
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Martínez Piñero, Daniel; Berzi, Matteo, dir. Els sistemes d'informació geogràfica en la gestió del transport. 2022. (1395 Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/264111>

under the terms of the  license

Els Sistemes d'Informació Geogràfica en la Gestió del Transport

Daniel Martínez Piñero

Resum– L'objectiu d'aquest treball és ensenyar l'aplicació i el potencial dels Sistemes d'Informació Geogràfica per a la gestió del transport, utilitzant l'anàlisi de xarxes podem gestionar, controlar i fer més eficient la gestió de residus. En primer lloc, es defineix que són els SIG i quines són les seves aplicacions més rellevants que s'estan fent en el món. En segon lloc, s'apliquen el SIG en la gestió del transport a través de l'anàlisi multicriteri, específicament el Vehicle Routing Problem, per realitzar l'optimització de les rutes de recollida de residus en uns casos concrets situats en el Vallès Oriental. Finalment, es remarca com mitjançant el SIG i les seves potencialitats, és possible millorar la gestió de les nostres ciutats.

Paraules clau– Sistemes d'Informació Geogràfica, Gestió del Transport, Vehicle Routing Problem, Gestió de Residus, Anàlisi de xarxes, Optimització de rutes, ArcGIS, Vallès Oriental.

Abstract– This project represents the great application and potential of Geographical Information Systems for transport management. Firstly, a brief theoretical part regarding GIS and their most important applications are defined. Secondly, the case study of Vallès Oriental is presented using ArcGIS multicriteria analysis, specifically the Routing Problem Vehicle for the optimization of waste collection routes. In conclusion, this projects highlights the potential of GIS Network Analysis to manage, control and make transport more efficient, specifically for waste management. And, more generally, to improve the management of our cities.

Keywords– Geographic Information Systems, Transport Management, Vehicle Routing Problem, Residue Management, Network Analysis, Routing Optimization, ArcGIS, Vallès Oriental.

1 INTRODUCCIÓ

L'objectiu d'aquest treball és ensenyar el potencial dels Sistemes d'Informació Geogràfica en la gestió del transport, centrant-se, principalment en la gestió de residus urbans.

La necessitat d'una gestió eficient i controlada cada vegada està més present en el nostre dia a dia i a les nostres ciutats, ja que a causa del nostre model de vida, necessitem desplaçar-nos constantment. Els Sistemes d'Informació Geogràfica permeten aprofitar tot el poder de la geolocalització i millorar la presa de decisions. Com s'ha demostrat en molts treballs acadèmics el SIG és una eina clau per millorar l'accés a la informació i augmentar la seva eficiència. Des de la planificació fins al lliurament, les

operacions i el manteniment, el SIG brinda el poder de la intel·ligència geoespacial. Permeten examinar, modelar o interpretar dades geoespacial ja existents així com crear-ne de noves. Actualment, el control de les dades és un aspecte clau, el Geo Big data gestionat per un SIG, permet tenir un control òptim de qualsevol procés i proporcionar-ne indicacions per millorar aquest procés.

Per tant, aquest treball se centra en l'anàlisi en SIG, aquest introdueix l'anàlisi espacial, és a dir, les tècniques destinades a estudiar la localització, la distribució, els atributs i les propietats d'entitats als Sistemes d'Informació Geogràfica. Concretament en l'anàlisi de xarxes de transport relacionades amb la gestió de residus. Així que, ensenya com a partir de les eines específiques per tractar amb les xarxes de transport, en aquest cas, la generació de rutes per a vehicles, s'aconsegueix gestionar el transport i optimitzar les rutes de recollida i de neteja dels contenidors, fent que la qualitat de vida en les nostres ciutats sigui cada cop millor.

- E-mail de contacte: 1566049@uab.cat
- Treball tutoritzat per: Matteo Berzi (departament de Geografia)
- Curs 2021/22

2 OBJECTIUS

L'objectiu d'aquest treball és definir que són els SIG, com s'apliquen en la gestió del transport a les ciutats, i que solucions ofereixen en aquesta gestió. Aquest treball s'enfoca especialment en la gestió de residus.

He triat aquest tòpic pel fet que estic realitzant practiques extracurriculars en l'empresa pública del Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental, Serveis Ambientals del Vallès Oriental SA. Sempre m'ha motivat el tema del transport a les Ciutats Intel·ligents i Sostenibles. He pogut veure la importància dels SIG per a la millora de l'eficiència en la gestió del transport i de les ciutats i la seva gran operabilitat.

La meva aportació en aquest treball és l'aplicació dels SIG com a eina de desenvolupament per optimitzar la recollida de residus i el seu temps de ruta.

Aquest treball consta d'en primer lloc, un estat de l'art per definir i recollir el context de la utilització dels Sistemes d'Informació Geogràfica a escala mundial i local.

En segon lloc, el cas d'estudi, on s'emporta cap a l'anàlisi de les diferents xarxes o rutes que estic elaborant en l'empresa, es defineix la metodologia utilitzada a través dels SIG i s'exposen els resultats obtinguts.

En tercer lloc, la discussió dels resultats, on es qüestiona com de favorables o desfavorables han estat els resultats assolits en el cas d'estudi, que factors caldria millorar o tenir en compte per a un millor compliment dels objectius.

Finalment, les conclusions, on es confirma la rellevància d'aquest treball, és a dir, una bona gestió del transport en les ciutats a través dels SIG i es proposen línies futures.

3 ESTAT DE L'ART

3.1 Què és SIG?

Segons la pàgina oficial d'Esri [1]. Un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) és un entorn per a recopilar, gestionar i analitzar dades. Arrelat en la ciència de la geografia, el SIG integra molts tipus de dades. Analitza la ubicació espacial i organitza capes d'informació en visualitzacions usant mapes i escenes 3D. Amb aquesta capacitat única, els SIG revelen coneixements més profunds de les dades, com a patrons, relacions i situacions, ajudant els usuaris a prendre decisions més intel·ligents.

Les principals potencialitats del SIG són:

Identificar problemes, l'origen dels quals és un aspecte geogràfic. Administrar i respondre a esdeveniments, proporcionant un coneixement de la situació en temps real. Establir prioritats, basades en l'anàlisi espacial. Per exemple, els patrons dels delictes, les forces de seguretat poden identificar les àrees objectives i assignar oficials en aquestes àrees. També monitorar el canvi, per exemple a través d'un mapa que revela clarament l'extensió de la reculada de les glaceres en l'hemisferi sud. Una de les tecnologies implementades per monitorar el canvi és la teledetecció. Des de la Universitat Autònoma de Barcelona, concretament, el Centre de Recerca Ecològica i Aplicaci-

ons Forestals. S'ha implementat un SIG i programari de teledetecció anomenat MiraMon que permet la creació, visualització, consulta, edició i anàlisi tant de capes ràster (imatges de teledetecció, ortofotos) com de capes vectorials (mapes temàtics o topogràfics), com de servidors. El SIG també permet realitzar pronòstics, per a preveure el trànsit de vehicles en àrees altament congestionades. Finalment, comprendre tendències, per ensenyar les dades que podrien passar desapercibudes en bases de dades extenses.

La tecnologia dels SIG aplica la ciència geogràfica amb eines per a la comprensió i la col·laboració. Ajuda a la societat a aconseguir un objectiu comú: obtenir intel·ligència que és pot processar a partir de tota mena de dades.

Els elements més destacables d'un SIG són, per començar, els mapes SIG, són el contenidor geogràfic de les capes de dades i anàlisis amb els quals vols treballar. Es comparteixen fàcilment i són incorporats en aplicacions, i accessibles per a pràcticament tothom, a tot arreu. Un altre element són les dades, els SIG integren molts tipus diferents de capes de dades utilitzant la localització espacial. La majoria de les dades tenen un component geogràfic. Les dades del SIG inclouen imatges, característiques i mapes basi vinculats a fulls de càlcul i taules. Després un altre element és l'anàlisi espacial, permet avaluar la idoneïtat i la capacitat; estimar i predir; interpretar i entendre; i molt més, prestant noves perspectives al teu coneixement i a la presa de decisions. I finalment les apps, proporcionen experiències d'usuari enfocades per a fer el treball i donar interactivitat als SIG. Són interoperables, en els teus telèfons mòbils, tauletes, en els navegadors web i en els ordinadors de sobretaula.

La breu descripció de l'estudi SIG es resumeix en tres passos. El primer pas és reunir totes les dades apropiades en una base de dades SIG, és a dir, construir una base de dades espacial. El segon pas és manipular les dades per extreure i derivar aquests patrons espacials rellevants per als objectius del projecte, és a dir, el processament de dades. I el tercer pas és combinar l'evidència derivada per predir un resultat.

Per tant, el propòsit últim de SIG és proporcionar suport per fer decisions basades en dades espacials. De vegades el propòsit d'utilitzar SIG és donar suport a la investigació general. Per descomptat, el SIG és incalculable per a la recollida, el manteniment i l'ús de les dades espacials en un paper de manipulació de la base de dades, així com per a la producció de productes cartogràfics independents i personalitzats. L'aplicació de SIG aconsegueix aquests objectius principals mitjançant una o més de les següents activitats amb dades espacials: organització, visualització, consulta, combinació, anàlisi i predicció [2].

3.2 Programari SIG.

Al llarg de les passades dècades, s'han desenvolupat diferents programaris SIG amb funcionalitats més o menys específiques. Els més coneguts són l'ArcGis, desenvolupat per Esri i QGIS, programa lliure 'opensource'.

-ArcGIS.

És la plataforma de mapatge i anàlisi més potent del mercat, ofereix un conjunt únic de capacitats per a aplicar l'anàlisi geoespacial a la teva organització. Proporciona eines contextuais per a visualitzar i analitzar dades; col·laborar amb tercers i compartir informació a través de mapes, apps i informes. [3]

Les seves principals capacitats són:

-El seu punt fort és l'anàlisi espacial que s'utilitza per a trobar la millor localització per a qualsevol servei (negoci, hospital, etc.); planificar la gestió de les comunitats intel·ligents; i preparar-se i respondre ràpidament davant situacions decisives.

-També ofereix el necessari per a gestionar i donar resposta amb imatges de dades de teledetecció. Inclou eines d'imatges i fluxos de treball per a visualització i anàlisi, així com accés a la col·lecció d'imatges més gran del món.

-ArcGIS permet crear, fer servir i compartir mapes en qualsevol dispositiu. Aquests ajuden a descobrir patrons espacials en les dades per a prendre millors decisions i actuar. També trenquen barreres i faciliten la col·laboració.

-Amb ArcGIS es pot recol·lectar, crear, emmagatzemar, accedir i compartir dades, de manera fàcil, eficient i segura. Integrar dades emmagatzemades en sistemes de negoci i geo-habilitar qualsevol dada procedent de qualsevol font.

-Hi ha la possibilitat de treballar en un GIS 3D, on es transformen automàticament les dades en models 3D i visualitzacions intel·ligents que ajuden a analitzar i resoldre problemes, així com compartir idees i conceptes entre diferents persones.

-ArcGIS es pot produir també en temps real, permet monitorar la localització de qualsevol mena de sensor o dispositiu, accelerant els temps de resposta, optimitzant la seguretat i millorant la consciència operacional a través de tots els actius i activitats, en moviment o estàtics.

A més ArcGIS ofereix per una part, un conjunt d'aplicacions que ajuden a fer el treball, des d'un cercador web a un dispositiu mòbil en el terreny. També ofereix, dades demogràfiques, d'estil de vida, de consum, de negocis i mapes verificats de milers de temàtiques i per últim APIs i SDKs, les primeres són interfícies de programació d'aplicacions que permeten la comunicació entre dues aplicacions. Mentre que els SDKs són kits de desenvolupament de programari, és a dir, un conjunt d'eines proporcionat pel fabricant d'una plataforma de maquinari, un sistema operatiu (SOTA) o un llenguatge de programació. Les APIs i els SDKs s'utilitzen per a crear aplicacions web, mòbils i d'escriptori personalitzades per a mapatge, visualització i anàlisi.

-ArcGIS ONLINE.

És una solució per a crear i compartir mapes interactius, no és necessari configurar ni instal·lés res. És possible utilitzar mapes i dades d'altres usuaris, crear-los i compartir-los. Així com elements emergents, gràfics, fotos i pàgines web. Tenen una gran compatibilitat amb Microsoft Office (Excel, PowerPoint). Els desenvolupadors poden elaborar aplicacions a mesura amb serveis d'Esri en el núvol i amb l'API favorita del desenvolupador i

implementar-les en qualsevol dispositiu. També permet tenir una solució híbrida combinant el núvol amb la nostra pròpia infraestructura. [4]

-QGIS.

És un sistema d'informació geogràfica de codi obert. Es desenvolupa utilitzant el kit d'eines Qt i C++. Això significa que QGIS es mostra àgil i té una interfície gràfica d'usuari GUI agradable i fàcil d'usar. L'objectiu inicial del projecte era proporcionar un visor de dades SIG. Ha arribat al punt de la seva evolució en el qual s'està utilitzant per a les necessitats diàries de visualització de dades SIG, per a la captura de dades, per a l'anàlisi avançada de SIG i per a presentacions en forma de mapes, atles i informes sofisticats. QGIS admet una gran quantitat de formats de dades vectorials i ràster, amb un nou suport de format que s'agrega fàcilment mitjançant l'arquitectura del complement. QGIS té una infraestructura de complements anomenats, 'pluguins'. L'usuari pot addicionar moltes funcionalitats noves escrivint els seus propis complements. Aquests complements poden ser escrits en C++ o en Python. QGIS 3.0 utilitza la versió 3.X de Python, i ofereix als desenvolupadors una sèrie de vincles a exemples i guies per al Plugin Builder com a eina de desenvolupament en Python, així és possible automatitzar tasques en QGIS. [5]

En resum, les seves principals característiques són: el maneig d'arxius vectorials Shapefile, ArcInfo coverages, MapInfo, GRASS GIS, DXF, etc. Donar suport per a l'extensió espacial de PostgreSQL, PostGIS i per a un important nombre de tipus d'arxius ràster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.)

-Prestacions:

-Visualitzar dades: es pot veure combinacions de dades vectorials i ràster (en 2D o 3D) en diferents formats i projeccions sense conversió a un format intern o comú.

-Explorar dades i compondre mapes: es pot compondre mapes i explorar dades espacials interactivament amb una GUI amigable.

-Crear, editar, gestionar i exportar dades: es pot crear, editar, administrar i exportar capes vectorials i ràster en diversos formats.

-Analitzar dades: es poden realitzar anàlisi geoespacial en bases de dades espacials i altres formats compatibles amb OGR. QGIS ofereix actualment anàlisi de vectors, anàlisi de ràster, mostreig, geoprocessament, geometria i eines d'administració de bases de dades. També pot utilitzar les eines integrades de GRASS. Totes les funcions d'anàlisi s'executen en segon pla, la qual cosa li permet continuar amb el seu treball abans que finalitzi el processament.

-Publicar mapes en Internet: QGIS pot ser usat com a client dels protocols del *Open Geospatial Consortium* (OGC), una organització amb més de 300 membre que implementen estandar per el procesament i intercanvi de dades SIG així com contingut geoespacial i serveis. Alguns són el *Web Map Service* (WMS), el *Web Map Tile Service* (WMTS), el *Web Feature Service* (WFS) i el *Web Feature Service - Transactional* (WFS-T), a més, QGIS Server li permet publicar les seves dades mitjançant protocols WMS, WCS i WFS en in-

ternet usant un servidor web.

-Estendre funcionalitats QGIS a través de complements: QGIS es pot adaptar a les seves necessitats especials amb l'arquitectura de complement extensible i biblioteques que es poden utilitzar per a crear complements. Es pot fins i tot crear noves aplicacions amb C++ o Python. Poden ser complements del nucli que permeten donis d'administrar base de dades, és a dir, intercanviar, editar i veure capes i taules de/a bases de dades executant consultes SQL fins a trobar errors topològics en capes vectorials. O complements externs de Python, són proporcionats per la comunitat. Aquests es troben en el repositori oficial de complements i es poden instal·lar fàcilment usant l'instal·lador del complement Python.

-Consola de Python: Per a les seqüències de comandos, és possible aprofitar una consola Python integrada. La consola s'obre com una finestra d'utilitat no modal. La seva interfície proporciona accés al llenç del mapa, menús, barres d'eines i altres parts de l'aplicació QGIS. Pot crear un script, després arrossegar-ho i deixar-ho anar en la finestra QGIS i s'executarà automàticament.

-Problemes Coneguts: *Limitació en el nombre d'arxius oberts.*

S'obrirà un projecte gran de QGIS i està segur que totes les capes són vàlides, però algunes capes es marquen com a dolentes, és probable que s'enfrontarà a aquest problema. Linux (i altres sistemes operatius, així mateix) té un límit d'arxius oberts per procés. Els límits de recursos són per procés i heretats. El *ulimit*, que és una pela integrada, canvia els límits solament per al procés actual; el nou límit serà heretat pels processos fills. [6]

3.3 Aplicació dels SIG en el sector del transport.

L'aplicació i l'ús dels SIG en el sector del transport és amplia, es caracteritzen per la implementació d'anàlisis de xarxes i creació de rutes. Dissenya, planifica, monitora i gestiona infraestructures de forma més estratègica i efectiva. És el que proporcionen els SIG en la gestió del transport per carretera [7]. Gestiona flotes i optimitza rutes. Compren millor com funcionen els actius en temps real i comunica amb els usuaris a través de mapes en el teu web i apps. És el que proporcionen els SIG en la gestió del transport públic i ferrocarril [11]. Els SIG, permeten reunir informació de tota la teva organització per a optimitzar les operacions. Usa mapes intel·ligents i l'anàlisi espacial per a millorar el resultat final en l'administració d'un aeroport [15]. I també la utilització dels SIG en operacions i gestions d'actius del sector marítim, també milloren la sostenibilitat i la seguretat [19].

Tal com analitza Manfred M.Fischer, en la seva obra 'Spatial Analysis and GeoComputation' [21]. El GIS tenen una gran importància pel transport. GIS-T, l'aplicació de la ciència d'informació geogràfica i els sistemes de transport, representa una de les àrees d'aplicació més importants de la tecnologia GIS avui en dia. Quan parlem de GIS en el transport predomina la Representació de la xarxa i models de dades de la xarxa GIS-T, que en aquest treball el model utilitzat ha sigut el Vehicle routing

Problem.

Per tant, una xarxa es coneix com una xarxa pura si només es considera la seva topologia i connectivitat. Si una xarxa es caracteritza per la seva topologia i les seves característiques de flux (com ara les restriccions de capacitat, l'elecció de camins i les funcions de cost d'enllaç) es coneix com una xarxa de flux. Una xarxa de transport és una xarxa de flux que representa el moviment de persones, vehicles o mercaderies. I pel que fa al Vehicle Routing Problem, consisteix a recórrer a un nombre fix de vehicles a través d'una sèrie d'ubicacions de la demanda, de manera que es minimitzi el cost total dels viatges i no es violin les limitacions de capacitat dels vehicles.

El GIS-T, una vegada l'únic domini de la planificació i les agències de transport del sector públic, s'utilitza cada vegada més en el sector privat per donar suport a la logística en general i la logística de distribució i producció en particular. El cost de la tecnologia està ara a l'abast de les empreses encara més petites. El cost de l'adquisició de les dades per omplir un GIS per a aplicacions relacionades amb el transport està disminuint ràpidament. La disponibilitat de dades és paral·lela pels serveis GPS a les ubicacions de referència amb precisió. Aquestes tendències suggereixen que el GIS-T ha arribat com a tecnologia central per al transport.

El rendiment del programari GIS-T depèn en gran manera de com els nodes i enllaços i les característiques relacionades amb el transport estan disposats en una estructura de dades.

Aquets són alguns exemples pràctics:

-El mapa interactiu de Wyoming Department of Transportation ajuda a planificar viatges segurs. Els camioners, els turistes i els vilatans ara poden navegar per les carreteres i camins sovint impredecibles de Wyoming amb l'ajuda d'informació en temps real del Mapa d'informació de viatges de Wyoming, creat pel Departament de Transport de Wyoming (WYDOT) utilitzant Web AppBuilder per a ArcGIS. En un dia mitjà, el mapa rep al voltant de 170 000 visites, i aquest número pot augmentar a quatre milions quan hi ha una gran tempesta [8]. És un dels casos d'èxits dels SIG per carreteres i autopistes així com el model de riscos de corbes de L'Agència de Transport de Nova Zelanda [9] o el model del Departament de Transport de Utah (UDOT) per alimentar UPLAN [10].

-El Metro de Madrid gestionat pel 'Consortio Regional de Transportes de Madrid', llança una aplicació web de càlcul de rutes multimodal. Aquesta aplicació, desenvolupada amb tecnologia Esri, posa a la disposició dels ciutadans en temps real tota la informació referent a la gestió i desenvolupament del seu trajecte. La principal novetat d'aquesta nova aplicació és que els usuaris del Metro de Madrid, a través d'aquesta nova aplicació, seran capaces de dissenyar les seves rutes en transport públic amb diferents maneres de transport: metre, autobús urbà, Rodalia i a peu. [13] És un dels casos d'èxits dels SIG per Transport Públic i Ferrocarril així com el projecte localitza

de RENFE [12] i el sistema d'informació de mobilitat i transport de l'Àrea Metropolitana de Barcelona [14].

- L'Aeroport Internacional McCarran (LAS) habilita espacialment informació crítica per a la gestió aeroportuària integrada i col·laborativa. Location Strategy obté seients de primera classe en l'Aeroport Internacional McCarran de Las Vegas. Es pot accedir a cadascuna de les aplicacions GIS de l'equip a través d'un portal intern, disponible per a tots els empleats des del primer dia. Des de trobar sales de conferències fins a saber quants viatgers s'estima que passaran per una porta en particular durant un període de temps determinat, hi ha una aplicació per a tot. I l'aplicació més utilitzada, Airport Management System (AMS), optimitza espacialment l'ús de tota la informació crítica de propietat, arrendament i ordres de treball. [16] És un dels casos d'èxits dels SIG per Transport Públic i Ferrocarril així com Enterprise SIG, el SIG desenvolupat per un aeroport de Louisiana ajuda a utilitzar les dades que recopila. [17] o Location Intelligence en l'aeroport de Ginebra [18].

-PortMaps: una plataforma innovadora per a la gestió portuària. El Port de Rotterdam (PER) té tanta activitat com una metròpolis. El port dels Països Baixos maneja més enviaments comercials que qualsevol port d'Europa i més que la majoria dels ports del món. A mesura que el personal va aprendre més sobre el que podia fer un GIS modern, van adoptar la idea d'una plataforma geoespacial completa per a administrar tots els negocis del port. ArcGIS va ser l'única plataforma que va poder eliminar gradualment 49 dels sistemes del port alhora amb una interrupció relativament petita. Així que, Tres clics del mouse brinden informació sobre qualsevol actiu en el port. La transició a la plataforma ArcGIS es va aconseguir en cinc mesos. La integració s'estendrà a la xarxa portuària global del Port de Rotterdam [20].

4 METODOLOGIA

El procés metodològic per realitzar el compliment dels objectius plantejats és el següent:

Recopilació dels SIG Existents.

El primer pas en la preparació d'aquest treball ha sigut fer una recopilació dels SIG existents on estudiar i contextualitzar els SIG en la gestió del transport.

En aquest estat de l'art es defineix què són els SIG, i quina és la seva rellevància al transport dins de les ciutats. S'ha profunditzat la seva estructura i el seu funcionament a través de mapes, dades, anàlisi espacial i apps. També s'han recopilat diferents iniciatives a Espanya, Europa i la resta del món que han servit per emmarcar millor aquest treball. Finalment, es defineix què és i quines són les principals característiques de l'anàlisi de rutes a partir dels SIG, a través de casos pràctics localitzats en la comarca del Vallès Oriental i el Moianès.

Desenvolupament Pràctic.

El desenvolupament d'aquesta part ha sigut a través dels Serveis Ambientals del Vallès Oriental. Per això, ha sigut necessària la recerca de dades cartogràfiques per poder elaborar l'anàlisi de l'optimització de rutes de recollida de residus a través de SIG. El mètode utilitzat ha sigut l'anàlisi de problema de generació de rutes per a vehicles en ArcGIS, explicat més endavant. L'àmbit d'estudi ha sigut en gran quantitat la comarca del Vallès Oriental i la comarca del Moianès, s'han elaborat les rutes de diferents municipis, per raons de confidencialitat de les dades, no s'han posat els noms dels municipis en els mapes on s'ha representat les rutes. En canvi, com es presenta a la pàgina oficial del Consorci [25] l'àmbit territorial, s'ha realitzat un mapa de situació (Fig. 1).

1. Fonts de dades.

Per a la realització de les rutes han sigut necessàries diferents capes del tipus Shapefile, extretes de diferents fonts de dades, aquestes són:

- Municipis:** Capa de polígons. Municipis d'Espanya del Centre de Descàrregues de l'Institut Geogràfic Nacional (IGN). [22]
- Carretres:** Capa de línies. Xarxa de Transport del Centre de Descàrregues de l'Institut Geogràfic Nacional (IGN).
- Portals:** Capa de punts. Ubicació dels portals del Centre de Descàrregues de l'Institut Geogràfic Nacional (IGN).
- Àrees de Conteniors:** Capa de punts. Àrees on es troben els diferents contenidors dels municipis. Proporcionada per la mateixa entitat, els Serveis Ambientals del Vallès Oriental.
- OpenStreetMap:** Mapa de base utilitzat en la simbolització de les rutes.

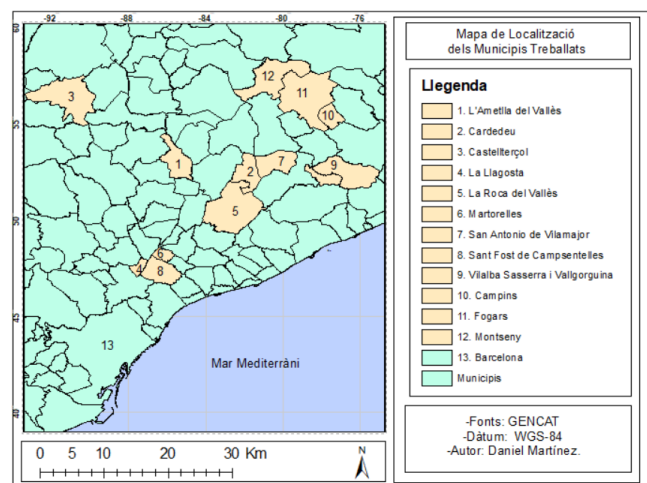


Fig. 1: Mapa de Situació

2. Preparació de les capes.

L'anàlisi i el tractament de dades se centra en les dades dels municipis, portals, carreteres i àrees de contenidors.

En primer lloc, cal retallar les capes de carreteres i portals a l'àmbit d'estudi, és a dir en funció del municipi. Per a la capa de portals es retalla només en l'àmbit del municipi, però per la capa de carreteres es deixa un buffer per connectar correctament els carrers limítrofs amb segments exteriors del municipi.

Un cop les capes han estat retallades, s'han preparat els atributs de la capa de carreteres per a disposar de diferents camps necessaris que s'usaran per crear el conjunt de dades de xarxa (*network dataset*). Per a fer aquests càlculs s'ha utilitzat la longitud de cada tram, i, per tant, és recomanable desar com una geodatabase per a poder obtenir el camp *SHAPE_LENGTH*, que no és presents en els *SHP* originals.

Els camps a crear són: *km_h_C*, *F_NODO*, *T_NODO*, *FT_MINUTES*, *TF_MINUTES*, *Oneway*, *Jerarquia*.

- (a) **km_h_C:** És la velocitat en funció del tipus de via. Per Autopista, autovia o carretera convencional, 80 km/h, per urbà 55 km/h, i per camí o senda, 20 km/h.
- (b) **F_NODO i T_NODO:** S'utilitzen com a camps d'elevació per poder realitzar el model d'elevacions en la creació del *network dataset*.
- (c) **FT_MINUTES i TF_MINUTES:** El càlcul del temps per a cada tram.
- (d) **Oneway:** A partir de la informació del camp *sentidoD* de la capa original es pot acabar creant aquest camp, el contingut és U per sentit únic o BI per sentit doble.
- (e) **Jerarquia:** En funció del tipus de via s'estableix una jerarquia per escollir la ruta. Per Autovista, autovia, 1. Per carretera convencional, 2. Per urbà 3, i per camí o senda, 4.

3. Creació del conjunt de dades de xarxa.

Després d'emmagatzemar les capes de portals i carreteres a la geodatabase, es crea el *network dataset*.

En primer lloc, dins de la geodatabase es crea una *feature dataset*, és a dir, una col·lecció de feature classes, organitzades en un sol grup i que comparteixen el mateix sistema de referència. Després, s'ha importat de la capa de carreteres dins del *feature dataset*. En aquest moment ja es pot sol·licitar la creació del *network dataset* a dins de la mateixa feature dataset. Per definir el *network dataset* ha sigut necessari:

- (a) Assignar un nom i seleccionar la *feature class* que definirà els elements d'origen de la *network dataset*.
- (b) Connectar dels carrers als extrems: per defecte, tot es connecta amb tot el que es pot.
- (c) Pensar en com modelar l'elevació de les característiques de la xarxa, en aquest apartat és on afegim els camps *F_NODO* i *T_NODO*.

- (d) Especificar els atributs de la *network dataset*: cal afegir nous atributs, cal triar el nom, tipus de camp, unitats (minuts) i tipus de dades (Float com els camps de la capa original).
- (e) Especificar els modes de transport de la *network dataset*: per a cada un s'ha definit un nom, tipus, camp d'impedància (o cost) i camp de distància, així com camps de restriccions.
- (f) Definir les direccions: es disposa d'un camp amb noms de carrer que permetin definir indicacions de conducció (instruccions gir a gir sobre com navegar per una ruta).
- (g) Crear un *Build Service Area Index*: es marca que es creï per calcular els índexs que optimitzen aquesta operació.

4. Capa d'anàlisi de problema de generació de rutes per a vehicles.

A través de l'eina *Network Analyst* del programari ArcGIS, podem realitzar rutes per a determinades ordres, en aquest cas els contenidors, i una seqüència en la qual aquestes s'haurien de visitar. El solucionador de VRP (*Vehicle Routing Problem*) troba les millors rutes perquè una flota de vehicles atengui moltes ordres. [23]

En el cas d'aquest treball hem utilitzat els elements:

-Ordres: Aquesta capa d'entitats emmagatzema les ordres que formen part d'una capa d'anàlisi de problema de generació de rutes per a vehicles determinat. Una ordre pot ser un lliurament a un client, una recollida d'un client, o algun altre tipus de treball. Els exemples inclouen el lliurament de mobles, recollir oli d'un restaurant o una visita d'inspecció. O en aquest cas la neteja dels contenidors de diferents municipis. Pràcticament, carreguem els ubicacions dels diferents contenidors dins de la nostra capa VRP a través de la capa de punts dels Municipis.

-Dipòsits: Aquesta classe d'anàlisi de xarxa emmagatzema els dipòsits que formen part d'una capa d'anàlisi de problema de generació de rutes per a vehicles determinada. Un dipòsit és una ubicació des de la qual sali un vehicle al començament del seu dia laborable i a la qual torna al final d'aquest. Els dipòsits són les ubicacions on es carreguen els vehicles (per als lliuraments) o es descarreguen (per a les recollides). En alguns casos, un dipòsit també pot actuar com a ubicació de renovació on el vehicle pot descarregar-se o tornar-se a carregar i continuar realitzant lliuraments i recollides. Un dipòsit té hores d'obertura i tancament, tal com s'especifica en una finestra de temps estricta. Els vehicles no poden arribar a un dipòsit fora d'aquesta finestra de temps.

-Rutes: Aquesta classe d'anàlisi de xarxa emmagatzema les rutes que formen part d'una capa d'anàlisi de problema de generació de rutes per a vehicles determinada. Una ruta especifica les característiques del vehicle i del conductor, a més de representar la travessia entre dipòsits i ordres. En *Network Analyst*, vehicles, rutes i conductors són sinònims i el terme ruta s'utilitza per a englobar als tres.

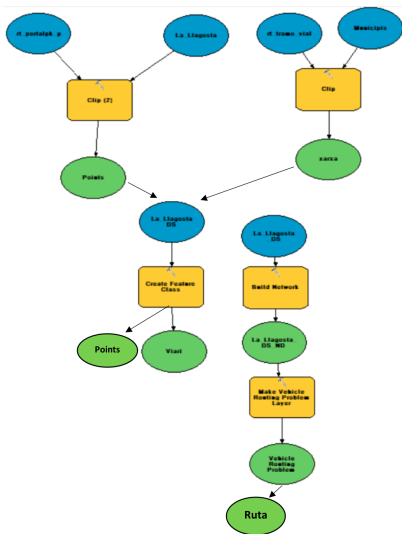


Fig. 2: Diagrama de Flux

S’ha elaborat un diagrama de flux per obtenir la capa de la ruta (Fig.2), començant amb un clip de la capa de carreteres i punts, per tal d’obtenir les carreteres dels municipis que envolten el nostre municipi objectiu. Després es crea la *Geodatabase* i s’introdueixen les capes retallades amb el clip, a continuació es crea el *Dataset* on es realitza *Network Dataset* on realitzem el *Vehicle Routing Problem* que finalment donarà la capa de la ruta.

5 DISCUSSIÓ

A través de *Vehicle Routing Problem* aconseguim l’arxiu Shapefile de la ruta, la simbolització del mapa on es representa la ruta i també un arxiu PDF amb les direccions de la ruta carrer per carrer, aquest arxiu PDF de les direccions no s’ha pogut reproduir en la secció de l’apèndix per raons de confidencialitat. Com per exemple s’ensenyà la ruta del cas A un municipi semiurbà (Fig.3). En la secció de l’apèndix s’han reproduït les altres rutes.

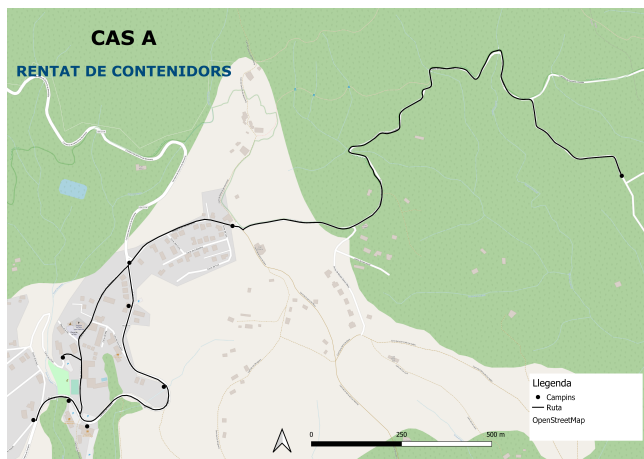


Fig. 3: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

Per tant, així aconseguim el recorregut més òptim segons

la distribució dels contenidors pel municipi i el temps de ruta. En aquestes rutes a través del *Vehicle Routing Problem*, hem tingut en compte les direccions i el sentit de la circulació. El mateix *network analyst* d’ArcGis considera ja el pendent del terreny. Tot i que, es podria executar un *Cost Analysis*, on el cost seria el pendent. També s’ha especificat el punt o contenidor d’inici i final de la ruta per a cada municipi, procurant que les rutes acabessin el més a prop de Granollers que és on es troba la central dels Serveis Ambientals del Vallès Oriental.

El principal problema que he tingut fent el *Vehicle Routing Problem* va ser aconseguir una capa de carreteres amb els atributs necessaris per fer les diferents anàlisis amb el *network analyst* d’ ArcGis. La capa comentada a la secció 4. Metodologia, va ser la més indicada. Aquesta conté una gran quantitat d’atributs sobre les diferents carreteres. Els principals són, el sentit de circulació per poder establir la restricció de oneway. El tipus de via per poder establir una jerarquia per autopista, carretera o camí i que a partir d’aquí es podria crear nous atributs com la velocitat pel tipus de vies i, per tant, el temps.

6 CONCLUSIONS

Els objectius plantejats al principi d’aquest treball, s’han anat complint al llarg de l’elaboració d’un SIG per la millora de la gestió dels residus en el Vallès Oriental. Reflectir la gran operabilitat dels Sistemes d’Informació Geogràfica ha estat la motivació tant a l’hora de definir els SIG com en la realització de l’anàlisi de rutes.

Realitzant aquest TFG he pogut veure quant ampli és tant el camp del transport així com el dels Sistemes d’Informació Geogràfica. I, per tant, molt necessari de ser gestionat i controlat en les ciutats del món actual. En primer lloc, s’ha portat a cap la definició dels SIG així com és la seva aplicació en el sector del transport.

També s’ha dut a terme l’optimització de rutes de recollida de residus així com de neteja de contenidors en alguns municipis gestionats pels Serveis Ambientals del Vallès Oriental. Ha estat una experiència molt útil, encara que és cert que el camp de l’Anàlisi de Xarxes en eines SIG com ArcGIS és molt ampli i amb un simple TFG només podem arribar a uns coneixements limitats útils per a fer el treball, però seria necessari aprofundir en el camp per a poder obtenir uns millors resultats en projectes futurs.

La principal millora de cara al futur seria aprofitar encara més les noves tecnologies en l’anàlisi de rutes i en la gestió del transport en general.

Avui dia les grans ciutats busquen optimitzar els seus serveis convertint-se en ciutats intel·ligents. Es podria argumentar que l’essència del concepte descrit de ciutats intel·ligents són les dades. El GeoBig data redefineix el procés de qualsevol investigació i permeten una comprensió més específica de les causes que governen les ciutats. Igual que amb la majoria de les anàlisis de dades grans, el primer pas en aquest procés és entendre la situació actual, analitzar-la i després identificar les mesures d’intervenció,

i si cal incloure les prediccions de generació de residus en les operacions actuals.

En el cas del sistema de gestió de residus de la ciutat d'Estocolm [24]. Es demostra el valor de la sensació urbana i que les anàlisis dels GeoBig data haurien d'utilitzar-se per a informar les mesures d'intervenció sostenibles per al desenvolupament urbà.

Una possibilitat d'abordar aquests reptes seria desenvolupar una geoaplicació per diferents plataformes, webs, apps. On es recullin totes les rutes fetes, possiblement fent servir l'ArcGIS Online. D'aquesta manera s'aconseguirien l'obtenció de moltes noves possibilitats. La capacitat de sol·licitar informació en temps real de les rutes, la capacitat de comptar amb noves variables per dur a terme les rutes. Utilitzar i representar totes les dades en el núvol.

Amb aquestes noves implementacions, es fomentaria l'ús de les tecnologies de la informació i la comunicació per millorar la gestió del transport a través dels SIG i la programació, fent així les ciutats més sostenibles. Per tant, és aquest un repte digne d'una Smart City.

AGRAÏMENTS

L'elaboració del present treball no hauria estat possible sense l'ajuda totes les persones, que han participat i col·laborat en la seva realització.

Agrair a Matteo Berzi, el meu tutor per aquest treball de fi de grau, la seva dedicació en realitzar un seguiment i oferir orientació i formació en aspectes del treball. He pogut enriquir els meus coneixements i gaudir més del procés gràcies a la seva ajuda.

Agrair als Serveis Ambientals del Vallès oriental, la seva disposició i la provisió de dades durant la meua estada de pràctiques en aquesta empresa. Gràcies a la seva ajuda, ha sigut possible dur a terme rutes amb municipis de la zona i dades actuals. En especial a en Ferran Martin Camp, Tècnic d'estudis i projectes i a Lourdes Ariza Vilches, directora de l'Àrea de Negoci.

REFERÈNCIES

- [1] “Què és SIG?” esri.es.
<https://www.esri.es/es-es/descubre-los-gis/qu-es-sig/que-es-sig> [Consulta: el 21 de març de 2022]
- [2] Bonha - Carter, G. F., Bonham-Carter, G. (1994). Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS (No. 13). Elsevier.
- [3] “Què és ArcGIS?” esri.es.
<https://www.esri.es/es-es/arcgis/sobre-arcgis/introduccion> [Consulta: el 21 de març de 2022]
- [4] “Què és ArcGIS ONLINE?” esri.es.
<https://www.youtube.com/watch?v=HSEnZb55ejM> [Consulta: el 21 de març de 2022]
- [5] “Preàmbul QGIS” docs.qgis.org.
https://docs.qgis.org/3.22/es/docs/user_manual/preamble/preamble.html [Consulta: el 21 de març de 2022]
- [6] “Prestacions QGIS” docs.qgis.org.
https://docs.qgis.org/3.22/es/docs/user_manual/preamble/features.html [Consulta: el 21 de març de 2022]
- [7] “SIG per Carretera i Autopistes” esri.es
<https://www.esri.es/es-es/sectores/transportes-infraestructuras/segments/roads-highways> [Consulta: el 23 de març de 2022]
- [8] “Navegant pels camins nevats i ventosos de Wyoming” esri.com.
<https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/navigating-wyomings-snowy-blowy-roads/?rmedium=arcnewsrsource=https://www.esri.com/esri-news/arcnews/winter18articles/navigating-wyomings-snowy-blowy-roads> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [9] “Dades més intel·ligents per a carreteres més segures” esri.com.
<https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/smarter-data-for-safer-roads/?rmedium=arcnewsrsource=https://www.esri.com/esri-news/arcnews/winter18articles/smarter-data-for-safer-roads> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [10] “Posar les dades de transport de Utah en línia” esri.com.
<https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/media/newsletter/winter-2015-2016.pdfpage=14> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [11] “SIG per Transport Públic i Ferrocarril” esri.es
<https://www.esri.es/es-es/sectores/transportes-infraestructuras/segments/public-transport> [Consulta: el 23 de març de 2022]
- [12] “Renfe Viatgers Projecte Localitza” esri.es
<https://blog.esri.es/caso-de-exito/renfe-viajeros/> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [13] “Metre de Madrid Aplicació WEB” esri.es
<https://blog.esri.es/metro-de-madrid-calculo-rutas-multimodal/> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [14] “SIGMIT” esri.es
<https://blog.esri.es/caso-de-exito/barcelona-sigmat/> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [15] “SIG per Aeroports i Aviació” esri.es
<https://www.esri.es/es-es/sectores/transportes-infraestructuras/segments/airports-aviation> [Consulta: el 23 de març de 2022]
- [16] “Gestió aeroportuària de l'Aeroport Internacional McCarran de Las Vegas” esri.com
https://www.esri.com/en-us/lg/industry/transportation/location-strategy-gets-first-class-seating?rmedium=www_esri_com_EtoFrsource=

<https://www.esri.com/arcuser/turning-a-requirement-into-a-benefit/?rmedium=arcusernews>
<https://www.esri.com/arcuser/newsroom/publications/wherenext/location-intelligence-saves-geneva-airport-millions/> [Consulta: el 25 de març de 2022]

- [17] “Enterprise GIS”
<https://www.esri.com/arcuser/turning-a-requirement-into-a-benefit/?rmedium=arcusernews>
<https://www.esri.com/arcuser/newsroom/publications/wherenext/location-intelligence-saves-geneva-airport-millions/> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [18] “Location Intelligence estalvia milions a l'aeroport de Ginebra” esri.com.
<https://www.esri.com/arcuser/newsroom/publications/wherenext/location-intelligence-saves-geneva-airport-millions/> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [19] “SIG per Ports i Marítim” esri.es.
<https://www.esri.es/es-es/sectores/transportes-infraestructuras/segments/ports-maritime> [Consulta: el 23 de març de 2022]
- [20] “PortMaps” esri.com.
<https://www.esri.com/arcnews/portmaps-a-groundbreaking-platform-for-port-management/?rmedium=arcnews>
<https://www.esri.com/arcnews/summer14/articles/portmaps-a-groundbreaking-platform-for-port-management> [Consulta: el 25 de març de 2022]
- [21] Manfred M. Fischer (2006). Spatial Analysis and GeoComputation. Springer.
- [22] “Centre de Descàrregues de l'Institut Geogràfic Nacional (IGN)” centrodedescargas.cnig.es
<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Consulta: el 30 de març de 2022]
- [23] “Capa d'anàlisi de problema de generació de rutes per a vehicles” pro.arcgis.com.
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.8/help/analysis/networks/vehicle-routing-problem-analysis-layer.htm> [Consulta: el 30 de març de 2022]
- [24] Shahrokni, H.; van der Heijde, B.; Lazarevic, D.; Brandt, N. (2014). Big Data GIS Analytics Towards Efficient Waste Management in Stockholm
- [25] “Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental” cresidusvo.cat.
<http://www.cresidusvo.cat/frontal/apartats/index.php?apartat=193> [Consulta: el 22 de juny de 2022]

7 APÈNDIX

7.1 Rutes

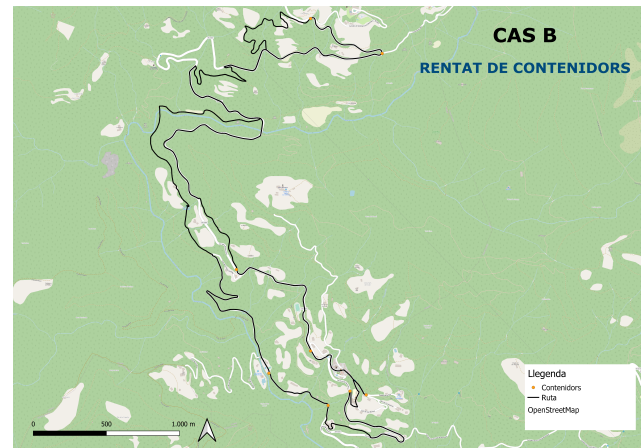


Fig. 4: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

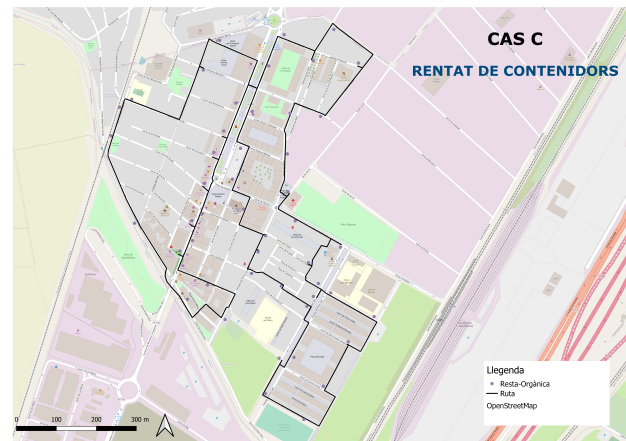


Fig. 5: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

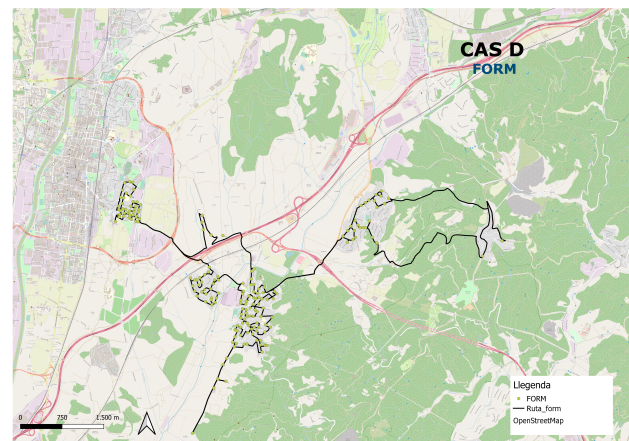


Fig. 6: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

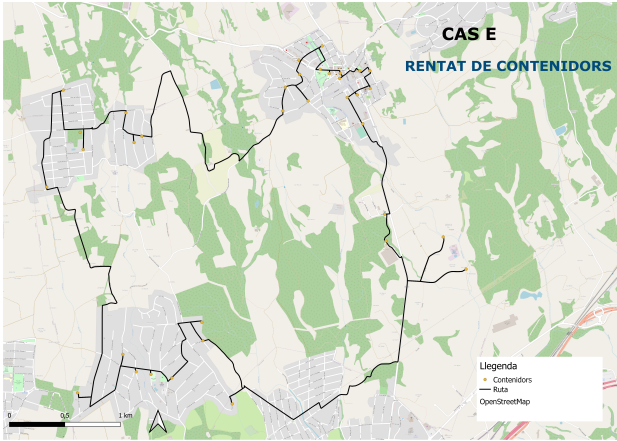


Fig. 7: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

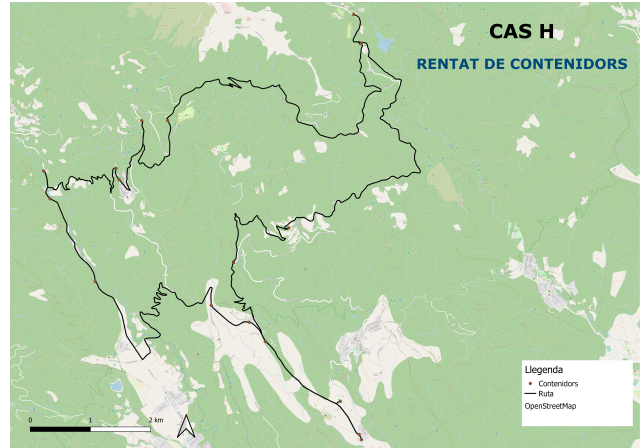


Fig. 10: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

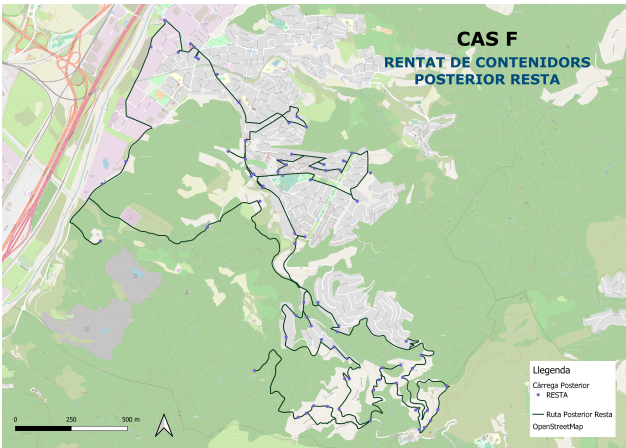


Fig. 8: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

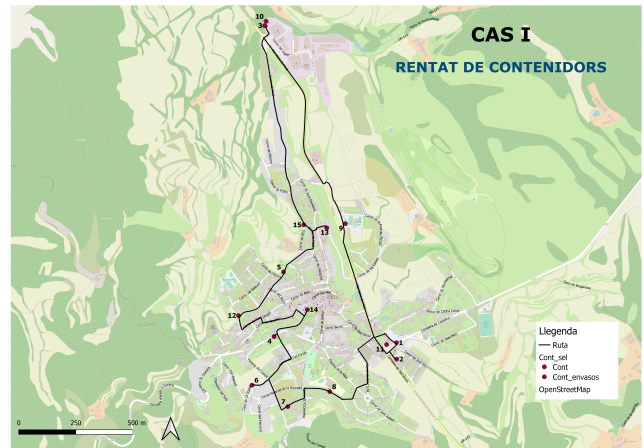


Fig. 11: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

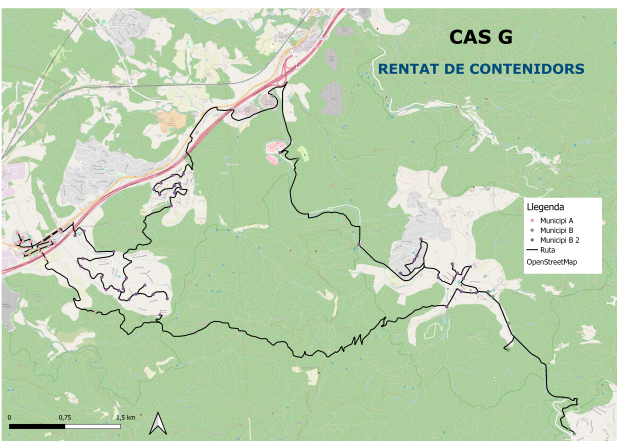


Fig. 9: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.

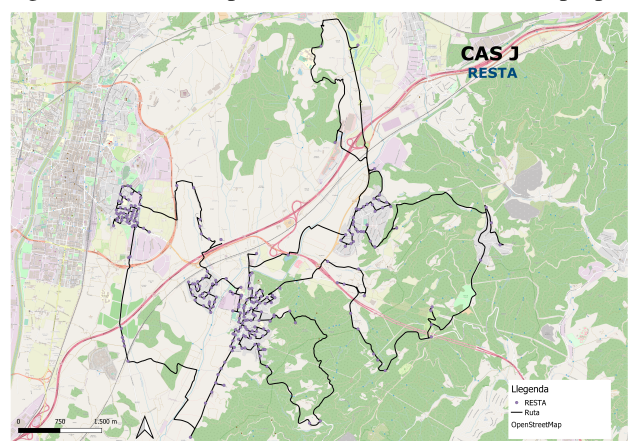


Fig. 12: Ruta Municipi semi-urbà. Font: Elaboració pròpia.