



# **Integració d'una xarxa VANET en l'entorn de mobilitat d'una smart city**

**Enrique García López**

Grau de Tecnologies de la Telecomunicació  
11.593 TFG-Integració de xarxes telemàtiques

**Jose Lopez Vicario**

**Pere Tuset Peiró**

9/6/2019



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/)

*A tots els professors i tutors que he tingut al llarg de la carrera, sempre m'han ajudat i animat.*

*Al meu tutor d'aquest TFG, Jose López, per aclarir tan ràpidament les meves consultes i per donar-me sempre tants bons consells.*

*Als meus fills perquè porten veient-me estudiar molt anys i mai he tingut una paraula de retret, tot el contrari, sempre m'han animat i se'n han sentit orgullosos.*

*Finalment, vull agrair molt especialment el suport permanent que he tingut en la meva dona. Sabia que era un repte personal molt important per a mi aconseguir ser enginyer. Ella m'ha entès sempre i m'ha encoratjat a continuar quan em desil·lusionava amb aquelles PAC de programació que no em sortien. A ella també li dec el seu esforç en revisar aquest TFG. Moltes gràcies Eulàlia!*

*Gràcies a tots per haver-me ajudar a treure'm una espineta clavada!*

## FITXA DEL TREBALL FINAL

<b>Títol del treball:</b>	<i>Integració d'una xarxa VANET en l'entorn de mobilitat d'una smart city</i>
<b>Nom de l'autor:</b>	<i>Enrique Garcia Lopez</i>
<b>Nom del consultor/a:</b>	<i>Jose Lopez Vicario</i>
<b>Nom del PRA:</b>	<i>Pere Tuset Peiró</i>
<b>Data de lliurament (mm/aaaa):</b>	<i>06/2019</i>
<b>Titulació o programa:</b>	<i>Grau de Tecnologies de la Telecomunicació</i>
<b>Àrea del Treball Final:</b>	<i>Integració de xarxes telemàtiques</i>
<b>Idioma del treball:</b>	<i>Català</i>
<b>Paraules clau</b>	<i>VANET, smart mobility, gestió del trànsit</i>
<b>Resum del Treball:</b>	
<p>La finalitat d'aquest treball és exposar un escenari de determinades situacions del trànsit de vehicles que es produeixen habitualment en una ciutat de tipus mitjà (d'uns 50.000 habitants) i optimitzar-les per a la seva adaptació als criteris que determinen la mobilitat dels vehicles a l'interior d'una Smart City (Smart Mobility), explotant les condicions de les comunicacions d'una xarxa VANET (Vehicular Ad hoc NETWORK) existents entre vehicles (V2V) o entre vehicles i instal·lacions fixes (V2I).</p> <p>L'esmentat escenari serà analitzat sobre un espai reduït d'uns 2.500 m<sup>2</sup> el qual suposa el moviment de línies de flux de trànsit variable i no implica estudis sobre àrees massa extenses que podrien quedar fora de l'abast del que es pretén demostrar amb aquest estudi.</p> <p>El TFG s'ha basat en l'estudi d'un punt conflictiu concret que genera el trànsit de vehicles a la ciutat de Vilanova i la Geltrú (Barcelona); es tracta d'un àrea de rotondes que no absorbeixen correctament el corrent de vehicles, i per tant provoquen incòmodes congestions que afecten a la qualitat de vida dels usuaris i també perjudiquen el medi ambient.</p> <p>Es demostra com pot millorar el trànsit en aquest escenari amb el desplegament d'una xarxa de comunicacions cooperatives entre vehicles i</p>	

amb la infraestructura.

Per a la realització de l'esmentat estudi s'utilitzarà l'estructura de la plataforma de simulació de xarxes VANET de programari lliure "VEINS" la qual fusiona un simulador de xarxes telemàtiques com és "OMNET++" i el simulador de trànsit "SUMO".

**Abstract:**

The main goal of this final-degree project is to demonstrate how some typical traffic situations produced in a middle size city (around 50.000 inhabitants) may be performed in an optimized way just adapting them to a Smart city model (smart mobility). It means deploying a VANET (vehicular Ad hoc NETWORK) using vehicular communications among vehicles (V2V) and with fixed infrastructures (V2I).

One 2.500 m<sup>2</sup> sized scenario with some flows of vehicles in movement will be presented. A bigger scenario would be out of a final-degree project purpose.

This investigation is developed from the study of one critical traffic point in the village of Vilanova I la Geltrú (Barcelona). This point is an area of roundabouts which are not capable of managing traffic flows fluently and so many uncomfortable traffic jams are caused. Road congestions affect the quality of life and damage the environment.

An improvement of traffic conditions will be displayed due to the deployment of a vehicular cooperative network.

Veins open source framework has been run. This platform is based on two simulators; OMNET++, an event-based network simulator and SUMO, a road traffic simulator.

# Índex

Capítol 1. Introducció .....	4
1.1 Context i justificació del Treball .....	4
1.2 Objectius del Treball.....	5
1.3 Enfocament i mètode seguit .....	5
1.4 Planificació del Treball.....	6
1.5 Breu resum de productes obtinguts .....	7
1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria .....	7
Capítol 2. Smart City i Xarxes VANET .....	9
2.1 Introducció al concepte d'Smart City .....	9
2.2 Smart City: estructures de desenvolupament i govern .....	11
2.3 Model de trànsit d'una Smart City: Smart Mobility .....	13
2.4 Introducció als Sistemes Intel·ligents de Transport .....	14
2.5 Introducció al concepte de Xarxa VANET .....	16
2.6 Camps d'aplicació .....	18
2.7 Tipus de comunicació.....	19
2.8 Components i les seves aplicacions.....	19
2.9 Estàndards i protocols de comunicació vehicular .....	21
2.9.1 Estàndard IEEE 802.11p WAVE .....	24
2.10 Protocols de gestió del trànsit basats en una xarxa VANET .....	26
2.10.1 CALM ( Cooperative Access for Land Mobiles o "Continuous Air interface for Long and Medium distance ) .....	27
2.10.2 CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems).....	29
2.10.3 COOPERS (Co-operative for intelligent road safety).....	30
2.11 Projectes similars i la seva contribució a aquest TFG .....	32
Capítol 3. Població objecte de l'estudi.....	34
3.1 Situació actual de la població objecte de l'estudi .....	34
3.2 Accions a emprendre per part de l'Administració local .....	36
3.2.1 Accions a emprendre per una optimització de la gestió del trànsit... 36	
3.2.1.1. Monitorització del trànsit .....	37
3.2.1.2 Encaminament estratègic del trànsit.....	38
3.2.1.3 Priorització del trànsit .....	39
3.2.1.4 Informació del trànsit als usuaris .....	39
3.2.2 Accions a emprendre per un augment de la seguretat vial .....	39
3.2.2.1 Seguretat a les interseccions.....	39
3.2.2.2 Control d'accessos .....	40
3.2.3 Aspectes tecnològics.....	40
3.2.4 Despeses .....	42
3.2.5 Quadre resum de requisits i solucions aportades per la simulació... 43	
Capítol 4. Simulador VEINS .....	46
4.1 Introducció als entorns de simulació de Xarxes VANET.....	46
4.1.1 Simulador VEINS. ....	47
4.2 Instal·lació, configuració i ús del sistema .....	48
4.3 Presentació de l'escenari objecte de l'estudi.....	49
4.4 Configuració de l'escenari amb l'eina SUMO .....	51
4.5 Configuració de l'escenari amb l'eina OMNET++ .....	51
4.6 Simulació amb l'eina VEINS.....	52

4.7 Resultats de la simulació .....	52
Capítol 5. Conclusions .....	72
5.1 Conclusions pròpies del projecte.....	72
5.2 Lliçons apreses .....	73
5.3 Assoliment dels objectius plantejats .....	74
5.4 Seguiment de la planificació i metodologia al llarg del producte. ....	75
5.5 Línies de treball futur .....	75
6. Glossari .....	77
7. Bibliografia .....	79
8. Annexos .....	83
ANNEX I. Obtenció de l'escenari SUMO a analitzar .....	83
ANNEX II. Configuració i ús de les eines OMNET++ i VEINS.....	85

### Llista de figures

Fig. 1. Dimensions d'una Smart city .....	10
Fig. 2. Objectius de l'Smart Mobility .....	14
Fig. 3. Xarxa VANET .....	17
Fig. 4. Dominis i components d'una xarxa VANET .....	21
Fig. 5. Pila de protocols WAVE i ETSI-ITS G5 .....	23
Fig. 6. Intervals de canal .....	24
Fig. 7. Trama PDU estandard 802.11p .....	25
Fig. 8. Distribució FRAME .....	27
Fig. 9. Desplegament arquitectura CALM .....	28
Fig. 10. Subsistemes CVIS.....	30
Fig. 11. Arquitectura COOPERS .....	31
Fig. 12. Centre de control de trànsit urbà .....	37
Fig. 13. HMI.....	41
Fig. 14. RSU i OBU .....	41
Fig. 15. Exemple de protocols de comunicació en una xarxa VANET.....	42
Fig. 16. Elements que intervenen a la simulació .....	45
Fig. 17. Interactuació dels tres simuladors .....	48
Fig. 18. Principals vies d'alleugeriment del trànsit interior .....	49
Fig. 19. Zona objecte de l'estudi.....	50
Fig. 20 Localització dels principals elements de la xarxa .....	52
Fig. 21 Localització dels principals elements de la xarxa amb VEINS .....	53
Fig. 22 Paquets transmesos pel node_0 .....	55
Fig. 23 Moment en que es detecta la congestió pel node_0 .....	55
Fig. 24 Missatges a la capa mac i a la capa phy .....	56
Fig. 25 Missatges d'actualització de posicions dels nodes i de re-càlcul de ruta .....	56
Fig. 26 Desplegament fluxos 0-7, 8-9 i 10-17.....	57
Fig. 27 Desplegament fluxos 18-19.....	58
Fig. 28. Temps de viatge dels diferents nodes .....	58
Fig. 29. Ruta alternativa dels nodes 8 i 9 i 18 i 19.....	59
Fig. 30. Superació de la congestió nodes 18 i 19.....	59
Fig. 31. Distància total recorreguda pels nodes .....	60
Fig. 32. Emissió de CO2 dels diferents nodes.....	61
Fig. 33. Gràfic Dades del protocol de comunicació node_0 .....	63
Fig. 34. Gràfic Dades de mobilitat node_0 .....	64

Fig. 35. Gràfic Paràmetres vectorials node_0 .....	64
Fig. 36. Gràfic Dades del protocol de comunicació node_8 .....	65
Fig. 37. Gràfic Dades de mobilitat node_8 .....	66
Fig. 38. Gràfic Paràmetres vectorials node_8 .....	66
Fig. 39. Gràfic Dades del protocol de comunicació node_10 .....	67
Fig. 40 Gràfic Dades de mobilitat node_10 .....	68
Fig. 41 Gràfic Paràmetres vectorials node_10 .....	68
Fig. 42 Gràfic Dades del protocol de comunicació node_18 .....	69
Fig. 43 Gràfic Dades de mobilitat node_18 .....	70
Fig. 44 Gràfic Paràmetres vectorials node_18 .....	70

### Llistat de taules

Taula 1. Telecomunicació en el sector transport .....	16
Taula 2. Intercanvi cooperatiu de missatges .....	18
Taula 3. Distribució de canals per xarxes VANET .....	22
Taula 4. Estàndard WAVE, funcionalitat per capes .....	23
Taula 5. Informació del model sense fils V2X, IEEE 802.11p WAVE .....	24
Taula 6. Paràmetres de modulació.....	25
Taula 7. Mitjans físics previstos a CALM.....	28
Taula 8. Serveis proporcionats per l'arquitectura CVIS.....	29
Taula 9. Serveis suportats per l'arquitectura COOPERS .....	31
Taula 10. Aspectes ja assumits abans del desplegament d'una xarxa VANET	36
Taula 11. Objectius .....	44
Taula 12. Simuladors VANET.....	47
Taula 13. Comparativa de paràmetres de Smart Mobility .....	71
Taula 14. Resultat aplicació Xarxa VANET .....	73



# Capítol 1. Introducció

## 1.1 Context i justificació del Treball

El context del treball es situa en un moment de la història en què la societat està traient el màxim benefici de l'aplicació de noves tecnologies. Molts experts coincideixen en que la implantació de les Tecnologies per a la informació i la Comunicació (TIC) juntament amb el desenvolupament i la utilització massiva d'Internet ens situa en una fase de revolució tecnològica equivalent a la revolució industrial.

No hi ha aspecte de les nostres vides que no inclogui l'ús de la tecnologia, i el que està per venir segur que serà encara més extraordinari.

La tecnologia té com a finalitat principal proporcionar més qualitat de vida als ciutadans. Ens permet estar informats, treballar, estudiar, investigar, experimentar, compartir, moure'ns, conduir, divertir-nos, estar més segurs, viatjar, pagar, cuidar la nostra salut, en definitiva viure en un món més accessible.

L'obtenció d'aquests beneficis ens obliga a estar connectats entre nosaltres i amb les institucions que proporcionen els serveis esmentats. Aquesta connexió introdueix un altre concepte molt important, la *xarxa de connexions*.

Per altra banda la majoria de persones viuen en ciutats i aquestes són cada vegada més grans i més poblades. Els seus habitants tenen unes necessitats que es poden veure compromeses si no es fa un ús òptim i equilibrat dels recursos que la ciutat pot proporcionar. Les tecnologies tenen un paper primordial en la consecució de l'equilibri entre necessitats i recursos. D'aquest equilibri neix el concepte de Ciutat Intel·ligent o com és més conegut amb el terme anglosaxó "Smart City".

Com es veurà més endavant perquè una ciutat sigui reconeguda com a *Smart City* ha de complir uns requisits i un d'aquests és l'anomenat "Smart Mobility" o mobilitat intel·ligent, que el que pretén és proporcionar l'al·ludit equilibri però definit per al trànsit (de vehicles i de persones) de la ciutat.

En una idea òptima de ciutat intel·ligent, els vehicles són elèctrics i per tant no produeixen ni contaminació atmosfèrica ni acústica. A més són autònoms i connectats entre ells, per tant el risc d'accidents és molt baix.

Com a pas previ a la implantació d'aquesta mobilitat ideal, existeix un model d'*smart city* on els vehicles han de contaminar el mínim possible i a més han d'ajudar a minimitzar el risc d'accidents.

És en aquest punt on es contextualitza i justifica el treball que es desenvolupa en els capítols posteriors, i on juguen un paper fonamental les xarxes de connexions entre vehicles (VANET) i les tecnologies que aquestes utilitzen per

tal de crear una mobilitat intel·ligent que col·labori en la consecució del model de smart city.

## 1.2 Objectius del Treball

L'elaboració d'aquest projecte té els següents objectius generals:

1. Determinar quines són les millors opcions de comunicació entre vehicles i dels vehicles amb instal·lacions fixes per ajustar-se a les solucions que demanden les condicions del trànsit de vehicles en uns determinats escenaris concrets a l'interior d'una smart city.
2. Determinar les accions a executar per part de l'administració local del municipi afectat, sobre les àrees objecte del projecte, per facilitar la comunicació de la infraestructura amb els vehicles i amb un suposat centre de control de gestió del trànsit.

Derivats d'aquests objectius principals, es relacionen altres **objectius específics**:

1. Descriure en detall en què consisteix una xarxa VANET.
2. Descriure en detall les condicions de trànsit en una smart city.
3. Determinar la situació actual de la zona objecte d'estudi respecte a la seva adaptació a una smart city.
4. Determinar la situació actual de la zona objecte d'estudi respecte a la seva adaptació a una xarxa VANET.
5. Instal·lar, configurar i posar en marxa el simulador de VEINS.
6. Executar la simulació i extreure conclusions.
7. A partir dels resultats obtinguts, determinar quines modificacions s'han de produir sobre la zona objecte de l'estudi.

## 1.3 Enfocament i mètode seguit

L'enfocament del treball ha anat dirigit a la consecució dels objectius esmentats en el punt anterior, i que han sorgit com a resultat d'una particularització de la proposta triada per a la confecció del TFG "Comunicació peer-to-peer entre vehicles i/o entre vehicles i estacions fixes".

El mètode seguit ha estat format per les fases que es relacionen a continuació:

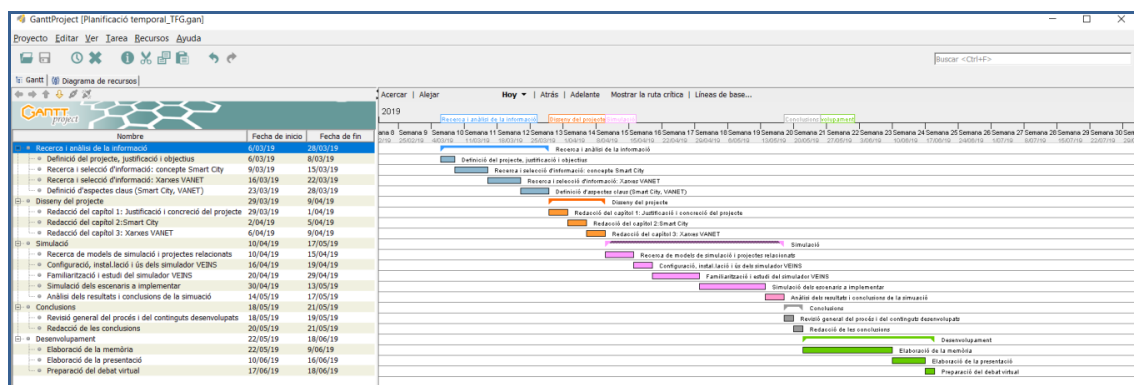
- Revisió de la documentació del Grau de Telecomunicacions vinculades amb aquest TFG.

- Lectura d'articles extrets de la biblioteca de la UOC relacionats amb "Smart City", "Smart Mobility", Sistemes Intel·ligents de Transport, Sistemes vehiculars cooperatius, Xarxes VANET.
- Lectura de diversos treballs de fi de grau i de treballs de fi de màster, relacionats amb els temes indicats en el punt anterior i que han estat consultats del repositori de la UOC.
- Recerca de webs relatives als objectius esmentats anteriorment.
- Estudi amb detall del sistema VEINS de simulació de xarxes VANET.
- Entrevistes amb personal qualificat i responsables tecnològics de la ciutat objecte de l'estudi.

El treball té dues parts clarament diferenciades; per una banda una part teòrica introductòria del model de ciutat intel·ligent i del concepte de xarxa VANET, i d'altra banda un apartat més pràctic on es desenvolupa la simulació, tot i que també està formada per punts més teòrics de presentació de les aplicacions de simulació, i la seva configuració i funcionament.

## 1.4 Planificació del Treball

Respecte la planificació prevista inicialment i que es pot veure a la figura següent:



S'ha de comentar que s'havia estimat arribar a la data de lliurament de la PAC 2 (9/4/2019) fins al capítol 3 "Xarxes VANET" inclòs, no obstant, s'ha avançat respecte a les previsions inicials, i s'han presentat els punts : "Recerca de models de simulació i projectes relacionats" i "Configuració, instal·lació i ús del simulador VEINS", la qual cosa ha permès disposar de més temps per l'elaboració de la part de la simulació dels escenaris concrets a la ciutat objecte de l'estudi i poder fer front a possibles incidències i problemes diversos derivats de la complexitat del funcionament del citat simulador.

La planificació per la consecució dels objectius marcats a la PAC 3, ha estat encertada des d'un bon principi. Es va realitzar un càlcul molt realista del temps disponible i del temps necessari, en general. Tot i que la temporalitat dedicada als apartats d'aprenentatge i posada en marxa dels simuladors ha estat més extensa del previst, sobre tot pel que fa al temps previst inicialment a la simulació dels escenaris a implementar i a l'anàlisi de resultats i conclusions de la simulació, degut a la gran quantitat de matèria a estudiar per a poder tenir-ne un coneixement acceptable.

De la mateixa manera un període de vint dies per poder realitzar una bona preparació de la memòria, tenint en compte els consells donats pel professor i considerant que la PAC 3 no havia de patir gaire modificacions, ha estat un temps més que raonable i ha permès poder dedicar-se amb cura a repassar i optimitzar apartats i perfeccionar-ne l'elaboració.

## 1.5 Breu sumari de productes obtinguts

Els producte aconseguit és el fet de poder demostrar, analitzant determinats paràmetres com ara temps de viatge o emissions de CO<sub>2</sub>, la conveniència del desplegament d'una xarxa tipus VANET en un escenari en concret on es produeixen retencions de trànsit, i que gràcies al correcte ús d'aquesta xarxa, es poden millorar les condicions del trànsit pel que fa al acompliment de certes exigències que presenta un model de mobilitat intel·ligent dins de l'entorn d'una smart city.

## 1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria

La memòria s'estructura en cinc capítols i els annexes. La distribució per capítols aspira a seguir una ruta que parteix d'un aspecte general de model de ciutat intel·ligent, fins arribar al detall d'una situació de trànsit en concret.

Cada capítol està format pel contingut que es relaciona tot seguit:

- Capítol 1. Introducció

Idea general del problema sobre el que es pretén realitzar l'estudi i objectius principals que es volen assolir.

- Capítol 2. Smart City.

Aquest apartat està subdividit al mateix temps en cinc punts:

- Introducció al concepte d'*Smart City*, en el que es justifica el per què de la necessitat de la consecució d'un entorn intel·ligent a la ciutat.
- Estructures de desenvolupament i govern, en el que s'introdueixen les passes a seguir per un govern local que ambiciosa desenvolupar un model de ciutat intel·ligent.
- *Smart mobility*, en aquest apartat es descriu el model de trànsit apte per a una Smart City.

- Sistemes Intel·ligents de Transport, on s'introdueix el model d'optimització del transport i a més serveix de punt d'enllaç entre la mobilitat intel·ligent i les xarxes de comunicacions vehiculars que s'expliquen al capítol següent.
- Situació actual de l'àrea objecte de l'estudi, en el que es particularitza sobre les gestions executades pel municipi de Vilanova i la Geltrú relacionades amb l'obtenció d'algunes de les característiques de la denominació *smart city*.
- Capítol 3. Xarxes VANET.

Aquest capítol és el previ als apartats dedicats a la simulació, per tant s'ha estimat que fos la base ben documentada per ajudar a entendre els detalls dels escenaris de simulació.

Està dividit en els apartats que es descriuen:

- Introducció al concepte de xarxa VANET. Es detallen els camps d'actuació i les comunicacions que hi tenen lloc.
- Elements que formen una xarxa VANET. S'introdueixen els components d'aquests tipus de xarxes.
- Estàndards i protocols d'una xarxa VANET. Es descriuen les tecnologies d'intercanvi de missatges en aquests sistemes i els protocols de comunicació més aptes.
- Arquitectures de suport a les comunicacions VANET en el marc de la UE. Es presenten algunes de les tipologies més habituals del desplegament d'aquestes xarxes.
- Accions a emprendre per part de l'administració de la localitat objecte de l'estudi. En aquest punt, i de manera molt resumida, s'intenta elaborar una guia bàsica dels elements necessaris per a obtenir un dels desplegaments explicats en el punt anterior.
- Capítol 4. Simulació.

S'executa la simulació dins d'un entorn de trànsit molt concret on les congestions del mateix provoquen situacions de disminució de qualitat de vida pels conductors i d'augment de fenòmens de contaminació de l'aire.

S'extreuen uns resultats i de l'anàlisi d'aquests es deriven unes conclusions.

Altrament s'adjunten annexes i links que detallen totes les passes necessàries per executar de forma correcta els simuladors.

- Capítol 5. Conclusions i treballs futurs

Es descriu de manera crítica a quines conclusions s'ha arribat amb l'estudi dels resultats de les simulacions, si aquestes han complert amb les expectatives planificades inicialment i a més, es detallen diverses intencions de futur per optimitzar l'ús dels tipus de simulacions presentades en aquest TFG.

## Capítol 2. Smart City i Xarxes VANET

### 2.1 Introducció al concepte d'Smart City

Segons les previsions publicades l'any 2017 per la UNESCO al 2050 la població mundial arribarà als nou mil milions d'habitants; d'aquests les tres quartes parts viuran en zones urbanes que estaran densament poblades. Segons fonts de l'ONU de l'any 2018 i per a la data anteriorment indicada, hi haurà un total de quaranta-tres mega-ciutats de més de deu milions d'habitants, la gran majoria en països en vies de desenvolupament. Aquestes perspectives fan preveure que s'ha de modificar el concepte de ciutat tal i com s'entén avui en dia, i anar cap un model que faci possible donar solucions als reptes que es plantejaran, aconseguint que la vida en l'interior d'una ciutat es desenvolupi d'una manera més sostenible i eficient.

Una ciutat intel·ligent o smart city ha de ser aquella que englobi una sèrie de conceptes encaminats a la sostenibilitat mediambiental, econòmica i social i que tindrà com a principal objectiu millorar la qualitat de vida dels seus habitants [1].

Hi ha múltiples definicions d'smart city en funció dels context en el que es parli, però totes tenen en comú la necessitat de la utilització de las TIC com a element fonamental per definir els dissenys i els procediments per establir sistemes intel·ligents que proporcionin als ciutadans un entorn adequat dins l'àmbit de la ciutat.

El fet de considerar l'ús de les TIC com a element imprescindible per a contribuir a la implementació, desenvolupament i sostenibilitat d'una ciutat intel·ligent o ciutat digital, es deu a que la seva creació i utilització ha esdevingut un paradigma que ha transformat l'antiga societat industrial en una societat del coneixement i ha trastocat la societat en totes les seves relacions; econòmiques, polítiques i socials. Aquesta transformació ha estat possible gràcies als intercanvis dels fluxos d'informació que els desenvolupaments informàtics i els desplegaments i explotació de les xarxes de telecomunicacions han permès [2].

Com es comenta en un punt anterior, hi ha diverses definicions de ciutat intel·ligent, de entre les que n'he triat dues; una més generalista, i una segona que ha estat modelada d'altres i que s'adapta més a les intencions i objectius d'aquest projecte.

“Ciutat intel·ligent (Smart City) és la visió holística d'una ciutat que aplica les TIC per a la millora de qualitat de vida i l'accessibilitat dels seus habitants i que assegura un desenvolupament sostenible econòmic, social i ambiental en millora permanent”.

“Una ciutat intel·ligent permet als ciutadans interactuar amb ella mateixa de forma multidisciplinària i s'adapta en temps real a les seves necessitats de forma eficient en qualitat i despeses, oferint dades obertes, solucions i serveis orientats als ciutadans com a persones, per resoldre els efectes del creixement de les ciutats, en àmbits públics i privats utilitzant la integració innovadora de

infraestructures amb sistemes de gestió intel·ligent". (Comité Técnico de Normalización de AENOR AEN/CTN 178 "Ciudades Inteligentes")

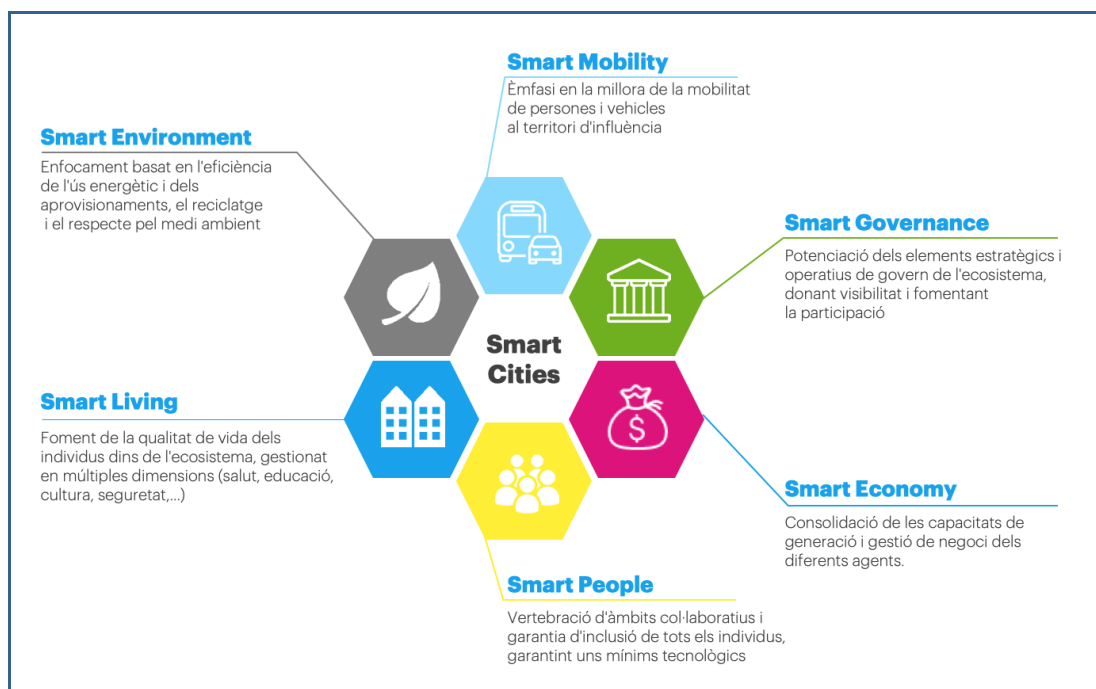
Les ciutats digitals poden ser identificades (o categoritzades) en sis dimensions [3]:

1. Economia digital (Smart Economy)
2. Mobilitat digital (Smart Mobility)
3. Ecosistema digital (Smart Environment)
4. Ciutadania digital (Smart People)
5. Vida digital (Smart Living)
6. Governança digital (Smart Governance)

Aquests sis eixos connecten amb les teories del desenvolupament i el creixement urbà. I, per a ser més concrets, estan fonamentats respectivament en teories de competitivitat regional, economia del transport i les TIC, recursos naturals, capital social i humà, qualitat de vida i participació ciutadana en la Governança de les ciutats.

Una ciutat pot ser qualificada de digital (o intel·ligent) quan inverteix en capital humà i social, en infraestructures tradicionals (transport) i modernes (TIC), en infraestructura de comunicacions, en desenvolupament econòmic sostenible i una alta qualitat de vida, juntament amb una gestió racional dels recursos naturals, a través de la gestió participativa.

A la figura 1 es mostren els eixos en els que estaria vertebrada la ciutat de Barcelona com a ciutat intel·ligent.



**Fig. 1. Dimensions d'una Smart city**

Font: Diputació de Barcelona: "Cap al municipi intel·ligent"

Aquest projecte té com a objectiu principal simular diferents escenaris de trànsit de vehicles en unes zones molt concretes d'una ciutat i analitzar el seu comportament per intentar adaptar-lo a un entorn d'una Smart City. Per tant, de les dimensions de ciutat intel·ligent comentades anteriorment, només introduïrem els conceptes de Mobilitat intel·ligent i de Governança intel·ligent. També s'elaborarà un exposició específicament dels Sistemes intel·ligents de Transport (SIT) com a model ideal dels sistemes de trànsit de vehicles d'una ciutat intel·ligent.

## 2.2 Smart City: estructures de desenvolupament i govern

Segons s'ha pogut veure a "Introducció al concepte d'Smart City" les previsions de superpoblació de les ciutats en un període de 30 anys són força realistes. Amb aquest escenari, les ciutats s'enfronten a una constant necessitat de consum d'energia, d'augment del trànsit de vehicles, de construcció d'edificis i infraestructures, de més demanda d'espais públics, de més necessitat d'espais verds, etc. i al mateix temps, els governs de les ciutats han d'intentar garantir la prosperitat econòmica i social i la qualitat de vida dels seus ciutadans.

La manera més eficient d'aconseguir aquests objectius és mobilitzar tots els potencials que té la ciutat mitjançant l'explotació de les TIC i amb el desenvolupament de noves polítiques per a la seva gestió i involucrar a totes les parts interessades (sector públic i privat) en un projecte comú.

El govern urbà en una ciutat intel·ligent s'implementa a través de diversos instruments complementaris entre ells com són el desenvolupament de normes y regles, la participació ciutadana, la transparència, el rendiment de comptes, l'ètica pública, l'eficàcia, l'eficiència i la sostenibilitat [4].

Entre els molts plantejaments i metodologies que es poden estudiar i aplicar per a la bona governança d'una ciutat intel·ligent, s'ha trobat un model que és més adient amb el propòsit d'aquest projecte [5].

Aquest plantejament divideix en els següents grans blocs els models ideals de desenvolupament de la ciutat:

1. Grau d'urbanització pròsper.

Inclou un model optimitzat de la gestió dels recursos basat en un entorn de TIC.

2. Sistemes de ciberseguretat com a pilar essencial en el govern d'una smart city.

Conté tots els aspectes relatius a la legalitat i la seguretat en la privacitat de la informació, de la gestió de la ciutat i dels sistemes de gestió econòmica.

Aquest tipus de seguretat ha d'existir en una forma que asseguri la continuïtat dels principals serveis públics d'una població (govern, educació, salut, seguretat pública i altres prestacions públiques).



### 3. Arquitectures heterogènies per a xarxes vehiculars.

Aquest bloc és el que comporta més interès en relació a aquest treball.

Es descriuen les xarxes VANET (Vehicular ad hoc networks) i les xarxes WSN (Wireless sensor networks) com a components crucials de la ciutat intel·ligent pels sistemes de gestió del trànsit. En aquest estudi es remarca la importància que té la minimització dels problemes derivats del transport, especialment els derivats de congestions de vehicles i dels accidents de circulació. Aquest apartat exposa que la combinació de les dues tecnologies comentades en una arquitectura híbrida permet identificar els sistemes intel·ligents de transport necessaris per a una smart city i que estudiarem en més detall en un punt posterior. Els mencionats sistemes han de tenir mecanismes que garanteixin la interoperabilitat de les comunicacions, ja que els nodes d'aquestes xarxes seran molt variables i aniran des de punts mòbils a instal·lacions fixes d'una ciutat i per tant el paradigma de comunicació serà el de "multi-hop amb beaconing sense fils altament escalable", juntament amb un model de "broadcast". Per altra banda, hauran de garantir també determinats estàndards i tenir en compte certs graus de latència.

### 4. Preu dels mecanismes de gestió de l'energia.

S'estudia la proposta de posar tarifes als sistemes d'obtenció d'energia de fonts naturals, en el context de la millora del medi ambient.

### 5. Construcció de sistemes intel·ligents.

Implementant el concepte d'smart city amb la integració de diferents tecnologies coma ara IoT (Internet of Things) i "Cloud computing" i altres SIT.

### 6. Reptes del IoT per simplificar el govern d'una ciutat.

Es considera un entorn apte pel govern d'una ciutat intel·ligent i en el que totes les parts implicades (ciutadans, societat civil, companyies privades, legisladors i administradors i reguladors de les xarxes) poden participar en la seva construcció, amb els problemes de coordinació que això pot representar.

### 7. Vigilància del funcionament de l'Smart city al límit de la xarxa.

Es presenta aquest punt com una aplicació dirigida a detectar, localitzar i tractar en temps real les possibles anomalies que es produeixen en entorns urbans, ja que les conseqüències podrien ser irreparables.

### 8. Gestió de la informació a les xarxes elèctriques i energètiques intel·ligents.

Es tracten els reptes del control de la informació i de les decisions preses a partir d'aquesta informació que ha estat recopilada a través de les xarxes energètiques intel·ligents.

### 9. Riscos i reptes de l'adopció dels vehicles elèctrics.

Es consideren els riscos però també les oportunitats de la introducció plena dels vehicles elèctrics en l'entorn d'una smart city tenint en compte els preus dels carburants i les emissions contaminats.

## 2.3 Model de trànsit d'una Smart City: Smart Mobility

Com ha de ser el model de trànsit de vehicles que compleixi amb els principis bàsics de l'entorn d'una Smart City?

Una de les definicions que més s'ajusta al patró ideal coincideix amb els principis bàsics de la Llei de mobilitat de Catalunya:[6]

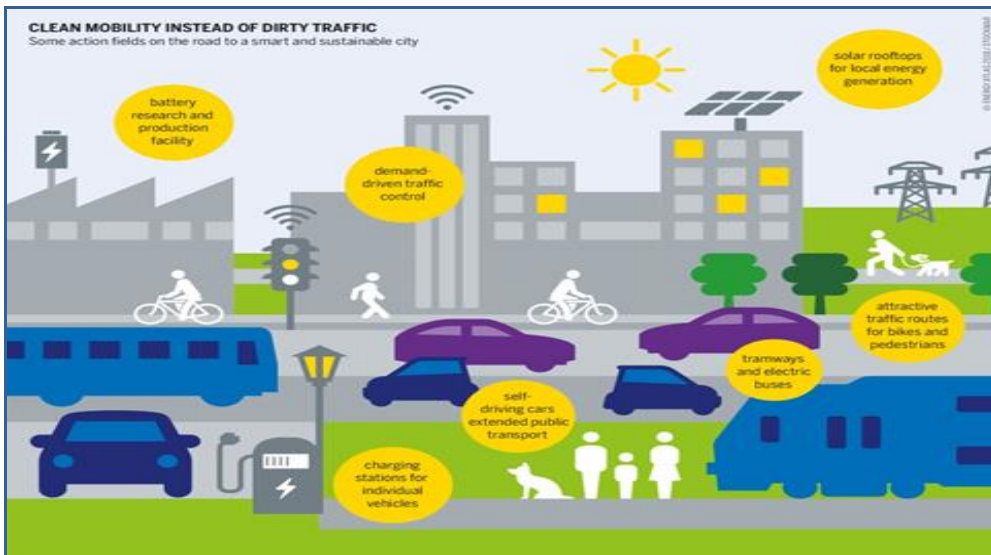
“La recerca d'un model de desenvolupament sostenible que permeti als ciutadans un alt nivell de qualitat de vida sense comprometre els recursos de les generacions futures; la visió global de la mobilitat com un sistema que prioritza els sistemes de transport més sostenibles, com ara el transport públic o anar a peu o amb bicicleta, sense renunciar a la complementarietat del transport privat; la intermodalitat com a principi per a cercar la màxima eficiència en l'aprofitament dels recursos de transport; la seguretat integral de les persones; el respecte al medi i als seus valors; la minimització del consum de recursos energètics i de sòl; la incorporació de sistemes de transport intel·ligents, més eficients i segurs, o la voluntat d'aprofitar les oportunitats de generació d'activitat econòmica a tots els racons del país”.

Els models de transport sostenible i segur que requereix una ciutat intel·ligent van dirigits a l'optimització, investigant sobre avenços tecnològics que millorin l'actual sistema de mobilitat dels vehicles. Aquesta optimització es fonamenta en augmentar l'eficiència del transport urbà, per exemple oferint mètodes tecnològics que incrementin les capacitats dels sistemes de control del trànsit.

L'aplicació d'aquests models tecnològics basats en l'intercanvi d'informació i dades en temps real, no només afecten les pràctiques i comportament dels usuaris sinó que també milloren els plans de mobilitat a les ciutats, implicant als ciutadans en el “crowdsourcing” o compartició de les dades i per tant en la pròpia planificació de la mobilitat [7].

Els objectius principals d'una mobilitat intel·ligent, es deriven d'un element clau; el control del trànsit. Aquests objectius principals es poden resumir en els següents [8]:

- Millorar la qualitat de vida dels ciutadans.
- Reduir l'impacte mediambiental.
- Millora l'eficiència i planificació del mitjans de transport.
- Reduir les congestions dels trànsit.
- Optimitzar l'aparcament
- Prioritzar al ciutadà en l'àmbit de la mobilitat



**Fig. 2. Objectius de l'Smart Mobility**

Font: Wikimedia Commons: "Clean mobility instead of dirty traffic"

Per tal de poder portar a terme aquests objectius és imprescindible la implicació de diferents actors que definiran posteriorment el model de governança de la ciutat. Aquest treball combinat entre las parts implicades ha d'anar dirigit a la consecució de les següents elements [9]:

- Generar el canvi cap a la mobilitat com a servei (MaaS), és a dir, modificar el concepte de conductor individual i propietari d'un vehicle per la idea d'usuari de diferents paquets de serveis de mobilitat, entre el que es trobarà també el vehicle particular.
- Contribuir a potenciar la informació en temps real generada per l'usuari i cap a l'usuari, perquè aquest disposi de les dades necessàries per triar el sistema de transport que li convingui.
- Augmentar la creació d'infraestructura intel·ligent, incloent aquí els vehicles connectats, de la que deriva la informació de la que es parla en el punt anterior, i la que permet influir en el comportament del ciutadà.
- Desenvolupar i afavorir les flotes de vehicles elèctrics, com un dels punts més forts per aconseguir la sostenibilitat energètica.
- Introduir el concepte de vehicle autònom, que no requereix conductor i d'aquesta manera els ocupants poden realitzar altres tasques.

## 2.4 Introducció als Sistemes Intel·ligents de Transport

Continuant aprofundint en el model de qualitat de vida que implica conviure en l'entorn d'una Smart City, i després d'haver fet un lleuger repàs al patró de mobilitat intel·ligent, ens endinsem en el que es denomina Sistemes Intel·ligents de Transport (SIT) i que poc a poc ens va portant cap a la comprensió del concepte de Xarxa vehicular i de com aquesta es pot utilitzar per optimitzar el trànsit en una ciutat intel·ligent.

Com ja s'ha explicat, s'està produint un creixement imparable de la població a les ciutats, i per tant s'incrementa també el volum del transport per carretera i les necessitats dels ciutadans en l'àmbit de la mobilitat. Totes aquestes causes produeixen una pujada creixent de les congestions de les infraestructures viàries i del augment del consum d'energia, així com el fet de constituir una font de problemes mediambientals i socials.

Per donar solució a aquesta situació, i pel que fa al espai europeu (a totes les àrees del planeta existeixen solucions similars), el Parlament Europeu adopta la Directiva 2010/40/UE amb la que s'estableix el marc per la implantació dels sistemes de transport intel·ligent amb la que es pretén crear una normativa comú que asseguri una implementació coordinada i eficaç de les TIC a tot el territori de la Unió Europea.

A partir d'aquesta normativa, els SIT es consideren com aquells sistemes basats en l'electrònica, la informàtica i les telecomunicacions a més de les aplicacions avançades que sense incloure la intel·ligència com a tal, proporcionen serveis innovadors en relació amb els diferents models de gestió del trànsit i que permeten als ciutadans estar més ben informats i fer un ús més segur, més coordinat i més "intel·ligent" dels sistemes de mobilitat [10].

Una vegada més, l'aplicació d'un component de les Smart Cities, requereix de l'esforç global i el treball en comú de totes les parts implicades, governs, indústria privada, centres d'investigació de TIC i ciutadans.

Els principals objectius que els SIT han de portar a terme es poden generalitzar en aquests quatre:

- Millorar la seguretat en tots els mitjans de transport (reduir els accidents).
- Millorar l'eficiència dels sistemes de transport reduint les congestions de trànsit.
- Implantar polítiques de desenvolupament sostenible del transport, reduint l'emissió de contaminants i optimitzant l'ús de les infraestructures (p.ex. aparcaments fora de les ciutats que tinguin connexió amb transport públic no contaminant).
- Incrementar el confort dels usuaris amb els serveis d'informació apropiats: sistemes d'ajuda a la presa de decisions, sistemes adequats de navegació i localització, sistemes de comunicació en temps real fiables i segurs.

Una modalitat més avançada dels SIT són els SITC (Sistemes Intel·ligents de Transport Cooperatius). Aquesta versió facilita d'una forma més efectiva la consecució dels objectius anteriors ja que diversos elements col·laboren de manera conjunta per proporcionar un servei que faciliti un o diversos dels objectius plantejats.

En el context d'aquest Treball trobem la possibilitat de cooperació que existeix entre les diferents parts que componen la circulació del trànsit d'un determinat escenari d'una Smart City, com poden ser els vehicles, els senyals de trànsit i la infraestructura.

Un aspecte molt important per assolir les finalitats d'un SITC radica en la quantitat d'informació que són capaços d'utilitzar ja que tenen més agents involucrats en el procés de creació d'un servei determinat [11].

Per tant, s'entén que per prevenir els accidents de vehicles, aconseguir carreteres més segures, reduir les congestions de trànsit, minimitzar la pol·lució i en definitiva, respectar els principis d'actuació de la circulació de vehicles en l'entorn d'una Smart City, aquests SIT han d'estar interconnectats i han de proporcionar dades en temps real. Perquè tots aquests elements s'intercanvien informació entre ells, i també amb la infraestructura i els vianants, han d'estar integrats en xarxes de telecomunicació que reuneixin les condicions tècniques adequades.

El desenvolupament d'una arquitectura eficient hauria de mostrar alertes actualitzades als usuaris sobre incidències en el trànsit, que permetin a aquests reaccionar de maneres diferents en funció de la situació i prendre decisions pròpies i alternatives que col·laborin en la reducció dels embussos de circulació, amb l'augment de la seguretat de les carreteres, a més d'ajudar a la sostenibilitat. Però no només s'hauria d'alertar als usuaris, sinó que també els gestors del trànsit (governos locals) tindrien la seva responsabilitat en la difusió d'informació encaminada a l'ajuda a la decisió. S'ha de pensar que procediments d'alerta en temps real redueixen els temps de viatge i els consums de carburant i per tant disminueixen les emissions contaminants, tot i que en un model ideal d'Smart City els vehicles haurien de ser elèctrics [12].

**Taula 1. Telecomunicació en el sector transport**

<b>Usuaris</b>	<b>Gestors</b>
Alerta embús de trànsit	Generació d'informació de seguretat
Avisos de límit de velocitat	Suggeriments de velocitat i distàncies
Temps d'arribada estimats	Intercanvi de dades entre diferents operadors
Informació sobre l'ús específic de carrils	Monitoratge de fluxos de transport
Serveis d'emergència (policia, bombers, ambulància)	Intercanvi d'informació per atendre a demandes de transport
Vehicle avariats a la via	Millora de la gestió del trànsit a partir d'informació de vehicles

*Font: Telecomunicación en el Sector del Transporte. (Hernández Jayo, Unai 2014)*

Del resultat de l'estudi de l'optimització de les comentades xarxes, neix el concepte de les VANET (Vehicular Ad hoc Networks), que serà desenvolupat en més detall en el proper capítol.

## 2.5 Introducció al concepte de Xarxa VANET

Continuant amb la part introductòria i de contextualització cada vegada més dirigida cap a la determinació de l'objecte d'aquest Treball de fi de Grau, és

bàsic presentar i detallar alguns conceptes relatius al desplegament i funcionament de xarxes mòbils de telecomunicacions vehiculars.

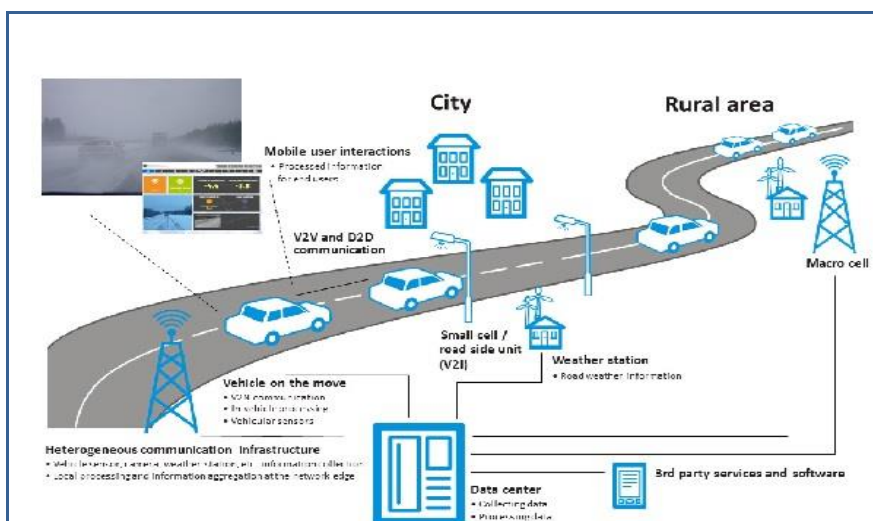
Aquests tipus de xarxes reben el nom de VANET (Vehicular Ad-hoc Network) i es dissenyen com una varietat de xarxes de comunicacions sense fils mòbils MANET (Mobile Ad-hoc Network) on els nodes de la xarxa seran dispositius instal·lats en vehicles i en equipaments fixes de la infraestructura, anomenant a la seva comunicació com Inter Vehicular Communication (IVC) (Fig.3).

Per altra banda, aquests nodes es caracteritzen per tenir una mobilitat arbitrària que pot ser alta, per la necessitat d'un elevat nivell de sincronització i per un grau de llibertat de moviments limitat.

A causa de les característiques esmentades, les xarxes VANET han de complir amb els següents requeriments:

- Escalabilitat: han de tenir la capacitat de ser escalables, es a dir, créixer sense perdre el seu propòsit. Aquesta característica ve molt relacionada amb la possibilitat de treballar amb un gran nombre de nodes.
- Robustesa: han d'estar preparades per funcionar amb certs nivells d'error en cas d'incidència a la xarxa. Si es produeixen errors i la xarxa no és prou robusta, la comunicació pot provocar situacions caòtiques.
- Baixa latència: la transmissió dels missatges ha de ser molta ràpida, no pot tenir retards. El procés des de que es produeix un accident fins que arriba el senyal d'avertiment ha de ser de durada inapreciable.
- Alt rendiment: s'ha de disposar d'un alt rang de lliurament correcte de missatges sobre la xarxa. Si el rendiment és baix, es podria produir una saturació de la xarxa amb les implicacions de seguretat que això suposaria.

Els sistemes VANET requereixen la definició de tècniques molt precises de disseny de xarxes, la disponibilitat i representació de les quals es comproven mitjançant l'ús de simulacions [13].



**Fig. 3. Xarxa VANET**

Font: [www.vttresearch.co](http://www.vttresearch.co)

El funcionament d'aquests tipus de xarxes permeten entre d'altres utilitats, des de la difusió de missatges d'emergència fins a la monitorització de l'estat del trànsit, passant pel disseny de sistemes de seguretat vial i de prevenció de col·lisions.

Aquestes aplicacions es produeixen gràcies a l'intercanvi de missatges entre vehicles i dels vehicles amb la infraestructura, amb la finalitat de millorar la capacitat de resposta del conductor i conseqüentment la seguretat en el cas de detectar-se algun incident a la via, o també per poder escollir una ruta alternativa en cas de congestions. A més poden anar encaminades a potenciar el confort durant els trajectes. Els missatges es poden difondre per broadcast o per beaconing.

## 2.6 Camps d'aplicació

Els principals serveis que pot oferir aquest intercanvi cooperatiu de missatges entre els nodes mòbils en una xarxa VANET [14] queden resumits a la taula 2, i donen una idea de la importància que suposaria el desplegament d'una xarxa d'aquests tipus sobre la mobilitat vehicular en el marc d'una Smart City.

**Taula 2. Intercanvi cooperatiu de missatges**

APLICACIÓ	PROPÒSIT	EXEMPLE
<b>SEGURETAT VIAL</b>	Carreteres perilloses	Advertència en interseccions
	Condicions anormals de trànsit	Advertència en zones d'obres
	Perill de col·lisió	Advertència d'angle mort, canvi de carril, vianants que creuen
	Xoc imminent	Frenada pre-accident
	Avís d'incident	Alerta post-col·lisió, avís de SOS
<b>SERVEI PÚBLIC</b>	Resposta a l'emergència	Alerta vehicle d'emergència. Senyal d'anticipació
	Suport autoritats	Matrícula o permís de conduir electrònics
<b>MILLORA DE LA CONDUCCIÓ</b>	Millora de la conducció	Assistent de carretera o de gir
	Eficiència del trànsit	Notificació d'accidents, guia de ruta i navegació, aparcaments
<b>NEGOCI I ENTRETENIMENT</b>	Manteniment de vehicles	Diagnosi remota, avisos de seguretat
	Serveis mòbils	Internet, notificació de punts d'interès
	Solucions empresarials	Gestió de flotes, lloguers, seguiment de la càrrega

Font: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions. IEEE Communications Surveys & Tutorials.

## 2.7 Tipus de comunicació

Dintre de l'entorn d'una xarxa vehicular es poden establir diversos models de comunicació entre nodes:

- Vehicle a Vehicle (V2V): comunicació realitzada entre els vehicles com a nodes ad-hoc espontanis.
- Vehicle a infraestructura (V2I): comunicació que s'estableix entre els vehicles i les instal·lacions fixes.
- Infraestructura a vehicles (I2V): comunicació en sentit invers a l'anterior, però que pot tenir responsabilitats completament diferents.
- Infraestructura a infraestructura (I2I): tot i que podria semblar que no pertany a un model comunicatiu d'una xarxa vehicular, ja que els nodes no són mòbils, malgrat tot, sí que serveix per transmetre entre diversos punts de la infraestructura la informació rebuda pels vehicles. Seria el cas de informar a una central de control de trànsit de les dades rebudes de sensors d'instal·lacions fixes.

Aquests tipus de comunicació precisen d'una sèrie de característiques de les que s'ha de dotar a la xarxa:

- Ample de banda dedicat.
- Baixa latència.
- Alta fiabilitat.
- Interoperabilitat.
- Seguretat i privacitat.

## 2.8 Components i les seves aplicacions

L'arquitectura d'una xarxa VANET es pot dividir en tres mòduls[13]:

- **Domini de la unitat mòbil**: format pel vehicle com a unitat amb sistema intel·ligent de transport, o també per usuaris a dispositius mòbils. En aquest domini la connexió es produeix en dos sentits, V2V i V2I, involucrant nodes mòbils i instal·lacions fixes.
- **Domini de la infraestructura**: conté principalment els elements de la xarxa situats a la via pública. Es tracta de la distribució de sensors, emissors i altres components electrònics els quals implementen la comunicació V2I. S'ha d'incloure en aquest domini un element clau que és l'òrgan de gestió o centre de control.
- **Domini Ad hoc**: consisteix en l'agrupació de vehicles equipats amb les seves OBU (1) i les estacions fixes distribuïdes al llarg de les vies o RSU(2)

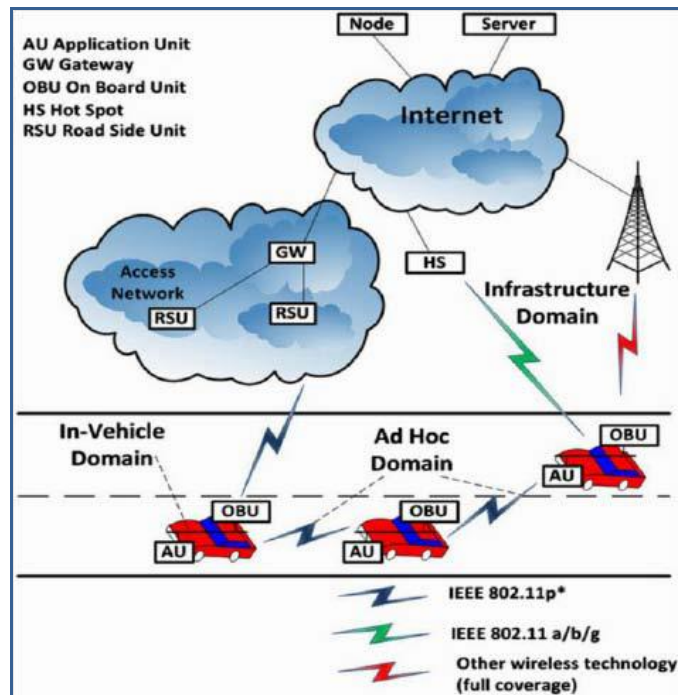


- **Domini de la gestió:** En aquest domini s'inclouen els servidors i les aplicacions de supervisió. Quan un missatge arriba a un servidor alertant d'un accident o una congestió de trànsit, el servidor envia un missatge d'advertència de tornada als vehicles que es troben a l'abast.

Els principals components d'una xarxa VANET són [15]:

- **Application Unit (AU):** Dispositius electrònics equipats a l'interior d'un vehicle i que proporcionen les capacitats de comunicació a la OBU <sup>(1)</sup>. Aquests elements poden ser components específics instal·lats al vehicle, o pot tractar-se d'elements individuals de comunicació (p.ex. smart phones, PDA,...). Es connecten amb la OBU per mitjà de cablejat o sense fils. Els AU comuniquen amb la xarxa exclusivament per mitjà de la OBU.
- <sup>(1)</sup> **On Board Unit (OBU):** Element que actua com a node mòbil de la xarxa i que proporciona la capacitat de prendre les accions de la mobilitat i de la connexió amb la resta de nodes de la xarxa. Està format per una antena de ràdio freqüència, un *Resource Command Processor* (RCP), un mòdul de memòria d'escriptura/lectura on s'emmagatzema i recupera la informació, una *Human Machine Interface* (HMI) per donar la cara visible de la interpretació de la informació i per permetre la Interactuació amb l'usuari, una interfície específica per enllaçar amb les altres OBU i RSU<sup>(2)</sup> mitjançant connexió sense fils basada generalment en el protocol IEEE 802.11p, sensors, bus de comunicacions i finalment programari de suport per fer funcionar la pila de xarxa específica per les VANET i els pertinents protocols de la capa física. Les principals funcions d'aquest element són:
  - Proporcionar accés ràdio.
  - Facilitar l'encaminament ad-hoc i geogràfic.
  - Proveir control de bloqueig de xarxa.
  - Afavorir el transport consistent de missatges.
  - Assegurar la seguretat de la informació.
  - Procurar la mobilitat IP.
- <sup>(2)</sup> **Roadside Unit (RSU):** Components de la xarxa que funcionen com a nodes fixes. Es troben distribuïts al llarg de les carreteres i vies urbanes, normalment en emplaçaments estratègics com ara interseccions de carrers, llocs d'aparcament, semàfors, senyals de trànsit, instal·lacions elevades, etc. Els RSU estan equipats amb dispositius de xarxa DSRC (Dedicated Short Range Communication) basats generalment en el protocol IEEE 802.11p. Estan formats de forma general per una antena, un processador, un mòdul de memòria d'escriptura-lectura i les interfícies necessàries per a cablejat o comunicació sense fils [16]. Les funcionalitats més habituals per a aquests components es detallen a continuació:

- Ampliar l'abast de la comunicació distribuint la informació cap a RSU més llunyans.
- Operar com a eina de transmissió de missatges relacionats amb el trànsit (alerta d'accident, avís de congestió, advertència de pas de vehicle prioritari, indicació de l'estat de la via, etc.).
- Proveir als OBU d'altres connectivitats com ara accés a Internet.
- Actuar com a centre de control.



**Fig. 4. Dominis i components d'una xarxa VANET**

*Font: IEEE Xplore digital library*

## 2.9 Estàndards i protocols de comunicació vehicular

La particularitat de disseny i funcionalitats de les xarxes vehiculars determinen l'adopció d'uns protocols i estàndards de comunicació específics. Una xarxa d'aquest tipus ha de proporcionar unes capacitats especials com ara detectar obstacles a la carretera, llençar missatges d'alerta, gestionar ajudes per a la conducció i per la presa de decisions, etc.

La intenció d'aquest apartat no és la de detallar protocols i estàndards de comunicació vehiculars, la qual cosa faria del treball un extens text que s'allunyaria del propòsit real, sinó la de donar a conèixer un marc general en el que es trobrien els fonaments de les tecnologies de comunicació més adients per optimitzar l'intercanvi d'informació en una xarxa VANET.

Primerament, s'ha de comentar que existeixen dues tendències generals en aquest àmbit, la implantada pels Estats Units i la que es desenvolupa a Europa. A la taula nº 3 es pot apreciar la distribució de l'espectre electromagnètic per aquestes comunicacions.

**Taula 3. Distribució de canals per xarxes VANET**

	<b>EU</b>	<b>EEUU</b>
<b>Comissió</b>	ETSI (European Telecommunications Standards Institute)	FCC (Federal Communication Commission)
<b>Estàndard</b>	ETSI	DSRC (Dedicated Short Range Communications)
<b>Banda</b>	75 MHz	75 MHz
<b>Ample</b>	5.850 -5.925 GHz	5.850-5.925 GHz
<b>Canals (10 MHz ample)</b>	172,174,176,178,180	172,174,176,178,180,182,184
<b>Canals de control (CCH)</b>	180	178
<b>Canals de servei (SCH)</b>	172,174,176,178	172,174,176,180,182,184

Una vegada es van definir els canals per on transmetre les dades, l'IEEE va ampliar la família d'estàndards ja existent dedicada a les WLAN (Wireless Local Area Network), la IEEE 802.11, afegint el protocol 802.11p per a donar suport adequat en entorns de xarxes vehiculars (topologia altament dinàmica i velocitats grans dels nodes) a nivell físic (PHY) i d'accés al medi (MAC), utilitzant les bandes de les comunicacions tipus DSRC vistes a la taula nº 3. A més, està suportat per comunicacions CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)[17] i dotat amb el mecanisme EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) per a control de la QoS (Quality of Service) quan el sistema accedeix al medi.

Aquest nou protocol que es podria assignar al model nord-americà (802.11p) queda estandarditzat amb la normativa IEEE 1609 sota les sigles WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) on es defineix una completa arquitectura amb protocols, servei i interfícies per a que un node tipus WAVE pugui comunicar-se en un entorn vehicular amb comunicacions V2V, V2I i I2V.

Pel que fa al marc europeu la tendència és la d'utilitzar el protocol ETSI ITS-G5, encara que tots dos protocols mantenen unes característiques molt similars i són perfectament integrables un amb l'altre.

Continuant amb aquesta família d'estàndards WAVE 1609 es presenta la taula nº 4 en la que es descriu la totalitat de protocols vinculats cada un d'ells a la seva capa de la pila de protocols corresponent.

**Taula 4. Estàndard WAVE, funcionalitat per capes**

	Protocol	Capa	Funcionalitat
<b>Família IEEE 1609 WAVE</b>	IEEE 1609.0	Accés al medi	Defineix l'arquitectura i el model de comunicació
	IEEE 1609.1	Aplicació	Describeix l'administrador de recursos que permet a una OBU executar processos de forma remota.
	IEEE 1609.2	Xarxa i accés al medi	Proporciona serveis de processament segurs i serveis de gestió segurs.
	IEEE 1609.3	Xarxa i Transport	Suporten les comunicacions sense fils entre dispositius WAVE. S'encarrega del servei d'encaminament i direccionalment de paquets dintre de la xarxa.
	IEEE 1609.4	Accés al medi	Coordina canals i gestiona les operacions multicanal.

L'enviament i recepció de dades a través de la xarxa VANET es realitza mitjançant un protocol específic anomenat WSMP (WAVE Short Message Protocol) amb el que s'utilitzen missatges WSM. A l'estàndard europeu els missatges que s'intercanvien són de dos tipus; CAM (Cooperative Awareness messages) i DENM (Decentralized Environmental Notification Messages).

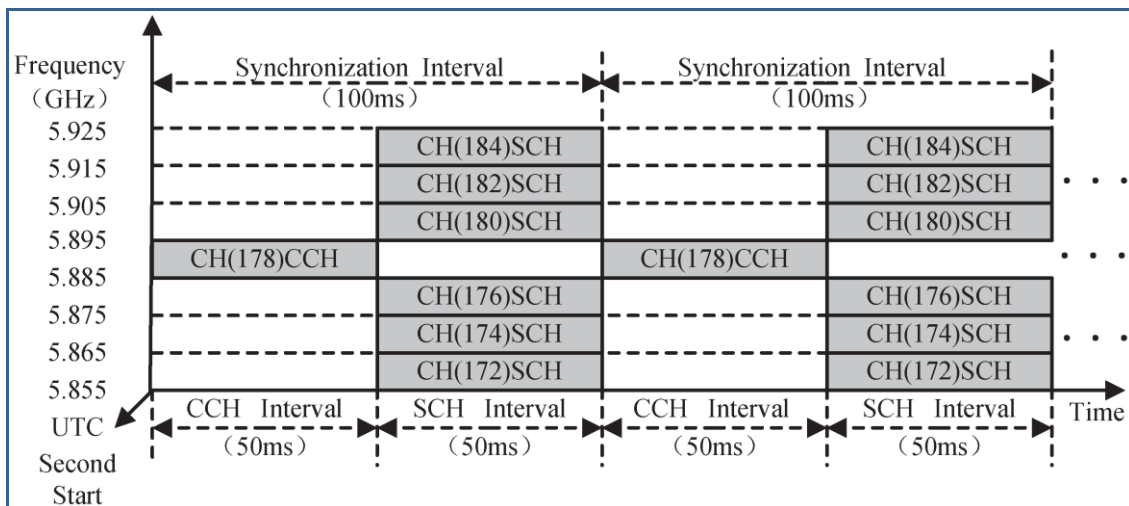
A la figura 5 es poden observar la pila de protocols completa basada en WAVE i amb l'estàndard IEEE 802.11p a les seves capes MAC i física i la pila basada en ETSI ITS G-5.



**Fig. 5. Pila de protocols WAVE i ETSI-ITS G5**

Font: revistas.unimilitar.edu.co

El canal comú en el que els diferents dispositius es sincronitzen es denomina Canal de Control CCH (Control Channel) designat pel IEEE 1609.4. Per aconseguir la sincronització es fa servir una font de temps comú entre els dispositius que és el senyal de posicionament GPS i que consta d'una marca de temps universal coordinat UTC (Universal Coordinated Time). Un cop s'ha sincronitzat els dispositius, l'estàndard IEEE 1609.4 marca la divisió del temps en intervals tant per al CCH com per als canals de servei SCH (Service Channels) [34].



**Fig. 6. Intervals de canal**

Font: <http://networking.khu.ac.kr>

Tot i que l'estàndard 802.11p és el pilar en el què es sustenten aquests tipus de comunicacions vehiculars cooperatives, potser es queda massa rígid pel que respecta a la comunicació entre nodes. Així doncs s'han desenvolupat altres projectes que donen propostes obertes com ara l'arquitectura CALM (Communication Access for Land Mobiles) gràcies a la iniciativa del ISO TC 204/Working Group 16, s'integren, a més dels estàndards del 802.11p, altres models de comunicació més heterogenis com ara les connexions cel·lulars GPRS, 3G, 4G o els futurs 5G i IoT.

Ja que les protocols que s'utilitzen pel simulador VEINS de xarxes VANET estan basats en l'estàndard IEEE 802.11p WAVE, s'aprofundirà en aquests a continuació.

### 2.9.1 Estàndard IEEE 802.11p WAVE

Aquest protocol està adaptat per a les peculiaritats d'entorns vehiculars sense fils. Les especificacions d'aquest estàndard es centren en les capes inferiors del model OSI, la capa física i la capa d'accés al medi. Les principals característiques d'aquest model es poden veure resumides a la taula 5.

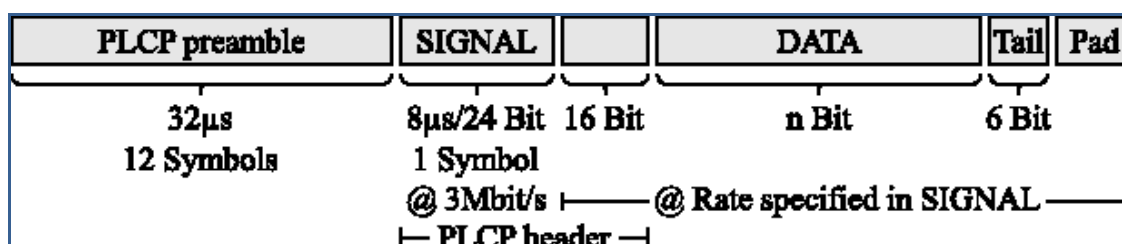
**Taula 5. Informació del model sense fils V2X, IEEE 802.11p WAVE**

Indicative wireless data link characteristic	802.11p WAVE
Bit rate	3 – 27 Mbps
Communication range	< 1000 m
Transmission power for mobile (maximum)	760 mW (US) 2 W (EU)
Channel bandwidth	10 MHz
Allocated spectrum	75 MHz (US) 30 MHz (EU)
Frequency bands	5.86 – 5.92 GHz

Font: <http://www.scielo.org.co>

Pel que fa al nivell físic, queda dividit en dues sub-capes; la sub-capa de funció de convergència PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) i la sub-capa depenent del medi físic PMD (Physical mèdiu Dependent). La sub-capa PLCP és l'encarregada d'indicar la velocitat de les dades i la longitud dels paquets de dades, a més prepara la unitat de dades del protocol MAC MPDU (MAC Protocol Data Unit) per a poder crear la unitat de dades del protocol de la capa física PPDU (Physical Layer Protocol Data Unit), mentre que la sub-capa PMD s'encarrega d'establir els mètodes de transmissió i recepció amb les característiques necessàries per la utilització del medi sense fils [35].

A la sub-capa PLCP és a on es defineixen els formats de trama. Aquestes, es diuen trames PPDU (Physical Layer Protocol Data Unit), i presenten la següent distribució:



**Fig. 7. Trama PPDU estandard 802.11p**

Font: WARP Project Forums - Wireless Open-Access Research Platform

Utilitza un mètode de transmissió de multiplexatge per divisió ortogonal de freqüència OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation) amb diversos tipus de modulació de senyal; BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation) y 64QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation) [36].

Fa servir 64 sub-portadores de les quals es dediquen 52 per la transmissió (48 per dades i 4 per rastrejar el desplaçament de freqüència i el soroll de fase).

**Taula 6. Paràmetres de modulació**

Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding RATE(R)	Coded bits per subcarrier( $N_{sub}$ )	Coded bits per OFDM symbol ( $N_{OFDM}$ )	Data bits per OFDM symbol ( $N_{data}$ )
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

Font: Universitat de Montevideo

El consorci de comunicacions de seguretat vehicular VSCC (Vehicular Safety Communications Consortium) ha establert una latència màxima de 100 ms per a WAVE, dada que en principi pot semblar alta però que en un entorn de comunicació vehicular on la pèrdua de paquets és molt habitual degut a l'alta densitat de nodes en moviment [37] es considera acceptable.

El mecanisme MAC que es fa servir és EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), que dota de comunicació en temps real i a més proporciona bons graus de Qualitat de Servei QoS (Quality of Service). EDCA permet que si un node envia diversos paquets aquests s'agrupen en cues per prioritat i va

aplaçant el seu lliurament a mida que el canal es troba lliure. EDCA utilitza múltiple accés al canal amb escolta de portadora y evasió de col·lisions CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collission Avoidance), com ja s'ha introduït en el punt anterior.

## 2.10 Protocols de gestió del trànsit basats en una xarxa VANET

En l'àmbit de la Unió Europea, es desenvolupen una sèrie de Programes Marcs que tenen com a principal objectiu fomentar i recolzar les iniciatives en I+D+I en els països del seu entorn dintre dels períodes de vigència dels mateixos.

En les últimes dècades s'han elaborat o estan previstos per iniciar-se, els següents:

- VI Programa Marc (2002-2006)
- VII Programa Marc (2007-2013)
- Horitzó 2020 (2014-2020)
- Horitzó Europa (2021-2027)

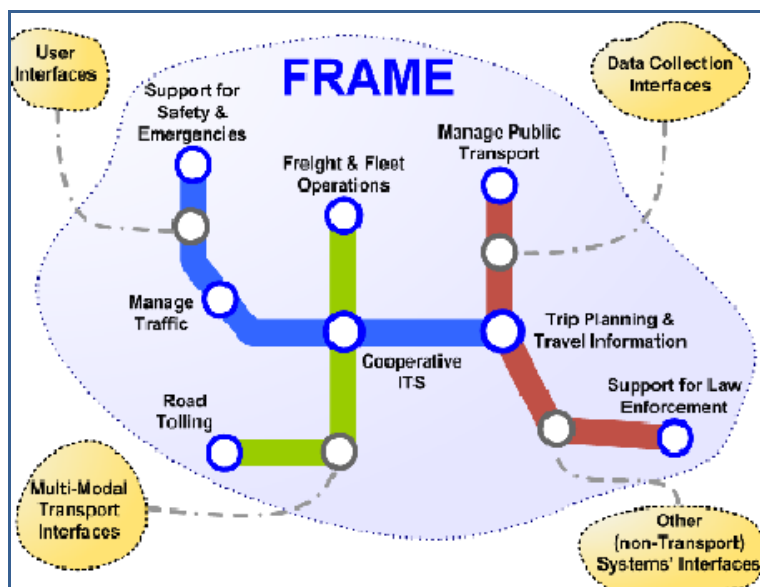
Tots ells han inclòs com a una de les seves prioritats la potenciació de projectes d'investigació relatius als sistemes cooperatius vehiculars relacionats amb el disseny de xarxes VANET.

Aquests estudis han propiciat la creació de diferents sistemes de disseny de models de comunicació vehicular que persegueixen aconseguir patrons de gestió del trànsit que facin que aquest sigui principalment més segur i més sostenible, identificant-se doncs amb el format del trànsit en una Smart City.

En els següents punts es donen dades introductòries sobre les mencionades arquitectures, les quals són sistemes oberts que admeten millores i actualitzacions específiques que es van incloent a mida que es desenvolupen.

Tots els sistemes europeus relacionats amb els SIT cooperatius parteixen d'una estructura bàsica que va ser definida amb la creació de l'arquitectura FRAME,[21] la qual va ser creada per proporcionar un marc mínim necessari pel desplegament d'altres sistemes integrats i interoperables en l'entorn de la UE.

A la figura 8 es pot apreciar l'abast d'aquest model base per al desenvolupament de SIT cooperatius com ara les xarxes VANET.



**Fig. 8. Distribució FRAME**

Font: [frame-online.eu](http://frame-online.eu)

Existeixen nombrosos projectes que han desenvolupat arquitectures basades en els C-ITS (Transports Intel·ligents Cooperatius) com ara el sistema europeu CCAM (Cooperative Connected and Automated Mobility), creat amb l'objectiu de facilitar la convergència de les inversions i dels marcs regulatius en el territori de la UE amb la intenció de desenvolupar un desplegament generalitzat de xarxes VANET en un futur pròxim.

Malgrat tot, les esquemes bàsics estaran fonamentats en alguna de les distribucions que es presenten tot seguit, i que pertanyen a projectes amb una certa antiguitat però els quals es mantenen oberts pel que fa a revisions i posades en marxa quan calgui.

### 2.10.1 CALM ( Cooperative Access for Land Mobiles o “Continuous Air interface for Long and Medium distance )

La gran aportació de l'arquitectura CALM als sistemes de comunicació vehiculars és que per primera vegada totes les parts implicades en l'àmbit del transport (companyies automobilístiques, companyies de construcció d'infraestructures, agents socials, administracions) han col·laborat en la construcció d'un sistema que unifica tots els àmbits de les comunicacions en el transport, tant pel que fa a mitjans físics com a aplicacions que donen ús a les interfícies esmentades.

És l'arquitectura marc definida pel l'ISO per a donar suport de comunicacions en entorns mòbils. Està formada per una sèrie d'estàndards internacionals, de manera que poden suportar comunicacions contínues mitjançant diferents interfícies i mitjans físics com poden ser IEEE 802.11, 802.11p, 802.15, 802.16i, 802.20, telefonia mòbil 2G/3G/4G [19].

A la taula 7 es relacionen les tecnologies implicades en totes les comunicacions actuals dintre de l'estructura CALM. Els grups de recerca i investigació d'aquest

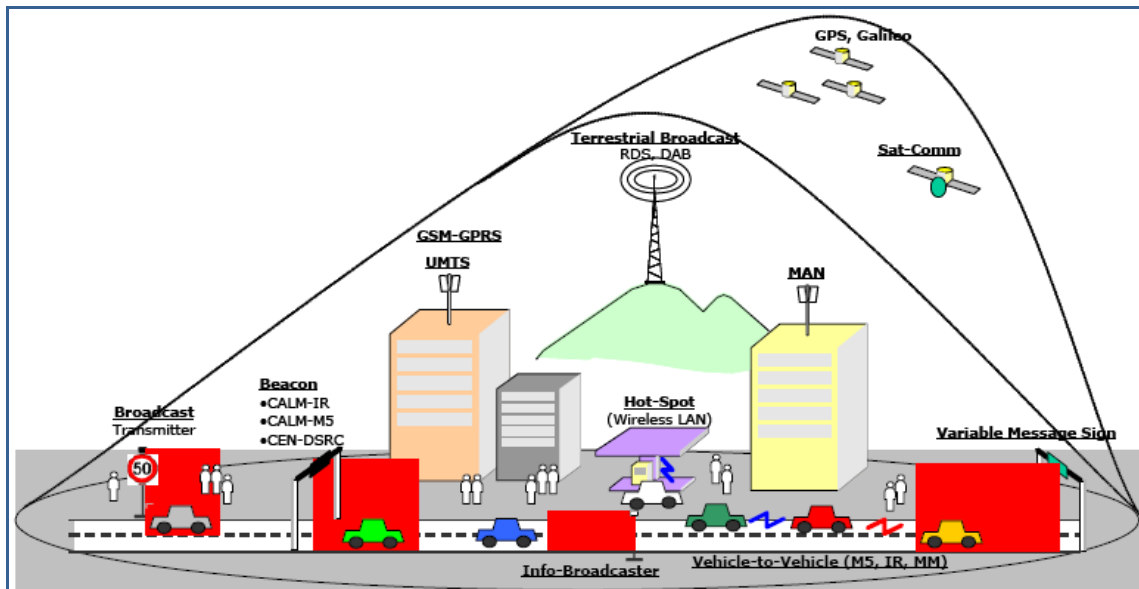


projecte continuen desenvolupant noves actualitzacions, intentant adaptar-se a les necessitats del moment [12].

Estàndard	Funció
ISO 21212	Xarxa cel·lular 2G (GSM)
ISO 21213	Xarxa cel·lular 3G (UMTS)
Actualitzacions dels anteriors	Xarxa cel·lular 4G (LTE)
ISO 21214	Infrarojos de 820nm a 1.010nm
ISO 21215	Accés a la capa MAC de la interfície de comunicació CALM M5, la qual opera a 5GHz. És l'estàndard conegut com IEEE 802.11p
ISO 25112	Selecciona les opcions adequades per al desplegament en CALM de Wimax (IEEE 802.16e)
ISO 25113	Selecciona les opcions adequades per al desplegament de HC-SDMA (IEEE 802.20)
IEEE 802.15	Comunicacions de curt abast Bluetooth
IEEE 802.3	Comunicacions amb fils ETHERNET
DSRC	Dedicated Short Range Communications, sense fils de curt i mitjà abast a 5.9 GHz
RFID	Information transmission between a tag and a tag reader

**Taula 7. Mitjans físics previstos a CALM**

Un possible desplegament CALM es el que es pot observar a la fig.9



**Fig. 9. Desplegament arquitectura CALM**

Font: <http://calm.its-standards.eu/>

## 2.10.2 CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems)

Basat en els estàndards, el suport físic i l'estructura general de CALM, es fonamenta principalment en el desenvolupament i la implementació de sistemes de comunicació embarcats [12][19].

El conjunt de serveis oferts per CVIS es pot agrupar segons la distribució de la taula 8.

**Taula 8. Serveis proporcionats per l'arquitectura CVIS.**

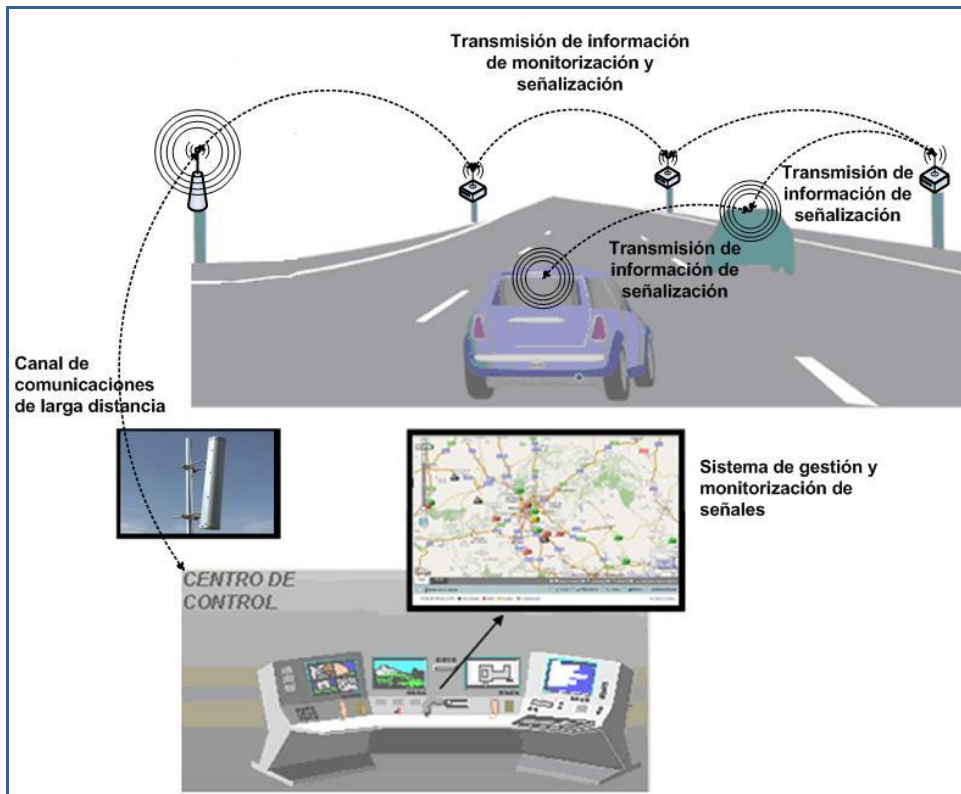
V2I (Vehicle to Infrastructure)	V2V (Vehicle to Vehicle)
Avís d'angle mort	Avís de vehicle amb llums d'emergència
Avís de velocitat a corbes	Avís de zona d'angle mort
Avís de vehicle prioritari	Avís de col·lisió
Avís de pas a nivell, intersecció	Avís de canvi de carril
Avís de semàfor en color ambre	Avís de trucada d'emergència
Avís de pas de túnel baix	Avís de vehicle en sentit contrari
Avís de pas de vianants	
Avís de condicions de la carretera	
Avís d'obres a la via	

La capa de comunicacions de CVIS necessita desplegar programari i maquinari que sigui capaç d'establir i mantenir aquests enllaços de comunicacions. L'entorn cooperatiu proposat per CVIS proporciona tant comunicacions broadcast com encaminament geo-networking. Això significa que la informació es transmet en zones geogràfiques concretes. L'estàndard IEEE 802.11p s'empra en comunicacions de curt abast V2V i V2I, mentre que l'accés a un sistema central de control del trànsit es fa per mitjà de xarxes cel·lulars 4G.

En CVIS s'utilitza el protocol de xarxa IPv6, encara que no està implementat, i per tant, ofereix l'alternativa sobre IPv4 mitjançant l'ús d'aplicacions de tunnelling.

És molt important assenyalar que en el desplegament d'aquesta arquitectura, juntament amb els dispositius embarcats (OBU) i els localitzats a la infraestructura (RSU), es preveu la figura d'un sistema central encarregat de centralitzar la informació produïda per cadascun d'aquells elements, i de donar accés a dades i serveis proporcionats per aplicacions allotjades en altres servidors i accessibles mitjançant Internet.

Un possible desplegament CVIS es veu la figura 10.



**Fig. 10. Subsistemas CVIS**

Font: [trimis.ec.europa.eu](http://trimis.ec.europa.eu)

### 2.10.3 COOPERS (Co-operative for intelligent road safety)

Aquest projecte està dirigit al desenvolupament d'aplicacions telemàtiques que es puguin desplegar en les instal·lacions fixes de la via pública. L'objectiu principal és proveir d'un sistema de gestió del trànsit col·laboratiu entre els vehicles i la infraestructura.

COOPERS fa ús de les tecnologies de CALM des del punt de vista físic, com per exemple els sistemes de senyalització variable, enllaços sense fils de curt abast IEEE 802.11p, xarxes cel·lulars i la possibilitat d'enviar missatges broadcast a vehicles en una àrea concreta [12].

Aquest sistema proporciona tant a vehicles com a conductors informació sobre l'estat de la xarxa vial i esdeveniments relatius a la seguretat de la via, mitjançant un enllaç de comunicacions I2V, centrat en la capacitat que pot tenir la infraestructura de generar informació, processar-la i enviar-la als conductors, de manera que puguin elaborar estratègies de gestió de trànsit que únicament pot proveir en temps real l'operador de la infraestructura. Aquest flux de dades es fa sobre la base d'àrees geogràfiques concretes.

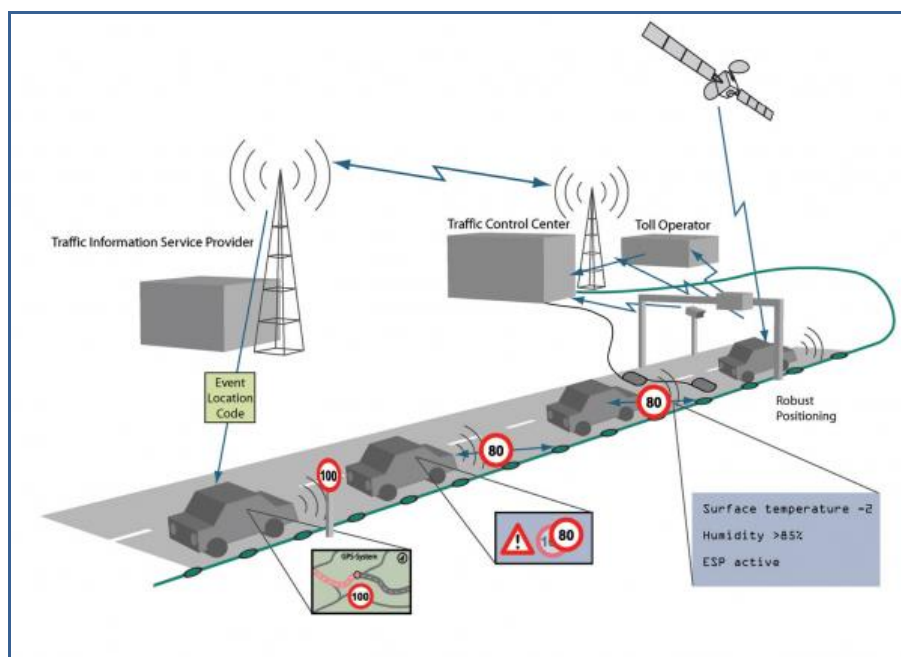
El desplegament d'un enllaç I2V pot ser molt efectiu a les zones amb una alta densitat de trànsit, allà on el risc d'accidents i retencions és més gran. A més si s'afegeix un enllaç invers V2I, els vehicles poden fer de nodes mòbils capaços de recollir informació en temps real i reportar-la cap al sistema central de control [19].

A la taula 9 es poden apreciar els serveis que pot oferir un desplegament CVIS

**Taula 9. Serveis suportats per l'arquitectura COOPERS**

Serveis a bord (OBU)	Serveis de l'operador (RSU)
Alerta d'embús de trànsit	Generació d'informació de seguretat
Avís de límit de velocitat	Suggeriments de velocitat i distàncies
Temps d'arribada estimat	Intercanvi de dades entre diferents operadors
Informació sobre l'ús específic dels carrils	Monitoratge de fluxos de transport
Avís de serveis d'emergència	Intercanvi d'informació per atendre demandes de transport
Avís de vehicle avariats a la via	Millora de la gestió del trànsit a partir d'informació dels vehicles

Amb la figura 11 es pot tenir una visió de l'abast d'un desenvolupament COOPERS



**Fig. 11. Arquitectura COOPERS**

Font: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Finalment, s'ha de comentar que han existit, existeixen i existiran altres projectes relacionats amb la consecució de models de trànsit més eficients i sostenibles, que no es detallaran per no estendre més el contingut d'aquest estudi. Alguns d'ells es relacionen tot seguit:

- COMesafety <https://cordis.europa.eu/project/rcn/80584/factsheet/en>
- GeoNet <https://www.networks.imdea.org/research/projects/concluded/geonet>
- Pre-Drive C2X <https://www.eict.de/projekte/#project-8>
- SAFESPOT <http://www.safespot-eu.org/>
- SEVECOM <https://trimis.ec.europa.eu/project/secure-vehicle-communication>
- C2C-CC <https://www.car-2-car.org/>
- HeRO2 <http://www.heero-pilot.eu/view/en/home.html>
- SISCOGA <https://ctag.com/espanol-uso-del-corredor-inteligente-siscoga-en-proyecto-europeos/>
- FOTSIS <http://www.fotsis.com/>
- DriverC2X <https://www.eict.de/projekte/#project-8>
- FOTNET <http://fot-net.eu/>
- ERTICO <https://ertico.com/>

## 2.11 Projectes similars i la seva contribució a aquest TFG

D'entre totes les fonts consultades pel desenvolupament d'aquest TFG, s'ha revisat una sèrie de projectes de temàtica relacionada que es troben al repositori de la UOC. S'ha de dir que cap d'aquests estudis planteja la possibilitat d'adaptar un escenari que ha estat creat nou, amb unes circumstàncies molt específiques com és el que s'ha simulat en aquest treball. Aquests treballs s'han limitat a l'estudi de paràmetres del trànsit en escenaris molt simples o d'altres han analitzat models que venen incorporats amb les respectives aplicacions a mode d'exemple. Tot i així, també s'ha de comentar que la utilització del simulador VEINS no és un tema profús en la literatura que es pot trobar a la WEB o en altres repositori i biblioteques.

Els projectes que s'han consultat i com han contribuït a la realització d'aquest TFG són els següents:

- I. "Análisis del Protocolo IEEE 802.11p en Sistemas de Comunicación Vehiculares V2X". Treball de fi de Màster d'Enginyeria de Telecomunicació. Àrea de Telemàtica. UOC

Autor: Rodrigo López-Romero Guijarro. GENER 2019.

Contribució: Característiques i dades tècniques del protocol IEEE 802.11p, informació del funcionament i configuració de VEINS i paràmetres que es poden avaluar.

- II. "Comunicaciones peer-to-peer entre vehículos i/o vehículos i estaciones fijas". Treball de fi de Màster d'Enginyeria de Telecomunicació. Àrea de Telemàtica. UOC

Autor: Jordi Solsona Esteve. JUNY 2016.

Contribució: Informació sobre protocols de gestió de rutes en xarxes VANET, informació sobre entorns de simulació i informació sobre paràmetres mesurables amb la simulació.

- III. "Simulation of Basic Multi-hop broadcast techniques in Vehicular Ad-Hoc Network using VEINS Simulator". Treball de fi de Màster d'Enginyeria de Telecomunicació. UPC

Autor: David Leonardo Renjifo Herrera. FEBRER 2016.

Contribució: Punts de connexió entre el model de mobilitat d'una Smart City i el desplegament d'una xarxa VANET, informació de la utilització de VEINS i informació sobre altres paràmetres a simular.

La màxima contribució tant a la creació del escenaris com a la configuració de la simulació i anàlisi de resultats han emanat de les webs de les aplicacions implicades (SUMO, OMNET i VEINS) i sobre tot dels fòrums que se'n deriven de les mateixes. S'han realitzat múltiples consultes en aquests fòrums i també a les plataformes col·laboratives: github, sourceforge i stackoverflow. A més, s'ha rebut assessorament dels investigadors del grups de recerca de la UOC d'aquesta temàtica dirigits pel tutor d'aquest TFG.

## Capítol 3. Població objecte de l'estudi

### 3.1 Situació actual de la població objecte de l'estudi

La zona objecte de l'estudi és la població de Vilanova i la Geltrú. Vilanova és la capital de la comarca barcelonesa del Garraf situada al litoral sud de la província a mig camí entre Barcelona i Tarragona. Té una població de 66,274 habitants, una extensió de 33,99Km<sup>2</sup> i una altitud de 22m (IDESCAT-2017).

El seu govern local té com a un dels principals objectius a llarg termini fer de la ciutat un espai intel·ligent, on amb l'aplicació extensiva de les TIC es puguin gestionar tots els diferents serveis que un municipi ha d'oferir als seus ciutadans, com ara els ja esmentats de govern, economia, assumptes socials, mobilitat, seguretat, energia, cultura, medi ambient, etc.

Però, a part d'aquests serveis que proporcionarien un millor nivell de qualitat de vida als seus habitants, l'Ajuntament de Vilanova també sap que potenciar les característiques que farien del municipi una Smart City suposaria un augment del desenvolupament econòmic i social en general.

Ara per ara, les prioritats són unes altres, tot just s'estan començant a reprendre projectes que havien quedat paralitzats a causa de la passada recessió econòmica i que va castigar molt especialment els ajuntaments.

No obstant, contínuament s'ha estat apostant per aconseguir certes millores gràcies a les TIC. Diversos exemples poden ser; l'enllumenat intel·ligent, la seu electrònica de l'ajuntament, la inclusió del municipi dintre del grup europeu de les "Smart Regions", la integració de Vilanova dins del projecte europeu de cooperació urbana URBACT, la creació de la xarxa VNG free WI-FI de lliure accés per a la ciutadania, la incorporació dins el projecte de la UE "Smart Structures", la cooperació en diversos programes internacionals de mobilitat, la participació en el "IoT Solutions World Congress".

A més, l'Ajuntament té una regidoria expressament dissenyada a tal efecte, la Regidoria d'Innovació. Des d'aquest departament, es va impulsar i posteriorment crear un centre tecnològic de referència a la comarca, s'anomena Neàpolis i es tracta d'un espai amb modernes instal·lacions i equipaments des del qual es connecten tots els actius de la ciutat amb la finalitat de posicionar a Vilanova com una ciutat de negocis, creativa, innovadora i emprenedora [27].

Pel que fa al concepte d'Smart City aquest centre tecnològic ha presentat recentment la iniciativa VNG2 per crear una rèplica digital de Vilanova i optar als ajuts "Urban Innovative Action" que subvenciona la UE per a ciutats de més de 50.000 habitants. Aquesta ciutat bessona digital es comportaria com un escenari virtual on provar solucions de ciutat intel·ligent que serien gestionades per comunitats ciutadanes. El projecte VNG2 vol generar aquesta plataforma construint una maqueta digital de Vilanova on es visualitzin les dades i la informació que es recullen des de diferents vies i amb l'ajut de les tecnologies de sensors. Aquesta rèplica virtual de Vilanova oferiria un gran volum de dades,

obertes, d'accés públic i en temps real sobre els quals es podria treballar des de la tecnologia per fer front a les necessitats i a la gestió de la ciutat i formular possibles solucions a qüestions vinculades als serveis bàsics, la mobilitat, l'atenció a les persones, la salut o la qualitat de vida dels ciutadans.

En quant a la Smart Mobility, s'introduiran una sèrie de dades estadístiques per a conèixer millor quines són les particularitats del trànsit a Vilanova i la Geltrú.

La ciutat presenta la següent distribució de parc mòbil:

- Ciclomotors: 44,631
- Motocicletes: 8.124
- Turismes: 28.639
- Furgonetes: 2.417
- Camions: 2.727

El nombre d'accidents en vies urbanes segons les últimes estadístiques (DGT nov2017) de ser de 236 i el nombre de víctimes mortals o hospitalitzats va ser de 22.

Comptabilitza uns pressupostos del voltant de 77 milions d'euros anuals [28] dels quals i pel que fa a la millora de la mobilitat resulten els següents:

- Mobilitat urbana: 3,500€
- Infraestructures del transport: 329.345€
- Administració general del transport: 348.545€
- Transport de viatgers: 1.667.000€
- Reparació i manteniment de vies públiques: 441.217€

Com es pot veure en la introducció del nou pla de mobilitat de la ciutat, el govern local del municipi té molt clars els següents punts [29].

*“La política de mobilitat sostenible se sustenta sobre 3 potes :*

*1-Més ecomobilitat (transport públic, a peu, en bici i en cotxe compartit).*

*2-Menys trànsit de vehicles privats i circulant més pausadament (trànsit pacificat).*

*3-Un urbanisme que incorpori de debò al seu planejament els problemes de la mobilitat. Tot nou desenvolupament urbanístic ha de tenir associat un pla de mobilitat sostenible. “*

Tenint en compte aquests principis el 15/01/2013 es va signar un conveni entre l'Ajuntament de Vilanova i la Geltrú i la Diputació de Barcelona per a l'elaboració del Pla de Mobilitat Urbana i Sostenible de la vila, i al desembre de 2013 es va començar la redacció del Pla que es va desenvolupar en 5 fases. El Pla de Mobilitat Urbana es va aprovar el 14 de maig de 2018 i tot i que encara no s'ha portat a terme, entre els seus objectius està el d'aconseguir una mobilitat intel·ligent i sostenible.



## 3.2 Accions a emprendre per part de l'Administració local

En aquest apartat s'elaborarà un recull de mesures tant tecnològiques com d'altres àmbits que s'haurien d'aplicar per part d'un govern local per a la implantació d'un sistema que permeti una bona gestió del trànsit de vehicles en determinades zones que en requereixin un major control. Aquesta gestió afavoriria la consecució d'un dels objectius més importants que pretén el desenvolupament d'una Smart City, com és el de la Smart Mobility [12].

Per poder confeccionar aquest model de governança sobre la mobilitat en una ciutat, s'ha de partir de la base que hi ha una sèrie de requisits que se suposarà que ja estan implantats, com ara que els vehicles estan dotats de sistemes de comunicació cooperativa V2X, i que venen exposats a la taula 10 [22][23].

**Taula 10. Aspectes ja assumits abans del desplegament d'una xarxa VANET**

Supòsits	Aclariment
Acceptació per part de l'usuari	El control de la gestió del trànsit no només afecta als vehicles i els seus conductors, sinó també als vianants.  Els usuaris han d'estar conscienciats dels beneficis que aporta la utilització d'aquests sistemes.
Seguretat i privacitat	Cal garantir la privacitat.  S'han de realitzar tots els esforços encaminant a millorar la seguretat de la xarxa contra atacs.
Estandardització	Intervenien molts components i aplicacions diferents, per tant s'ha d'assegurar que poden treballar de forma conjunta.
Aspectes legals	Cal garantir i respectar totes les normes jurídiques al respecte i cobrir les responsabilitats.
Model de negoci	S'ha d'aconseguir la complicitat i cooperació entre totes les parts implicades: fabricants, proveïdors, administracions, entitats de finançament, operadores de telecomunicacions, usuaris; i que tots ells n'obtinguin un benefici.

### 3.2.1 Accions a emprendre per una optimització de la gestió del trànsit

Les actuacions que s'haurien de gestionar per part d'una administració local per tal d'implementar una plataforma vehicular cooperativa basada en una xarxa VANET, estan dividides en cinc àmbits principals d'actuació. Aquestes actuacions dependran en una determinada manera de l'arquitectura de suport que s'hagi triat. Per tant, el primer pas que s'ha de donar per part de l'òrgan

gestor del trànsit local és escollir un model bàsic de desplegament. No obstant, sigui quin sigui el format triat, les aplicacions fonamentals de qualsevol arquitectura són comunes a totes elles.

El principal objectiu de la gestió del trànsit a les zones urbanes és la utilització de la via pública d'una manera més efectiva. S'ha d'aconseguir l'optimització de la circulació tant de vehicles com de vianants. Aquest objectiu va lligat amb el de la reducció de la congestió. L'aplicació de qualsevol sistema de transport cooperatiu dels ja vistos en punts anteriors aconseguirà aquest propòsit.

### 3.2.1.1. Monitorització del trànsit

Un dels elements fonamentals que formen part de l'engranatge d'una xarxa vehicular ha de ser el del Centre de control o de gestió del trànsit. Així doncs, la creació i configuració d'aquest component és una de les etapes a executar. Aquest centre de control pot anar connectat amb altres centres de control secundaris. Aquest òrgan s'alimenta de la informació que prové de la infraestructura i de les dades que rep directament dels vehicles (V2I-I2V) (ubicació, temps de viatge, congestió, incidències a la xarxa, etc.) [24]. Haurà d'estar localitzat en una instal·lació que permeti l'accés a totes les xarxes necessàries (comunicacions, elèctriques, etc.) i estarà dotat de tots els dispositius i elements que permetin la seva monitorització.

Aquest centre de control serà l'encarregat de la gestió del trànsit (I2I), per tant, haurà de romandre sempre activat i vigilant, amb contínues tasques per al seu manteniment, serà capaç de determinar en quins punts de la ciutat s'han d'implicar majors esforços de gestió del trànsit (Fig.12) i tindrà la capacitat d'alterar la configuració del trànsit en funció de la seva situació (congestions, accidents, incidents, emergències, etc.).



**Fig. 12. Centre de control de trànsit urbà**  
*Font: Pla Integral ITS 2017-2019. Generalitat de Catalunya*

En resum aquests centres de control hauran de disposar de les tecnologies necessàries per ser solvents en la consecució de les següents aplicacions:

- Comunicacions.
- Gestió i control de la informació.
- Posicionament i eines d'integració GIS.
- Implantació de mesures de seguretat i control de riscos.
- Polítiques de multiaccés i solucions d'alta disponibilitat.
- Gestió de les redundàncies i descentralització d'integracions.
- Sistemes d'ajuda a l'explotació i automatització d'accions programades.

### 3.2.1.2 Encaminament estratègic del trànsit

Les autoritats públiques han de definir estratègies per regular el trànsit en cas de situacions greus i reencaminar-lo a altres rutes segons uns suggeriments d'alternatives realitzats en temps real i oferint encaminament individualitzat a cada vehicle, en funció del trànsit en aquell moment, l'estat de la via, etc.(I2V)

Aquestes estratègies aporten principalment una millora del rendiment de la xarxa VANET mitjançant un ús més eficient de la xarxa viària i proporcionen beneficis en termes de reducció de la congestió i les emissions contaminants.

Aquesta aplicació requereix de la instal·lació i configuració dels següents elements:

- RSU: equipament de la infraestructura vial que té com a missió fonamental coordinar la comunicació de la informació rebuda dels vehicles i emesa al centre de control amb les estratègies per l'encaminament establerta per l'administració local.  
El nombre d'aquestes unitats serà variable dependent de l'estratègia escollida, tot i que com a mínim hauran d'estar instal·lades en les principals interseccions, a partir de les quals es podran gestionar rutes alternatives de manera més eficient.
- Centre de control: ha de tenir la capacitat de crear i implementar estratègies d'encaminament. A més, ha de ser capaç d'interactuar amb la situació del trànsit en temps real.
- Programari: el govern local ha de disposar d'un programari que permeti editar aquestes estratègies d'encaminament basant-se en les dades històriques i les estratègies col·lectives, com l'encaminament col·lectiu i el control del trànsit.

Una varietat d'encaminament és l'anomenat microencaminament, mitjançant al qual es determina encaminament urbà als conductors tenint en compte factors tals com els nivells de contaminació, la meteorologia o esdeveniments puntuals (concerts de música, proves esportives, etc.). Es diu micro perquè s'ofereix a curt termini, en moltes ocasions només de minuts. En aquest model les RSU poden ser instal·lades específicament en punts concrets de la via només quan es preveu la realització de les situacions detallades.

### 3.2.1.3 Priorització del trànsit

Alguns vehicles requereixen més atenció que d'altres quan estan circulant, com ara vehicles de policia, ambulàncies, bombers, vehicles de mercaderies perilloses, etc. Per aconseguir aquest pas prioritari, des del centre de gestió del trànsit s'han de commutar les llums dels semàfors (I2I) en funció del tipus de vehicle que s'aproximi a ells, de manera que es faciliti un trànsit més fluït i segur, per exemple en un encreuament controlat per semàfors en via urbana.

També existeix la possibilitat que els propis vehicles prioritaris puguin actuar sobre la commutació dels semàfors (V2I).

Per la implantació d'aquesta aplicació caldrà que als equips RSU que la política local determini, hi hagi instal·lat el corresponent mòdul perquè aquest tipus de vehicles puguin interactuar. Això contribueix a que la xarxa sigui més flexible i presenti un cert nivell d'escalabilitat.

### 3.2.1.4 Informació del trànsit als usuaris

Una altra aplicació que s'ha d'assolir és la de facilitar informació en temps real als vehicles i altres usuaris de la via que els permetin actuar en conseqüència de la informació rebuda.

Des del centre de control i a través de les RSU (I2I) es pot informar als vehicles (I2V) de la posició en la que es troben, de en quina posició es trobaran en un determinat moment futur, de possibles incidències que es trobaran si no prenen una ruta alternativa, de la velocitat recomanada, etc. Aquesta informació també és transmesa entre els vehicles (V2V) de forma cooperativa.

Gràcies a aquesta aplicació els conductors estan informats en tot moment de les condicions en les quals es troba la seva ruta, la qual cosa els permet saber quan és necessari reaccionar - per exemple reduint la seva velocitat - en cas d'aproximar-se a una incidència i així, prevenir situacions perilloses. A més afavoreix l'optimització del viatge evitant carreteres congestionades o que es puguin congestionar, reduint els temps de viatge, el consum de combustible i, per tant, les emissions contaminants.

Per aconseguir aquest intercanvi de comunicacions, que són la base dels sistemes vehiculars cooperatius, és imprescindible que el govern local garanteixi la comunicació sense fils continua, sense interrupcions i amb ample de banda suficient per atendre una gran demanda. En definitiva, s'ha d'assegurar el compliment dels protocols IEEE 802.11p.

## 3.2.2 Accions a emprendre per un augment de la seguretat vial

Pel que fa al tema de la seguretat als carrers, l'administració local té com a principal objectiu la reducció d'accidents i víctimes, sent aquest un dels principis cabdals en una Smart City.

### 3.2.2.1 Seguretat a les interseccions

S'ha d'intentar preveure els accidents o al menys reduir l'impacte dels accidents a les interseccions. Avui en dia les interseccions són encara una de

les principals causes dels accidents urbans i els sistemes cooperatius com les xarxes VANET poden dotar de comunicació directa entre vehicles en situacions de no visibilitat directa. Una combinació entre dispositius vehiculars i instal·lacions fixes ajuda sens dubte a evitar aquests incidents [12].

Els incidents a les interseccions venen provocats per alguna d'aquestes circumstancies [25]:

- Vista obstruïda a la intersecció.
- Denegació de permís per a continuar.
- Senyals de trànsit defectuoses.
- Altres vehicles que frenen bruscament.
- Aproximació d'un vehicle d'emergència.

### 3.2.2.2 Control d'accessos

Aquesta eina ha de ser també d'alta prioritat pel gestor local del trànsit, no només com a mesura preventiva per a evitar accidents sinó com a instrument per controlar de forma dinàmica les condicions dels trànsit a l'interior de la ciutat.

Per aconseguir aquest propòsit és necessari que els vehicles estiguin en tot moment connectats amb la infraestructura (V2I-I2V). Des del centre de control del trànsit s'han de definir unes regles d'accés a determinades zones de les ciutats (zones mediambientals urbanes) i en determinats moments, de manera que aquestes àrees siguin punts de trànsit restringit (p. ex. accés massiu a zones de platges a l'estiu o fluxos alts de vehicles en hores punta).

A part de l'evident reducció d'accidents de trànsit degut a la menor aflluència de vehicles i per tant major fluïdesa del trànsit, també es produeix un clar benefici en la reducció de la congestió i la disminució d'emissió de contaminants.

Altres aspectes a considerar per l'administració local en el control d'accessos tot i que s'allunya de l'objectiu d'aquest estudi podria ser el de control d'accés de vehicles de mercaderies o de matèries perilloses, el de la gestió del transport públic com a únic trànsit possible en zones protegides, o la creació d'espais d'aparcament en superfícies instal·lades a l'extraradi de la ciutat.

### 3.2.3 Aspectes tecnològics

La implantació, configuració i desplegament d'una xarxa VANET precisa d'una sèrie de components, protocols i tecnologies de comunicació que han estat relacionats amb més detall en capítols anteriors.

Per altra banda, quan es tria un model d'arquitectura de comunicació cooperativa, perquè formi la base del sistema de gestió del trànsit d'un municipi, aquest ja inclou uns estàndards que faciliten molt el disseny de l'estructura i dels elements dels que es compona i que constitueix la base per al desplegament de les utilitats de manera fiable, segura, tolerant a fallades i operables entre sistemes cooperatius [12].

Els components bàsics doncs són: el centre de control, els RSU, els OBU (que no depenen del govern local) i les HMI (Human Machine Interface) que serveixen per facilitar la interpretació dels missatges per part dels usuaris. D'altra banda aquests elements estan vinculats gràcies a comunicacions externes com ara la internet pública (Fig.13 i 14).



**Fig. 14. RSU i OBU**



**Fig. 13. HMI**

*Font: services.harman.com*

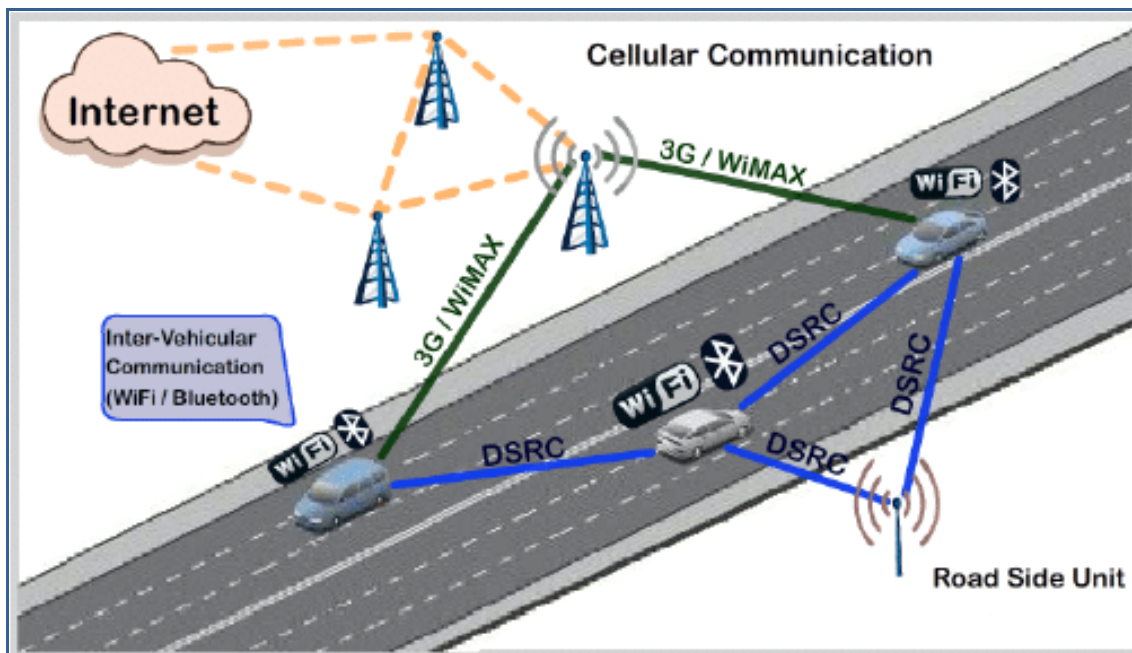
Cadascun dels elements mencionats ha d'incloure [26]:

- Node amfitrió: que ofereix l'entorn d'execució en que estan situades totes les aplicacions que es pretén que s'executin. L'entorn d'execució haurà d'estar basat en codis de programari tan oberts com privats.
- Encaminador: que proveeix d'accés la infraestructura de comunicacions i permet les connexions entre els diferents nodes.
- Passarel.la: que és el protocol que converteix i filtra entre la part oberta i la part propietària del sistema.
- Antena: que és el component que permet la recepció i emissió de la informació.

Pel que fa al nombre de RSU que s'han de desplegar, depèn de diversos factors:

- La funcionalitat que es vol que proporcioni aquest RSU (no és el mateix que l'RSU reculli informació d'alerta provinent dels vehicles, o que l'RSU enviï missatges als semàfors perquè alterin els seu comportament ja programat).
- El tipus de comunicació que utilitzi (I2V, I2I o v2I).

Les architectures que s'han vist al capítol 3.4 solen estar basades en connexions via internet IPv6 degut a la gran quantitat d'adreces IP que s'haurien de desplegar i també perquè proporciona nivells més alts de seguretat de les connexions sobre tot per a Internet sense fils, i a més facilita molt l'ús d'aplicacions "plug&play" i ofereix la possibilitat d'utilitzar serveis geogràfics més precisos. No obstant, i degut a que encara aquesta tecnologia no esta implantada, existeixen túnels de pas del protocol IPv6 al IPv4. S'ha d'afegir que la connexió dels vehicles o dels RSU a internet es fa mitjançant les comunicacions wifi, infrarojos o 4G (Figura 15).



**Fig. 15. Exemple de protocols de comunicació en una xarxa VANET**

Font: <http://pubs.sciepub.com>

### 3.2.4 Despeses

En general, les despeses principals per a un ajuntament que vol desenvolupar un sistema de gestió del trànsit sostenible i eficaç basat en el concepte d'Smart Mobility i implantar una xarxa VANET en el seu territori provenen de l'equipament de la infraestructura i del programari que facilita l'aplicació de les funcionalitats desitjades.

Aquestes despeses es poden dividir en el cost dels elements següents:

- Costos del Centre de control.
- Costos de les RSU.
- Costos de les OBU (Responsabilitat dels fabricants)
- Despeses de comunicació.
- Despeses de personal.
- Despeses de manteniment i de renovació de dispositius i equips
- Cost de la utilització dels serveis de diversos proveïdors de comunicacions.

El cost de la posada en marxa des de zero inclou la creació de les unitats de terra, en què el cost de les RSU depèn molt de les aplicacions que calgui desplegar. Es preveu que la implementació d'un sistema d'aquestes característiques es vagi realitzant progressivament a mida que es van complint objectius intermedis.

En l'actualitat el maquinari és car tot i que, si les tecnologies cooperatives segueixen la tendència de preus de les TIC, els preus dels dispositius descendeixen fins a un 30% si es duplica la producció.

També s'ha de tenir en compte que la introducció d'aquestes xarxes en el sector de les telecomunicacions pot obrir un mercat nou i per tant un model de negoci en el que estaran implicades moltes parts (operadores de telecomunicacions, entitats financeres, administracions, proveïdors de serveis, consumidors) que podran treballar de manera conjunta a canvi d'un benefici.

Com a model a seguir tenim la ciutat de Màlaga. En els últims anys Màlaga és una de les ciutats d'Espanya que més està apostant per l'aplicació d'un sistema de mobilitat intel·ligent en la seva estratègia de conversió en una Smart City. Aquesta ciutat va adjudicar fa dos anys per un valor de 5.8 milions d'euros la configuració i el desplegament de la seva plataforma de mobilitat intel·ligent a la companyia austríaca "Kapsch TraffiCom [25].

*"El proyecto incluye la implantación de la plataforma de software EcoTrafiX de Kapsch, empresa especializada en sistemas de transporte inteligente. Esta plataforma de movilidad inteligente permitirá, por un lado, la integración de todos los sistemas de movilidad urbana de la ciudad, y por otro, la publicación en tiempo real de datos relativos al estado del tráfico con el fin de que ciudadanos y visitantes puedan elegir la mejor opción de transporte para sus desplazamientos urbanos, fomentando así la movilidad multimodal, eficiente, segura y sostenible.*

*Kapsch se hará cargo de toda la operativa y el mantenimiento del Centro de Control de Málaga, mediante la integración de todos los equipamientos y sistemas de información en un único Centro Integral de Operaciones de la Movilidad, mejorando la comunicación y colaboración entre todos los sistemas y agentes involucrados en la gestión del tráfico. Este nuevo enfoque permitirá reducir los costes derivados de la congestión de tráfico y realizar un mejor uso de los recursos mediante una planificación más eficiente, ayudando a Málaga a incrementar su nivel como smart city.*

*Además, el sistema incrementará la capacidad de respuesta ante cualquier incidente que afecte a las vías urbanas y que afecte a la movilidad, mediante la instalación de un módulo específico de gestión de eventos e incidencias, con el que el ayuntamiento podrá reducir el tiempo de reacción ante eventos tales como obras, retenciones o accidentes, y establecer planes de respuesta y soluciones coordinadas, con el fin de proporcionar al ciudadano una movilidad más segura".*

### 3.2.5 Quadre resum de requisits i solucions aportades per la simulació

Finalment, es presentarà un quadre on figuren de forma resumida els objectius a aconseguir per una administració local de cara a la consecució d'un model de trànsit optimitzat, i posteriorment es relacionaran aquests objectius a les solucions aportades per la simulació que es presenta en els següents capítols.



**Taula 11. Objectius**

CONCEPTE	OBJECTIU	COMPONENTS	MISSIONS
Optimització de la gestió del trànsit	Monitorització del trànsit	Centre de control	Gestió del trànsit.  Assegurar les comunicacions.
	Definició d'estratègies de reencaminament del trànsit	Centre de control  RSU	Ús més eficient de la xarxa viària
	Priorització del trànsit	RSU amb mòdul de vehicle prioritari	Pas prioritari per a determinats vehicles
	Informació als usuaris	Centre de control  RSU	Conductors i vianants informats en temps real de la situació de les vies.
Augment de la seguretat vial	Seguretat en interseccions	RSU	Substituir la falta de visibilitat.  Facilitar control de pas.  Substituir senyals de trànsit defectuoses.  Evitar frenades brusques.  Facilitar l'accés de vehicles prioritaris.
	Control d'accessos	Centre de control  RSU	Establir zones de trànsit restringit.  Facilitar l'accés a àrees d'aparcament dissuasiu.

D'entre les finalitats vistes al quadre anterior, i pel que fa a la simulació desenvolupada que es refereix només a un escenari en concret de la ciutat objecte de l'estudi on es produeixen importants congestions de trànsit en moments puntuals, es comprovarà que s'aconsegueixen la majoria d'elles.

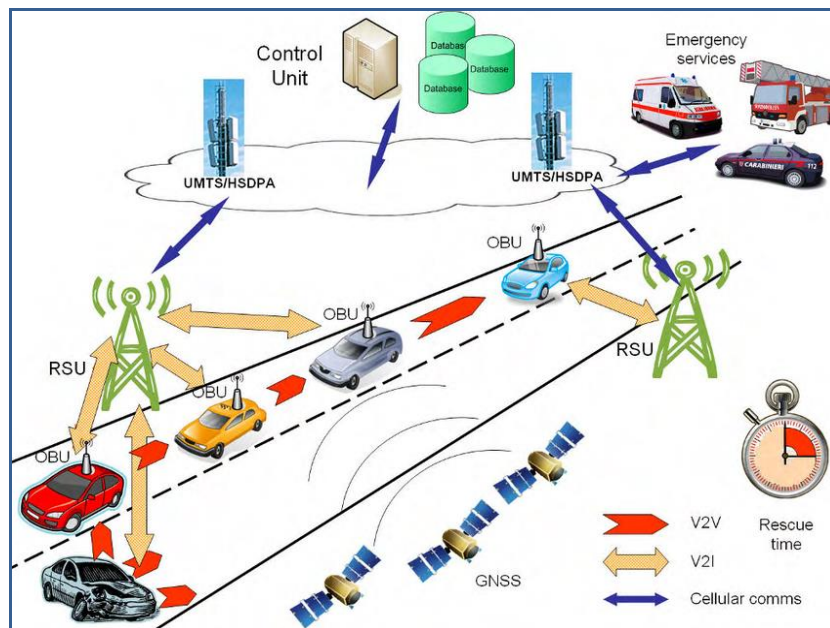
Però primer, i de forma introductòria es comenta que la simulació s'ha realitzat amb el simulador de xarxes VANET VEINS, el qual treballa de forma conjunta amb el simulador de xarxes telemàtiques OMNET++ i amb el simulador de

xarxes de vehicles SUMO, dels quals se'n parlarà amb detall en els propers capítols. El protocol amb el que treballa VEINS és IEEE 802.11p per a les capes inferiors i l'estàndard IEEE 1609 per a les capes superiors. L'aplicació de simulació de xarxes de comunicació OMNET++ s'ha configurat de manera que proporciona a la xarxa VANET accés a internet, un gestor de connexions, una RSU i l'opció d'afegir obstacles perquè es tinguin en compte les possibles zones d'ombra del senyal i de bloqueig de la comunicació.

Ara es podrà explicar de forma sintetitzada com s'assoleixen els principals objectius comentats:

- Gestió del trànsit i garantia de comunicació: l'element "Connection Manager" que proporciona OMNET assegura les comunicacions i és el mòdul que coordina les connexions entre tots els nodes tant mòbils com RSU. Periòdicament comunica amb el mòdul de mobilitat i amb l'accés al canal.
- Ús més eficient de la xarxa viària: la combinació de funcions del "Connection Manager" i l'RSU proporciona l'enviament de missatges als vehicles per informar-los d'incidències a la via i de vies alternatives a prendre.
- Conductors informats en temps real: La RSU proveeix de l'enviament de missatges als nodes mòbils en temps real.
- Falta de visibilitat: és una de les principals avantatges d'aquest model, no cal avançar el cotxe en una intersecció per poder veure si venen vehicles o no. L'intercanvi de missatges entre els nodes ens faciliten aquesta informació.

A la figura següent es pot apreciar un format esquemàtic del model de la simulació



**Fig. 16. Elements que intervenen a la simulació**

Font: [www.semanticscholar.org](http://www.semanticscholar.org)

# Capítol 4. Simulador VEINS

## 4.1 Introducció als entorns de simulació de Xarxes VANET

La simulació de xarxes és el mètode més comú i eficient en termes de despeses a l'hora d'avaluar les diferents tipologies de xarxa, ja que no haver de desplegar dispositius físics suposa un estalvi econòmic important. En aquests simuladors es combinen les traces de mobilitat dels vehicles i el desplegament de xarxes telemàtiques. Mostren representacions virtuals dels components de les capes OSI necessàries. També representen models de propagació dels senyals i disposen d'eines que ens permeten extreure uns resultats i estadístiques que serveixen per l'anàlisi i l'estudi de possibles solucions.

Existeixen diferents models de simulació de xarxes VANET, encara que tots coincideixen en determinar el comportament del flux de vehicles i indiquen la ubicació dels nodes. La posició dels nodes en cada instant és molt important per determinar el disseny de la xarxa i les seves característiques (connectivitat, rendiment, latència, paquets perduts, velocitat, etc.) [29]. Per la consecució d'aquestes capacitats aquests simuladors combinen l'acció d'un simulador de disseny de xarxes telemàtiques amb un simulador de mobilitat de vehicles.

Aquests models de simulacions es poden classificar:

- **Models aleatoris:** En aquest model la mobilitat vehicular i els paràmetres de simulació (velocitat, acceleració, punts d'inici i final, etc.) s'obtenen amb processos aleatoris. Són d'implementació relativament senzilla però no representen el comportament real del trànsit.
- **Models de flux:** En aquest cas es tenen en consideració les interaccions entre vehicles i amb el seu entorn, característiques que incrementen el nivell de realisme. D'aquest model existeixen les següents classificacions:
  - **Microscòpic:** Descriu el comportament i els paràmetres de mobilitat de cadascun dels nodes i la comunicació entre ells (distància intervehicular, velocitat, acceleració, desacceleració, temps de reacció, etc.). Aquests models són els més aptes per a la simulació de xarxes vehiculars.
  - **Macroscòpic:** No es té en consideració la característica de cada vehicle sinó que descriu a nivell general el comportament del flux, la densitat i la velocitat d'un conjunt de vehicles com un bloc.
  - **Mesoscòpic:** Combina les propietats dels models anteriors.
- **Models de trànsit:** En aquest sistema es descriu el comportament dels vehicles en funció de la trajectòria i la intersecció amb els altres elements que es troben a la mateixa (semàfors, interseccions, senyals d'aturar-se, encreuaments, etc.).
- **Models de comportament:** Els patrons del trànsit s'adapten dinàmicament a les condicions de cada escenari, influenciats per patrons socials i aprenentatge per intel·ligència artificial.
- **Models basats en traces:** basats en moviments dels vehicles ja preestablerts .

Es poden trobar diverses eines de simulació de xarxes VANET, cadascuna de les quals té unes característiques i capacitats diferents que les fan més aptes per segons quins siguin els paràmetres que es volen avaluar.

A la taula 12 es poden comparar els simuladors més habituals i les seves característiques generals [31].

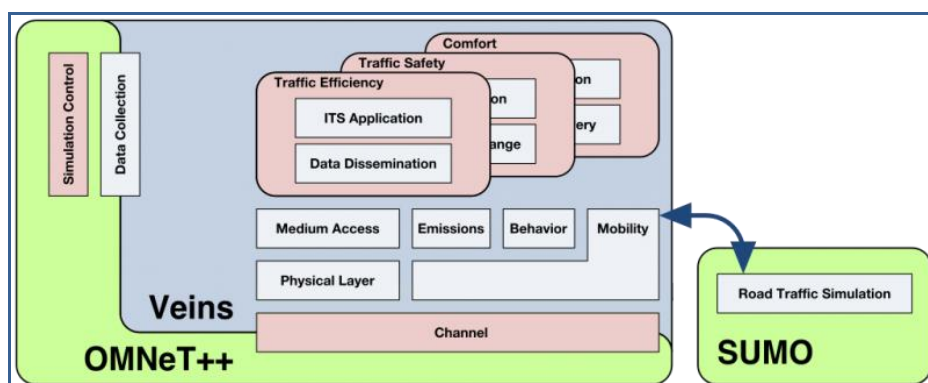
**Taula 12. Simuladors VANET**

<b>Simulador VANET</b>	<b>Simulador de xarxa</b>	<b>Simulador de mobilitat</b>	<b>de</b>	<b>Escenari de simulació</b>	<b>Llicència d'ús</b>
VEINS	OMNET++	SUMO		Mapa real	Open source
TraNS	NS-2	SUMO		Mapa real	Lliure
ITetris	NS-3	SUMO		Mapa real	Open source
VGSim	Jist/SWANS	Model de Nagel Schreckenberg		Mapa real	Open source
VSIMRTI	Jist/SWANS	VISSIM		Mapa real	Lliure
NCTUns	Propietari	Propietari		Trazas	Open source
GrooveNET	Propietari	Roadnav			Lliure

#### 4.1.1 Simulador VEINS.

L'entorn de simulació per l'elaboració d'aquest TFG és VEINS (Vehicles In Network Simulations). Aquest simulador sorgeix de la necessitat d'utilitzar un marc de simulació complet i de codi obert, en el qual els resultats de la simulació de la xarxa siguin utilitzats pel trànsit i viceversa. Es tracta d'un projecte construït en comú entre el Departament de Xarxes d'ordinadors i sistemes de comunicació de la Universitat de Erlangen-Nuremberg (Alemanya) i el mateix departament de la Universitat de Innsbruck (Àustria) [32].

Una de les principals característiques que fan de VEINS el simulador més utilitzat és que proporciona acoblament bidireccional entre el simulador de xarxa i el simulador de mobilitat en temps real. A la figura 17 es pot veure com es produeix aquest acoblament. L'acoblament entre el marc de simulació de xarxa OMNET++ (amb el paquet INET) i el de simulació de mobilitat de vehicles SUMO es produeix gràcies al mòdul de comunicació dedicat TraCI (Traffic Control Interface). El simulador de trànsit i el de xarxes es comuniquen mitjançant una connexió TCP en mode client/servidor (OMNET++/SUMO) fent servir els missatges TraCI per intercanviar-se comandes.



**Fig. 17. Interactuació dels tres simuladors**

Font: <http://veins.car2x.org/>

Les característiques clau del simulador VEINS són les que es relacionen a continuació:

- Basat al 100% en programari de font oberta i ofereix una extensibilitat sense restriccions.
- Permet la re-configuració online i la re-configuració de les rutes dels vehicles.
- Basada en models de mobilitat vehicular de confiança elaborats per comunitats científiques d'investigació del trànsit i del transport.
- Protocol de comunicació basat en el model de capes de xarxa IEEE 802.11p i IEEE 1609.4 DSRC/WAVE, incloent operacions multi-canal, accés a canal de QoS i efectes amb interferències i soroll de senyal.
- Pot incloure models de xarxes cel·lulars com ara LTE.
- Pot executar simulacions amb obstacles en temps real en un sol computador.
- Es pot desplegar en clústers amb mode MRIP (Multiple Replications in Parallel).
- Pot importar escenaris complets des de OpenStreetMap, amb edificis, límits de velocitat, diversos carrils, semàfors, restriccions de circulació, etc.
- Pot proporcionar situacions d'ombra de senyal degut a edificis o vehicles.
- Proporciona múltiples fonts d'una ampli abast de paràmetres, incloent temps de viatge i emissions CO<sub>2</sub>.

#### 4.2 Instal·lació, configuració i ús del sistema

Per la realització de la simulació amb VEINS del present TFG s'ha triat la combinació del simulador de xarxes de comunicació OMNET++ amb el simulador de xarxes de vehicles SUMO. Les versions d'aquestes aplicacions han de ser compatibles entre elles i amb el sistema operatiu de la màquina amb la que es fa la simulació, així doncs l'entorn de treball ha estat el següent:

- S.O. Windows 7 de 64 bits.
- OMNET++ 5.3



En períodes estivals i sobre tot els dies festius, en aquesta Ronda Europa es produeixen grans congestions de trànsit en trams que van des de les onze hores del matí fins a les tres hores del migdia.

Com ja s'ha comentat en apartats anteriors l'escenari d'estudi serà aquest vial, més concretament la zona més al nord de la Ronda Europa que és on es produeixen les congestions més importants i que té una distància de gairebé 1 km (970 m.). Principalment, aquesta àrea esta formada per un polígon industrial al nord-est, zones esportives al sud, i espais agrícoles i industrials a l'oest, ocupant un total de 2.500 m<sup>2</sup>.

En la següent imatge s'aprecia la zona de l'estudi, el tram de la ronda Europa i la direcció del trànsit que provoca congestions.



**Fig. 19. Zona objecte de l'estudi**

Sobre aquest escenari es plantejarà la simulació del desplegament d'una xarxa VANET com a suport a la mobilitat vehicular per tal de contribuir a la descongestió de fluxos de trànsit amb la finalitat de de disminuir l'emissió de partícules contaminants (CO<sub>2</sub>) i reduir el risc d'accidents per topades que es produeixen a les congestions. Es tracta d'un espai obert.

Es plantejarà la VANET en una configuració en espai obert on no es troben edificis que puguin fer ombra dels senyals. Els nodes de comunicació seran per una banda els propis vehicles (OBU) que intercanviaran missatges

(comunicació V2V) i per un altre costat un node fixe a la infraestructura (RSU) que permeti rebre i enviar informació dels nodes mòbils (comunicació I2V i V2I) de manera correcta. Aquesta VANET disposarà a més d'un Gestor de comunicacions (Manager Control). Aquest intercanvi de missatges permetrà als conductors obtenir informació d'alerta de congestió i els facilitarà l'opció de prendre rutes alternatives que evitin col·lapses i per tant prioritzin l'eficiència del trànsit.

#### 4.4 Configuració de l'escenari amb l'eina SUMO

El simulador de xarxes de vehicles SUMO (Simulation Of Urban Mobility) és un simulador de trànsit multi-modal, microscòpic i de software lliure. Permet simular demandes de trànsit, donats uns vehicles en moviment i una xarxa de carreteres. Les simulacions són deterministes per defecte tot i que es poden estructurar moviments aleatoris. Està desenvolupat en llenguatge C++ i permet crear o importar escenaris sobre els que desenvolupar fluxos de vehicles. Permet multitud d'alternatives i possibilitats de crear entorns de circulació de vehicles de tot tipus. A la seva Web és possible trobar tota la documentació necessària i a més, diversos exemples per conèixer l'eina i poder practicar.

([https://sumo.dlr.de/userdoc/Sumo\\_at\\_a\\_Glance.html](https://sumo.dlr.de/userdoc/Sumo_at_a_Glance.html))

Dintre de les diverses opcions que ofereix SUMO, existeix la d'importar l'escenari sobre el que es vol realitzar la simulació. A l'apartat 4.3 s'ha presentat l'escenari sobre el que s'executarà la simulació, així doncs, a partir de la tria d'un escenari en concret s'han d'anar seguint una sèrie de passes que es detallen a l'Annex I.

#### 4.5 Configuració de l'escenari amb l'eina OMNET++

OMNET++ és un simulador de xarxes de comunicació basada en successos discrets, de software lliure amb llibreries i mòduls que utilitzen programació orientada a objectes en C++. Està configurat en una sèrie de mòduls simples per poder desenvolupar mòduls més complexes. Les diferents topologies de xarxes es simulen amb un llenguatge propi anomenat NED.

L'entorn encarregat dels diferents protocols de comunicacions per la simulació de xarxes sense fils OMNET++ a les capes superiors es diu INET. Per altra banda, l'entorn MIXIM s'encarrega de la interfície amb INET a més del modelat de les capes d'enllaç i física. Aquests dos mòduls s'integren per defecte amb la instal·lació de OMNET++ 5.3.

Tant la IDE com l'entorn de línia de comandes "Mingwend", ambdues d'OMNET són les interfícies amb les que es treballarà en tot el procés de simulació, i que comunicaran quan calgui amb SUMO i amb VEINS.

És important d'accentuar la importància de l'arxiu "omnetpp.ini" el qual conté totes les dades de configuració de la xarxa a desenvolupar.



La configuració i utilització d'OMNET++ per la realització de la simulació d'aquest TFG es poden veure detallades en l'Annex II.

#### 4.6 Simulació amb l'eina VEINS

VEINS és un simulador de xarxes VANET de tipus híbrid, de software lliure i que serveix de vincle entre SUMO i OMNET++. Aquest acoblament bidireccional s'aconsegueix gràcies al sistema TraCI (Traffic Control Interface) que és l'arquitectura de codi obert escollida pel marc de simulació VEINS. Quan s'està executant una simulació s'està produint un intercanvi de comandes entre les mòduls SUMO i OMNeT++ a través d'una connexió TCP en mode client/servidor.

VEINS ha estat desenvolupat pel grup de treball del Dr. Christoph Sommer en la Universitat de Erlangen-Nuremberg (Alemanya).

La configuració i ús d'aquesta eina per l'entorn de simulació d'aquest TFG es detalla en l'Annex II.

#### 4.7 Resultats de la simulació

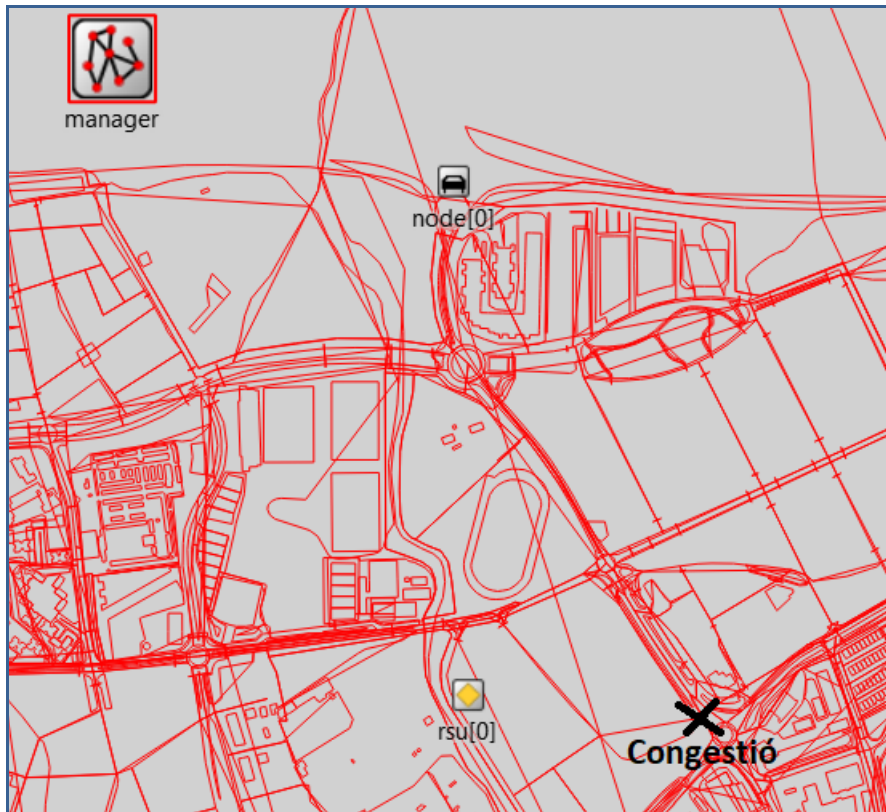
Aquest capítol representa l'essència de tot el TFG, ja que és on s'avaluen els resultats de les simulacions realitzades i s'analitza la conveniència del desplegament de xarxes vehiculars tipus VANET per contribuir a la consecució d'un model de trànsit basat en la "Smart Mobility" i per tant col·laborar a l'apropament d'un entorn de "Smart city".

A la figura 20 es mostra la disposició de l'escenari, amb la localització de l'RSU, del centre de control, del començament del flux de vehicles, representat pel node\_0, i el punt on es produeix la congestió principal.



Fig. 20 Localització dels principals elements de la xarxa

A la figura 21 s'exposa el mateix escenari al mapa de mobilitat de SUMO i amb el desplegament de la xara a VEINS



**Fig. 21 Localització dels principals elements de la xarxa amb VEINS**

En relació amb els nodes mòbils, és a dir, els vehicles, es presenten els següents trets, calculats "in situ" sobre el propi escenari real i aplicats sobre la configuració de la simulació:

- quantitat de vehicles a la simulació: 133 (en un temps de 400 s.)
- velocitat màxima: 14 m/s (50 Km/h)
- mida mitjana de cada vehicle: 2,5 m.
- espai mitjà entre vehicles: 2,5 m.
- acceleració mitjana: 2,6 m/s<sup>2</sup>
- desacceleració mitjana: 4,5 m/s<sup>2</sup>
- període d'incorporació a la simulació: 3 s.

Pel que fa a les simulacions realitzades, a continuació s'assenyalen una sèrie de punts que conformen les característiques principals inicials amb les que s'ha treballat:

- Distància de l'RSU amb el gestor de comunicacions: 2.600 m
- Distància de l'RSU amb el punt més llunyà de la simulació: 700 m
- Distància de l'RSU amb el punt més proper de la simulació : 236 m

- L'RSU està instal·lada sense obstacles amb els nodes mòbils.
- Temps de simulació: 400 s
- Nombre de vehicles simulats: 100
- Interval de "beacons": 1 s
- Potència de transmissió: 20 mW
- Taxa de bits mitjana: 6 Mbps
- Sensibilitat: -89 dBm
- Nombre de congestions provocades: 1
- Inici de la congestió: 75 s
- Durada de la congestió: 200 s
- Comunicació: IEEE phy.802.11p 5.9 GHz DSRC i IEEE mac.1609.4 WAVE.

Per altra banda, s'ha considerat tres situacions de mobilitat per executar la simulació:

- Flux de vehicles que queden atrapats a la congestió i que no tenen moviment fins que no finalitza la mateixa.
- Flux de vehicles alertats de la congestió quan estaven molt propers a aquesta, però que decideixen fer mitja volta i recórrer la ruta alternativa.
- Flux de vehicles alertats amb temps per poder prendre la ruta alternativa directament sense necessitat de fer mitja volta.

Per entendre com els nodes i la RSU intercanvien i processen missatges, s'ha de presentar el mòdul TRACI (Traffic Control Interface) de SUMO. Aquest mòdul és l'encarregat de gestionar tota la informació provinent dels nodes i de les rutes programades al mapa de mobilitat vehicular configurat sobre l'escenari a estudiar i posteriorment informar constantment de les condicions de la xarxa. Quan un node ingressa a la VANET s'afegeix a una llista TRACI juntament amb totes les possibles rutes que ofereix el mapa per prendre-les com a rutes alternatives en cas de senyal d'alerta.

Cada vegada que es produeix una variació a la xarxa, TRACI inclou el nombre de vehicles que inicien trajecte, els que es troben encara a la xarxa, els que queden aturats i els que ja ha finalitzat la simulació.

Si un node genera una alerta, com en aquest estudi pel cas d'una congestió, la capa física (phy) s'encarrega de transmetre el missatge d'alerta als nodes propers mitjançant un AirFrame11p.

Cada node que rep un AirFrame11p processa la informació continguda en ell.

Amb les dades de la VANET el mòdul TRACI modifica les rutes de cadascun dels vehicles que pertanyen a la xarxa, es tornen a calcular rutes i els nodes s'intercanvien missatges cada cert temps

Les figures que es mostren tot seguit, representen exemples de transmissió de missatges entre nodes mitjançant el mòdul TRACI.

A la figura 22, el node\_0 es troba amb la congestió i comunica via AirFrame11p amb la RSU i amb els nodes que té pròxims (en aquest cas fins al node\_28). Es poden apreciar els paquets que emet el node\_0 tant a la RSU com als nodes que té a l'abast, amb expressió del número de succés de la simulació, el temps des de l'inici de la simulació, la identificació del missatge, el tipus de missatge i la longitud del mateix.

Event#	Time	Relevant Hops	Name	ID	Kind	Length
#91	85.000014	node[0] -->	rsu[0]	933	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[1]	935	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[2]	937	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[3]	939	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[4]	941	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[5]	943	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[6]	945	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[7]	947	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[8]	949	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[9]	951	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[10]	953	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[11]	955	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[12]	957	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[13]	959	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[14]	961	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[15]	963	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[16]	965	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[17]	967	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[18]	969	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[19]	971	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[20]	973	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[21]	975	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[22]	977	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[23]	979	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[24]	981	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[25]	983	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[26]	985	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[27]	987	22003	144 bytes
#91	85.000014	node[0] -->	node[28]	932	22003	144 bytes

Fig. 22 Paquets transmesos pel node\_0

La figura 23 representa el moment explicat al paràgraf anterior.

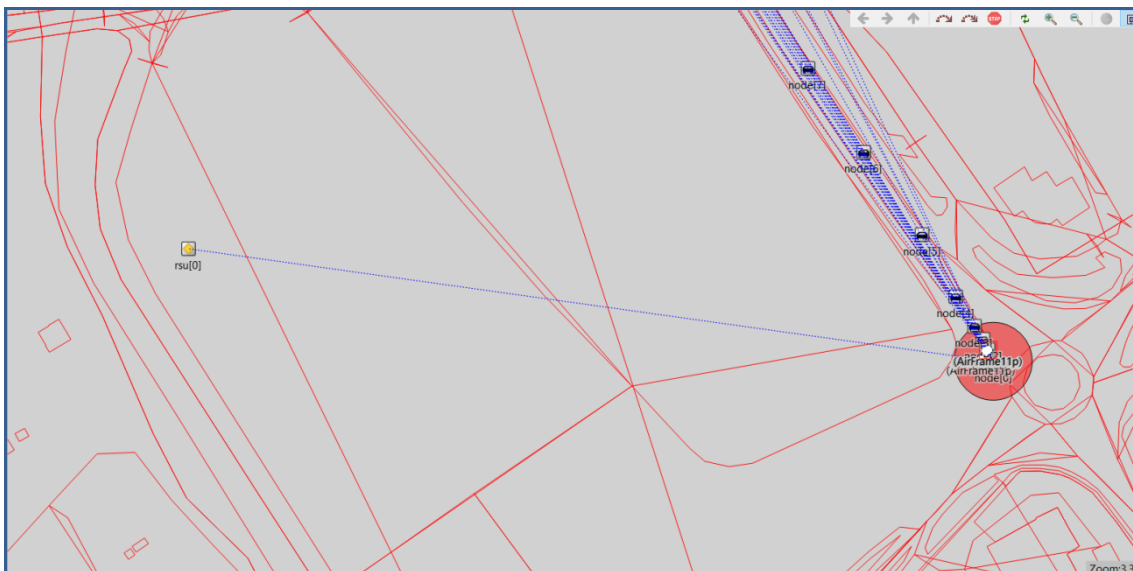


Fig. 23 Moment en que es detecta la congestió pel node\_0

La figura 24 il·lustra els tipus de missatges i les seves característiques tan a la capa MAC com a la capa física gestionats pel node\_0 i pel primer node que rep alertes del node\_0 que és el node\_1. Es pot observar com hi ha un missatge de detecció de la congestió (Stopping contention) a l'instant  $t=85,000013$  s.

```

** Event #89 t=85.000013 RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4 (Mac1609_4, id=18) on selfmsg next Mac Event (omnetpp::cMessage, id=525)
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Channel turned busy: Switch or Self-Send
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Stopping Contention at 85000013000000
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Channel was idle for 84.000013
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Passed slots after DFS: 6461535
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Updating backoff for Queue 3: 0 -> 0 TXOP
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Initiating transmit at 85.000013. I've been idle since 84.000013
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Queue 3 is ready to send!
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: MacEvent received. Trying to send packet with priority3
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Sending duration will be 0.000233
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Sending a Packet. Frequency 5.89e+009 Priority3
** Event #90 t=85.000013 RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4 (Mac1609_4, id=18) on Radio switching over (omnetpp::cMessage, id=928)
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[0].nic.macl609_4: Phylayer said radio switching is done
** Event #91 t=85.000014 RSUExampleScenario.node[0].nic.phy80211p (PhyLayer80211p, id=17) on (Mac80211Pkt, id=926)
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[0].nic.phy80211p: node[0]:PhyLayer80211p: AirFrame encapsulated, length: 1150
** Event #92 t=85.00001401679 RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p (PhyLayer80211p, id=23) on (AirFrame11p, id=935)
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: node[1]:PhyLayer80211p: Received new AirFrame (AirFrame11p) from channel.
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: node[1]:PhyLayer80211p: Sender's antenna gain: 0.74559
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: node[1]:PhyLayer80211p: Own (receiver's) antenna gain: 0.814984
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: PhyLayer(SimplePathlossModel): sqrdistance is: 25.3361
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: PhyLayer(SimplePathlossModel): wavelength is: 0.05008985
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: PhyLayer(SimplePathlossModel): distance factor is: 0.000249943
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: PhyLayer(SimplePathlossModel): Signal contains frequency dimension: yes
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: PhyLayer(SimpleObstacleShadowing): value is: 0.625014
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: [Host 1] - PhyLayer(Decider): Processing AirFrame...
INFO (Mac1609_4)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: AirFrame: 0 with (4.94983e-006 > 1.25893e-009) -> Trying to receive AirFrame.
INFO (PhyLayer80211p)RSUExampleScenario.node[1].nic.phy80211p: node[1]:PhyLayer80211p: Handed AirFrame with ID 0 to Decider. Next handling in 0.0002332s.

```

Fig. 24 Missatges a la capa mac i a la capa phy

Un altre tipus de missatge important és el que indica al node\_8 que canviï de posició i per tant faci mitja volta, recalculant la seva ruta. Es presenta a continuació.

```

...
RSUExampleScenario.manager: node[8]:PhyLayer80211p: End of Airframe with ID 9.
RSUExampleScenario.manager: node[8]:PhyLayer80211p: End of Airframe with ID 9.
RSUExampleScenario.manager: node[0]:Veins:TraCIMobility: checkIfOutside, outside=0 borderStep: (0,0,0)
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1327.45,1045.81,1.895) direction: (0.415373,0.909651,0) orientation: (0.415373,0.909651,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1325.36,1041.24,1.895) direction: (0.416122,0.509309,0) orientation: (0.416122,0.509309,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1323.25,1036.51,1.895) direction: (0.538099,0.842882,0) orientation: (0.538099,0.842882,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1320.97,1032.44,1.895) direction: (0.538099,0.842882,0) orientation: (0.538099,0.842882,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1317.84,1028.37,1.895) direction: (0.538099,0.842882,0) orientation: (0.538099,0.842882,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1312.35,1019.82,1.895) direction: (0.538099,0.842882,0) orientation: (0.538099,0.842882,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1315.12,1024.1,1.895) direction: (0.538099,0.842882,0) orientation: (0.538099,0.842882,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1309.66,1015.56,1.895) direction: (0.538099,0.842882,0) orientation: (0.538099,0.842882,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1299.3,989.849,1.895) direction: (-0.600914,-0.799314,0) orientation: (-0.600914,-0.799314,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1299.3,989.849,1.895) direction: (-0.600914,-0.799314,0) orientation: (-0.600914,-0.799314,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1281.05,969.903,1.895) direction: (0.563576,0.826064,0) orientation: (0.563576,0.826064,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1237.34,903.073,1.895) direction: (0.533466,0.84708,0) orientation: (0.533466,0.84708,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1257.43,935.261,1.895) direction: (0.534305,0.845292,0) orientation: (0.534305,0.845292,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1211.35,864.236,1.895) direction: (0.806523,0.591203,0) orientation: (0.806523,0.591203,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1175.06,823.956,1.895) direction: (0.306628,0.95183,0) orientation: (0.306628,0.95183,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1191.45,837.45,1.895) direction: (0.684962,0.728578,0) orientation: (0.684962,0.728578,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1175.06,823.956,1.895) direction: (0.306628,0.95183,0) orientation: (0.306628,0.95183,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1173.2,804.297,1.895) direction: (0.209961,0.97771,0) orientation: (0.209961,0.97771,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1159.16,776.071,1.895) direction: (0.459493,0.88658,0) orientation: (0.459493,0.88658,0) startTime: 50
RSUExampleScenario.manager: updatePosition: HostMove startPos: (1159.16,776.071,1.895) direction: (0.459493,0.88658,0) orientation: (0.459493,0.88658,0) startTime: 50
...

```

Fig. 25 Missatges d'actualització de posicions dels nodes i de re-càlcul de ruta

Per altra banda, s'ha analitzat paràmetres que afecten al conjunt de la simulació i d'altres que detallen la resposta de nodes en concret i que representen el comportament similar d'altres grups de nodes.

## PARÀMETRES GENERALS

### TEMPS TOTAL

Com s'ha apuntat abans, el temps de simulació és de 400 s i la congestió dura 200 s. Aquestes condicions ens permeten avaluar les següents situacions a analitzar:

- A partir del node\_40 les dades no són representatives ja que el temps total es va reduint perquè aquests nodes romanen un temps que proporciona resultats poc fiables.
- S'aprecien quatre models de fluxos de nodes:
  - Nodes que queden atrapats a la congestió i que avancen un cop aquesta ja no existeix ( p.e. flux del node\_0 al node\_7).
  - Nodes que són alertats de la congestió quan són molt a prop d'aquesta i que decideixen afegir-se a la retenció. (p.e. flux del node\_10 al node\_17).
  - Nodes que són alertats de la congestió quan són a prop d'aquesta, decideixen fer mitja volta i buscar la ruta alternativa. (p.e. flux del node\_8 al node\_9).
  - Nodes que són alertats de la congestió quan poden prendre la ruta alternativa abans de sumar-se als fluxos anteriors i que per tant no pateixen en cap moment la retenció. (p.e flux del node\_18 al node\_19).

Les figures 26 i 27 il·lustren el desplegament dels nodes als fluxos mencionats

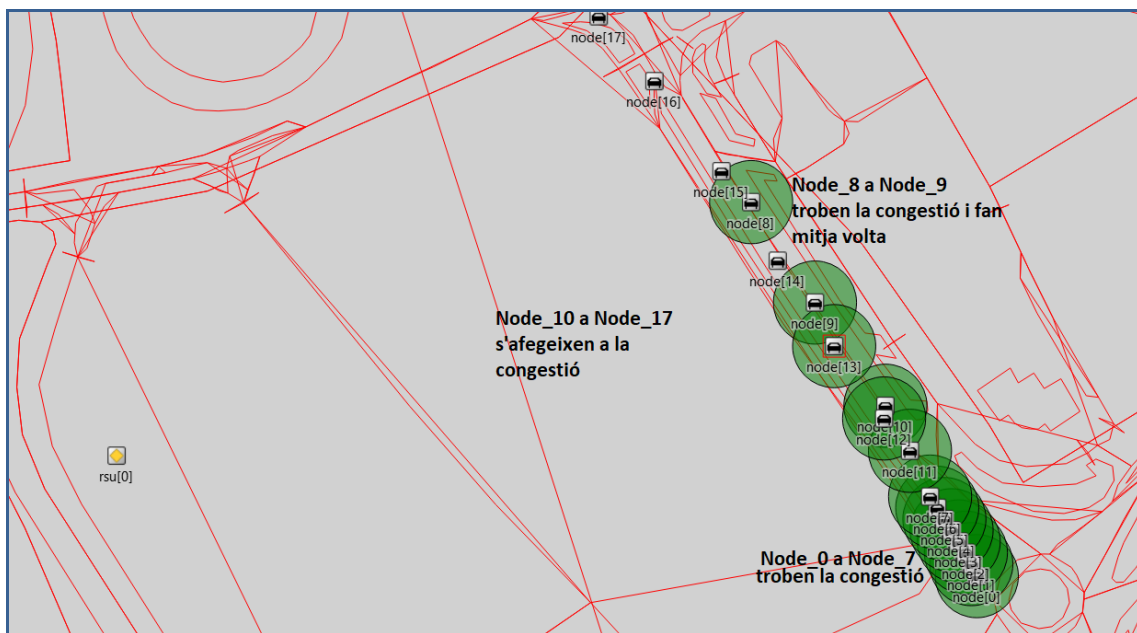


Fig. 26 Desplegament fluxos 0-7, 8-9 i 10-17

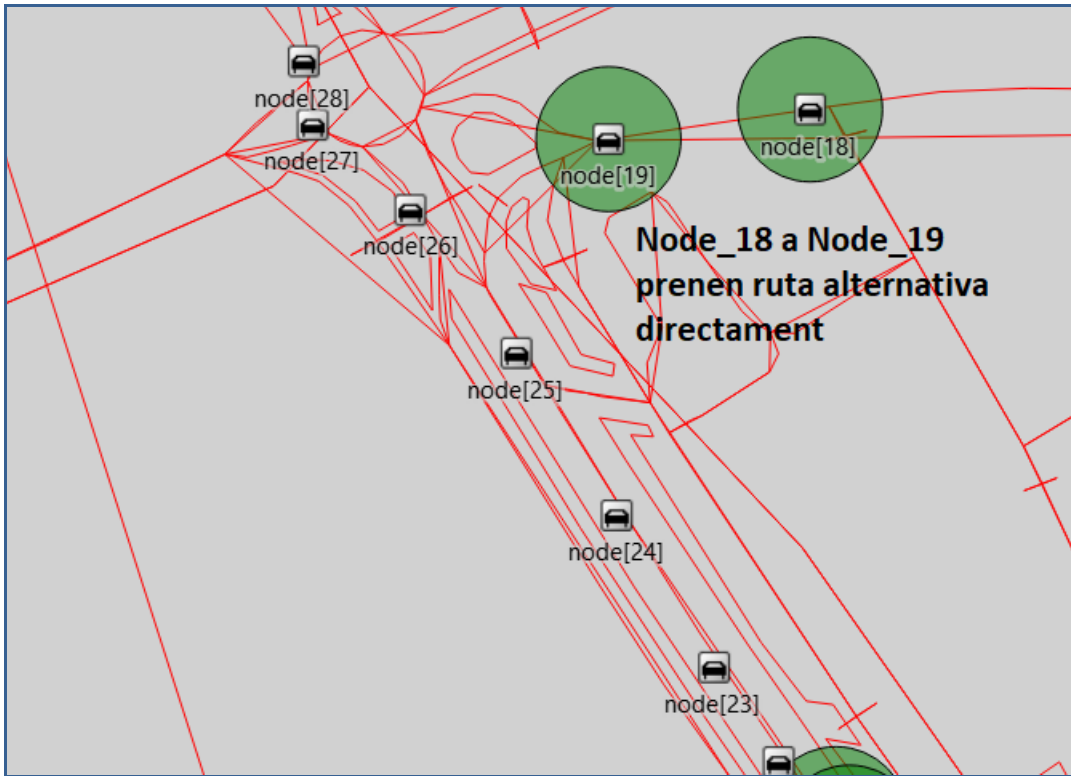


Fig. 27 Desplegament fluxos 18-19

La figura 28 mostra les situacions comentades anteriorment, on es pot apreciar que el flux de nodes 18-19 són els que triguen menys en fer el recorregut, pel contrari el flux de nodes 10-17 són els que necessiten molt més temps, de l'ordre del triple.

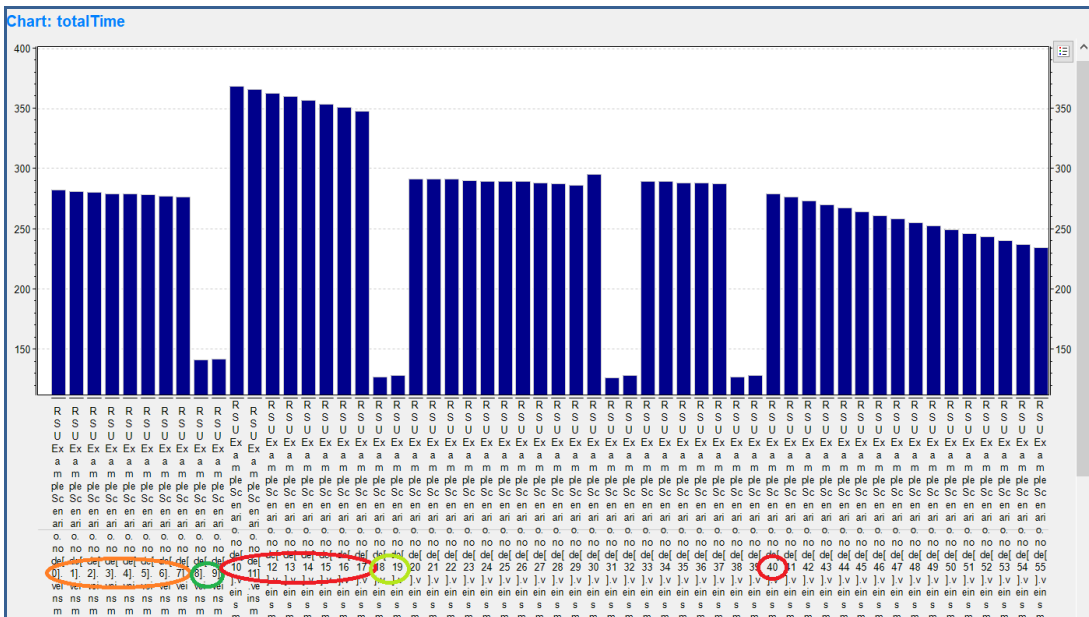


Fig. 28. Temps de viatge dels diferents nodes

Aquest primer resultat analitzat, ens permetrà poder avaluar posteriorment de forma individual certs nodes que seran representatius de determinats fluxos de vehicles.

Les figures següents mostren com els fluxos 8-9 i 18-19 prenen la ruta alternativa i superen la congestió.

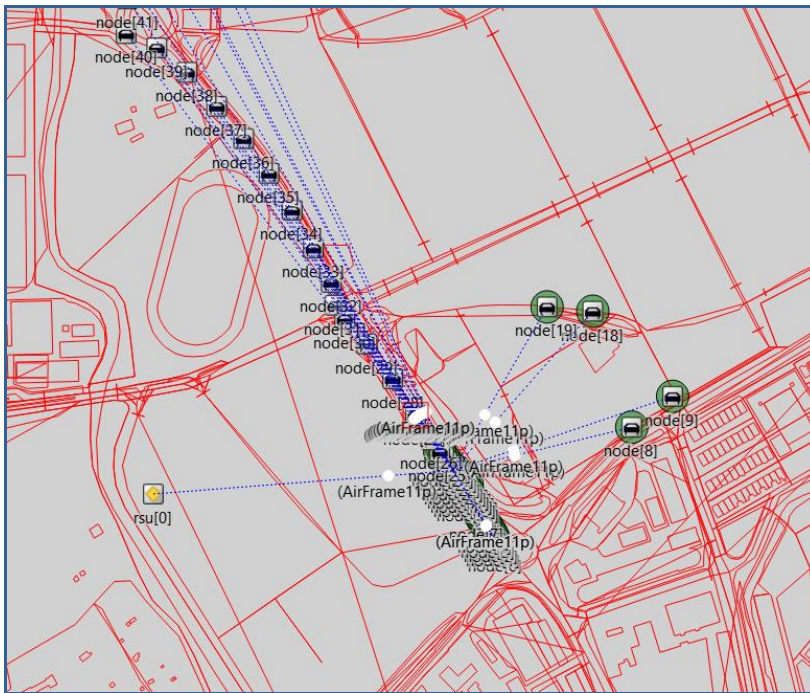


Fig. 29. Ruta alternativa dels nodes 8 i 9 i 18 i 19



Fig. 30. Superació de la congestió nodes 18 i 19



## DISTÀNCIA TOTAL

El resultat extret de l'anàlisi del paràmetre de la distància total recorreguda pels vehicles reafirma les situacions produïdes durant l'estudi del temps total, i on es poden comprovar les següents valoracions:

- Nodes que queden atrapats a la congestió i que avancen un cop aquesta ja no existeix (a partir d'ara es considerarà flux 0-7).  
Recorren una distància mitjana de 933 m.
- Nodes que són alertats de la congestió quan són molt a prop d'aquesta i que decideixen afegir-se a la retenció (a partir d'ara es considerarà flux 10-17).  
Recorren una distància mitjana de 972 m.
- Nodes que són alertats de la congestió quan són a prop d'aquesta, decideixen fer mitja volta i buscar la ruta alternativa (a partir d'ara es considerarà flux 8-9).  
Recorren una distància mitjana de 1605 m.
- Nodes que són alertats de la congestió quan poden prendre la ruta alternativa abans de sumar-se als fluxos anteriors i que per tant no pateixen en cap moment la retenció (a partir d'ara es considerarà flux 18-19).  
Recorren una distància mitjana de 1409 m.

La figura següent mostra les situacions anteriors, es pot comprovar que el flux del nodes 8-9 recorre més distància ja que han de fer mitja volta un cop han topat amb la congestió i després prendre la ruta alternativa, en canvi el flux dels nodes 0-7 com que es queden esperant a que la retenció desaparegui, només recorren el tram directe cap a la congestió. Tot i que pugui semblar que recórrer més distància és un factor negatiu, no es pot oblidar que en canvi el temps utilitzat és molt menor.

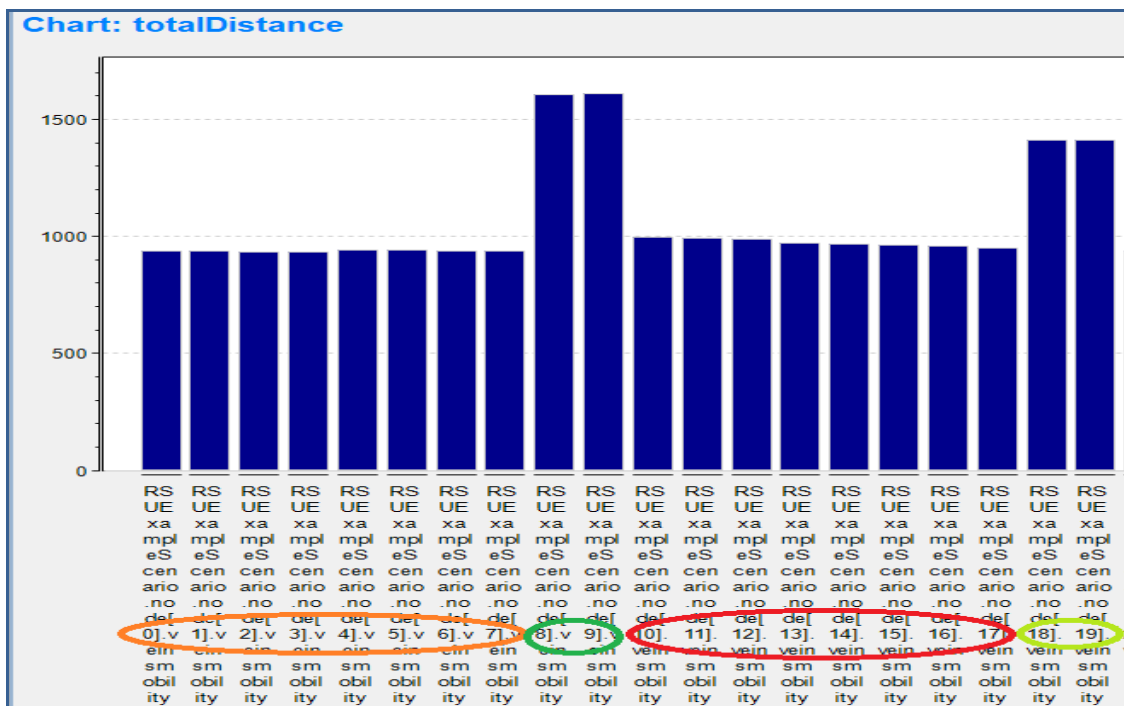


Fig. 31. Distància total recorreguda pels nodes



## PARÀMETRES DE NODES CONCRETES I QUE REPRESENTEN FLUXOS DE VEHICLES.

En aquest punt s'analitzen resultats de nodes individuals els quals representen el comportament dels grups dels fluxos de vehicles avaluats al punt anterior i s'estudien i comparen efectes i conseqüències.

La informació que es pot capturar amb VEINS pot ser o dades de paràmetres amb valors escalars o d'altres resultats formats per vectors.

Els principals paràmetres d'informació sobre la comunicació que es poden reproduir són els següents:

- Generated WSM,s : Nombre de Wave Short Messages emesos.
- Received WSM,s: Nombre de Wave Short Messages rebuts.
- Received broadcast: Nombre de missatges rebuts que han estat emesos per un node i difosos a tota la xarxa a la capa MAC amb el protocol 1609.4.
- Sent Packets: Nombre de paquets lliurats a tota la xarxa a la capa MAC amb el protocol 1609.4.
- Busy Time: Temps en que la capa PHY del protocol 802.11p està ocupant la xarxa
- Total Busy Time: Temps en que la capa MAC del protocol 1609.4 està ocupant la xarxa.

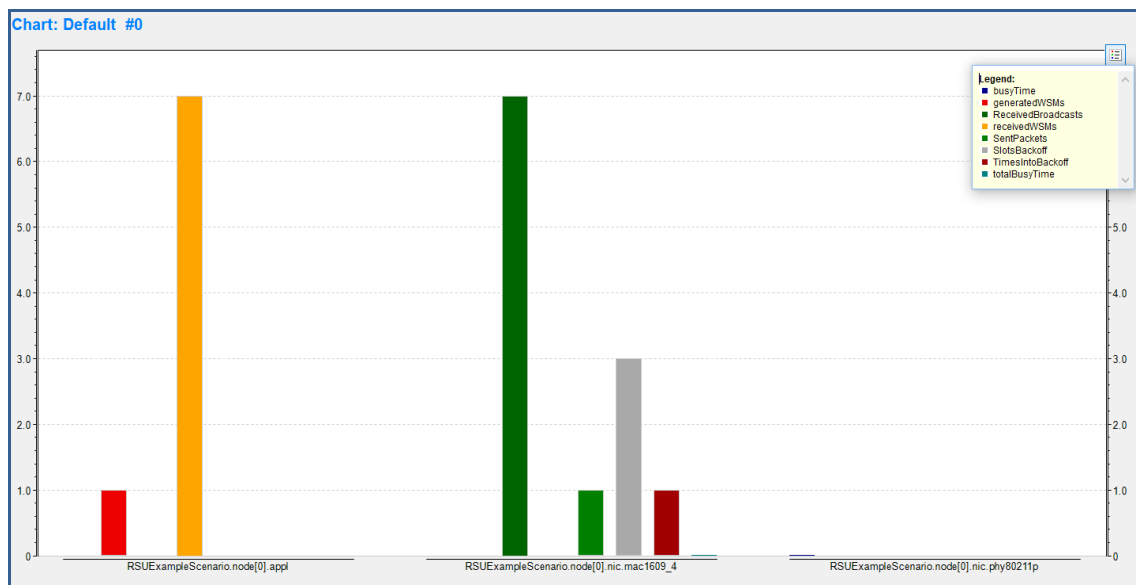
Pel que fa a la mobilitat, els valors avaluables importants són:

- Distància: distància total recorreguda pel node durant la simulació.
- Temps: temps total utilitzat pel node per executar la simulació.
- CO<sub>2</sub>: emissió de partícules contaminats del node durant la simulació.

**NODE\_0:** El node\_0 pertany al flux de vehicles que es troben amb la congestió. Aquest node és l'encarregat d'enviar un missatge de comunicació V2I a l'RSU alertant de la congestió i missatges de comunicació V2V als vehicles que té a l'abast del rang de comunicació. No pren cap decisió alternativa. S'espera a que la congestió finalitzi per poder continuar endavant. Representa al flux de vehicles 0-7. Aquests són els paràmetres analitzats:

Paràmetres de comunicació:

A la gràfica de la figura 33 es representen els valors escalars que defineixen el comportament del node\_0 pel que fa als paràmetres de comunicació.



**Fig. 33. Gràfic Dades del protocol de comunicació node\_0**

Les dades extretes són les següents:

- Generated WSM: 1
- Received WSM: 7
- Received Broadcast: 7
- Sent Packets: 1
- Busy Time:  $5,73 \cdot 10^{-5}$  s.
- Total Busy Time: 0,001857 s.

## Paràmetres de mobilitat:

- dades escalars

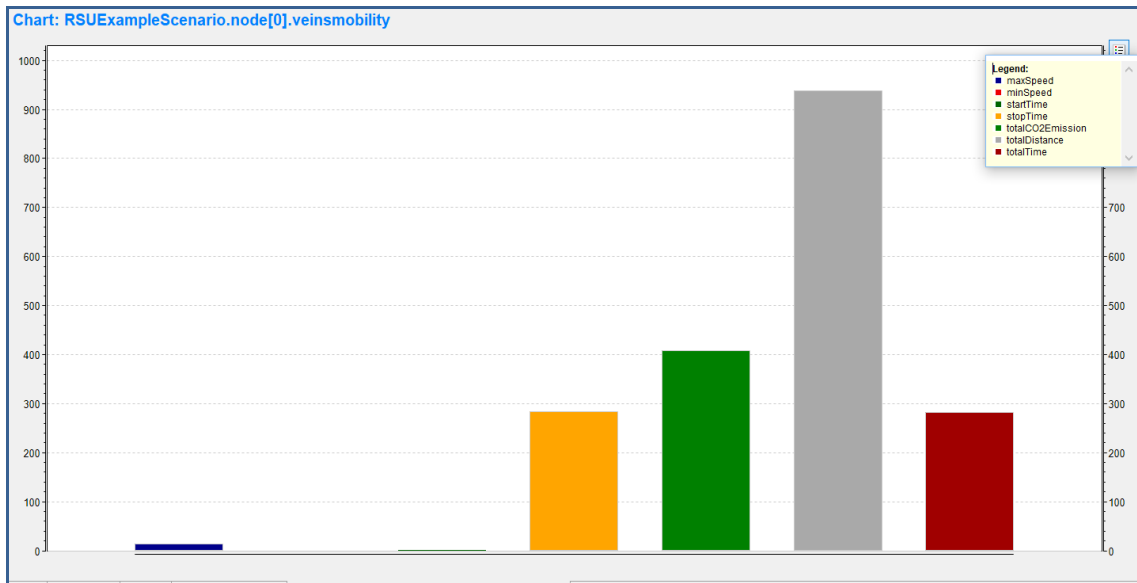


Fig. 34. Gràfic Dades de mobilitat node\_0

Els principals resultats de mobilitat d'utilitat per al TFG, són els següents:

- Distància: 937 m.
- Temps: 282 s.
- Emissions CO<sub>2</sub>: 408 µg/m<sup>3</sup>

- dades vectorials

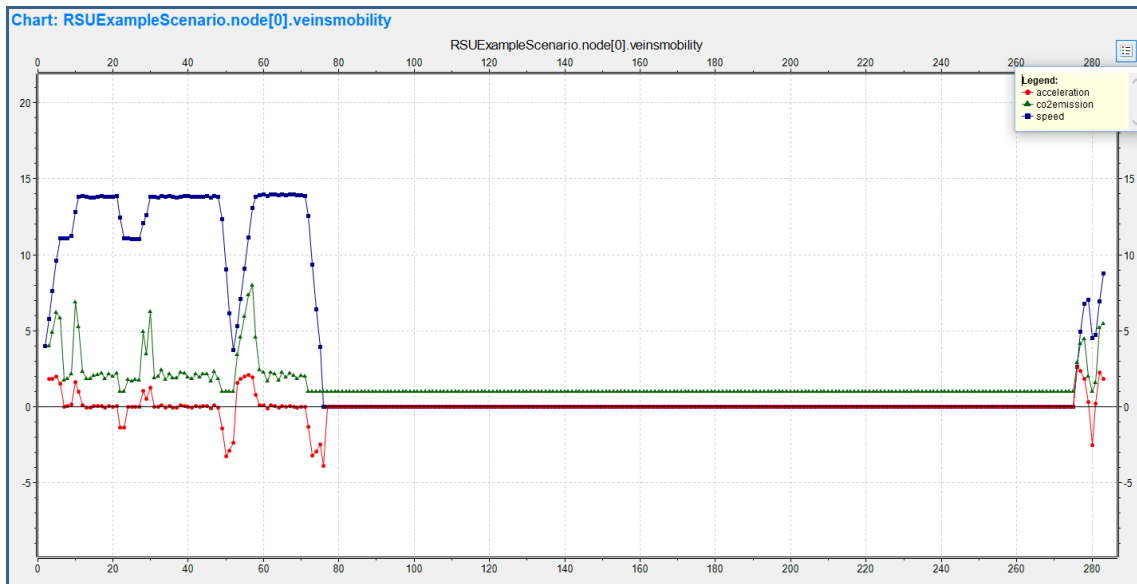


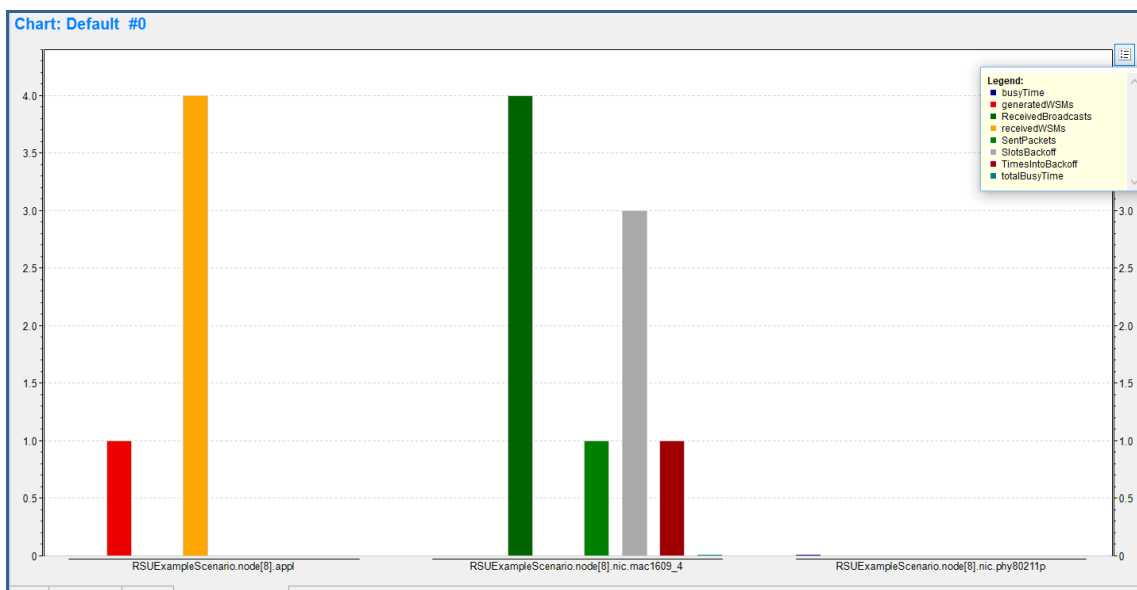
Fig. 35. Gràfic Paràmetres vectorials node\_0

Amb la gràfica de dades vectorials es pot observar que en els moments que s'accelera per obtenir major velocitat, es produeixen els pics d'emissió de CO<sub>2</sub>. Al pic màxim s'emeten 7,97 µg/m<sup>3</sup> i al mínim 0,97 µg/m<sup>3</sup>.

**NODE\_8:** El node\_8 pertany al flux de vehicles que es troben amb la congestió. L'intercanvi de missatges de comunicació V2V l'alerta de la congestió. Pren la decisió de fer mitja volta i utilitzar la ruta alternativa que li proposa la comunicació I2V. Té temps de superar la congestió abans que el node\_0 tot i recórrer més distància. Representa el flux de vehicles 8-9. Aquests són els paràmetres analitzats:

Paràmetres de comunicació:

A la gràfica de la figura 36 es representen els valors escalars que defineixen el comportament del node\_8 pel que fa als paràmetres de comunicació.



**Fig. 36. Gràfic Dades del protocol de comunicació node\_8**

Les dades extretes són les següents:

- Generated WSM: 1
- Received WSM: 4
- Received Broadcast: 4
- Sent Packets: 1
- Busy Time:  $6,53 \cdot 10^{-6}$  s.
- Total Busy Time: 0,001161 s.

## Paràmetres de mobilitat:

- dades escalars

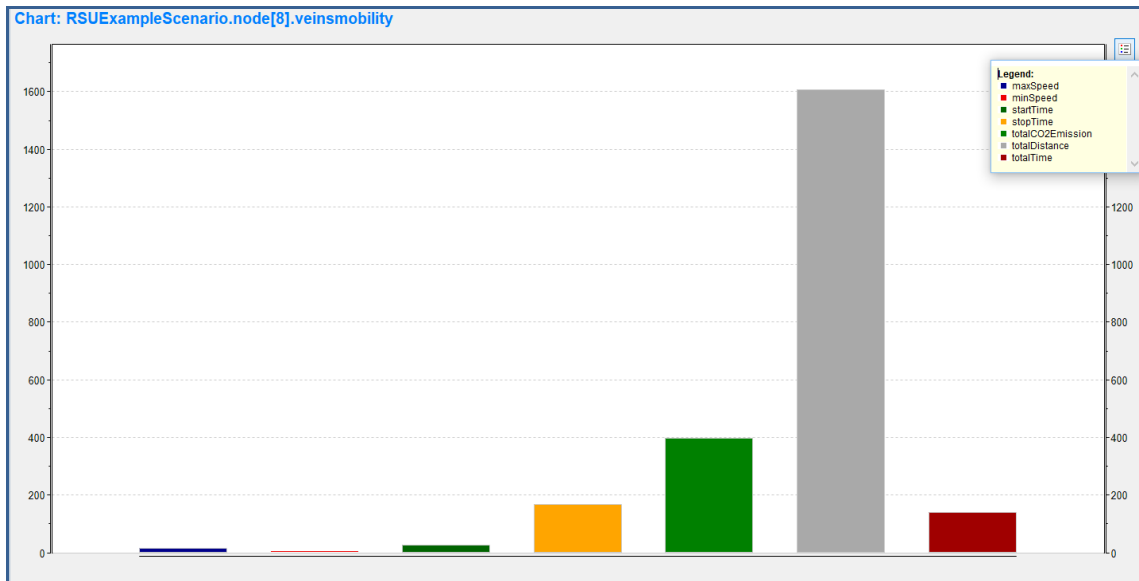


Fig. 37. Gràfic Dades de mobilitat node\_8

Els principals resultats de mobilitat d'utilitat per al TFG, són els següents:

- Distància: 1.605 m.
- Temps: 141 s.
- Emissions CO<sub>2</sub>: 398 µg/m<sup>3</sup>

- dades vectorials

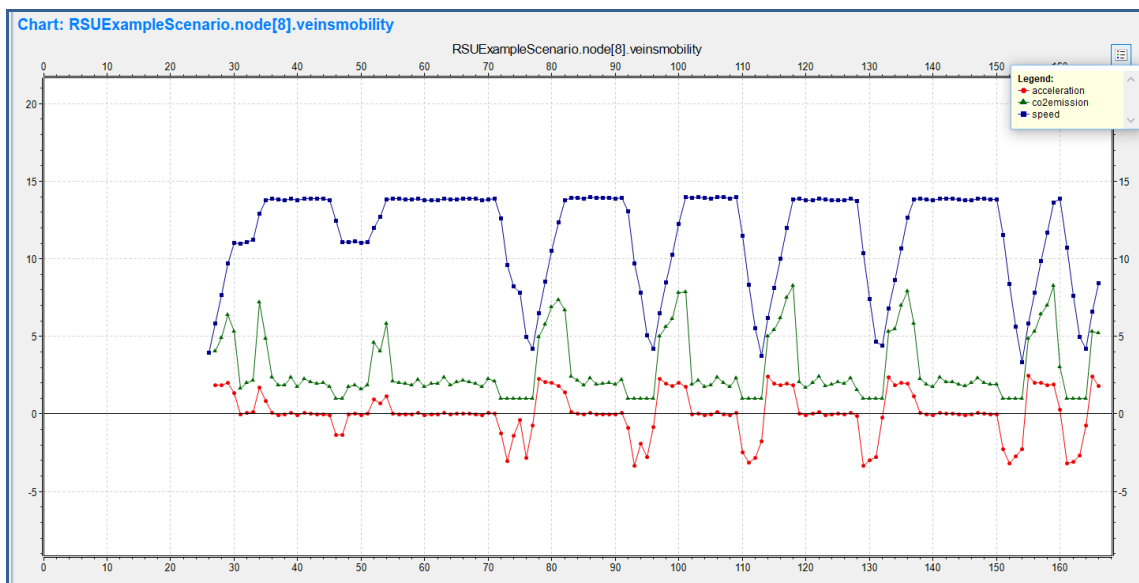


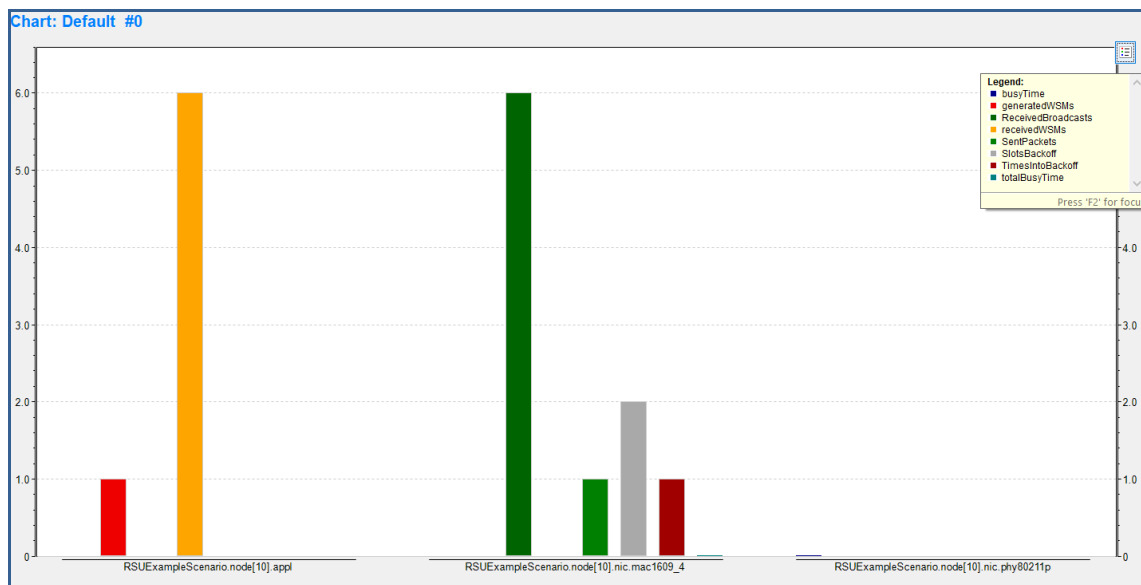
Fig. 38. Gràfic Paràmetres vectorials node\_8

Amb la gràfica de dades vectorials es pot observar que en els moments que s'accelera per obtenir major velocitat, es produeixen els pics d'emissió de CO<sub>2</sub>. Al pic màxim s'emeten 8,28 µg/m<sup>3</sup> i al mínim 0,97 µg/m<sup>3</sup>.

**NODE\_10:** El node\_10 pertany al flux de vehicles que es troben amb la congestió. Aquest node és l'encarregat d'enviar un missatge de comunicació V2I a l'RSU alertant de la congestió i missatges de comunicació V2V als vehicles que té a l'abast del rang de comunicació. No pren cap decisió alternativa. De fet, provoquen una altra congestió que roman encara més temps que la primera. S'espera a que la congestió finalitzi per poder continuar endavant. Representa al flux de vehicles 10-17 que s'afegeixen al flux 0-7 Aquests són els paràmetres analitzats:

Paràmetres de comunicació:

A la gràfica de les figura 39 es representen els valors escalars que defineixen el comportament del node\_10 pel que fa als paràmetres de comunicació.



**Fig. 39. Gràfic Dades del protocol de comunicació node\_10**

Les dades extretes són les següents:

- Generated WSM: 1
- Received WSM: 6
- Received Broadcast: 6
- Sent Packets: 1
- Busy Time:  $4,03 \cdot 10^{-6}$  s.
- Total Busy Time: 0,001625 s.



## Paràmetres de mobilitat:

- dades escalars

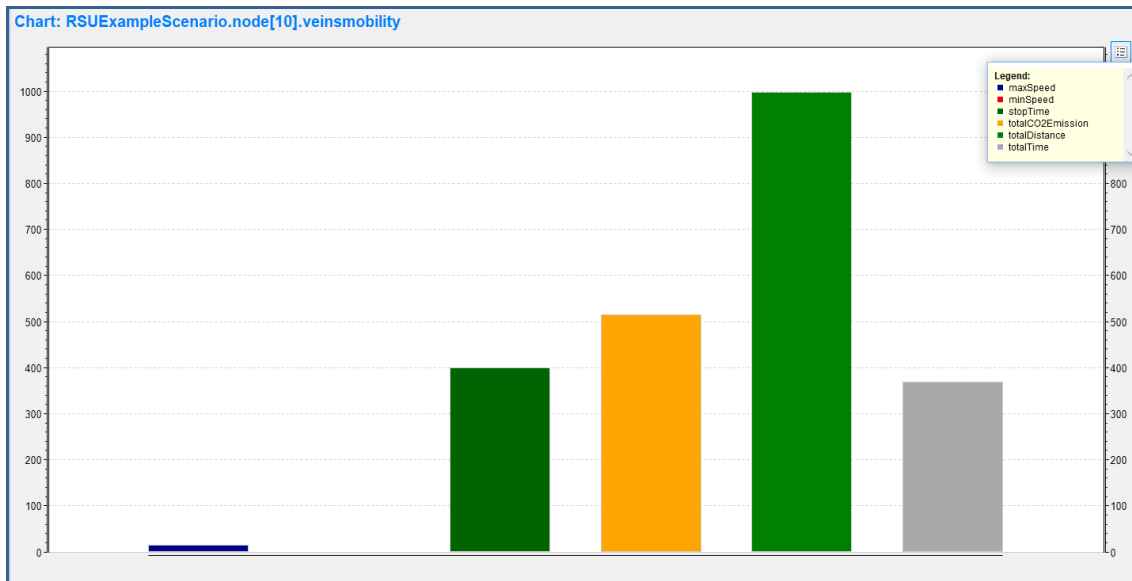


Fig. 40 Gràfic Dades de mobilitat node\_10

Els principals resultats de mobilitat d'utilitat per al TFG, són els següents:

- Distància: 996 m.
- Temps: 344 s.
- Emissions CO<sub>2</sub>: 514 µg/m<sup>3</sup>

- dades vectorials

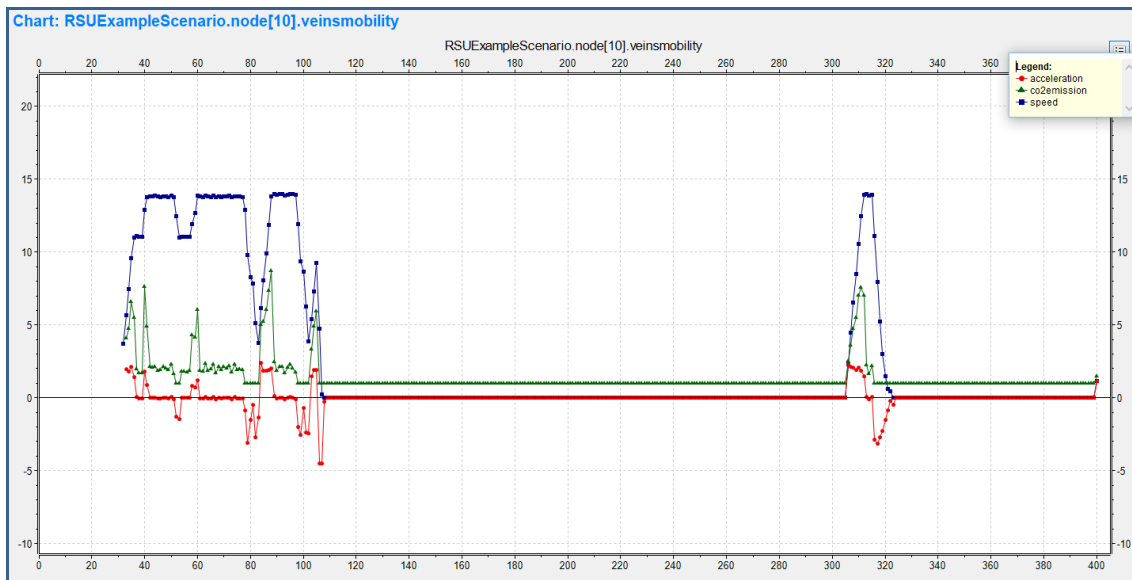
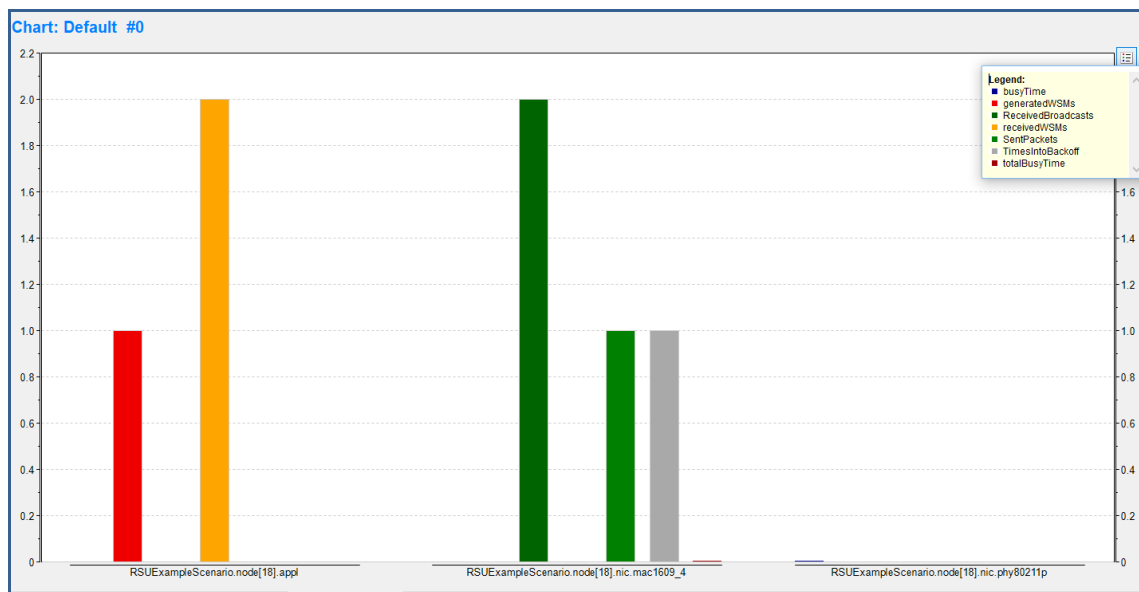


Fig. 41 Gràfic Paràmetres vectorials node\_10

Amb la gràfica de dades vectorials es pot observar que en els moments que s'accelera per obtenir major velocitat, es produeixen els pics d'emissió de CO<sub>2</sub>. Al pic màxim s'emeten 8,73 µg/m<sup>3</sup> i al mínim 0,97 µg/m<sup>3</sup>.

**NODE\_18:** El node\_18 pertany al flux de vehicles que no es troben amb la congestió. Han rebut missatges de comunicació I2V alertant de la congestió i missatges de comunicació V2V als vehicles que té a l'abast del rang de comunicació. Pren la ruta alternativa directament, per tant, no es veu afectat en cap moment per la congestió. Supera la congestió molt abans que els fluxos de vehicles que havien quedat retinguts i que havien precedit al node\_18. Representa al flux de vehicles 18-19. Aquests són els paràmetres analitzats:

Paràmetres de comunicació:



**Fig. 42 Gràfic Dades del protocol de comunicació node\_18**

Les dades extretes són les següents:

- Generated WSM: 1
- Received WSM: 2
- Received Broadcast: 2
- Sent Packets: 1
- Busy Time:  $3,62 * 10^{-6}$  s.
- Total Busy Time:  $6,97 * 10^{-4}$  s.

## Paràmetres de mobilitat:

- dades escalars

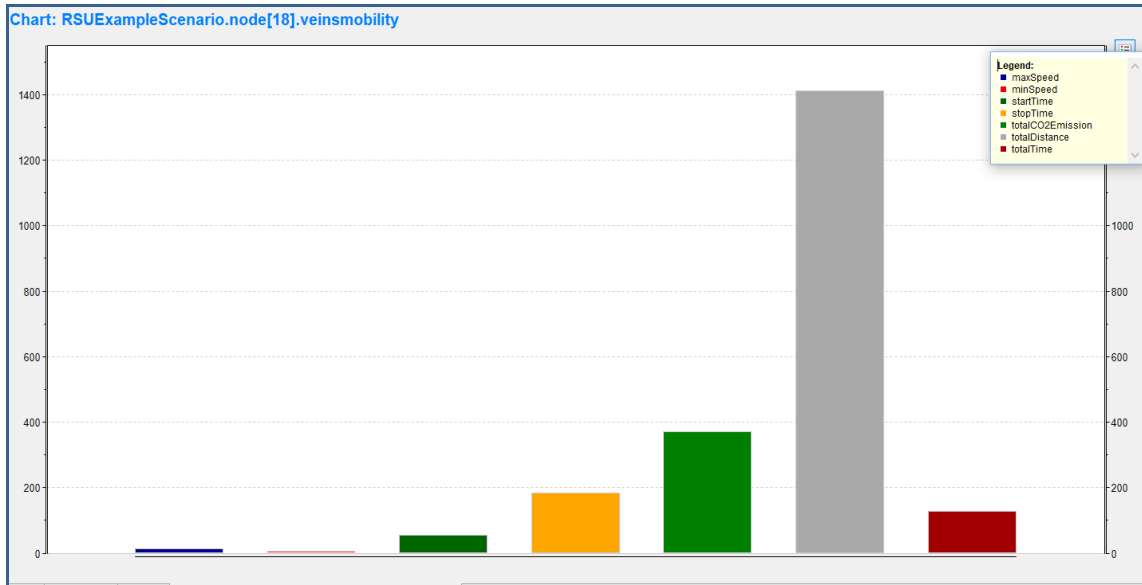


Fig. 43 Gràfic Dades de mobilitat node\_18

Els principals resultats de mobilitat d'utilitat per al TFG, són els següents:

- Distància: 1.409 m.
- Temps: 127 s.
- Emissions CO<sub>2</sub>: 369 µg/m<sup>3</sup>

- dades vectorials

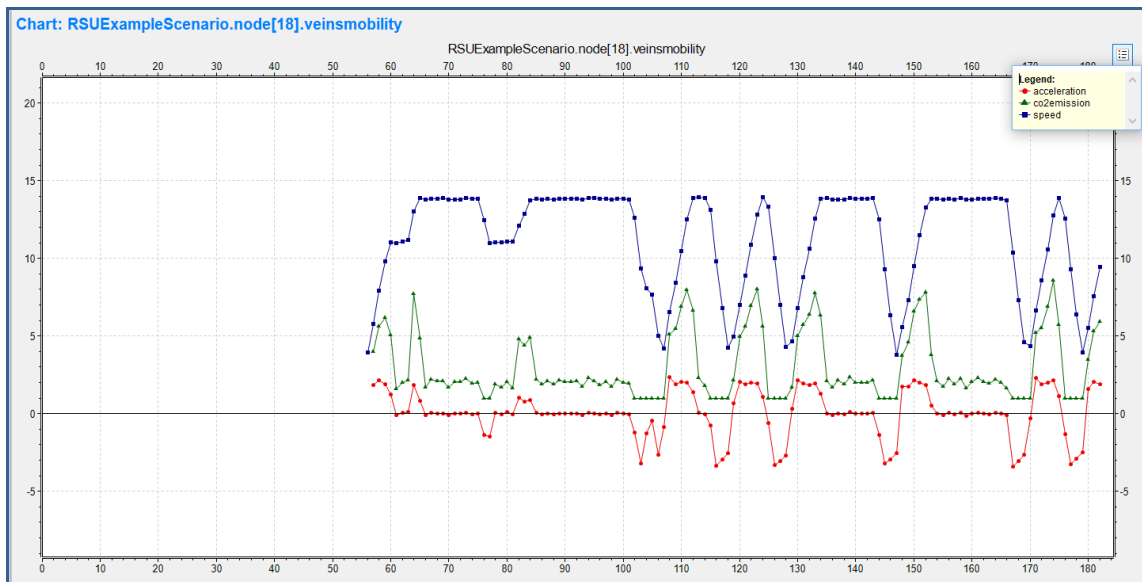


Fig. 44 Gràfic Paràmetres vectorials node\_18

Amb la gràfica de dades vectorials es pot observar que en els moments que s'accelera per obtenir major velocitat, es produeixen els pics d'emissió de CO<sub>2</sub>. Al pic màxim s'emeten 8,58 µg/m<sup>3</sup> i al mínim 0,97 µg/m<sup>3</sup>.

De les dades recollides i presentades als punts anteriors, es considera que les que proporcionen detalls de mobilitat són les més determinants a l'hora d'avaluar la conveniència del desplegament d'una xarxa VANET i la seva influència en el model d'Smart City.

Com ja s'ha comentat al començament d'aquest apartat, la simulació repeteix tres comportaments de mobilitat:

- Flux de vehicles que queden atrapats a la congestió i que no tenen moviment fins que no finalitza la mateixa.
- Flux de vehicles alertats de la congestió quan estaven molt propers a aquesta, però que decideixen fer mitja volta i recórrer la ruta alternativa.
- Flux de vehicles alertats amb temps per poder prendre la ruta alternativa directament sense necessitat de fer mitja volta.

A més d'aquests tres models de mobilitat, s'ha volgut estudiar també el moviment realitzat per fluxos de vehicles que s'afegeixen a la congestió tot i haver estat alertats de la congestió i sabent que vehicles que circulaven davant d'ells havien optat per fer mitja volta i prendre la ruta alternativa.

La taula 13 resumeix aquesta informació i ajuda a analitzar quines característiques de mobilitat són més adients.

**Taula 13. Comparativa de paràmetres de Smart Mobility**

<b>NODE</b>	<b>Temps de viatge (seg.)</b>	<b>Distància total (m)</b>	<b>Emissió CO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>[0]</b>	282	937	408
<b>[8]</b>	141	1.605	398
<b>[10]</b>	344	996	514
<b>[18]</b>	127	1.409	369

El flux de vehicles representat pel node\_0 triguen més temps en arribar a la seva destinació que els vehicles dels fluxos dels nodes 8 i 18 que eviten la congestió, però per una altra banda recorren menys distància malgrat contaminen més.

Els vehicles representats pel node\_8 són els que recorren més distància, però tot i així, triguen menys temps i contaminen menys que els fluxos dels nodes 0 i 10.

El flux del que forma part el node\_10 és el que presenta el pitjor comportament, és el més contaminant i el que necessita més temps de viatge.

Per últim, el node\_18 és el que observa un perfil de mobilitat més convenient, tot i recórrer més distància que els fluxos representats pels nodes 0 i 10, el seu temps de viatge és el menor i també el seu valor d'emissió de substàncies contaminants.

# Capítol 5. Conclusions

## 5.1 Conclusions pròpies del projecte

Si es recorda el concepte de ciutat intel·ligent exposat al capítol 2.1 “Introducció al concepte d’smart city”, aquest diu:

“Una ciutat intel·ligent o smart city ha de ser aquella que englobi una sèrie de conceptes encaminats a la sostenibilitat mediambiental, econòmica i social i que tindrà com a principal objectiu millorar la qualitat de vida dels seus habitants.”

A més, al capítol 2.4 “Introducció als sistemes intel·ligents de transport” es comenten els objectius principals d’aquets models de trànsit, que són els següents:

- Millorar la seguretat en tots els mitjans de transport (reduir els accidents).
- Millorar l’eficiència dels sistemes de transport reduint les congestions de trànsit.
- Implantar polítiques de desenvolupament sostenible del transport, reduint l’emissió de contaminants i optimitzant l’ús de les infraestructures (p.e. aparcaments fora de les ciutats que tinguin connexió amb transport públic no contaminant)
- Incrementar el confort dels usuaris amb els serveis d’informació apropiats: sistemes d’ajuda a la presa de decisions, sistemes adequats de navegació i localització, sistemes de comunicació en temps real fiables i segurs.

Per altra banda al capítol 2.3 “Model de trànsit d’una smart city: smart Mobility”, s’assenyalen les prioritats de la mobilitat intel·ligent:

- Millorar la qualitat de vida dels ciutadans.
- Reduir l’impacte mediambiental.
- Millora l’eficiència i planificació del mitjans de transport.
- Reduir les congestions dels trànsit.
- Optimitzar l’aparcament
- Prioritzar al ciutadà en l’àmbit de la mobilitat

De totes les característiques relacionades anteriorment, hi ha dos paràmetres de la simulació presentada a la taula 13 l’anàlisi dels quals avalua quin comportament dels fluxos de vehicles s’apropa més al model desitjat de mobilitat en una ciutat intel·ligent. Aquests són l’emissió de partícules contaminants de CO<sub>2</sub> i el temps de viatge invertit pels usuaris.

De l’estudi dels resultats obtinguts es pot apreciar que el model de trànsit observat pel node\_18 és l’ideal. Respecte al pitjor supòsit, es a dir, el que segueix el node\_10 i que es refereix als vehicles que queden a la congestió malgrat han estat alertats i han tingut la possibilitat de sortir de la retenció, el model de mobilitat realitzat pels vehicles que segueixen el patró del node\_18 és un 65% més ràpid i un 30% més sostenible pel medi ambient. És a dir, els fluxos de vehicles que quan reben un missatge d’alerta de congestió poden prendre una ruta alternativa i la prenen per evitar la retenció, són els vehicles

que col·laboren a minoritzar l'impacte mediambiental i altrament contribueixen a proporcionar un millor nivell de qualitat de vida als usuaris.

Es pot interpretar aquest anàlisi com si s'estigués comparant un model sense connectivitat vehicular i que correspondria als vehicles del flux del node\_10 al node\_17 amb un patró de mobilitat amb connectivitat que seria el dels vehicles del flux del node\_8 a node\_9. Per tant, si es segueix aquest patró, es pot comprovar clarament que el desplegament d'una xarxa de connectivitat vehicular millora les condicions del trànsit, ja que evita les congestions, agilitza el temps de viatge i contribueix a la protecció del medi ambient, així doncs queda demostrat la seva utilitat en un entorn de mobilitat intel·ligent en el marc d'una smart city.

Per resumir, es pot generalitzar que les dades abans analitzades poden quedar sintetitzades com es detalla a continuació, on tot i que els vehicles amb desplegament de xarxa VANET recorren més distància, atès que la ruta alternativa és més llarga, malgrat això necessiten menys temps de viatge i presenten emissions de CO<sub>2</sub> menors:

Taula 14. Resultat aplicació Xarxa VANET

MODEL	Distància recorreguda (m)	Temps utilitzat (s)	Emissió de CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Amb xarxa VANET</b>	1.409	127	369
<b>Sense xarxa VANET</b>	996,5	344	514,45

## 5.2 Lliçons apreses

El desenvolupament d'aquest TFG ha tingut dues parts clarament diferenciades; la d'investigació i recerca d'informació i la de preparació i execució de la simulació.

La primera etapa ha estat molt gratificant, ja que ha permès recordar i consolidar coneixements respecte a tecnologies i altres conceptes que havien estat estudiats durant els primers cursos de la carrera però que ja havien quedat en certa manera allunyats del que es desmanava en assignatures més avançades.

La fase de simulació ha estat molt costosa i ha presentat múltiples dificultats ja que ha estat necessari aprendre el funcionament dels tres simuladors utilitzats. La primera intenció va ser la de únicament aprofundir en el coneixement del simulador VEINS de xarxes VANET i aprofitar els exemples que proporciona l'eina i adaptar-los a les intencions buscades en aquest treball.

De seguida es va veure que això era impossible i va ser necessari estudiar amb detall el simulador SUMO, el qual ofereix tantes possibilitats que va ser molt difícil saber quina podia ser la més adient. Es va provar de crear els escenaris de manera manual amb l'eina d'edició de SUMO, però finalment es

va descartar degut a que no proporcionava els detalls de simulació pretesos. Posteriorment es va adaptar la simulació a escenaris ja configurats, tot i que no corresponien a la localització que es pretenia analitzar, encara que tampoc dotaven de resultats convenients. Finalment, es va configurar el mapa de l'escenari real, molt laboriós, atès que el mapa contenia moltes vies, cruïlles i fins i tot rotondes, però que a la fi era el producte buscat que facilitava la precisió i el rigor desitjats.

Pel que fa al simulador de xarxes OMNET++, es va considerar que el desplegament que oferia el model d'exemple a VEINS es podria modelar per l'escenari a avaluar. Les característiques de protocols i condicions de comunicació eren similars. Es va considerar la possibilitat de desplegar dues RSU, però es va observar que els resultats eren els mateixos, altrament no existeixen obstacles que facin ombra de senyal perquè tot el desplegament de la xarxa és en espai obert i l'àrea de cobertura era més que suficient per tots els vehicles. La quantitat de nodes original va ser modificada per apropar-la a la situació de fluxos de trànsit reals, així com el temps de simulació i les localitzacions de les congestions.

Com a lliçons apreses resultants, es relacionen les següents:

- L'escenari sobre que el que s'ha d'executar la simulació ha de ser el més ajustat possible a la realitat.
- El desplegament telemàtic ha de ser el més senzill, sempre que proporcioni els resultats desitjats.
- Els paràmetres de configuració de la simulació han de ser els més propers admissibles als que s'han observat sobre el propi escenari real.
- És fonamental tenir coneixement de les circumstàncies concretes reals que es produeixen a l'escenari objecte de l'estudi.

### 5.3 Assoliment dels objectius plantejats

Es considera que els objectius principals han estat assolits. Entre aquests es detallen els següents:

#### Objectius d'investigació:

- Determinar quines són les millors opcions de comunicació entre vehicles i dels vehicles amb instal·lacions fixes per ajustar-se a les solucions que demanden les condicions del trànsit de vehicles en uns determinats escenaris concrets a l'interior d'una smart city.
- Descriure en detall en què consisteix una xarxa VANET.
- Descriure en detall les condicions de trànsit en una smart city.

#### Objectius de contribució

- Determinar la situació actual de la zona objecte d'estudi respecte a la seva adaptació a una smart city.
- Determinar la situació actual de la zona objecte d'estudi respecte a la seva adaptació a una xarxa VANET.

- Instal·lar, configurar i posar en marxa el simulador de VEINS
- Executar la simulació i extreure conclusions.

També hi ha d'altres que no s'han aconseguit, o que si més no, podrien haver estat tractats a més rigor, com ara els que es relacionen:

#### Objectius d'investigació:

- Determinar les accions a executar per part de l'administració local del municipi afectat, sobre les àrees objecte del projecte, per facilitar la comunicació de la infraestructura amb els vehicles i amb un suposat centre de control de gestió del trànsit.
- A partir dels resultats obtinguts, determinar quines modificacions s'han de produir sobre la zona objecte de l'estudi.

### 5.4 Seguiment de la planificació i metodologia al llarg del producte.

Com ja s'exposa a l'apartat 1.4 "Planificació del treball", la planificació ha estat encertada des d'un bon principi. Es va realitzar un càlcul molt realista del temps disponible i del temps necessari, en general. Tot i que la temporalitat dedicada als apartats d'aprenentatge i posada en marxa dels simuladors ha estat més extensa del previst, degut a la gran quantitat de matèria a estudiar per a poder tenir un coneixement acceptable dels mateixos.

Pel que fa a la metodologia, ha seguit de forma general els guions donats al punt 1.5 d'aquest treball, no obstant, s'ha d'afegir que s'han fet diverses consultes a fòrums específics de funcionament dels simuladors que han servit per resoldre dubtes puntuals.

Per finalitzar, si s'hagués disposat de més temps i de més coneixements de programació, s'hauria pogut millorar el comportament de mobilitat dels nodes, de manera que té poc sentit que vehicles que tenen coneixement per endavant que hi existeix una retenció, optin per acumular-se a aquesta.

### 5.5 Línies de treball futur

De l'estudi i execució de VEINS s'ha comprovat que l'ús de simuladors de xarxes vehiculars té gran importància per l'estudi de les condicions del trànsit de qualsevol zona del món i amb el detall que es vulgui analitzar. Disposa de tantes possibilitats que permet construir de manera teòrica qualsevol xarxa de comunicacions vehicular, fet que proporciona gran ajuda a l'hora de plantejar el desplegament de la xarxa real. Les administracions que es proposin realment solucionar problemes de trànsit amb la utilització de les telecomunicacions, disposen d'una eina, que en mans d'experts qualificats, proveirà de solucions realment efectives, i que contribuiran de ben segur a estalviar despeses en l'execució del projecte que s'hagi de portar a terme.



No s'ha d'oblidar, però, que encara s'està lluny d'un desplegament VANET eficient, atès que és imprescindible que els vehicles disposin tots d'unitats OBU. Mentrestant no s'assoleix aquesta implantació, uns bons sistemes d'advertiment general sobre panels de gran visibilitat, podrien ser molt útils, connectant aquests a les RSU i centres de control de trànsit, que constitueixen els elements d'una xarxa VANET que sí que es podrien desplegar en qualsevol moment.

També s'ha de fer menció a la introducció dels vehicles de motor elèctric, la qual faria innecessari l'anàlisi de paràmetres d'emissió de substàncies contaminants a l'aire, malgrat podrien produir-se contaminants d'altres tipus.

D'altra banda, un camp d'investigació futur podria ser el de combinar les tecnologies i protocols de comunicació estàndard de xarxes vehiculars amb altres sistemes d'instauració futura del tot probable com ara les xarxes 5G i el IoT.

Pel que fa en concret a aquest TFG, línies d'actuació a implementar per optimitzar-lo, podrien ser la de presentar nous escenaris, l'anàlisi dels quals permetria la comparació entre situacions diferents. De la mateixa manera, avaluar altres incidències, com ara accidents freqüents, semàfors mal sincronitzats, o advertiments exclusivament per a vehicles prioritaris o de mercaderies perilloses, proporcionaria altres perspectives al desplegament de xarxes VANET.

## 6. Glossari

- **Beaconing**: transmissió entre els nodes de missatges curts periòdics.
- **CALM**: “Communication Access for Land Mobiles” . Arquitectura que proveeix de protocols de comunicació vehicular de mitja i llarga abast en entorns d’alta velocitat, dins del projecte marc europeu CVIS.
- **Comunicació broadcast**: model de comunicació on un mode transmissor emet dades a diversos nodes receptors.
- **Comunicacions V2V, V2I, I2I i I2V**: comunicacions sense fils en entorns vehiculars, poden ser vehicle a vehicle, vehicle a infraestructura, infraestructura a infraestructura o infraestructura a vehicle.
- **Congestió de trànsit**: Saturació del flux vehicular degut a l’excés de demanda de les vies, produint un increment dels temps de viatge i de les emissions contaminants.
- **Control de trànsit**: Sistema de gestió del trànsit de vehicles que mitjançant medis de monitoratge del mateix optimitzen la mobilitat dels fluxos de vehicles i eviten congestions i altres incidents.
- **CSMA/CA**: “Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance” o accés múltiple per detecció de portadora i prevenció de col·lisions. Protocol que gestiona l’accés al medi sense fils reduint la col·lisió de missatges.
- **Crowdsourcing**: Grups d’usuaris d’Internet que faciliten de forma lliure i ràpida l’intercanvi de serveis i productes.
- **CVIS**: “Cooperative Vehicular Infrastructure System”. Projecte desenvolupat per la UE per crear un sistema de cooperació de comunicacions de vehicles i infraestructura.
- **DSRC**: “Dedicated Short Range Communications” o comunicacions dedicades de curt abast . Constitueixen el model de comunicació entre els components d’una xarxa vehicular.
- **Emissió de contaminants**: Expulsió de partícules químiques a l’atmosfera que alteren la seva composició i suposen un risc per la salut de les persones i que contribueixen a l’escalfament global i malmeten el medi ambient.
- **ETSI ITS G-5**: Tecnologia de comunicació vehicular similar al protocol WAVE però en l’entorn de la UE.
- **IEEE 1609**: Família d’estàndards per a entorns WAVE que defineixen les seves capes superiors (xarxa, transport i MAC amb col·laboració amb l’estàndard 802.11p).
- **IEEE 802.11p**: Modificació de l’estàndard IEEE 802.11 per a entorns vehiculars d’accés sense fils (WAVE) per a sistemes de comunicació vehicular, pel que fa a les capes inferiors (física i d’accés al medi) del model OSI.
- **Informació en temps real**: Transmissió de dades dins d’un període determinat per poder ser efectiu.

- **Infraestructura intel·ligent:** Combinació de software, connexions de xarxa i sensors que proporciona informació actualitzada de l'estat en que es troben les connexions.
- **IoT:** "Internet of Things" o Internet de les coses. Els objectes poden comunicar-se i interactuar amb altres mitjançant internet.
- **MaaS:** "Mobility as a Service" o la mobilitat com a servei. Sistemes combinats de gestió dels transports que són consumits pels usuaris com un servei a canvi de pagar una tarifa.
- **Multi-hop:** Protocol de "Routing" de missatges en un entorn de xarxes sense fils a on els mateixos nodes es donen suport entre ells per retransmetre les dades.
- **OBU:** "On Board Unit". És el component mòbil en les comunicacions vehiculars. Està localitzat a l'interior dels vehicles.
- **RSU:** "Road Side Unit" .És el component fixe de la infraestructura en comunicacions vehiculars. Està localitzat en punts determinats de les vies.
- **SIT:** Sistemes Intel·ligents de Transport. Conjunt de solucions tecnològiques de telecomunicacions i informàtica dissenyades per millorar la gestió i seguretat del transport i transformar-lo en un sistema més eficient i sostenible.
- **SITC:** Sistemes intel·ligents de transport que es basa en l'intercanvi d'informació cooperativa a través dels seus nodes.
- **Smart City:** Model intel·ligent de ciutat i que gràcies a la utilització eficient de les TIC pugui proporcionar als ciutadans millors condicions de vida.
- **Smart Mobility:** Model intel·ligent de mobilitat basat en la consecució d'uns sistemes de transport sostenibles, protectors del medi ambient i que augmentin el nivell de qualitat e vida dels ciutadans i recolzats per l'ús eficient de les TIC.
- **Sostenibilitat energètica:** Model energètic que fomenta el desenvolupament de sistemes estables, accessibles i ambientalment acceptables.
- **Superpoblació:** és una condició en què la densitat de població humana s'amplia a un límit que provoca un empitjorament de l'entorn i una disminució en la qualitat de vida.
- **VANET:** "Vehicular Ad-hoc Networks". Xarxa de telecomunicacions sense fils on els nodes són els vehicles i diversos punts de la infraestructura. Es caracteritza per la seva gran mobilitat i per facilitar informació en temps real.
- **Vehicle autònom:** Vehicle capaç de percebre el mitjà que l'envolta i navegar en conseqüència, utilitzant complexes tecnologies com làser, radar, lidar, sistemes de posicionament i intel·ligència artificial.
- **Vehicle elèctric:** Vehicle que fa servir motors elèctrics per desplaçar-se i que per tant no emet substàncies contaminants.
- **WAVE.** "Wireless Access in Vehicular Environment". Estàndard per a gestionar comunicacions vehiculars, caracteritzades principalment per entorns ràpidament canviants i temps molt curts de transmissió de la informació.
- **WSMP:** "Wave Short Message Protocol". Protocol que gestiona l'intercanvi de missatges WSM en la capa de transport de l'estàndard IEEE 1609.

- **Xarxes ad-hoc**: xarxa de comunicacions normalment sense fils i que es constitueix espontàniament per realitzar una comunicació entre equips.

## 7. Bibliografia

[1] Narcís Vidal Tejedor, "La Smart City: Las ciudades inteligentes del futuro", Editorial UOC, Barcelona, 2015. ISBN 9788490649053.

[2] Ortegón Bolívar, Jairo A. (2011). "Las tecnologías de la información y la comunicación y su contribución en la construcción de las ciudades digitales". Revista Clepsidra, 7(11), 67-74. ISSN:1900-1355.

[3] Ca.wikipedia.org. (2019). Ciutat intel·ligent. [online] Available at: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Ciutat\\_intel%C2%B7ligent](https://ca.wikipedia.org/wiki/Ciutat_intel%C2%B7ligent) [Accessed 9 Mar. 2019].

[4] Romero Tarín, Adela (2018). "Gobernanza y políticas de desarrollo urbano: teoría y práctica". Universidad de Alicante.

[5] Zaigham Mahmood, "Smart Cities: Development and Governance Frameworks" Ed. Cham: Springer International Publishing AG, 2018. ISBN 978-3-319-76668-3.

[6] BOPC nº 436, "Llei 9/2003 de 13 de Juny, de la mobilitat", (2003).

[7] Lenz, B.;Heinrichs, D. Academic Journal IEEE Pervasive Computing IEEE Pervasive Comput. Pervasive Computing, IEEE. 16(2):84-86 Jun, 2017

[8] Miteco.gob.es. (2019). Estrategia Española de Movilidad Sostenible. [online] Available at: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/estrategia\\_esp\\_movilidad.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/estrategia_esp_movilidad.aspx) [Accessed 6 Mar. 2019].

[9] Docherty, Iain;Marsden, Greg;Anable, Jillian Academic Journal In Smart urban mobility, Transportation Research Part A September 2018 115:114-125

[10] Ministeri de la Presidència. RD 662/2012 de 13 d'abril per que "s'estableix el marc per la implantació dels SIT en el sector del transport per carretera i per les interfícies amb altres modes de transport".

[11] Ganesh S. Khekare<sup>1</sup>, Apeksha V. Sakhare<sup>2</sup> International Journal of Advanced Computer Research (ISSN (print): 2249-7277 ISSN (online): 2277-7970) Volume-2 Number-4 Issue-6 December-2012

[12] Hernández Jayo, Unai Sistemas intel·ligents de transport sistemas vehiculars cooperatius sistemas inteligentes de transporte sistemas vehiculares cooperativos intelligent transportation systems vehicular cooperative systems. Recurs d'aprenentatge de la Universitat Oberta de Catalunya. Recurso de aprendizaje de la "Universitat Oberta de Catalunya". Learning material of the "Universitat Oberta de Catalunya". 2018-05-24T10:26:17Z 2018-05-24T10:26:17Z 2014-09.

- [13] [Navpreet Panjra, Monika Poriye, International Journal of Advanced Research in Computer Science, A Comprehensive Survey of VANET Architectures and Design”, May-June 2017]
- [14] [.....] Georgios Karagiannis, Onur Altintas, Eylem Ekici, Geert Heijenk, Boangoat Jarupan, Kenneth Lin, Tomothy Weil. Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2011.
- [15] Fan Yang, Zhijian Lin, Yuliang Tang, Department of Communication Engineering, Xiamen University, A Traffic Flow Based Clustering Scheme for VANETs, Sensors & Transducers, Vol. 180, Issue 10, October 2014, pp. 110-116.
- [16] MUKESH SAINI, Division of Engineering, New York University in Abu Dhabi ABDULHAMEED ALELAIWI, College of Computer and Information Sciences, King Saud University ABDULMOTALEB EL SADDIK, School of Electrical Engineering and Computer Science (EECS), University of Ottawa How Close are We to Realizing a Pragmatic VANET Solution A Meta-Survey ACM Computing Surveys, Vol. 48, No. 2, Article 29, Publication date: November 2015.
- [17] 1Samira Harrabi, 2 Ines Ben Jaafar and 3 Khaled Ghedira, ENSI University, Mannouba, Tunisia, Routing Challenges and Solutions in Vehicular Ad hoc Networks, International Frequency Sensor Association (IFSA) Publishing, S. L., 2016.
- [18] [www.ieee802.org](http://www.ieee802.org/802_tutorials/06-November/IEEE%20802%20CALM%20Tutorial%20Part%201_v2.pdf). (2019). [online] Available at: [http://www.ieee802.org/802\\_tutorials/06-November/IEEE%20802%20CALM%20Tutorial%20Part%201\\_v2.pdf](http://www.ieee802.org/802_tutorials/06-November/IEEE%20802%20CALM%20Tutorial%20Part%201_v2.pdf) [Accessed 17 Mar. 2019].
- [19] [Cvisproject.org](http://www.cvisproject.org/). (2019). *CVISproject.org Home*. [online] Available at: <http://www.cvisproject.org/> [Accessed 21 Mar. 2019].
- [20] [Cordis.europa.eu](https://cordis.europa.eu/project/rcn/79301/factsheet/en). (2019). *CORDIS | European Commission*. [online] Available at: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/79301/factsheet/en> [Accessed 21 Mar. 2019].
- [21] [Frame-online.eu](https://frame-online.eu/). (2019). *FRAME ARCHITECTURE*. [online] Available at: <https://frame-online.eu/> [Accessed 22 Mar. 2019].
- [22] Planeta Chatbot: todo sobre los Chatbots y la Inteligencia Artificial. (2019). *Control del Tráfico e Inteligencia Artificial*. [online] Available at: <https://planetachatbot.com/control-del-trafico-inteligencia-artificial-5bbcb7749e82> [Accessed 23 Mar. 2019].
- [23] Santamaria Amilcare Francesco, Sottile Cesare. “Smart Traffic Management Protocol Based on VANET architecture”. Information and communication technologies and services. Number 4. Volum 12. (2014) Department of Computer Science, Modeling, Electronics and Systems Engineering, University of Calabria, Via Pietro Bucci, 870 36 Arcavacata di Rende CS, Italy

[24] Pla Integral ITS (2017-2019). Servei català de trànsit. Generalitat de Catalunya.

[25] MDPI Sensors, (2019). [online] Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6263642/> [Accessed 24 Mar. 2019].

[26] Inteligentes, C., Economía, G., Ambiente, M., Empresas, G., Inteligentes, 5., Inteligentes, 4., Inteligentes, 3., Inteligentes, 2. and Inteligentes, 1. (2019). *El Ayuntamiento de Málaga adjudica la gestión de su Plataforma de Movilidad Inteligente a Kapsch TrafficCom • ESMARTCITY*. [online] ESMARTCITY. Available at: <https://www.esmartcity.es/2017/12/11/ayuntamiento-de-malaga-adjudica-gestion-plataforma-movilidad-inteligente> [Accessed 25 Mar. 2019].

[27] Neapolis.cat. (2019). *Neapolis - Espai de la tecnologia i les idees*. [online] Available at: <http://www.neapolis.cat/> [Accessed 27 Mar. 2019].

[28] Geltrú, A. (2019). *Vilanova i la Geltrú*. [online] Pressupostos.vilanova.cat. Available at: <http://pressupostos.vilanova.cat/politiques/13/seguretat-i-mobilitat-ciudadana> [Accessed 27 Mar. 2019].

[29] Geltrú, A. (2019). *Pla de mobilitat urbana i sostenible*. [online] Vilanova.cat. Available at: [https://www.vilanova.cat/mobilitat/pla\\_mobilitat](https://www.vilanova.cat/mobilitat/pla_mobilitat) [Accessed 27 Mar. 2019].

[30] prezi.com. (2019). *VEHICULAR AD HOC NETWORKS (VANET)*. [online] Available at: <https://prezi.com/icia-cu-rw9b/vehicular-ad-hoc-networks-vanet/> [Accessed 31 Mar. 2019].

[31] Ana María Orozco, Gonzalo Llano, Roger Michoud. “Redes vehiculares Ad-hoc aplicaciones basadas en simulación “. Vehicular Ad-hoc networks: simulation-based applications . Artículo. Universidad Icesi-Cali (Colombia). (2012).

[32] Veins.car2x.org. (2019). *Tutorial - Veins*. [online] Available at: <http://veins.car2x.org/tutorial/> [Accessed 1 Apr. 2019].

[33] Geltrú, A. (2019). *Millors a la mobilitat de la façana marítima de cara a l'estiu*. [online] Vilanova.cat. Available at: <https://www.vilanova.cat/noticies/detall?id=47221790> [Accessed 21 Apr. 2019].

[34] Ieeexplore.ieee.org. (2019). *Tradeoff Issues for CCH/SCH Duty Cycle for IEEE 802.11p Single Channel Devices - IEEE Conference Publication*. [online] Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5684264> [Accessed 22 Apr. 2019].

[35] Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard. 2007 IEEE 66th Vehicular Technology Conference, Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th, [s. l.], p. 2199, 2007. Disponible em: <http://0-search.ebscohost.com/categ.uoc.edu/login.aspx?direct=true&db=edsee&AN=edsee.4350110&site=eds-live>. Acceso em: 22 abr. 2019.

[36] KIM, Y. ( 1 ) et al. Performance Analysis of a MAC Protocol Consisting of EDCA on the CCH and a Reservation on the SCHs for the IEEE 802.11p/1609.4 WAVE. IEEE Transactions on Vehicular Technology, [s. l.], v. 66, n. 6, p. 5160–5175, [s.d.]. Disponível em: <<http://0-search.ebscohost.com/cataleg.uoc.edu/login.aspx?direct=true&db=edselc&AN=edselc.2-52.0-85028767109&site=eds-live>>. Acesso em: 22 abr. 2019

[37] Eckhoff, David & Sommer, Christoph. (2019). A Multi-Channel IEEE 1609.4 and 802.11p EDCA Model for the Veins Framework.

## 8. Annexos

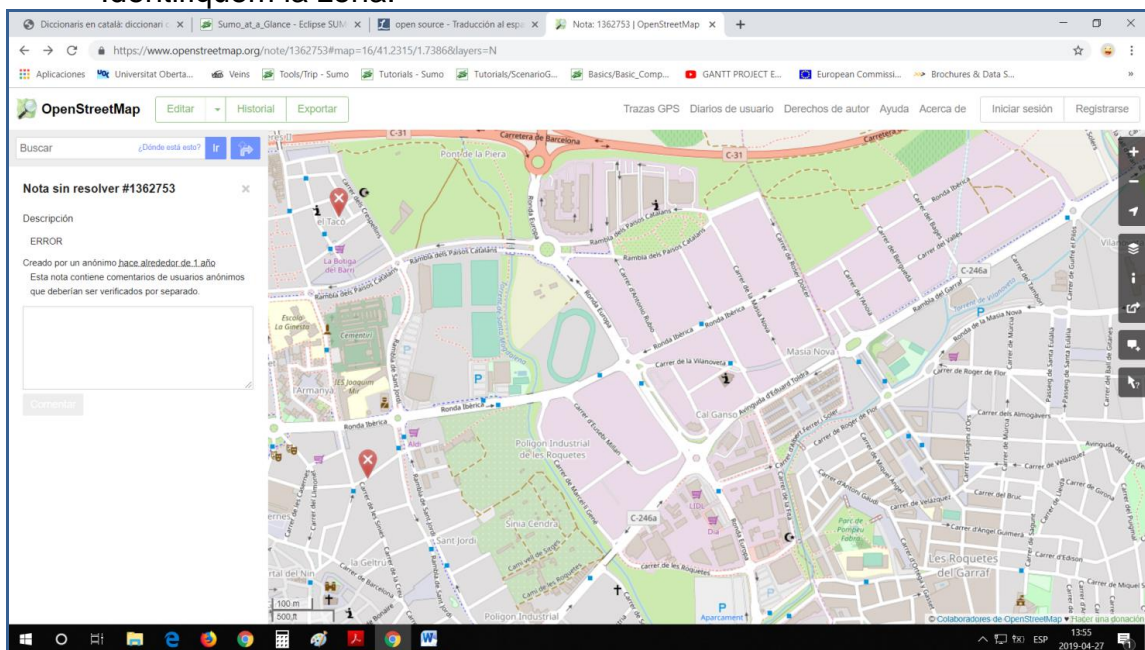
### ANNEX I. Obtenció de l'escenari SUMO a analitzar.

Per començar, s'han de definir alguns conceptes que ajudaran a la comprensió de certes característiques sobre les que està configurat SUMO, aquestes són:

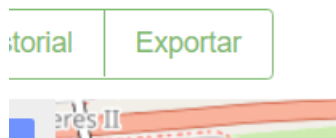
- Nodes o junctions: interseccions.
- Edges: carrers que connecten les interseccions.
- Routes: recorreguts que segueixen els vehicles

PAS 1: Exportar la zona desitjada de l'aplicació OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>).


- Identifiquem la zona:



- Exportem el mapa: Cliquem al botó exportar.



- Ens descarrega un arxiu tipus .osm (li donem el nom que ens interressi).

 vilanova\_rotonda.osm

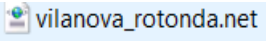
- Per poder treballar posteriorment amb OMNET i VEINS hem de convertir aquest arxiu en un de tipus .net i en un altre de tipus .poly ambdós en format xml.

Per altra banda, s'ha d'originar un arxiu de tipus .rou també en format xml, on quedarà definit el tipus de recorregut que fan els vehicles, els tipus de vehicles que volem utilitzar i també els diferents fluxos de trànsit que es poden produir.

- La conversió a arxiu .net es fa des de línia de comandes i sempre amb el directori que correspongui.



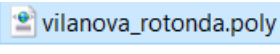
```
/c/Users/Enrique/src/sumo-0.32.0$ netconvert --xml-type-files osmNetconvert.typ.xml --osm-files vilanova_rotonda.osm --output-file vilanova_rotonda.net.xml
```

Es crearà l'arxiu  en format xml.

Dintre d'aquest arxiu ja venen definits tant els "edges" com les "junctions" amb la identificació de cadascú i amb les connexions entre ells.

- Per crear l'arxiu tipus .poly donarem les ordres següents

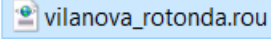
```
/c/Users/Enrique/src/sumo-0.32.0$ polyconvert --net-file vilanova_rotonda.net.xml --osm-files vilanova_rotonda.osm --type-file typemap.xml -o vilanova_rotonda.poly.xml
```

i tindrem  en format xml.

Aquest arxiu està format per la identificació i forma de totes les línies que componen qualsevol polígon del mapa triat.

- L'arxiu de tipus .rou té també la seva opció de conversió per línia de comandes, no obstant va donar molts problemes poder-lo generar de forma correcta, així doncs es va optar per confeccionar-lo de manera manual, tal i com queda a continuació:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<routes>
  <vType id="vtype0" accel="2.6" decel="4.5" sigma="0.5" length="2.5" minGap="2.5"
maxSpeed="14" color="1,1,0"/>
  <route id="route0" edges="296484835 584004108 8243269 8243284 279779907
309121561 309121560#0 309121560#1 309121560#2 8243242#0 8243242#1 8243242#2
8243243#0 8243243#1 8243243#2 571097357 566390604 566461188 8243224#0
8243224#1 8243224#2 -309565877#1 -309565877#0 -277226033 277226026 277249871
8243086#0 8243086#1 8243086#2 8243081"/>
  <flow id="flow0" type="vtype0" route="route0" begin="0" period="3" number="195"/>
</routes>
```

El guardem en format xml i tenim .

Totes les opcions de configuració d'arxius .rou venen explicades als tutorials de SUMO.

(<https://sumo.dlr.de/wiki/Tools/Routes>)

([https://sumo.dlr.de/wiki/Definition\\_of\\_Vehicles,\\_Vehicle\\_Types,\\_and\\_Routes](https://sumo.dlr.de/wiki/Definition_of_Vehicles,_Vehicle_Types,_and_Routes))

Amb l'aplicació NETEDIT de SUMO l'escenari a analitzar queda així:



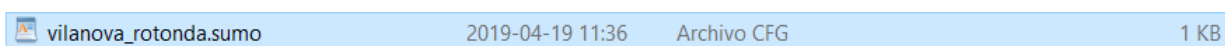
## ANNEX II. Configuració i ús de les eines OMNET++ i VEINS

En aquest annex s'explica pas per pas com configurar i utilitzar OMNet++ i VEINS de forma conjunta fent servir els arxius que s'han creat en SUMO i que es poden veure a l'annex II. D'aquesta manera encaixarem els tres simuladors.

### PAS 1

Comprovarem que l'escenari creat en SUMO funciona correctament des del directori de VEINS on tindrem els arxius creats (\*.net, \*.poly, \*.rou) i comentats a l'annex II.

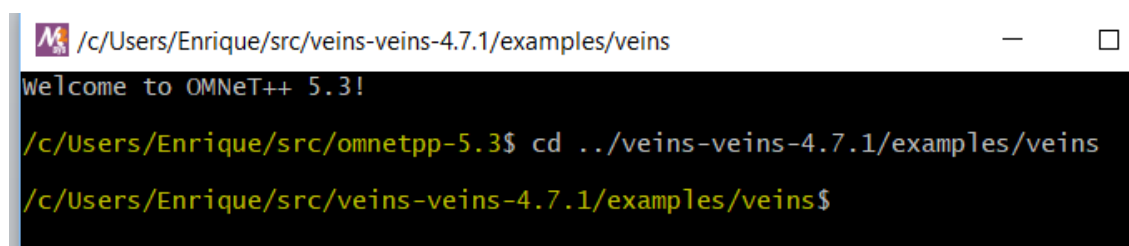
Per poder obrir l'escenari crearem un nou arxiu en format xml que serà del tipus \*.sumo.cfg i que contindrà com a valors d'entrada els tres arxius comentats.



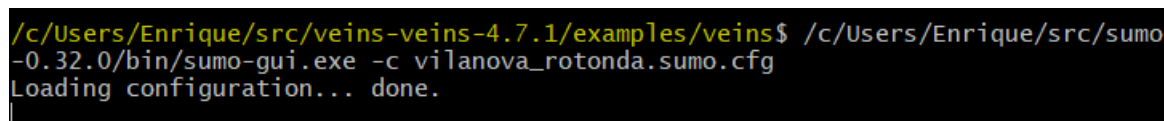
El seu codi xml serà el següent:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.sf.net/xsd/sumoConfiguration.xsd">
  <input>
    <net-file value="vilanova.net.xml"/>
    <route-files value="vilanova.rou.xml"/>
    <additional-files value="vilanova.poly.xml"/>
  </input>
  <time>
    <begin value="0"/>
    <end value="1000"/>
    <step-length value="0.1"/>
  </time>
  <report>
    <no-step-log value="true"/>
  </report>
  <gui_only>
    <start value="true"/>
  </gui_only>
</configuration>
```

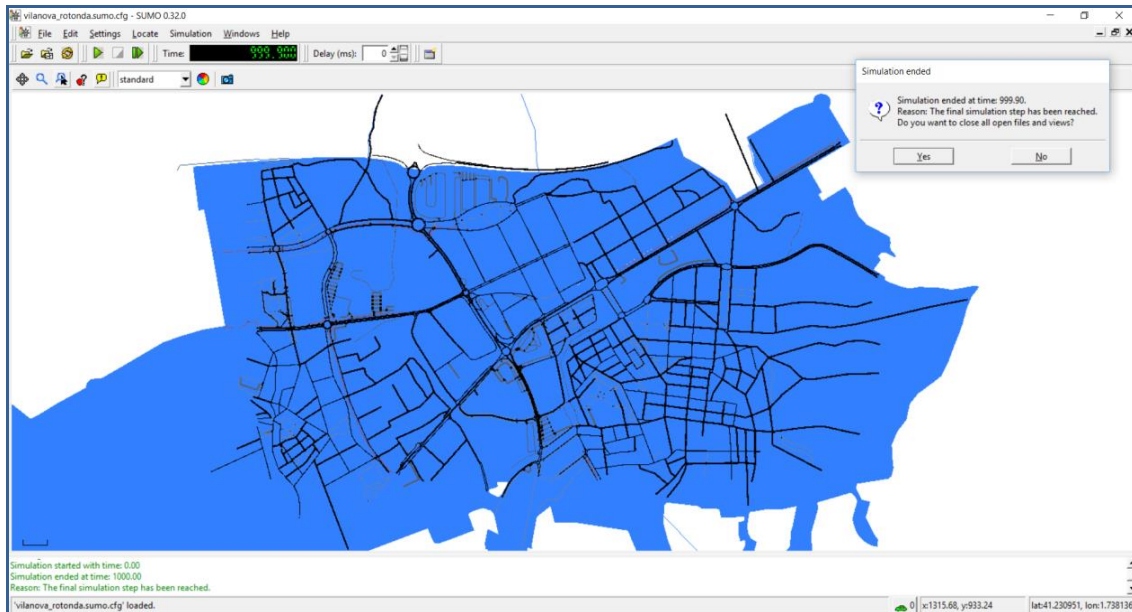
- Obrim el gestor de línia de comandes d'OMNet, "mingwenv" i ens posem al directori de veins



- Des del directori de VEINS cridem a sumo per veure l'escenari creat



- SUMO ens mostrarà l'escenari sobre els que es farà la simulació



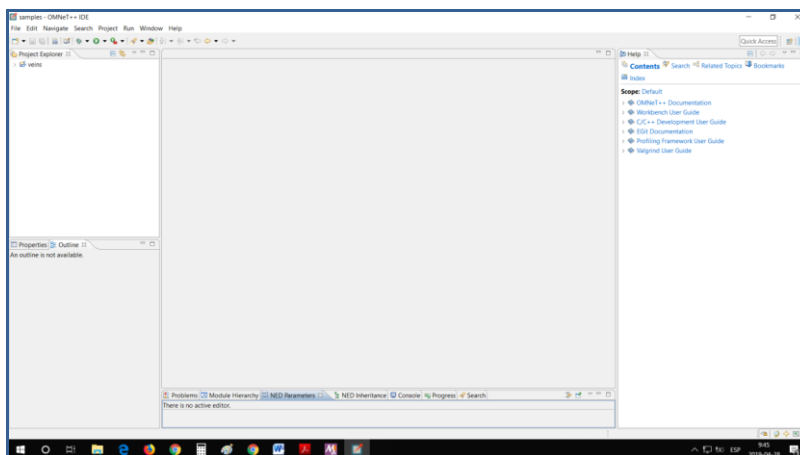
## PAS 2

Haurem d'establir una connexió TCP entre OMNeT++ i SUMO, per fer això existeix un arxiu en format "python", "sumo-launchd.py" que fa de proxy entre ambdues aplicacions. La crida a aquest arxiu deixarà per defecte al port 9999 escoltant.

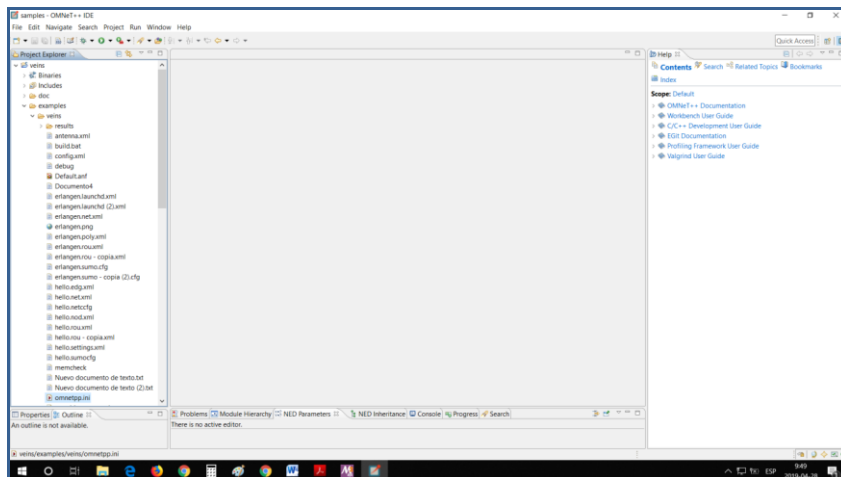
- A "mingwen" escrivim l'ordre següent i es comprova que el port 9999 roman obert.

```
/c/Users/Enrique/src/veins-veins-4.7.1$ /c/Users/Enrique/src/veins-veins-4.7.1/s
umo-launchd.py -vv -c /c/Users/Enrique/src/sumo-0.32.0/bin/sumo-gui.exe
Logging to c:/users/enriqu~1/appdata/local/temp/sumo-launchd.log
Listening on port 9999
```

- Obrim l'IDE d'OMNeT++



- Accedim a l'arxiu "omnetpp.ini" que es troba al projecte "veins"



- Aquest arxiu conté el codi dels paràmetres de la simulació. Es poden modificar a conveniència.
- La configuració dels principals paràmetres per aquesta simulació de l'arxiu omnetpp.ini és la següent:

- Tipus de xarxa: *RSUExempleScenario*
- Paràmetres de configuració de la RSU:

```
*.rsu[0].mobility.x = 2000
*.rsu[0].mobility.y = 2000
*.rsu[0].mobility.z = 3

*.rsu[*].applType = "TraCIDemoRSU11p"
*.rsu[*].appl.headerLength = 80 bit
*.rsu[*].appl.sendBeacons = false
*.rsu[*].appl.dataOnSch = false
*.rsu[*].appl.beaconInterval = 1s
*.rsu[*].appl.beaconUserPriority = 7
*.rsu[*].appl.dataUserPriority = 5
```

- Paràmetres específics per al protocol IEEE 802.11p:

```
*.connectionManager.sendDirect = true
*.connectionManager.maxInterfDist = 2600m
*.connectionManager.drawMaxIntfDist = false

*.*.nic.mac1609_4.useServiceChannel = false

*.*.nic.mac1609_4.txPower = 20mW
*.*.nic.mac1609_4.bitrate = 6Mbps
*.*.nic.phy80211p.sensitivity = -89dBm

*.*.nic.phy80211p.useThermalNoise = true
*.*.nic.phy80211p.thermalNoise = -110dBm

*.*.nic.phy80211p.decider = xmlDoc("config.xml")
*.*.nic.phy80211p.analogueModels = xmlDoc("config.xml")
*.*.nic.phy80211p.usePropagationDelay = true

*.*.nic.phy80211p.antenna
=xmlDoc("antenna.xml", "/root/Antenna[@id='monopole']")
```

- Paràmetres del moment i duració de la congestió:

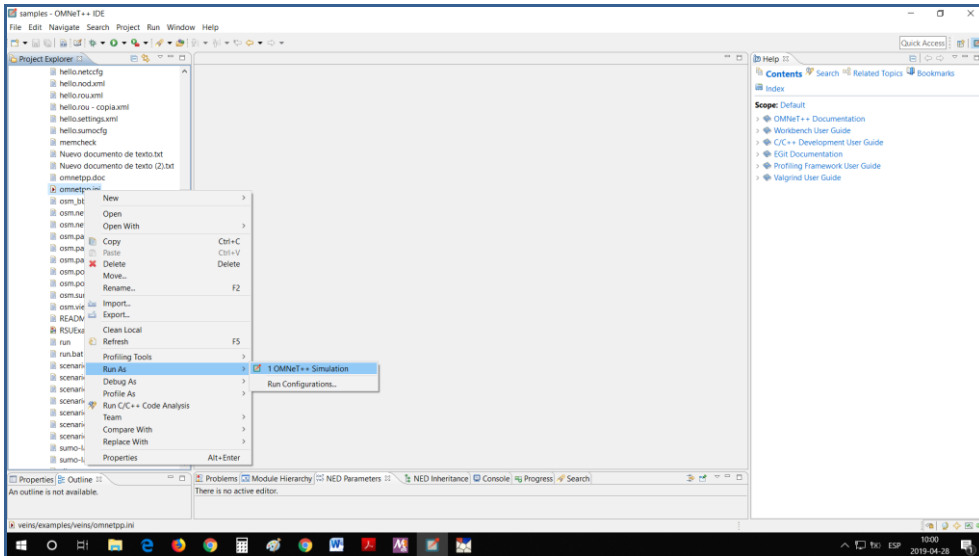
```
*.node[*].veinsmobilityType.debug = true
*.node[*].veinsmobility.x = 0
*.node[*].veinsmobility.y = 0
```

```

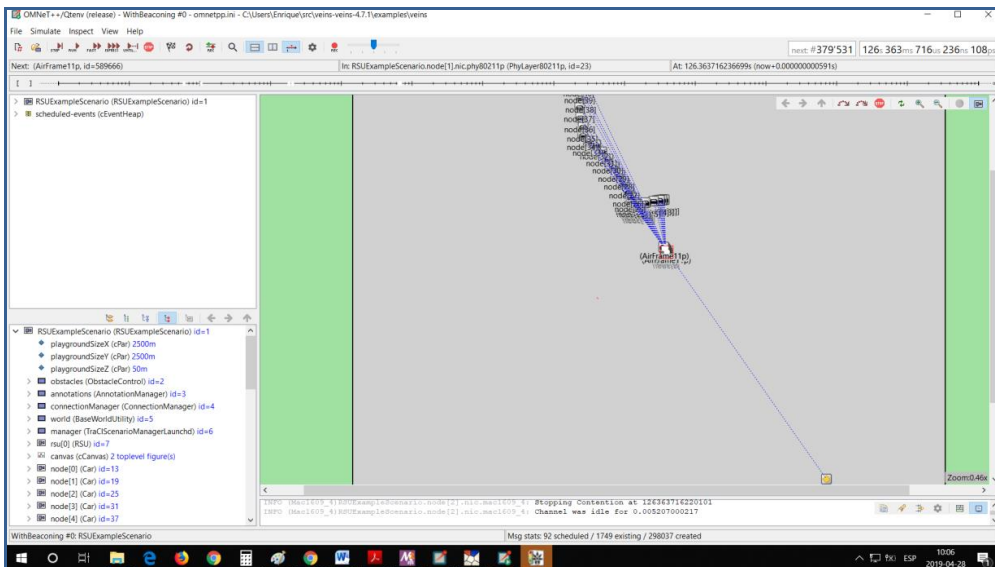
*.node[*].veinsmobility.z = 1.895
*.node[*0].veinsmobility.accidentCount = 1
*.node[*0].veinsmobility.accidentStart = 75s
*.node[*0].veinsmobility.accidentDuration = 50s

```

- Cliquem amb el botó dret i accedim a la simulació



I s'executarà la simulació configurada.



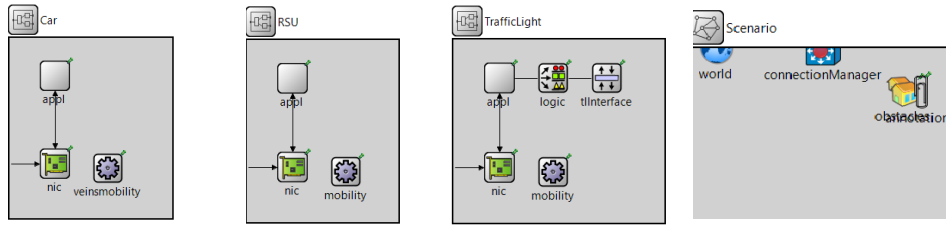
A continuació es veu l'execució de l'eina Traci, la qual estableix l'enllaç entre SUMO, OMENT++ i VEINS

```

/c/Users/Enrique/src/veins-veins-4.7.1$ /c/Users/Enrique/src/veins-veins-4.7.1/s
umo-launchd.py -vv -c /c/Users/Enrique/src/sumo-0.32.0/bin/sumo-gui.exe
Logging to c:/users/enrique-1/appdata/local/temp/sumo-launchd.log
Listening on port 9999
Connection from 127.0.0.1 on port 54062
Handling connection from 127.0.0.1 on port 54062
Got Traci message of length 2
Got Traci command of length 1
Got Traci command 0x0
Got CMD_GETVERSION
Got Traci message of length 303
Got Traci command of length 298
Got Traci command 0x75
Got CMD_FILE_SEND for "sumo-launchd.launch.xml"
Got CMD_FILE_SEND with data "<launch>
<copy file="vilanova.net.xml"/>
<copy file="vilanova.rou.xml"/>
<copy file="vilanova.poly.xml"/>
<copy file="erlangen.sumo.cfg" type="config"/>
<basedir path="C:/Users/Enrique/src/veins-veins-4.7.1/examples/veins"/>
<seed value="0"/>
</launch>
Creating temporary directory..
Temporary dir is c:/users/enrique-1/appdata/local/temp/sumo-launchd-tmp-zwpxgu
Base dir is C:/Users/Enrique/src/veins-veins-4.7.1/examples/veins/
Seed is 0
Finding free port number...
Claiming lock on port
...found port 54063
Starting SUMO (C:/Users/Enrique/src/sumo-0.32.0/bin/sumo-gui.exe -c erlangen.sumo.cfg) on port 54063; seed 0
Connecting to SUMO (C:/Users/Enrique/src/sumo-0.32.0/bin/sumo-gui.exe -c erlangen.sumo.cfg) on port 54063 (try 1)
Releasing lock on port
Starting proxy mode

```

Les següents imatges detallen els mòduls de com OMNET configura els diferents elements que intervenen al desplegament de la xarxa VANET.



Durant la realització de la simulació s'executen múltiples missatges d'inicialització i configuració de la xarxa que queden enregistrats als "logs" d'OMNET. Aquests missatges representen aquella informació que s'intercanvia V2V i V2I agrupada per successos. A continuació es mostren alguns missatges a mode d'exemple:

