva velocitat comercial ni els seus temps d'espera. Els **milloren o mantenen en un 70% dels casos**.
- **No augmenta la congestió dels vehicles:** menys cotxes en marxa, menys embussos, menys contaminació.
- **Més espai per bicicletes, més bicicletes a una velocitat competitiva.**
- **Els vianants no resulten afectats** per la connexió del tramvia: continuen creuant amb comoditat la Diagonal.

El tramvia connectat amb una velocitat comercial competitiva resulta totalment compatible amb la resta de modes de transport.



**Ajuntament
de Barcelona**