

Informe final

Actualització del model nacional de mobilitat. Validació de la simulació macroscòpica i microscòpica - Any 2024

Equip de treball

Aidan Balasch	Tècnic d'Andorra Recerca + Innovació
Oriol Travesset	Coordinador de l'eix Sostenibilitat d'Andorra Recerca + Innovació
Raül Vinyes Raso	Matemàtic UPC, Ingénieur des Ponts ENPC, Enginyer de Camins UPC



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Resum

El treball presentat en aquest informe estudia la validesa del model nacional de mobilitat d'Andorra amb dades actualitzades de desplaçaments al territori. La generació d'un nou set de dades basades en els comptadors permet ajustar la demanda i realitzar un calibratge i validació exemplars del model.

La present actualització confirma la robustesa i validesa del model a dia d'avui com a eina d'ajuda a la presa de decisions i la priorització i optimització en l'ús dels recursos públics. Finalment, també contribueix a informar les noves polítiques en transport públic i privat i a enriquir el debat i la participació ciutadana en el procés d'adopció d'una mobilitat sostenible.

Sumari

1.	Introducció	5
1.1	El model nacional de mobilitat d'Andorra.....	5
2.	Validació del model de simulació macroscòpica i microscòpica	6
2.1	Geometria i paràmetres	6
2.2	Creació del nou Real Data Set (RDS) amb dades de 2024	6
2.3	Ajust de la demanda i simulació macroscòpica	8
2.3.1	Increment homogeni de la demanda de 2021.....	8
2.3.2	Static Assignment de la demanda de 2021 incrementada	8
2.3.3	Static OD Adjustment de la demanda incrementada del 2021	10
2.3.4	Departure OD Adjustment i escenaris resultants.....	12
2.3.5	Validació macro: resultats de la simulació estàtica.....	16
2.4	Simulació microscòpica.....	18
2.4.1	Ajustos geomètrics i paramètrics addicionals.....	18
2.4.2	Validació micro: resultats de la simulació dinàmica.....	22
2.4.3	Validació addicional amb congestió observada	25
3.	Conclusions	28
	Referències	30

1. Introducció

1.1 El model nacional de mobilitat d'Andorra

La Fundació privada del sector públic Andorra Recerca i Innovació treballa des de l'any 2019 en la construcció i el manteniment del model nacional de mobilitat d'Andorra¹ enfocat a realitzar simulacions de trànsit, tant a escala macro com micro. En línia amb la missió de la Fundació, el model està a disposició de les diferents administracions i habitants del país per tal de donar suport a la presa de decisions en polítiques de mobilitat sostenible. Tant l'Àrea de Mobilitat del Govern d'Andorra com el Departament de Transports acompanyen l'evolució del model i estan avançant en l'adopció del mateix per facilitar i millorar la seva presa de decisions.

A banda de la seva vocació pública, un diferencial remarcable d'aquest model — respecte a d'altres que tenen finalitats similars— és que la generació i distribució de viatges s'ha implementat mitjançant les dades geolocalitzades de telefonia mòbil que proporciona Andorra Telecom, a partir de les quals s'han obtingut les matrius de viatges origen-destí (OD).

L'ús de dades de telefonia mòbil aporta una sèrie d'avantatges en la modelització: permet disposar de mostres més representatives, captura viatges de menor rellevància sovint omesos en les enquestes i incrementa la resolució espacial i temporal. Cal remarcar que Andorra Telecom disposa del 100% de la quota de mercat a Andorra, fet que aporta una gran qualitat a la mostra pel que fa a representativitat i biaix. No obstant això, l'ús d'aquestes dades també comporta desafiaments i requereix d'un tractament especial per garantir la privacitat dels usuaris.

El model nacional de mobilitat incorpora en detall la principal infraestructura viària del país i permetia, en la seva darrera versió, la simulació macroscòpica de l'hora punta d'un dia laborable. Aquest escenari havia estat calibrat i validat el 2021 amb dades de 52 detectors de vehicles fixes i 33 de mòbils. En aquest informe en presentem l'actualització amb dades de detecció de l'any 2024 i la seva validació tant a nivell macroscòpic com microscòpic, el que en multiplica el camp d'aplicacions possibles.

¹ Més informació a <https://ari.ad/projectes/model-nacional-mobilitat>

2. Validació del model de simulació macroscòpica i microscòpica

L'actualització del model amb dades de 2024 ha estat tant a nivell geomètric i paramètric com de dades de demanda. S'ha començat per la seva vessant macroscòpica, per acabar estudiant i validant el comportament de la simulació microscòpica. Es tracta d'un procés iteratiu que es presenta tot seguit de manera lineal per a una millor comprensió.

2.1 Geometria i paràmetres

S'ha fet una revisió exhaustiva de la geometria de la xarxa mitjançant l'eina d'Aimsun *check and fix*, la qual cosa ha permès eliminar redundàncies i definir prioritats en vies secundàries. Aquest pas és essencial de cara a la posterior etapa de simulació microscòpica.

També s'han introduït millores, per exemple a la rotonda d'Anyós i a la Borda Sabater, on s'han revisat traçats, velocitats, tipus de via (*road type*), carrils i altres paràmetres. S'ha preparat la nova geometria de Prat del Rull, tot i que no s'ha activat ja que les dades de 2024 corresponen als primers mesos de l'any, quan la modificació de la rotonda encara no estava executada.

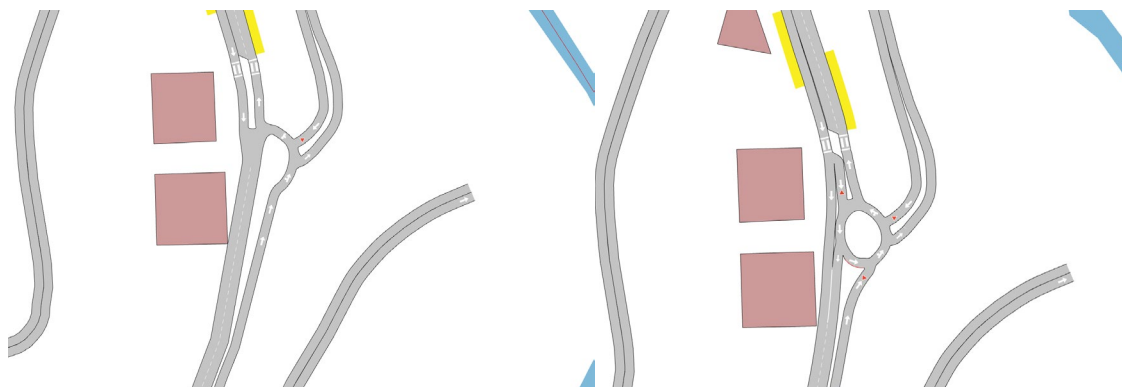


Figura 1. Millora en la representació gràfica de la rotonda d'Anyós

2.2 Creació del nou Real Data Set (RDS) amb dades de 2024

S'ha creat un nou Real Data Set² (arxiu de demanda) usant dades dels comptadors (espires i Thermicams) entre febrer i juny de 2024, compartides per l'Àrea de Mobilitat.

² Codi disponible a <https://github.com/andorra-ri/mobilitat-rds>

Respecte el darrer calibratge realitzat amb dades del període maig 2020 - gener 2022 (AR+I, 2024), hi ha 19 comptadors d'espires menys que registrin dades fiables, per la qual cosa s'ha perdut informació rellevant de la demanda en punts com l'entrada sud de Santa Coloma. Tampoc es disposa en aquesta ocasió de les dades dels comptadors mòbils (33) que donaven una imatge més precisa dels fluxos de vehicles en les artèries secundàries i terciàries de la Vall Central.

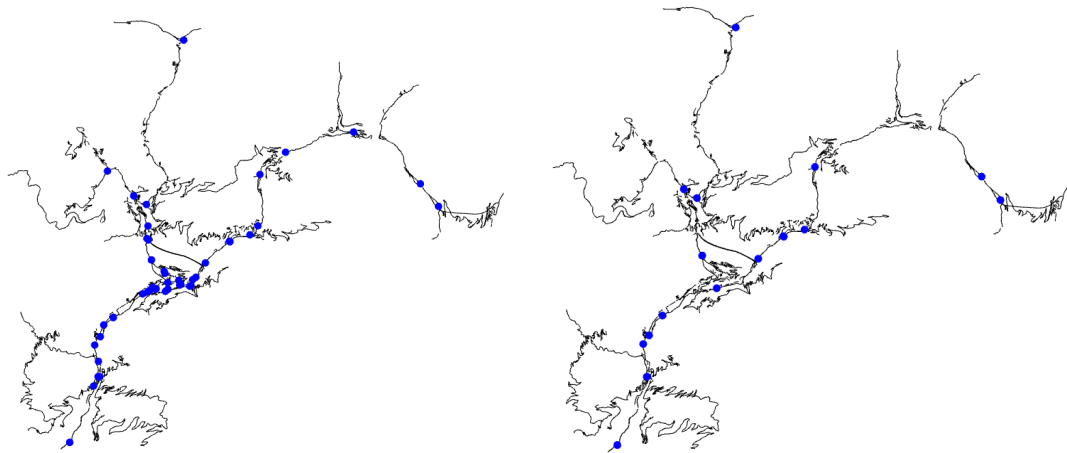


Figura 2. Punts de control dels RDS corresponents a 2021 (85 punts) i a 2024 (33 punts)

A continuació es mostren els dies de 2024 dels qual s'han extret dades dels comptadors. S'han eliminat festius i caps de setmana per tal de reflectir el millor possible el pic de matí d'un dia feiner. Els valors comencen a finals de febrer per tal de coincidir amb l'inici dels valors del RDS 2021.

January 2024							February 2024							March 2024						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
																		1	2	3
														4	5	6	7	8	9	10
														11	12	13	14	15	16	17
														18	19	20	21	22	23	24
							26	27	28	29										
														25	26	27	28	29	30	31
April 2024							May 2024							June 2024						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
1	2	3	4	5	6	7			1	2	3	4	5						1	2
8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9
15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16
22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23
29	30						27	28	29	30	31	24	25	26	27	28	29	30		

Figura 3. Calendari mostrant els dies usats en la construcció del nou RDS

En termes qualitatiu, s'observa un increment del flux (*flow*) de vehicles en gairebé tots els comptadors. Aquest increment, que varia del 5% al 15% en el pic de demanda pels punts més transitats, ens servirà com a referència per calibrar i validar el model amb les dades de 2024. A continuació les dades mitjanes registrades a la Margineda, sentit nord, a mode d'exemple.

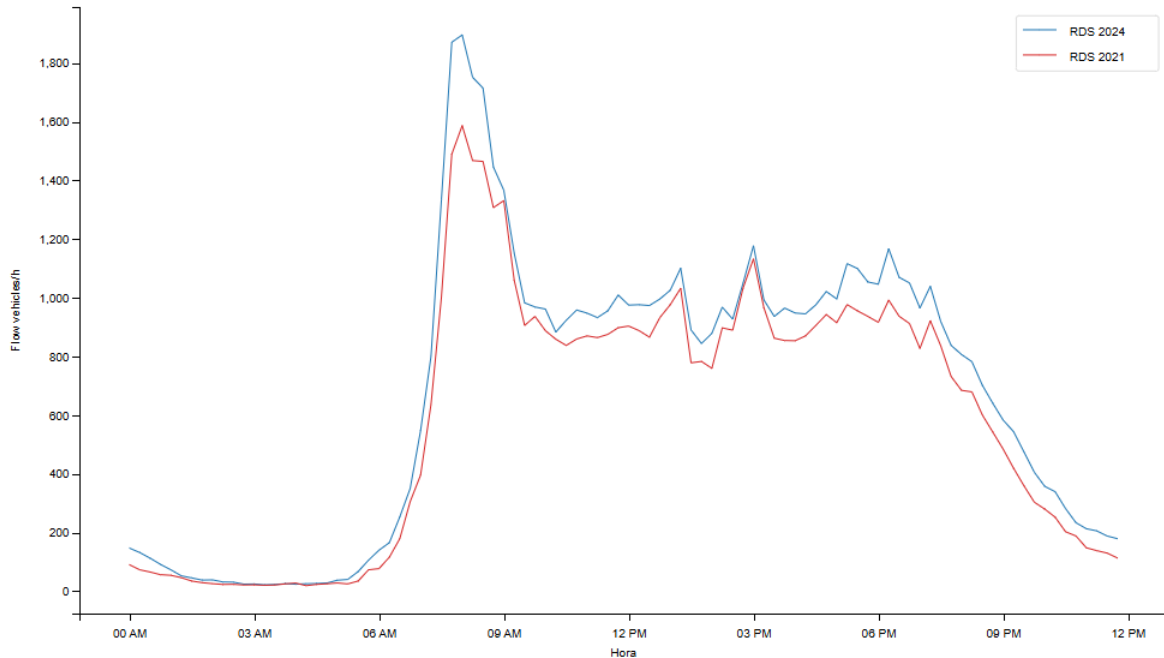


Figura 4. Comparativa del flux mitjà de vehicles al llarg del dia a la Margineda, sentit nord, entre l'RDS del 2021 i el del 2024

2.3 Ajust de la demanda i simulació macroscòpica

2.3.1 Increment homogeni de la demanda de 2021

En primer lloc, incrementarem tota la demanda un tant per cent de manera homogènia. Si féssim un ajust directament, tots aquells parells Origen-Destinació (*OD pairs*) per on no passa una ruta amb detectors (dades reals al RDS) no canviarien el seu nombre de viatges. En una primera anàlisi del nou RDS s'observa un creixement força generalitzat. Així doncs, aplicarem un increment del 5%, 10%, 15% i observarem les validacions de l'assignació estàtica (*Static Assignment*).

2.3.2 Static Assignment de la demanda de 2021 incrementada

En el primer *Static Assignment* de la demanda de 2021 comparant amb el RDS 2024, observem que la recta de regressió té un pendent menor a 1, denotant que estem baixos de flux, per tant baixos de demanda en general.

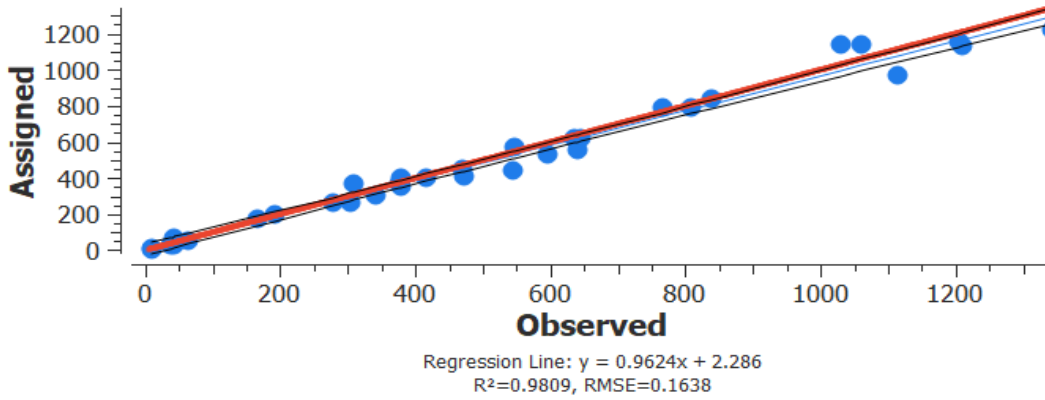


Figura 5. Recta de regressió de l'Static Assignment de la demanda de 2021 (assignat) comparat amb el RDS 2024 (observat)

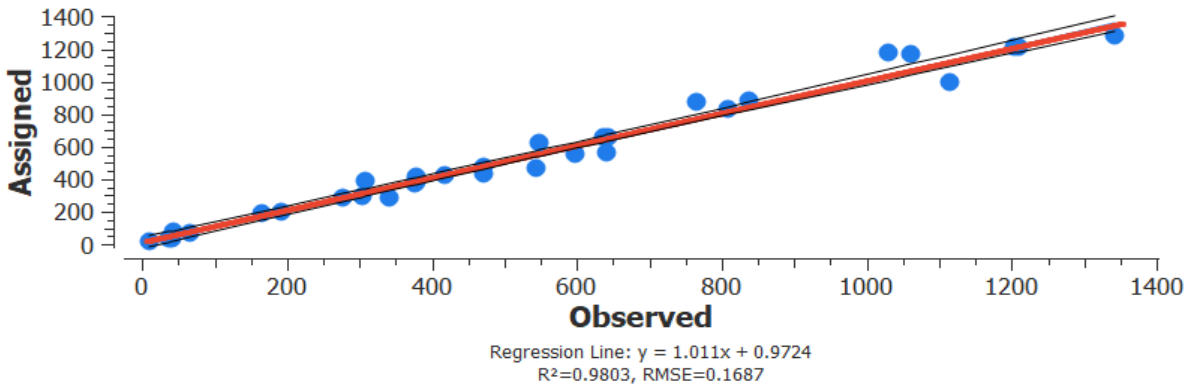


Figura 6. Recta de regressió de l'Static Assignment de la de la demanda de 2021 incrementada un 5% comparat amb el RDS 2024

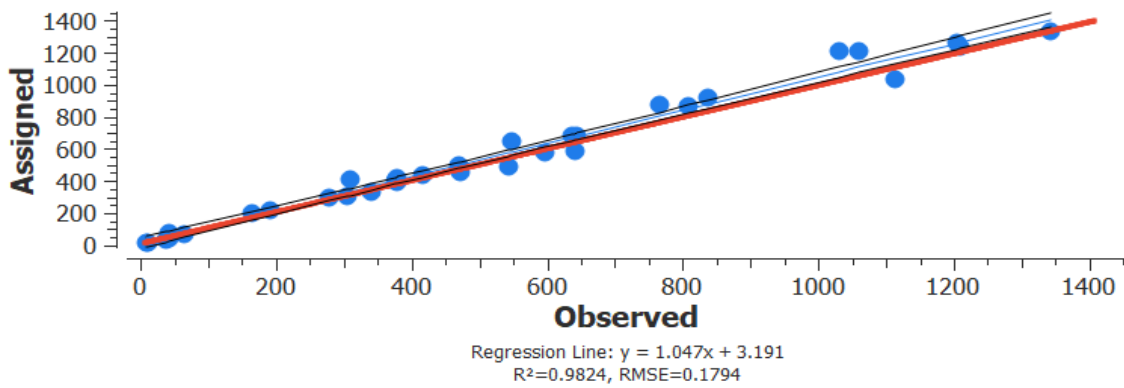


Figura 7. Recta de regressió de l'Static Assignment de la demanda de 2021 incrementada un 10% comparat amb el RDS 2024

L'augment del 5% és el que produeix un millor ajust (pendent de la recta de regressió proper a 1). Així doncs, no cal testejar l'augment del 15%. Passarem ara a l'Ajust Estàtic OD (*Static OD Adjustment*).

2.3.3 Static OD Adjustment de la demanda incrementada del 2021

Utilitzant la demanda de 2021 incrementada homogèniament un 5% com a base, fem un ajust estàtic amb diferents matrius de desviació màxima (5%, 10% i 15%). Com la demanda és la mateixa i només canvia la matriu de desviació màxima, fem tres experiments dins el mateix escenari. Les matrius de desviació màxima permeten limitar l'ajust de les matrius per tal d'obtenir uns resultats el més realistes possibles.

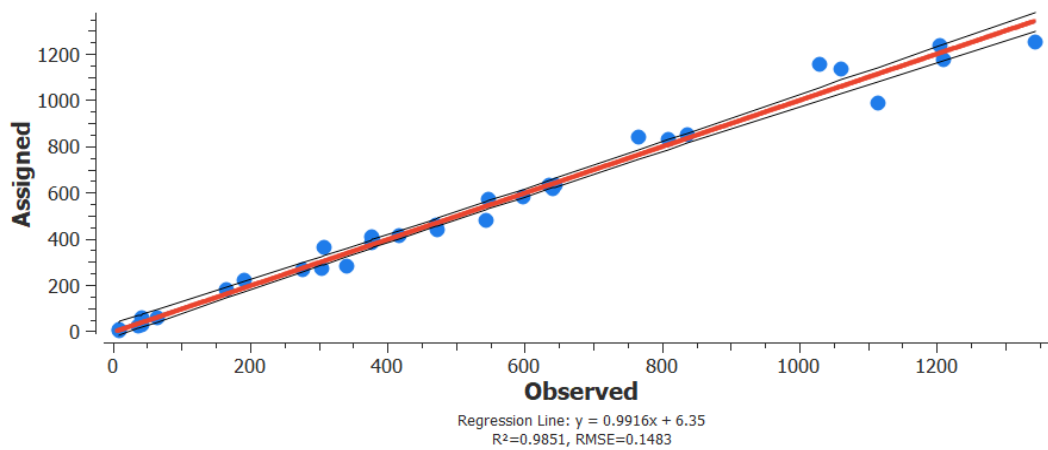


Figura 8. Validació de l'*Static Assignment* de la demanda de 2021 incrementada un 5% homogèniament ajustada contra el RDS 2024 amb una matriu de desviació màxima del 5%

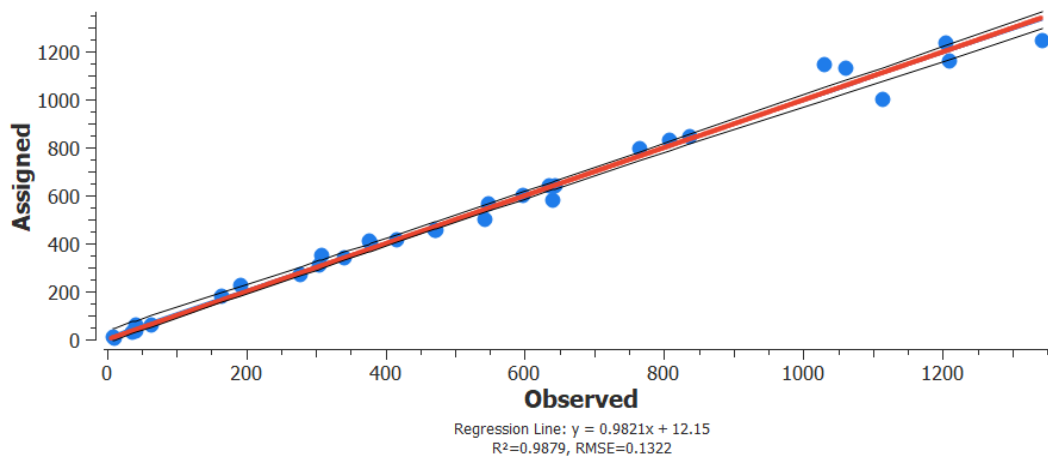


Figura 9. Validació de l'*Static Assignment* de la demanda de 2021 incrementada un 5% homogèniament ajustada contra el RDS 2024 amb una matriu de desviació màxima del 10%

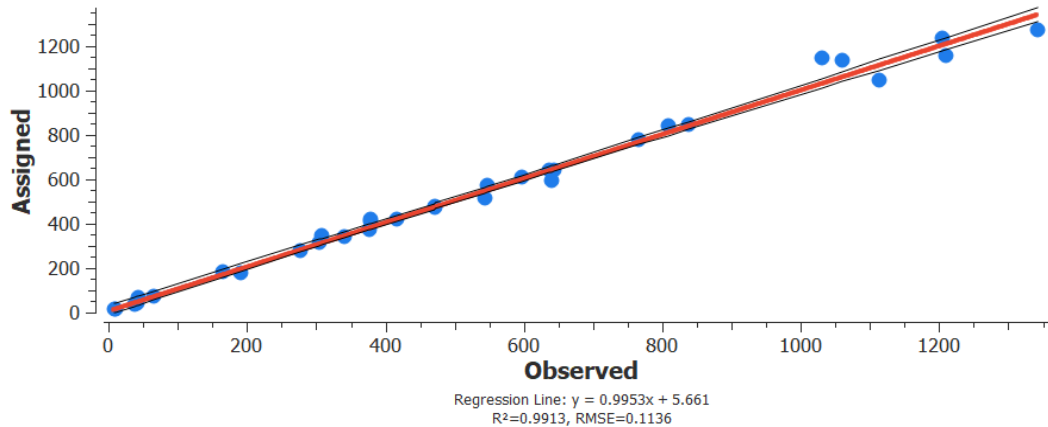


Figura 10. Validació de l'Static Assignment de la demanda de 2021 incrementada un 5% homogeniament ajustada contra el RDS 2024 amb una matriu de desviació màxima del 15%

Per cada ajust també es pot veure com han canviat els parells OD respecte a la demanda original. Es veu clarament com la matriu de desviació màxima delimita el percentatge de diferència que permet.

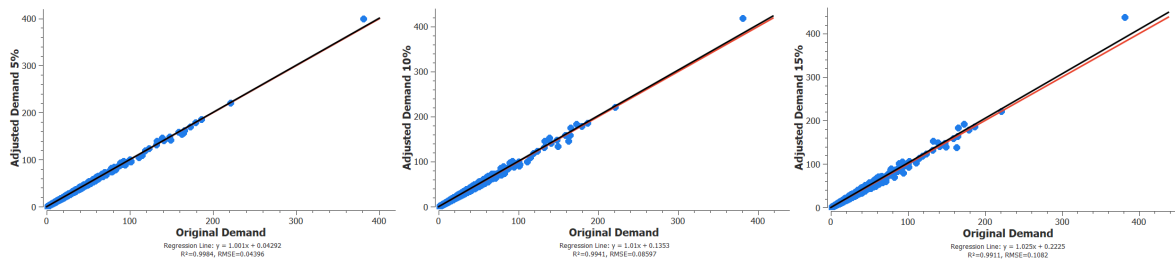


Figura 11. Variació dels parells OD respecte a la demanda original pels tres sub-escenaris

També és important comprovar, després de l'ajust, que la distribució de les longituds dels viatges (percentatge de viatges d'1km, 2km, ... 20km) no canvia en excés, especialment que no es generen molts més viatges curts. Això denotaria que, per quadrar algun detector, s'està incrementant molt la demanda local: aquesta és més fàcil de quadrar que no pas incidint sobre la demanda d'altres sectors (amb rutes que també passarien per sobre d'altres punts de detecció real).

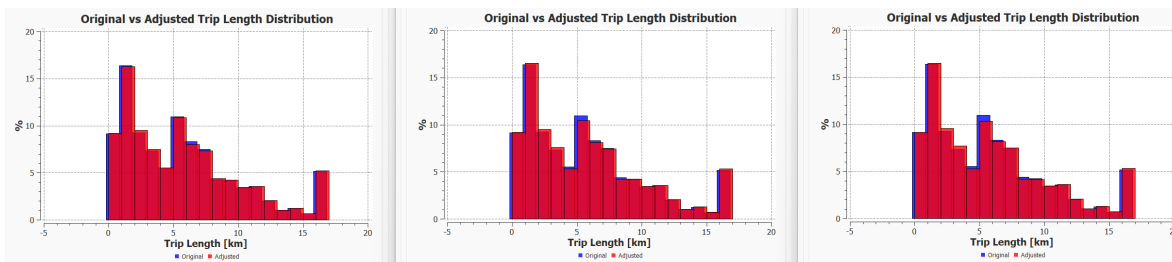


Figura 12. Variació de la distribució de la longitud dels viatges pels tres subescenaris

Per tal d'entendre com evoluciona la validació amb cada ajust, creem una taula de validació. Mirem la diferència absoluta per identificar millor els punts conflictius i saber si milloren. També calculem la mitja del valor absolut de les diferències absolutes per entendre globalment quin ajust dona millors resultats de validació.

DETECTORS		01.A Base 2021	01.B Base 2021 +5% Assignment	02.A Base 2021 +5% + StaticAdj (DevMax5%)	02.A Base 2021 +5% + StaticAdj (DevMax10%)	02.A Base 2021 +5% + StaticAdj (DevMax15%)	
1.797E-09	Detector Station Poblado Sud pujada	8,5_N	81.6	110.3	75.9	71.2	71.9
1.797E-09	Detector Station C. Unió- Ctra. Obac baixada	8,8_S	-81.7	5.7	-32.2	-45.6	-51.4
1.797E-09	Detector Station C. Unió- Ctra. Obac pujada	8,8_N	-144.4	-115.6	-124.5	-110.4	-69.7
1.798E-09	Detector Station Thermicam la Massana	1005	27.2	68.6	25.5	17.8	22.9
1.798E-09	Detector Station Thermicam Encamp	1007	-14.6	24.7	22.6	21.0	32.9
1.798E-09	Detector Station Thermicam Margineda pujada	1003	-125.0	-64.3	-92.7	-97.5	-72.8
1.798E-09	Detector Station Thermicam Margineda baixada	1004	2.6	44.5	13.5	8.1	6.1
1.798E-09	Detector Station Thermicam Riu Runer pujada	1001	-99.3	-77.1	-59.9	-42.7	-31.6
1.798E-09	Detector Station Thermicam Riu Runer baixada	1002	99.8	78.3	59.1	49.9	31.6
1.798E-09	Poblado Sud 1	8,5_S	-11.3	19.1	1.0	3.4	4.4
1.798E-09	Pont de Santa Coloma 1	8,2_S	-19.2	11.2	-6.9	-4.6	-3.5
1.798E-09	Pont de Santa Coloma 2	8,2_N	113.2	144.8	124.2	117.6	116.0
1.798E-09	Serrat Nord 1	5,14_S	-4.2	-3.9	-3.6	-3.7	-3.4
1.798E-09	Serrat Nord 2	5,14_N	-11.6	-10.3	-9.0	-7.7	-6.6
1.798E-09	Bombers La Massana 2	5,13_N	-19.9	-0.3	-8.6	-15.9	-1.6
1.798E-09	Bombers La Massana 1	5,13_S	21.8	31.1	18.4	24.5	35.5
1.798E-09	Cementiri Canillo 2	5,10_N	-64.0	-43.8	-28.1	-15.3	-5.5
1.798E-09	Cementiri Canillo 1	5,10_S	-24.0	-6.5	8.0	22.7	27.0
1.798E-09	Variant Nord 1	4,3_S	-63.9	-47.7	-13.7	3.6	11.5
1.798E-09	Prat del Colat 2	4,12_N	-10.2	3.0	-5.0	-7.8	-1.9
1.798E-09	Prat del Colat 1	4,12_S	-18.6	1.3	-1.3	-1.4	0.3
1.798E-09	Thermicam Pedrera sentit Escaldes	1006,1	-37.5	-60.8	-55.2	-4.4	-1.5
1.798E-09	Thermicam Pedrera sentit Tunel Pont Pla	1006,2	28.2	106.1	75.1	29.0	8.6
1.798E-09	Thermicam Encamp baixada	1008	-47.7	9.8	33.3	33.3	30.2
1.798E-09	Thermicam Bordes Envalira pujada	1009	9.1	17.7	17.3	15.6	13.3
1.798E-09	Thermicam Bordes Envalira baixada	1010	-9.2	-6.6	-4.0	-1.6	-0.1
1.798E-09	Plaça Lauredia 3	3,5,1	22.8	26.1	22.7	20.2	17.1
1.798E-09	Plaça Lauredia 2	3,5,2	9.6	2.2	34.6	36.9	-19.7
1.798E-09	Plaça Lauredia 1	3,5,3	-7.9	-7.0	34.5	36.2	-7.7
1.798E-09	Grau Roig 3	4,10,3	0.2	0.7	0.5	0.3	0.7
1.798E-09	Grau Roig 4	4,10,4	-12.0	-10.5	-9.0	-7.5	-7.1
1.798E-09	Variant Sud Encamp 1	4,102,1	-85.0	-77.8	-21.0	-58.3	-50.5
1.798E-09	Variant Sud Encamp 3	4,102,3	-39.5	-16.0	-27.3	7.5	5.8
Mean			40.2	38.0	32.4	28.8	23.8

Figura 13. Taula de validació per l'escenari base i els tres sub-escenaris ajustats

Com més llibertat li donem a l'ajust (i. e. major percentatge de desviació màxima), més millora la validació, lògicament. Però també es pot observar que, tot i augmentar la llibertat, hi ha certs punts que no milloren, i d'altres que milloren poc entre el 10% i el 15% de desviació màxima.

Es realitza alguna prova més d'ajust, provant de deixar més lliure el centroide d'entrada per la frontera (amb una nova matriu de desviació màxima on s'augmenten tots els parells OD que inclouen la frontera) i també ajustant la demanda incrementada un 10%. No obstant, no s'aconsegueixen millors resultats.

2.3.4 Departure OD Adjustment i escenaris resultants

Per tal de perfilar novament la demanda en franges de 15min és necessari fer un Ajust de Sortides OD (*Departure OD Adjustment*). Ara també es pot limitar l'ajust amb una matriu de desviació màxima i mirar com ha canviat el nombre total de viatges i el perfil de demanda.

En base als resultats anteriors, s'aplicarà un *Departure OD Adjustment* a la demanda de 2021 incrementada un 5% homogèniament i a aquesta mateixa demanda incrementada ajustada contra el RDS 2024 amb una matriu de desviació màxima del 15%. En el primer cas, es permetrà, d'una banda, un màxim de desviació del 15% i, de l'altra, no s'establirà cap limitació. En el segon cas, es limitarà la desviació màxima al 15%. En resulten els següents escenaris:

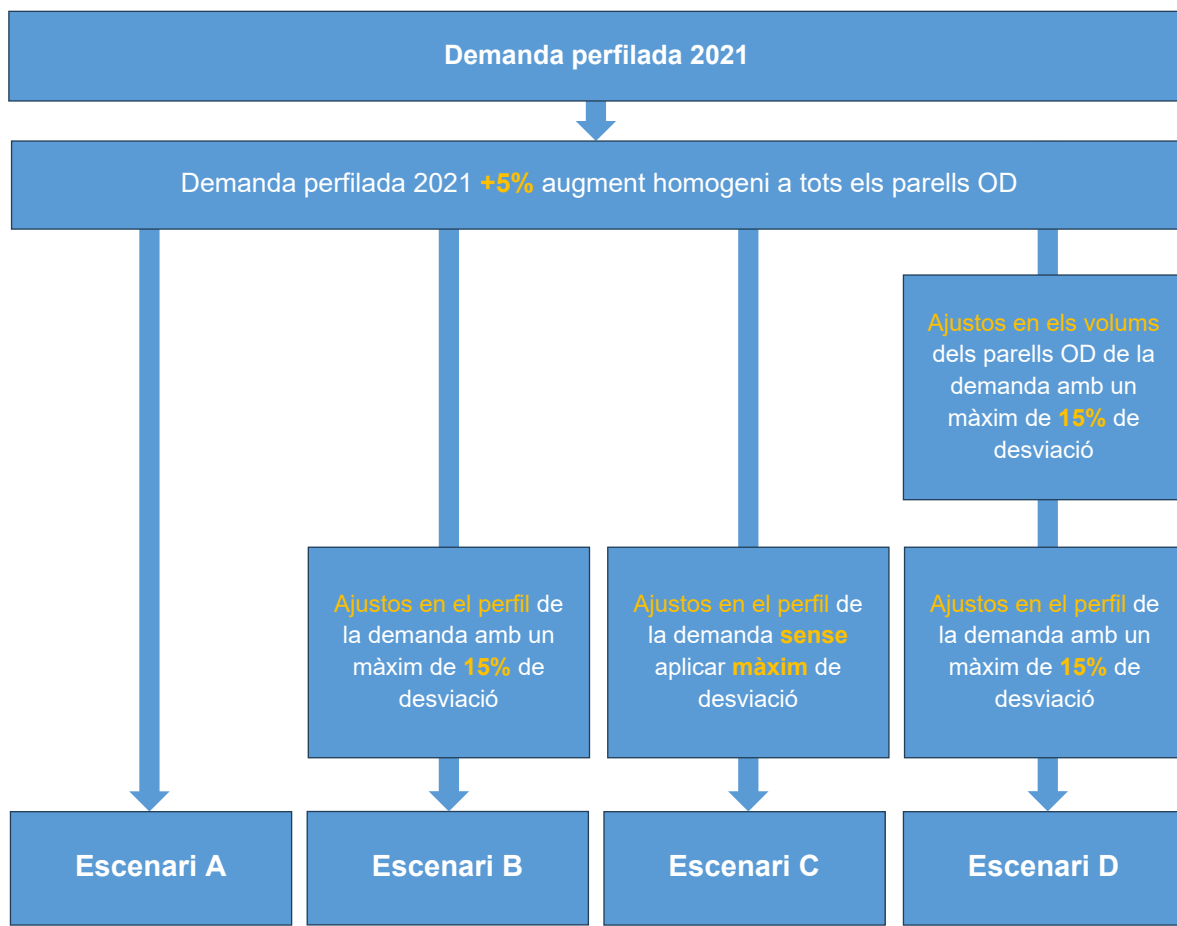
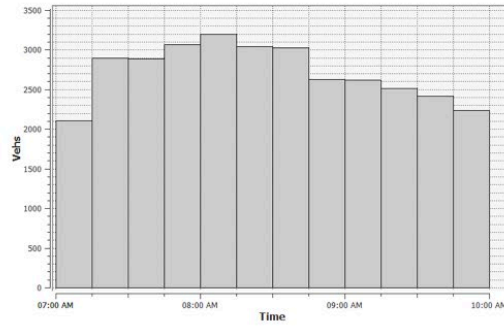


Figura 14. Resum dels quatre escenaris seleccionats

Amb els ajustos en el perfil de la demanda s'observa un pic més pronunciat de sortides en comparació amb la demanda original del 2021, que presentava un perfil més pla. En mostrem els resultats a continuació.

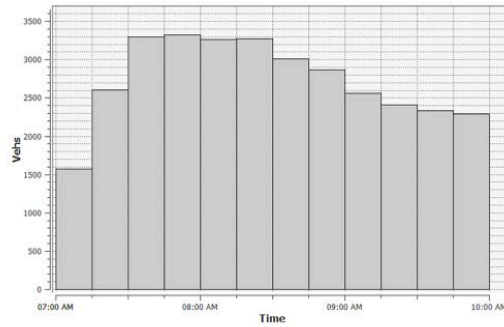
Escenari A

Inici: 07:00h
Durada: 3h
Demanda Tot: 32'650 vehicles
{ 28'642 cotxes }
{ 4'007 camions }



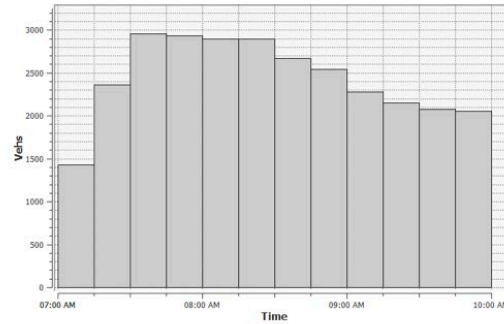
Escenari B

Inici: 07:00h
Durada: 3h
Demanda Tot: 32'815 vehicles
{ 28'787 cotxes }
{ 4'028 camions }



Escenari C

Inici: 07:00h
Durada: 3h
Demanda Tot: 33'291 vehicles
{ 29'257 cotxes }
{ 4'033 camions }



Escenari D

Inici: 07:00h
Durada: 3h |
Demanda Tot: 32'919 vehicles
{ 28'931 cotxes }
{ 3'988 camions }

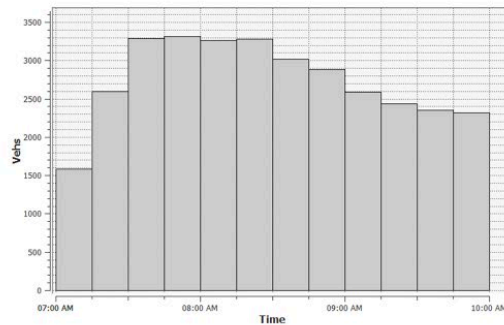


Figura 15. Detall de les demandes corresponents als quatre escenaris

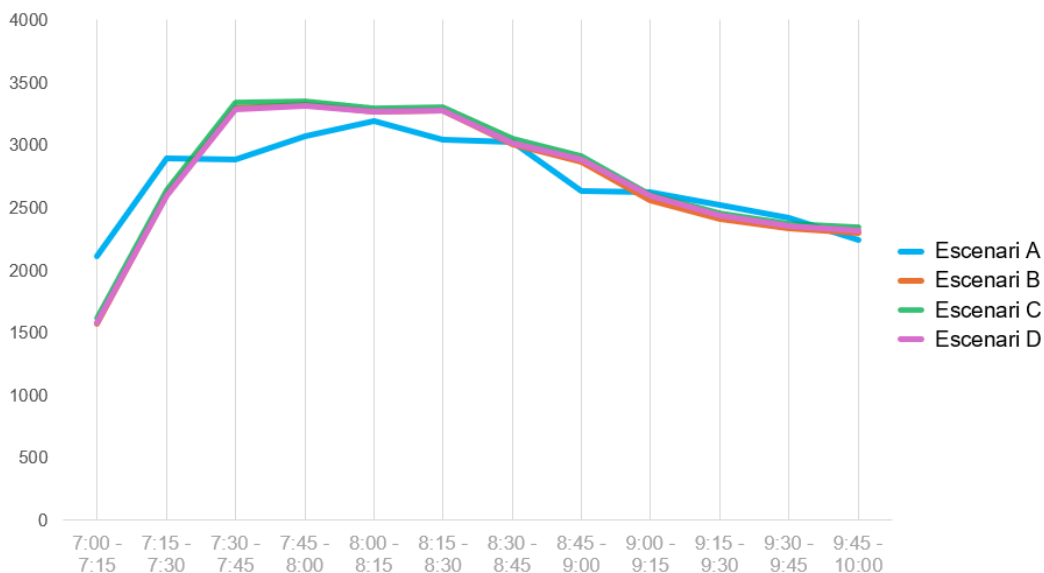


Figura 16. Comparativa de les demandes 2024

	Escenari A	Escenari B	Escenari C	Escenari D
7:00 - 7:15	Ref.	-536	-497	-528
7:15 - 7:30	Ref.	-292	-251	-302
7:30 - 7:45	Ref.	410	455	398
7:45 - 8:00	Ref.	251	277	242
8:00 - 8:15	Ref.	69	104	71
8:15 - 8:30	Ref.	232	264	236
8:30 - 8:45	Ref.	-16	25	-8
8:45 - 9:00	Ref.	236	280	257
9:00 - 9:15	Ref.	-61	-15	-32
9:15 - 9:30	Ref.	-104	-59	-79
9:30 - 9:45	Ref.	-81	-47	-66
9:45 - 10:00	Ref.	57	106	80

Figura 17. Moviments en l'hora de la sortida dels viatges entre els diferents períodes respecte l'Escenari A

El pic de sortides es produeix entre les 7:30 i 7:45 del matí. El mateix pic s'observa en els perfils dels detectors amb un retard d'uns 15 minuts.

A nivell global de tots els parells OD, no hi ha diferències significatives en el perfil obtingut quan es limiten els canvis en les sortides a un 15% en comparació amb l'escenari sense restriccions o amb l'ajust addicional. Això suggereix que la demanda de l'Escenari B ens resulta més atractiva i fiable ja que les modificacions es limiten a un percentatge reduït en les hores de sortida dels viatges. Tenint en compte que el

nou RDS disposa de molts menys punts de control i que la validació prèvia amb el RDS 2021 era molt satisfactòria, aquells escenaris que presentin menys ajustos per un nivell de validació similar seran els preferits. Tot i així, la decisió final dependrà dels resultats de les simulacions dinàmiques que es faran en els següents apartats. Abans, però, vegem els resultats de la Simulació Estàtica i la seva validació.

2.3.5 Validació macro: resultats de la simulació estàtica

Es presenten a continuació els resultats de la simulació estàtica corresponent als quatre escenaris.

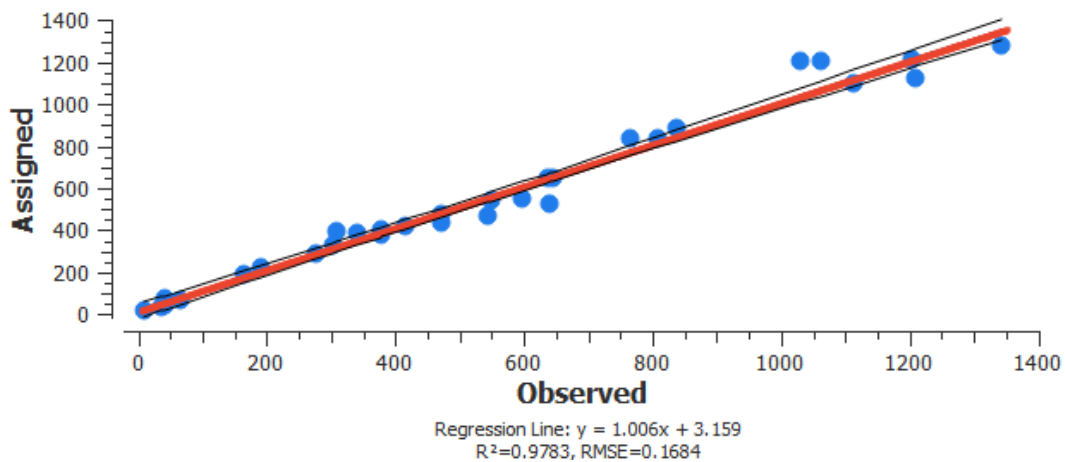


Figura 18. Escenari A: Demanda perfilada 2021 + 5%

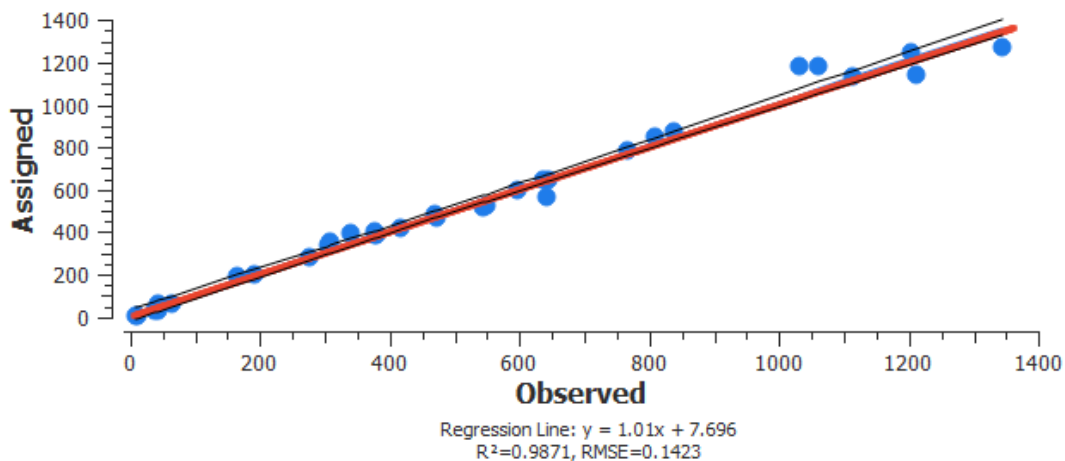


Figura 19. Escenari B: Demanda perfilada 2021 + 5% i DepAdj15%

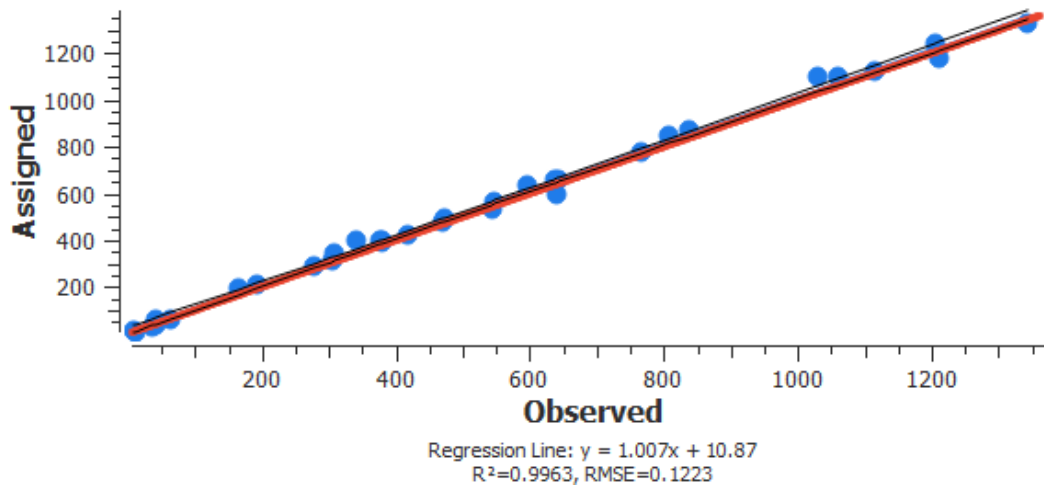


Figura 20. Escenari C: Demanda perfilada 2021 + 5% i DepAdjFree%

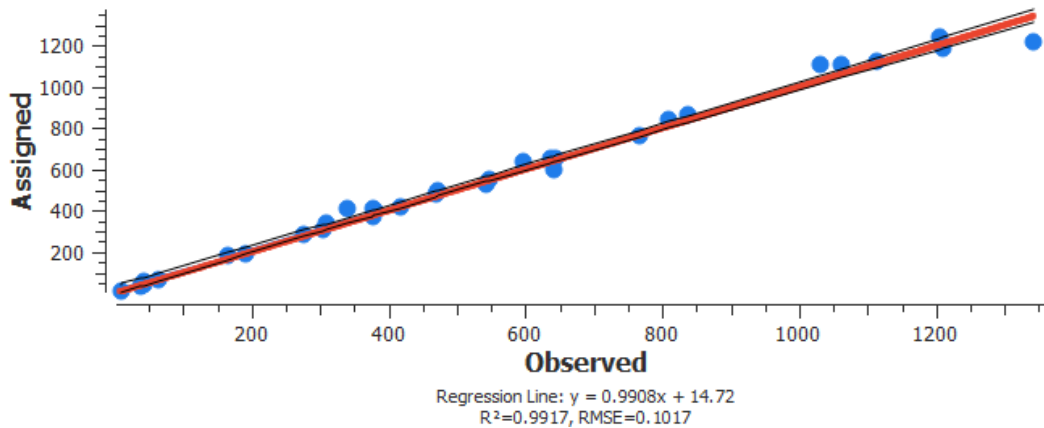


Figura 21. Escenari D: Demanda perfilada 2021 + 5% i ODAj_DepAdj15%

Per tal d'entendre com varia la validació respecte cada escenari, creem una taula de validació. D'aquesta manera, podem entendre millor els punts conflictius i veure globalment quin escenari dona millors resultats a nivell macro.

Ens fixem en la diferència absoluta, relativa i en el GEH com a indicador principal. Recordem que el GEH és un índex utilitzat en enginyeria i modelització del trànsit per comparar dos conjunts de volums de trànsit³.

Per al treball de modelització del trànsit en l'escenari base, un GEH inferior a 5 es considera una bona coincidència entre els volums horaris modelitzats i observats. Segons el *Highways Agency's Design Manual for Roads and Bridges* (DMRB), el 85% dels volums d'un model de trànsit haurien de tenir un GEH inferior a 5. Els GEH en el

³ Més detall a <https://docs.aimsun.com/next/22.0.1/UsersManual/CalibrationAndValidationTheory.html>

rang de 5 a 10 poden justificar una investigació. Si el GEH és superior a 10, hi ha una alta probabilitat que hi hagi un problema amb el model de demanda o amb les dades.

ID Alimsum	Ext. ID	Detector Name	Escenari A					Escenari B					Escenari C					Escenari D				
			Observed	Assigned	Absolute Difference	Relative Difference (%)	GEH	Observed	Assigned	Absolute Difference	Relative Difference (%)	GEH	Observed	Assigned	Absolute Difference	Relative Difference (%)	GEH	Observed	Assigned	Absolute Difference	Relative Difference (%)	GEH
1	1797118249	8.6_N	1091	1211	150	14.2	4.5	1061	1144	83	7.9	2.5	1061	1101	40	3.8	1.2	1061	1109	48	4.5	1.5
2	1797118262	8.6_S	1210	1128	-82	-6.8	2.4	1210	1142	-68	-5.6	2.0	1210	1177	-33	-2.7	0.9	1210	1188	-22	-1.8	0.6
3	1797118263	8.6_N	1114	1103	-11	-1.0	0.3	1114	1109	-5	-0.5	0.2	1114	1125	12	1.0	0.3	1114	1127	13	1.2	0.4
4	1798119321	1005	548	539	-9	-1.6	0.4	548	562	14	2.6	0.6	548	568	21	3.8	0.9	548	553	6	1.1	0.2
5	1798119322	1007	808	833	25	3.1	0.9	808	850	42	5.1	1.4	808	845	37	4.6	1.3	808	843	35	4.3	1.2
6	1798119323	1003	1343	1279	-64	-4.8	1.8	1343	1228	-115	-8.5	3.2	1343	1331	-12	-0.9	0.3	1343	1215	-128	-9.5	3.6
7	1798119324	1004	838	882	44	5.3	1.5	838	874	36	4.3	1.2	838	871	33	4.0	1.1	838	866	28	3.4	1.0
8	1798119325	1001	544	487	-57	-10.5	3.4	544	519	-25	-4.6	1.1	544	532	-12	-2.1	0.5	544	526	-18	-3.2	0.8
9	1798119326	1002	308	387	79	25.4	4.2	308	354	46	18.0	3.0	308	347	38	12.5	2.1	308	341	33	10.8	1.8
10	1798119326	8.5_S	636	641	5	0.8	0.2	636	650	14	2.2	0.5	636	656	20	3.1	0.8	636	650	15	2.3	0.6
11	1798119328	8.2_S	644	641	-3	-0.5	0.1	644	650	6	0.9	0.2	644	656	12	1.9	0.5	644	650	7	1.0	0.3
12	1798119329	9.2_N	1030	1211	181	17.6	5.4	1030	1144	114	11.1	3.5	1030	1101	70	6.9	2.2	1030	1109	79	7.6	2.4
13	1798119334	5.14_S	10	6	-4	-38.1	1.3	10	6	-4	-37.9	1.3	10	6	-4	-37.8	1.3	10	7	-3	-29.0	1.0
14	1798119335	5.14_N	37	27	-10	-27.8	1.8	37	28	-9	-25.1	1.6	37	29	-8	-22.5	1.5	37	32	-5	-13.1	0.8
15	1798119336	5.13_N	471	473	2	0.5	0.1	471	483	12	2.6	0.6	471	482	11	2.4	0.5	471	478	8	1.7	0.4
16	1798119337	5.13_S	379	401	22	5.9	1.1	379	397	18	4.7	0.9	379	383	4	1.1	0.3	379	401	22	5.7	1.1
17	1798119340	5.10_N	472	428	-44	-9.3	2.1	472	470	-2	-0.4	0.1	472	491	19	4.1	0.9	472	498	26	5.4	1.2
18	1798119341	5.10_S	378	371	-7	-1.7	0.3	378	409	31	8.2	1.6	378	388	10	2.6	0.7	378	413	35	9.3	1.8
19	1798119352	4.3_S	597	544	-53	-8.8	2.2	597	606	9	1.6	0.4	597	638	41	6.9	1.7	597	638	39	6.5	1.6
20	1798119359	4.12_N	277	280	3	1.1	0.2	277	287	10	3.5	0.6	277	288	11	3.9	0.6	277	289	12	4.2	0.7
21	1798119360	4.12_S	417	418	1	0.3	0.1	417	420	3	0.7	0.1	417	420	4	0.9	0.2	417	421	5	1.1	0.2
22	1798119365	1006.1	341	376	35	10.3	1.9	341	373	32	9.5	1.7	341	400	59	17.3	3.1	341	414	73	21.4	3.8
23	1798119366	1006.2	766	844	78	10.2	2.8	766	804	38	5.0	1.4	766	781	15	2.0	0.5	766	760	-6	-0.8	0.2
24	1798119367	1006.3	1204	1214	10	0.8	0.3	1204	1245	41	3.4	1.2	1204	1239	35	2.9	1.0	1204	1244	40	3.3	1.1
25	1798119368	1009	165	193	28	16.9	1.3	165	152	-13	-8.0	0.5	165	183	18	10.8	2.1	165	186	20	12.2	1.5
26	1798119369	1010	65	58	-7	-10.2	0.8	65	61	-4	-6.0	0.5	65	61	-4	-5.4	0.4	65	66	2	2.7	0.2
27	1798119370	3.5.1	42	68	26	62.1	3.5	42	83	41	97.6	3.0	42	58	16	37.9	2.3	42	58	14	33.4	2.0
28	1798119371	3.5.2	191	248	58	29.4	3.8	191	288	97	51.3	1.1	191	212	20	10.6	1.4	191	189	-2	-1.2	0.2
29	1798119372	3.5.3	377	424	47	12.5	2.4	377	394	18	4.7	0.9	377	403	26	6.9	1.3	377	372	-5	-1.2	0.2
30	1798119375	4.10.3	9	10	1	7.7	0.2	9	10	1	7.7	0.2	9	10	1	7.7	0.2	9	9	0	2.6	0.1
31	1798119376	4.10.4	41	31	-10	-25.3	1.7	41	33	-8	-20.4	1.4	41	35	-6	-15.9	1.1	41	38	-3	-7.9	0.5
32	1798119377	4.102.1	641	518	-122	-19.1	5.1	641	569	-71	-11.1	2.9	641	595	-45	-7.1	1.9	641	600	-41	-6.4	1.7
33	1798119378	4.102.3	304	321	19	6.4	0.9	304	309	5	1.6	0.3	304	309	5	1.5	0.3	304	308	1	0.4	0.1
Mean					39	11.9	1.8			29	9.1	1.8			22	8.1	1.8			24	6.7	1.8
			GEH < 5					GEH < 5					GEH < 5					GEH < 5				
			31					33					33					33				
			94%					100%					100%					100%				
			GEH < 10					GEH < 10					GEH < 10					GEH < 10				
			33					33					33					33				
			100%					100%					100%					100%				

Figura 22. Validació de la simulació macroscòpica

Es pot observar que, a nivell macro, els escenaris B, C i D presenten un GEH < 5 a tots els punts de detecció, indicant una molt bona validació. Per tant, en una primera hipòtesi es descartaria l'escenari A. Passem ara a veure el comportament microscòpic del model.

2.4 Simulació microscòpica

2.4.1 Ajustos geomètrics i paramètrics addicionals

A l'hora d'executar la simulació microscòpica, s'han detectat alguns punts i paràmetres addicionals que requerien adaptacions per representar el millor possible el comportament real del trànsit. A continuació se'n presenten alguns dels més rellevants.

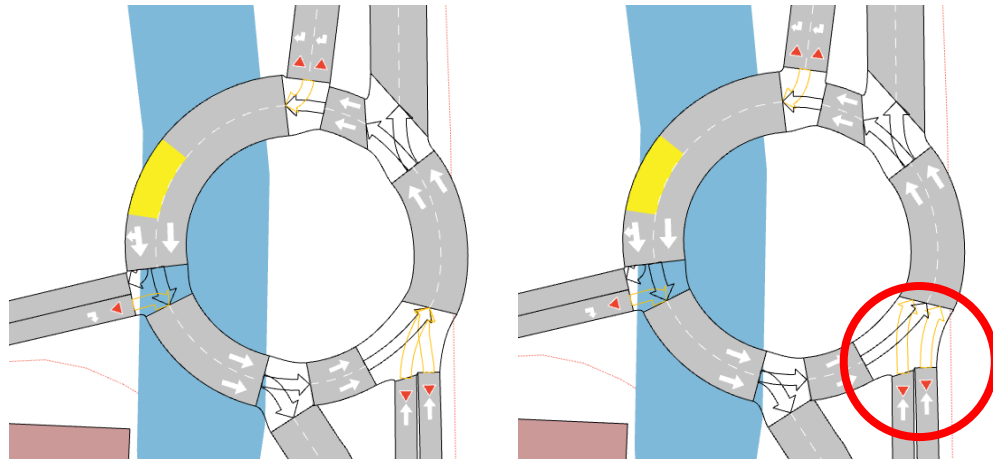


Figura 23. Node 49413: connexions d'entrada sud canviades per reduir congestió irreal

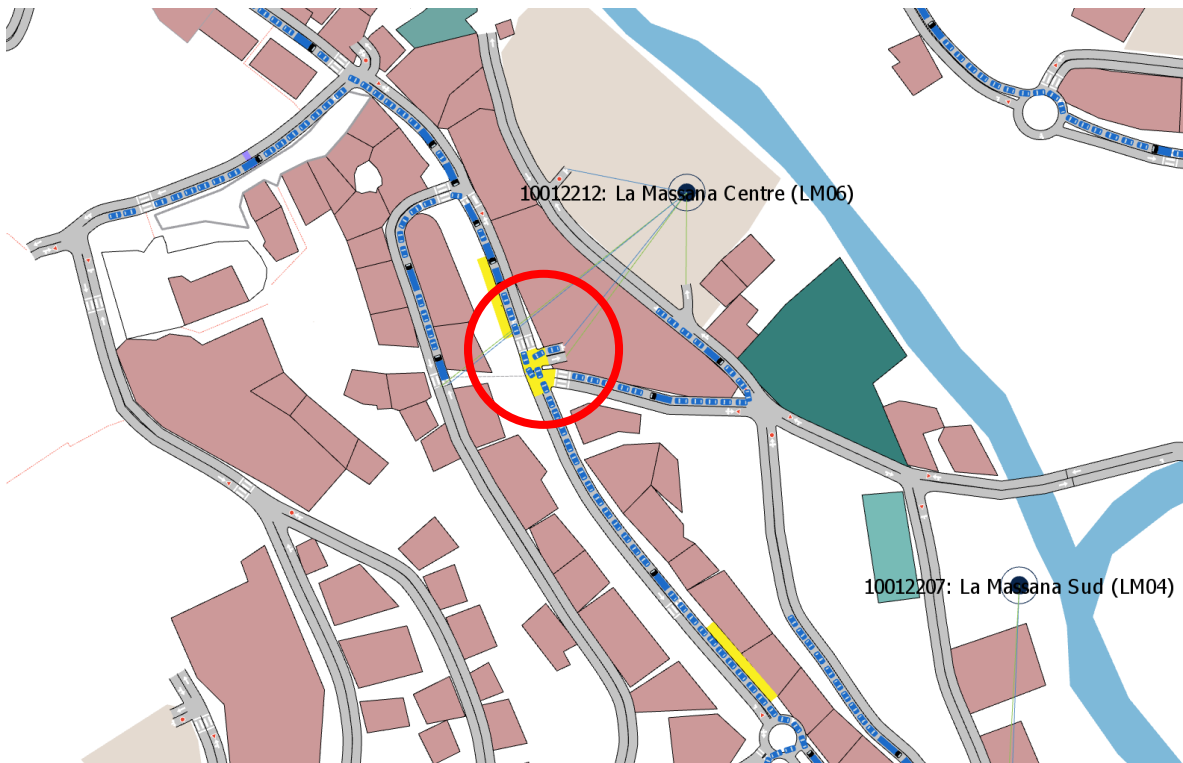


Figura 24. Seccions petites al mig del node eliminades per evitar gridlocks

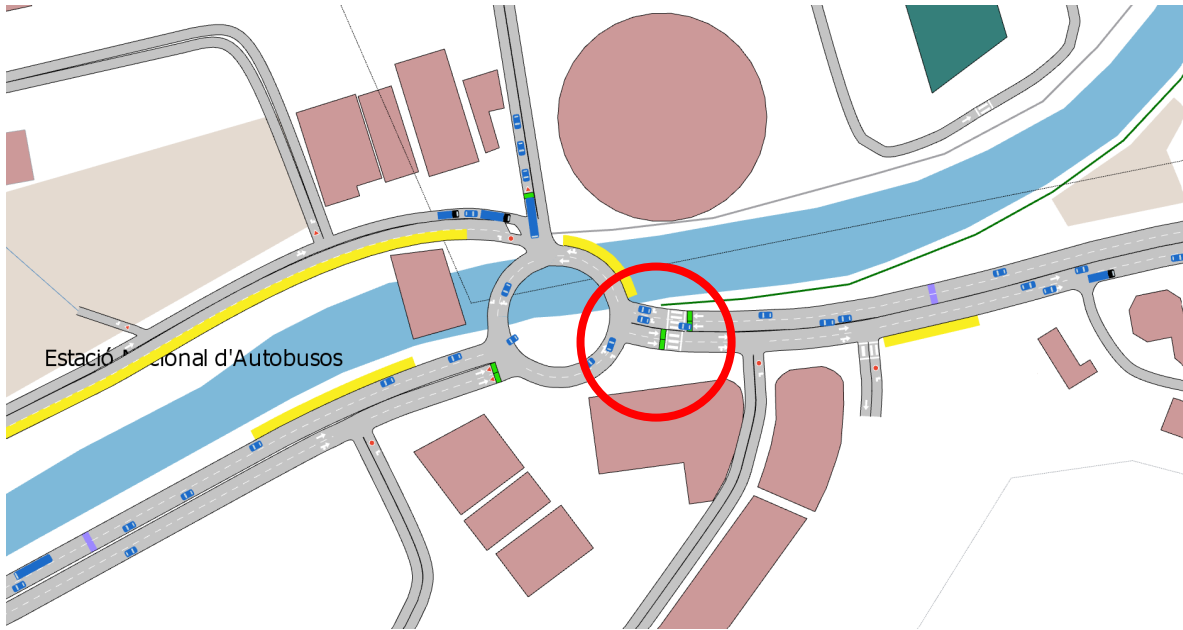


Figura 25. Rotonda Node Id 1798123807: semàfor desplaçat, capacitat per 2 cotxes

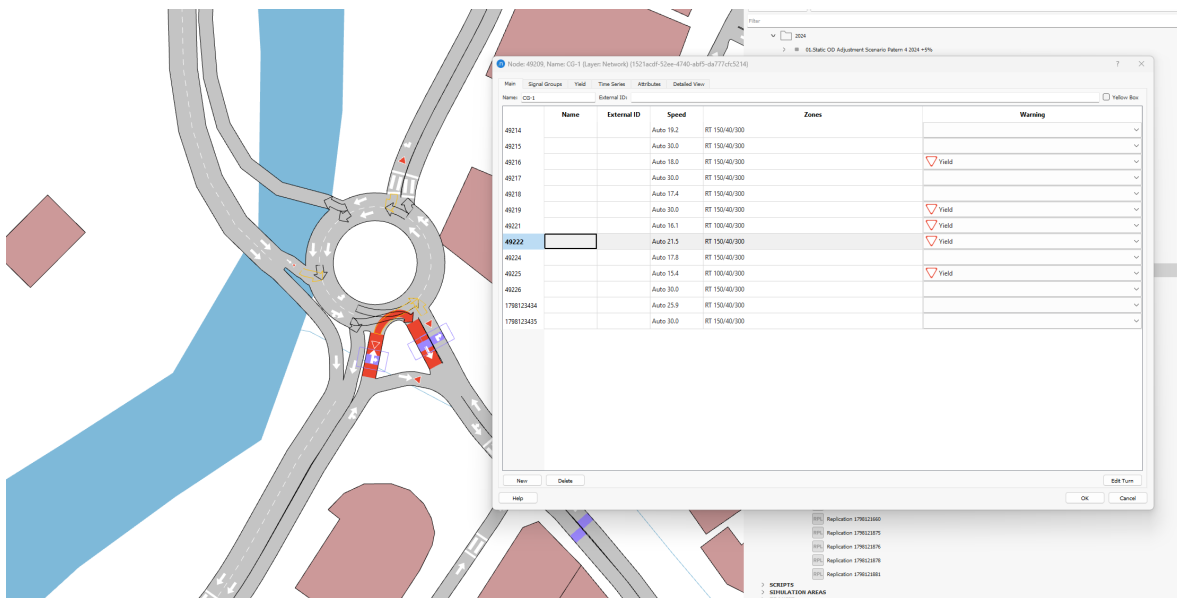


Figura 26. Rotonda Node Id 49209: turn 49222 eliminat per forçar que tots els vehicles utilitzin el by-pass



Figura 27. Reducció de les velocitats de 50 km/h a 25 km/h als carrers residencials assenyalats en groc. Aquesta configuració evita que una proporció elevada de vehicles surti de la via principal (CG-3) per agafar vies residencials i tornar a la ruta principal més endavant. La problemàtica queda resolta i també s'observa una millor distribució dels viatges amb origen-destí a la zona "La Massana Sud"

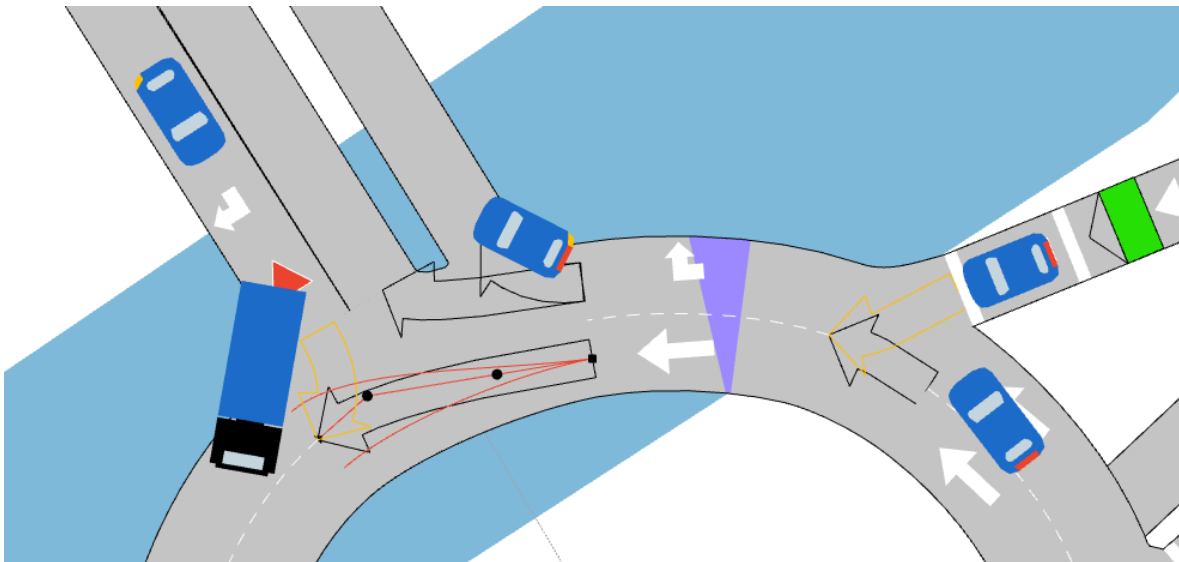


Figura 28. Millores en la distribució dels carrils a les rotondes de dos carrils que disposen d'un únic carril de sortida. Aquestes millores tenen com a objectiu representar amb més precisió els moviments reals, evitant canvis excessius dins de la circumval·lació, facilitant una entrada més fluida dels vehicles i eliminant cues fictícies

Finalment, s'ha allargat el període de pre-escalfament (warm-up) del model de 30 min a 1h per poder capturar trajectes com els de la capital al Pas de la Casa. El warm-up

és necessari en microsimulació per tal de garantir que hi hagi un número de vehicles realista 'circulant' a l'inici del període de simulació.

2.4.2 Validació micro: resultats de la simulació dinàmica

Es presenten a continuació els resultats de la simulació dinàmica corresponent als quatre escenaris. En aquest cas, no només hem de verificar que la validació és vàlida pel període agregat de 7h a 10h, sinó que hem de comprovar que també ho és per cada franja horària, és a dir, de 7h a 8h, de 8h a 9h i de 9h a 10h.

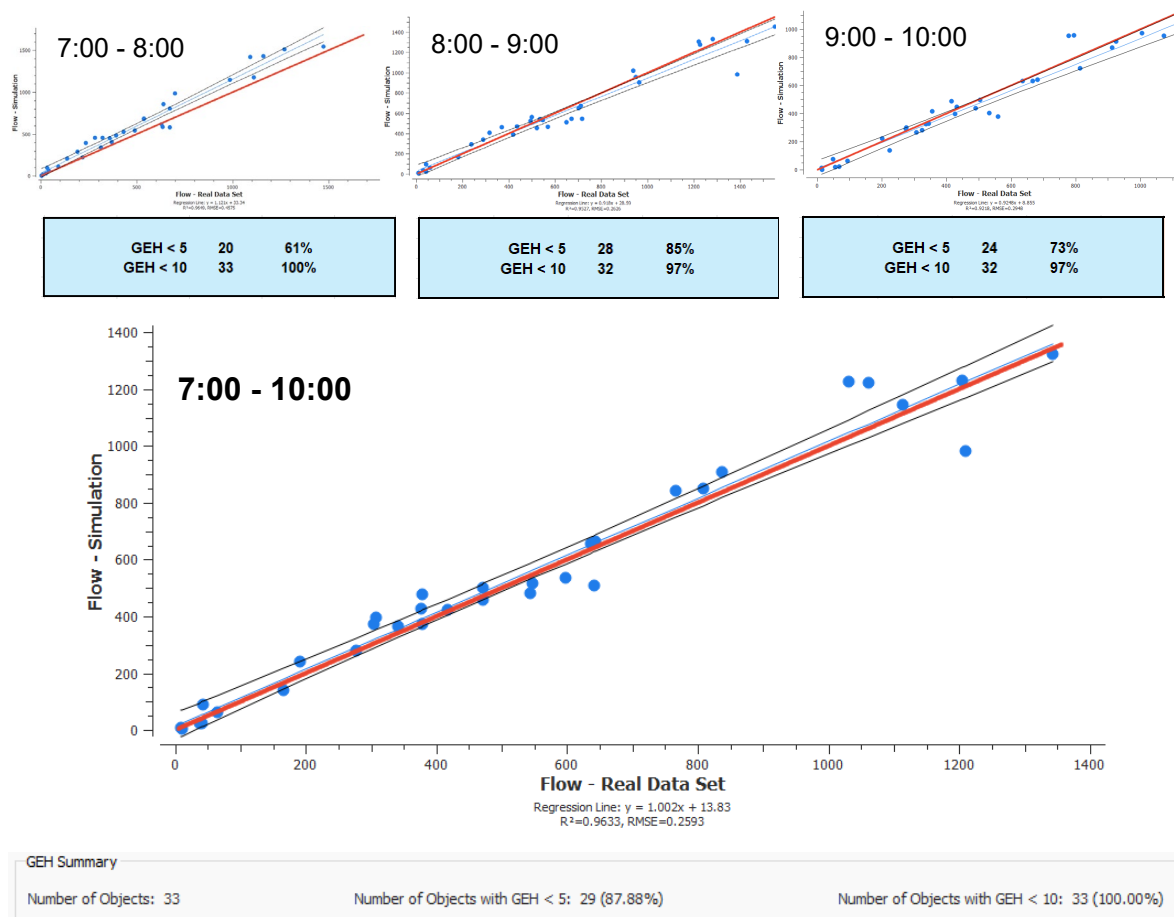
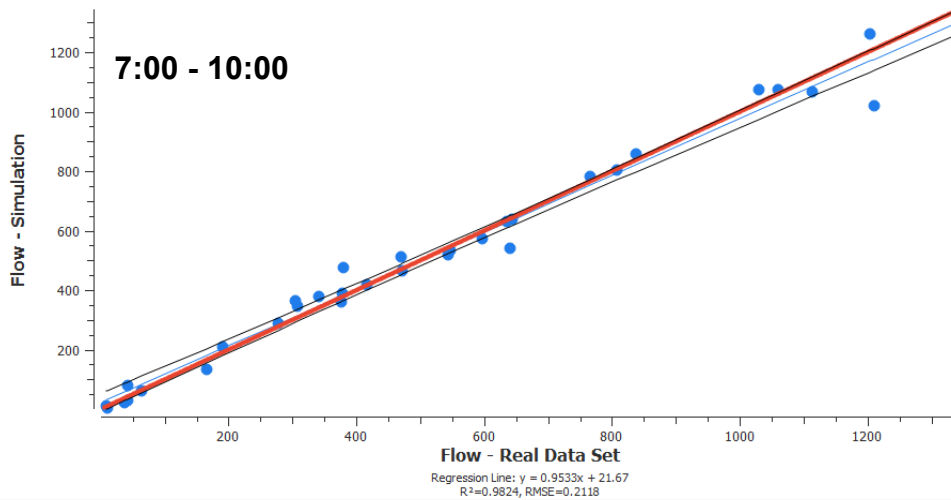
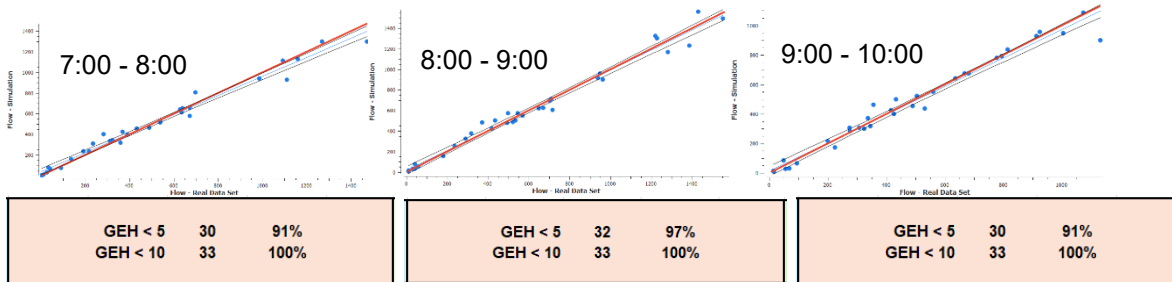
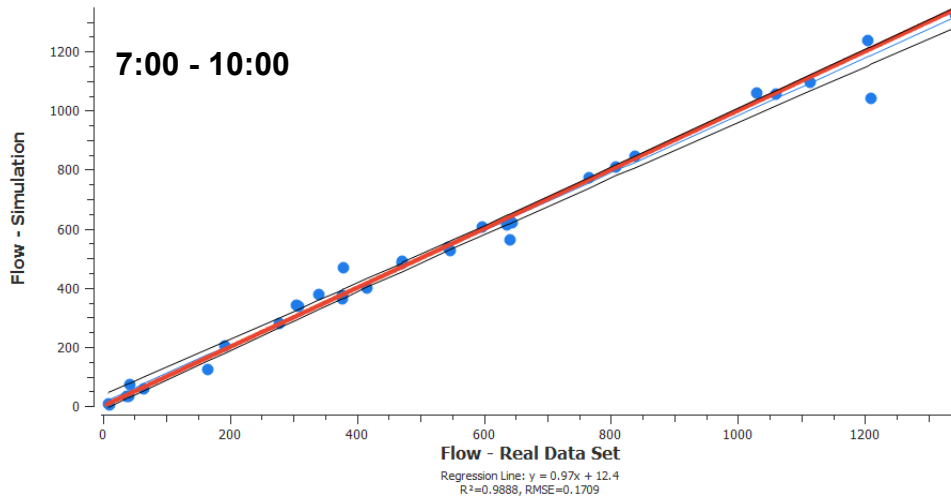
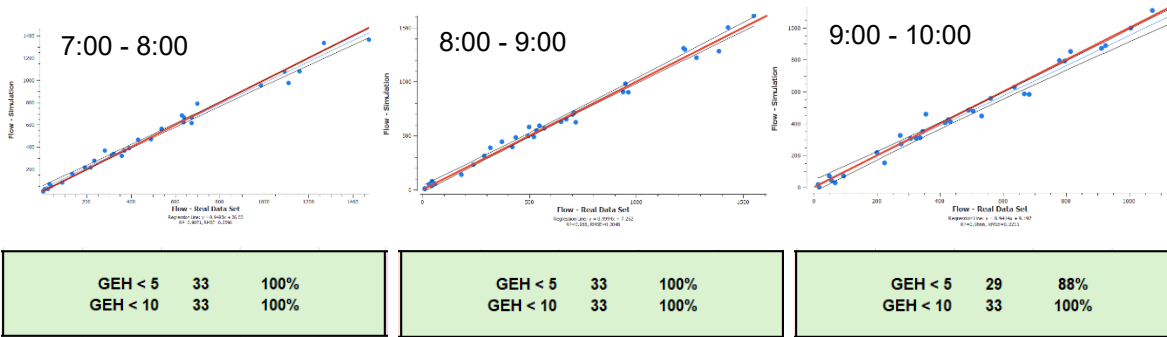


Figura 29. Escenari A: Demanda perfilada 2021 + 5% i GEH de la simulació dinàmica



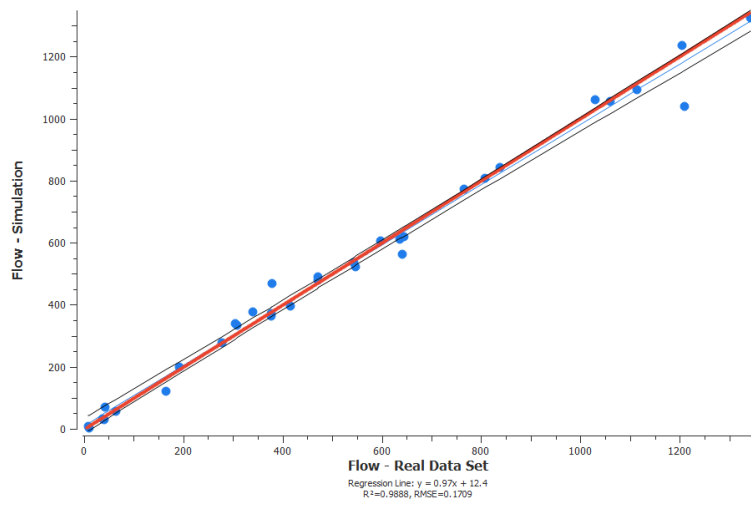
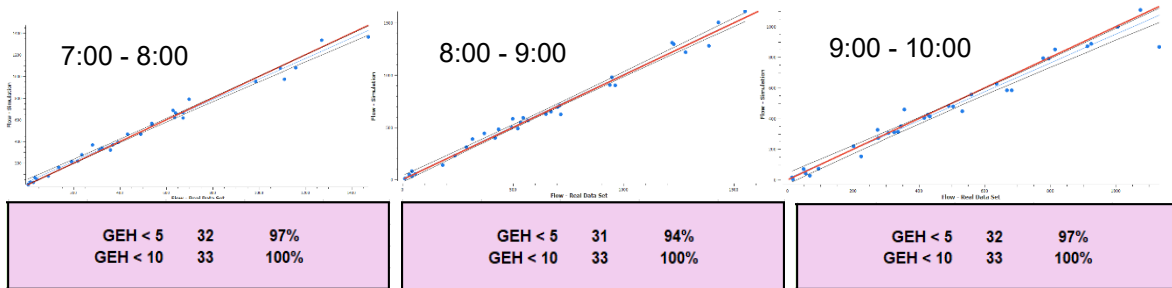
GEH Summary		
Number of Objects: 33	Number of Objects with GEH < 5: 32 (96.97%)	Number of Objects with GEH < 10: 33 (100.00%)

Figura 30. Escenari B: Demanda perfilada 2021 + 5%, DepAdj15% i GEH de la simulació dinàmica



GEH Summary		
Number of Objects: 33	Number of Objects with GEH < 5: 32 (96.97%)	Number of Objects with GEH < 10: 33 (100.00%)

Figura 31. Escenari C: Demanda perfilada 2021 + 5%, DepAdjFree% i GEH de la simulació dinàmica



GEH Summary		
Number of Objects: 33	Number of Objects with GEH < 5: 32 (96.97%)	Number of Objects with GEH < 10: 33 (100.00%)

Figura 32. Escenari D: Demanda perfilada 2021 + 5%, ODA_{Adj}_DepAdj15% i GEH de la simulació dinàmica

Així doncs, exceptuant l'escenari A, el qual presenta valors del GEH menys ideals i que ja havíem descartat abans pel perfil de la demanda, els altres tres escenaris queden validats de manera molt satisfactòria. La preferència segueix sent per l'escenari B, per ser aquell que ha requerit menys ajustos. Recordem que, degut al reduït nombre de punts de control disponibles el 2024, donem més pes a la demanda validada de 2021 i prioritzem els escenaris menys "processats".

2.4.3 Validació addicional amb congestió observada

Com a darrera etapa i a mode de validació addicional, simularem la congestió per cadascun dels quatre escenaris. Comparem aquesta observació amb la congestió observada sobre el terreny, que coincideix amb la que *Google Maps* també representa.

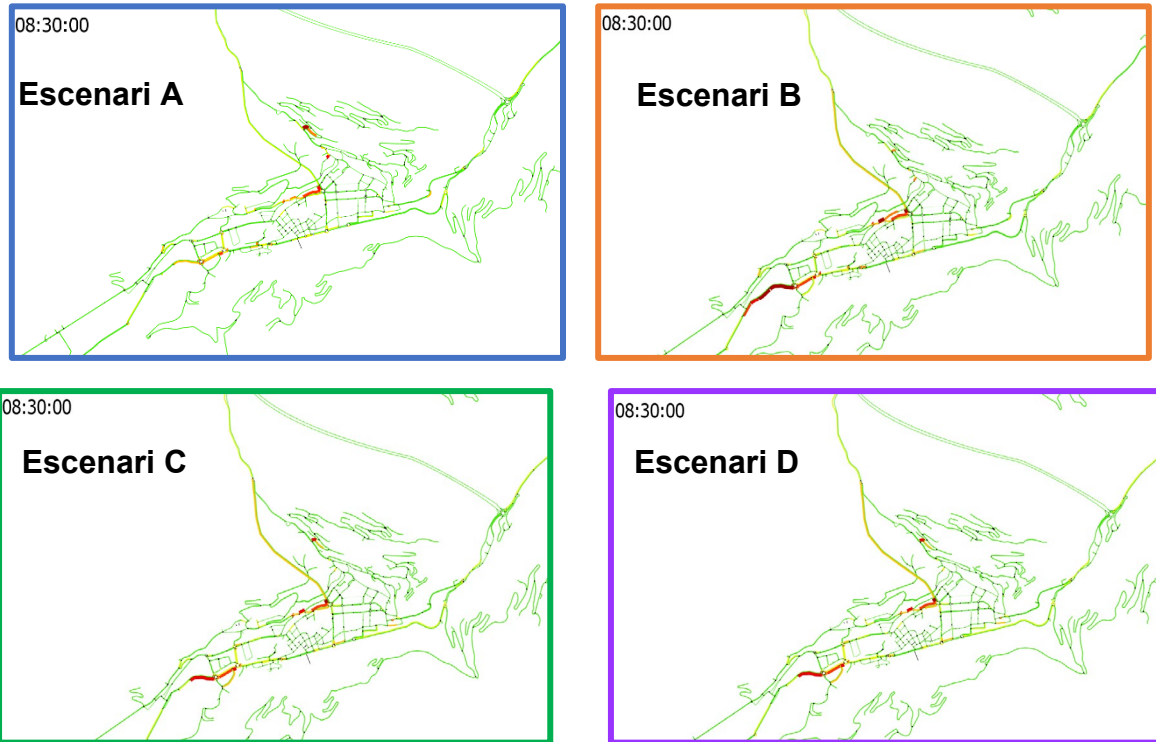


Figura 33. Congestió simulada per cada un dels quatre escenaris

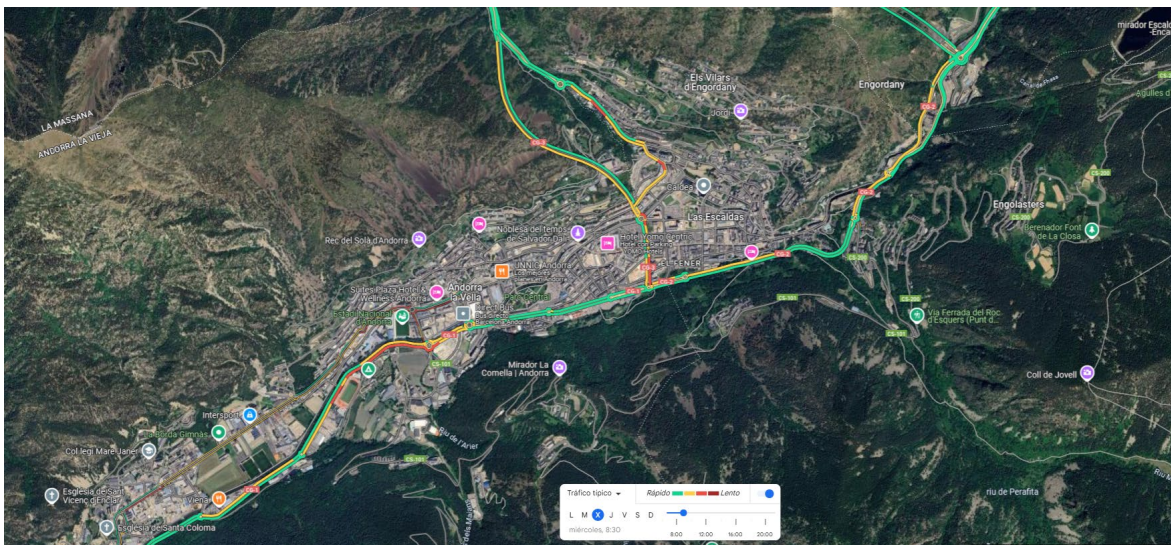


Figura 34. Congestió observada, coincident amb la representada per Google Maps

Si ens fixem en el detall de la congestió a la rotonda de la Comella, un dels punts més conflictius de la xarxa, l'escenari B és el que millor la representa. Aquest mateix escenari també havia estat el preferit a l'hora de fer les validacions de les simulacions estàtica com dinàmica.

Recordem que la demanda de l'escenari B correspon a la demanda perfilada 2021, amb un 5% d'augment homogeni a tots els parells OD, i amb un ajust en el perfil de la demanda amb un màxim de 15% de desviació.

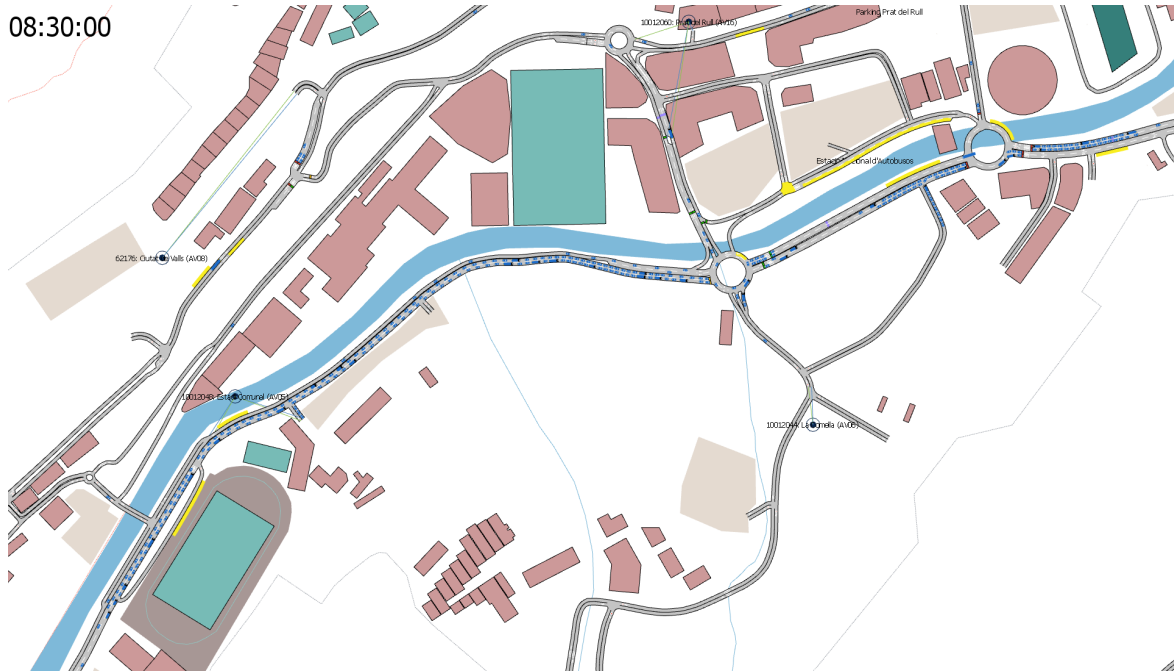


Figura 35. Detall de congestió simulada (velocitat simulada versus velocitat límit) i observada a la rotonda de la Comella

3. Conclusions

El model nacional de mobilitat queda, doncs, validat amb dades de 2024 al més alt estàndard, tant a nivell macroscòpic com microscòpic. La demanda de l'escenari B servirà com a base de les aplicacions que se'n faran.

Aquesta potent eina d'anàlisi millora la transparència i permet informar la presa de decisions dels tècnics i càrrecs polítics ajudant-los a protegir l'interès comú i l'ús just dels recursos públics. Aporta els resultats necessaris per la realització d'anàlisi cost-benefici que permet prioritzar aquelles inversions que tindran un major valor afegit per la població. A més, té el gran avantatge de no impactar la mobilitat quotidiana dels ciutadans en les fases de proves, a l'hora que significa una inversió mínima respecte qualsevol actuació física provisional sobre el terreny.

Com es recull en el document marc de planificació del model de mobilitat (AR+I, 2021), aquest ha de permetre avançar en els tres eixos de la mobilitat sostenible a Andorra:

1. Integrar els planejaments en mobilitat, ordenament territorial i dinàmiques laborals
2. Millorar el transport públic i incentivar-ne l'ús
3. Promoure el transport no motoritzat

Amb l'objectiu d'avançar en aquesta direcció, i en base al desplegament de la Llei 21/2018 d'impuls de la transició energètica i del canvi climàtic (Litecc) i a l'Estratègia Nacional de Mobilitat 2021-2050, el model permet desenvolupar aplicacions en les següents àrees:

- Optimització de la infraestructura de transport existent
- Definició de polítiques de suport a la mobilitat sostenible
- Planejament i prioritització de noves intervencions

A mode d'exemple, el model permetria, amb la col·laboració i dades dels actors involucrats, estudiar fins a quin punt un augment en les freqüències del sistema de transport públic per bus absorbiria part de la congestió a la xarxa. En cas afirmatiu, representaria una optimització de la infraestructura existent, resultant en una inversió relativament limitada comparada amb la construcció de noves infraestructures que comprometrien tant el pressupost públic com el medi ambient.

També podria orientar les polítiques de teletreball i ús del vehicle compartit, així com informar Govern i comuns sobre l'impacte de potencials desenvolupaments urbanístics futurs a nivell més detallat. La versió macroscòpica del model ja va permetre treure conclusions rellevants recollides en l'estudi de capacitat màxima de la xarxa viària (AR+I, 2024). L'estudi establí un valor de creixement límit del 2,4% de la demanda respecte el 2021 per no augmentar la congestió ja existent a la xarxa, incorporant el

nou vial de la Massana. El RDS 2024 ens mostra que aquest valor límit ja ha estat sobrepassat.

Finalment, i sempre dins el marc de la mobilitat sostenible, el model permetria estudiar i optimitzar l'impacte d'aquelles intervencions necessàries per promocionar els modes de mobilitat no motoritzats.

Referències

AR+I. (2021). *Model nacional de mobilitat*.
https://www.ari.ad/images/projectes/model_mobilitat/202112_model_nacional_mobilitat.pdf

AR+I. (2024). *Modelització per a l'estudi de capacitat màxima de la xarxa viària d'Andorra*.
https://ari.ad/images/projectes/model_mobilitat/andorra_capacitat_maxima_xarxa_viaria.pdf