

# Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

**Autor: JORDI LLOBET PALAU**

Pla d'estudis: Grau d'Enginyeria Informàtica

Àrea: Sistemes d'Informació Geogràfica

**Consultora: ANNA MUÑOZ BOLLAS**

**Professor Responsable: ANTONI PÉREZ NAVARRO**

Data: 6 de Juny de 2016



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

## FITXA DEL TREBALL FINAL

<b>Títol del treball:</b>	Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació <i>indoor</i> .
<b>Nom de l'autor:</b>	Jordi Llobet Palau
<b>Nom del consultor/a:</b>	Anna Muñoz Bolas
<b>Nom del PRA:</b>	Antoni Pérez Navarro
<b>Data de lliurament:</b>	Juny/2016
<b>Titulació o programa:</b>	Grau d'Enginyeria Informàtica
<b>Àrea del Treball Final:</b>	Sistemes d'Informació Geogràfica
<b>Idioma del treball:</b>	Català
<b>Paraules clau</b>	Indoor navigation, indoor maps, indoorGML

### Resum del Treball:

Els darrers estudis posen de manifest que, de mitjana, més del 80% del nostre temps ens trobem en l'interior d'algun edifici i, sovint, en entorns desconeguts. Malgrat la xifra és força significativa, els sistemes de navegació i posicionament en interiors no presenten un grau de desenvolupament molt avançat a data d'avui. Sobretot si els comparem amb els sistemes de posicionament i la navegació exterior (GPS) que ja formen part de la nostra vida més quotidiana.

A més, altres estudis de mercat confirmen que la navegació *indoor* experimentarà un enorme creixement en els propers anys. Una altra prova procedeix de l'Open Geospatial Consortium(OGC). Aquest organisme donà el primer pas per una estandardització de la navegació *indoor* definint l'estàndard de codificació IndoorGML. Atenent a la rellevància d'aquests aspectes la finalitat del projecte és proporcionar una visió dels components de programari de la navegació *indoor*, així com la creació del mapa indoor i el graf de navegació.

La primera part del treball està dedicada a l'estàndard IndoorGML. Se'n detallen els diferents modes de representació, les diferències amb altres models existents i, finalment, el seu model de dades. Posteriorment, es realitza una comparació amb una de les eines opensource de tractament de mapes més conegudes com és OpenStreetMap (OSM) i, més concretament, el projecte IndoorOSM.

La segona part ofereix un contingut molt més pràctic. Es proporcionen unes premisses per a la generació de mapes *indoor* i graf de navegació a partir dels

plànols CAD de l'edifici. Concretament, es genera el mapa i el graf de l'edifici de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

La darrera part del treball està dedicada a les conclusions. Bàsicament, es valora IndoorOSM com a eina per a l'obtenció d'IndoorGML i per la creació de mapes *indoor*. A més, es recomanen futures estratègies de treball, com ara la cerca d'altres eines relacionades amb la codificació IndoorGML i la implementació del graf de navegació sobre aplicacions de *routing*.

## **Abstract:**

Recent studies demonstrate that, on average, we spend more than 80% of our time inside buildings, often in unfamiliar places. Although the figure is really significant, indoor navigation and positioning systems do not offer a very advanced level of development to date. This is especially true when we compare them with outdoor navigation and positioning systems (GPS), which are now part of our life.

In addition, other market research confirms that indoor navigation is going to grow significantly in the years that come. Other confirmation comes from the Open Geospatial Consortium (OGC). This organization took the first step towards indoor navigation standardization defining the standard IndoorGML. Given the importance of these aspects, the main goal of the project is to provide an overview of the indoor navigation software components, as well as the creation of indoor map and navigation graph.

The first part of the work is aimed at providing a descriptive view of IndoorGML. It describes his representation aspects, the differences from other existing models (p.e. CityGML) and, finally, its data model. Next, there is a comparison with OpenStreetMap (OSM), more specifically, the IndoorOSM project as one of the most popular opensource tools intended to create maps.

The second part offers more practical content. It provides premises for the creation of indoor maps and indoor navigation graphs from the building's CAD data. Specifically, it generates the indoor map and indoor navigation graph on the Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya building.

The last part shows the conclusions. Basically, IndoorOSM is valued for obtaining IndoorGML and indoor maps. In addition, the project recommends further work strategies. They consist in testing other tools to obtain IndoorGML and the navigation's graphs implementation on routing applications.

## Relació de continguts

<b>Relació d'imatges.....</b>	<b>5</b>
<b>Relació de taules.....</b>	<b>7</b>
<b>Relació d'abreviatures .....</b>	<b>8</b>
<b>Agraïments .....</b>	<b>9</b>
<b>1.Introducció .....</b>	<b>10</b>
1.1 Context i justificació del treball.....	10
1.2 Objectius del treball .....	12
2.1.1 Objectius generals.....	12
2.1.2 Objectius específics .....	12
1.3 Enfocament i mètode seguit .....	13
1.4 Planificació del treball .....	15
1.5 Breu descripció dels capítols més rellevants del treball .....	16
<b>2.Estudi de l'estàndard IndoorGML .....</b>	<b>19</b>
2.1 Introducció .....	19
2.2 Representació d'objectes a IndoorGML.....	21
2.2.1 Espai de cel·les .....	22
2.2.2 Representació semàntica .....	22
2.2.3 Representació geomètrica .....	24
2.2.4 Representació topològica.....	26
2.2.5 Representació multicapa.....	29
2.3 Estructura del model IndoorGML.....	30
2.3.1 Model d'espai estructurat.....	30
2.3.2 Model d'espai multicapa.....	32
2.4 Referències externes .....	35
2.5 Connexió entre espais exteriors i espais interiors.....	35
2.6 Divisió d'espais .....	36
2.7 Model de dades.....	36
2.7.1 IndoorGML core .....	37
2.7.2 IndoorGML navigation .....	39
<b>3. OpenStreetMap .....</b>	<b>44</b>
3.1 Indoor OpenStreetMap .....	46

<b>4.Comparació teòrica IndoorOSM/IndoorGML .....</b>	<b>48</b>
4.1 Espai de cel·les .....	48
4.2 Representació geomètrica i topològica.....	49
4.3 Representació semàntica .....	50
4.4 Representació Multicapa (MLESM).....	51
4.5 Subespais.....	52
4.6 Connexió espais interiors i exteriors (Anchor Node) .....	52
4.7 Referències externes .....	53
4.8 Conclusió de la relació teòrica OSM/IndoorGML.....	53
<b>5.Indoor Maps .....</b>	<b>55</b>
5.1 Implementació d'IndoorOSM sobre el plànol del projecte.....	55
5.2 Generació del graf de navegació amb OpenStreetMap sobre el plànol del projecte .....	61
5.3 Aplicació web sobre el plànol del projecte .....	63
5.3.1MapBox .....	64
5.3.2 Leaflet.....	65
5.3.3 Implementació de l'aplicació web.....	67
<b>6. Conclusions.....</b>	<b>75</b>
6.1 Valoració d'objectius .....	75
6.2 Valoració de l'anàlisi IndoorGML/IndoorOSM .....	78
6.3 Valoració Indoor Map.....	79
6.4 Línies de futur.....	80
<b>7. Glossari.....</b>	<b>82</b>
<b>8. Referències .....</b>	<b>84</b>
8.1 Publicacions.....	84
8.2 Enllaços.....	84

## Relació d'imatges

**Figura 1:** IndoorGML com a complement d'altres estàndards existents [1](OGC,2014)

**Figura 2:** Representació semàntica: espais navegables i no-navegables, divisió d'espais Wi-Fi [1](OGC,2014)

**Figura 3:** Dades provinents de referències externes, per exemple CityGML

**Figura 4:** Dades geomètriques dins d'IndoorGML

**Figura 5:** Sense dades geomètriques

**Figura 6a:** Representació topogràfica espai primari

**Figura 6b:** Graf d'adjacència a l'espai dual [1](OGC,2014)

**Figura 7:** Espai dual: derivació del graf d'adjacència al graf de connectivitat [1](OGC,2014)

**Figura 8:** Espai dual: derivació del graf de connectivitat al graf d'accessibilitat [1](OGC,2014)

**Figura 9:** Graf d'adjacència per al model: thick wall [1](OGC,2014)

**Figura 10:** Representació multicapa [1](OGC,2014)

**Figura 11:** Model d'espai estructurat [1](OGC,2014)

**Figura 12:** Implementació espai model estructurat [1](OGC,2014)

**Figura 13:** Representació de les relacions entre capes a l'espai dual [1](OGC,2014)

**Figura 14:** Implementació del model d'espai multicapa [1](OGC,2014)

**Figura 15:** Exemple d'una instància de la classe State [3](i-Locate project,2014)

**Figura 16:** Exemple d'una instància de la classe Transition [3](i-Locate project,2014)

**Figura 17:** Exemple d'una instància de la classe MultiSpaceLayer

**Figura 18:** Exemple de referències externes a CityGML [1](OGC,2014)

**Figura 19:** Exemple d'instància de referència externa

**Figura 20:** Diagrama UML del mòdul IndoorGML core [1](OGC,2014)

**Figura 21:** Diagrama UML del mòdul IndoorGML navigation [1](OGC,2014)

**Figura 22:** Elements base d'OpenStreetMap

**Figura 23:** Esquema de representació d'un edifici segons IndoorOSM [10](Wiki IndoorOSM)

**Figura 24:** Plànol Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Planta Primera

**Figura 25:** Relació modelatge de l'edifici en el plànol de l'ICGC

**Figura 26:** Relació modelatge de la planta primera altell en el plànol de l'ICGC

**Figura 27:** Relació modelatge d'una oficina planta principal en el plànol de l'ICGC

**Figura 28:** Relació modelatge d'un element de connexió entre pisos en el plànol de l'ICGC

**Figura 29:** Definició d'un node de connexió entre pisos en el plànol de l'ICGC

**Figura 30:** Mapeig complet de l'edifici de l'ICGC

**Figura 31a:** Graf de navegació per un ascensor

**Figura 31b:** Graf de navegació per unes escales

**Figura 32:** Graf de navegació de tot l'edifici

**Figura 33:** Part del fitxer .osm generat

**Figura 34:** Exemples d'estils de mapes a Mapbox

**Figura 35:** Accés Token necessari per a la utilització de Mapbox

**Figura 36:** Leaflet tutorials: <http://leafletjs.com/examples.html>

**Figura 37:** Exemple del nou etiquetatge de les vies en la Planta Àtic

**Figura 38:** Exemple d'una part del fitxer .json resultant

**Figura 39a:** Mapbox: Estil de mapa per a capa base

**Figura 39b:** Index.html: codi de l'aplicació que incorpora la capa amb el mapa base

**Figura 40a:** Indoor map. Planta Principal

**Figura 40b:** Indoor map. Planta Principal. Informació dependències

**Figura 41a:** Graf de navegació. Planta Principal

**Figura 41b:** Graf de navegació. Planta Primera



## ***Relació de taules***

**Taula 1:** Detall d'activitats de la planificació

**Taula 2:** Classes del mòdul IndoorGML core

**Taula 3:** Classes del mòdul IndoorGML navigation

**Taula 4:** Comparació teòrica elements OSM, conceptes IndoorGML [13](George Mouratidis, 2015).

**Taula 5:** Codificació seguida per al mapeig de l'edifici

**Taula 6:** Codificació seguida per a generar el graf de navegació

**Taula 7a:** Valoració objectius generals

**Taula 7b:** Valoració objectius específics

## *Relació d'abreviatures*

**0D** zero dimensió

**1D** una dimensió

**2D** dos dimensions

**3D** tres dimensions

**CAD** disseny assistit per ordinador

**CityGML** City Geography Markup Language

**CRS** Sistema de coordenades de referència

**DB** Base de dades

**ESRI** Environmental Systems Research Institute

**FME** Feature Manipulation Engine

**GML** Geography Markup Language

**GPS** Sistema de posicionament Global

**GTFS** Global Transit Feed Specification

**IFC** Industry Foundation Classes

**IndoorGML** Indoor Geography Markup Language

**ISO** Organització Internacional per l'Estandarització

**JOSM** Java OpenStreetMap

**KML** Keyhole Markup Language

**LBS** Location-Based Services

**MLS** Representació espai multicapa

**MLSEM** Multy-Layered Space Model

**NRG** Graf node-relació

**OGC** Open Geospatial Consortium

**OSM** Open Street Map

**SIG** Sistemes d'Informació Geogràfica

**UML** Uniform Modeling Language

## ***Agraïments***

Fa uns quatre anys que vaig decidir fer un tomb a la meua vida professional. Després d'una bona colla d'anys vinculat al sector de la construcció, més concretament en el camp de l'enginyeria civil, vaig pensar que potser era el moment de fer un canvi. Evidentment va ser una decisió difícil.

Tot i els meus dubtes, vaig encetar un nou camí. Després de descartar algunes propostes, vaig decidir tornar a ser estudiant. La docència a distància, i concretament la Universitat Oberta de Catalunya, va ser l'opció que vaig escollir. No sabia si seria capaç d'avançar en aquest camí després de tants anys, però la meua il·lusió i motivació eren molt altes.

Després de tots aquests anys em trobo en la recta final del camí. Han estat temps de molt sacrifici i moltes hores de dedicació, és potser per aquest motiu que començo a sentir-me força orgullós i crec sincerament que ha valgut la pena.

Pel que fa als agraïments, aquesta és una bona oportunitat per recordar tots els consultors i professors que m'han ajudat a superar cadascuna de les assignatures. Tot i que no és la meua intenció destacar-ne cap per sobre dels altres, vull agrair molt sincerament a l'Anna Muñoz i al Toni Pérez haver-me donat l'oportunitat de desenvolupar el Treball de Final de Grau sobre un tema tan innovador i atractiu com la navegació *indoor*. També vull aprofitar per agrair a l'Anna Muñoz el seu esforç per aconseguir el plànol de l'edifici de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Quan als agraïments més familiars, en primer lloc vull tenir un record per als meus pares que a més d'estar al meu costat quan he volgut engegar nous projectes, sinó que sempre m'han animat a fer-ho sense por.

Finalment, vull dedicar l'últim agraïment a la meua dona, la Blanca, qui ha hagut de patir els nervis dels exàmens, la dificultat de les PAC's i pràctiques, les nits i els caps de setmana ocupats. Moltes gràcies per la teua infinita paciència.

## 1. Introducció

### 1.1 Context i justificació del treball

Estudis recents han posat de manifest que, de mitjana, més del 80% del nostre temps ens trobem a l'interior d'algun edifici i, sovint, en entorns desconeguts. No obstant això, avui en dia, els serveis basats en localització (LBS), tant per a ús comercial com per a ús personal, essencialment estan limitats a escenaris a l'aire lliure amb l'ús del GPS. En aquest sentit, ser capaç de localitzar sense problemes persones o objectes dins d'espais interiors i/o exteriors podria esdevenir un salt qualitatiu per a un gran nombre de sectors, com ara la logística, serveis personals, la mobilitat, el comerç minorista o la salut.

D'altra banda, les últimes anàlisis de mercat mostren que els serveis de localització basats en interiors han d'experimentar un creixement significatiu en els propers anys. En aquest sentit, actors de primer nivell com ara Google, Apple, Nokia o altres empreses menys importants estan invertint recursos amb el clar objectiu de crear bases de dades i serveis de mapes interiors.

A més a més, la tecnologia disponible des del punt de vista del maquinari ha arribat a la plena maduresa, oferint costos a nivell de consumidor molt raonables. De fet, durant els últims anys, s'ha aconseguit que les tecnologies de localització en interiors siguin cada vegada més precises. La majoria estan basades en sistemes de comunicació com ara Bluetooth, ZigBee o Wi-Fi <sup>1</sup>.

No obstant això, el desenvolupament de la veritable localització d'interior sense cap fissura encara presenta, a data d'avui, algunes mancances que caldrà superar en el futur. Per exemple, un dels primers reptes és la manca d'informació geogràfica en espais interiors. Si bé a les dades a l'aire lliure es pot accedir fàcilment amb

---

<sup>1</sup> Piffer, S.; origatti, N; Conti, G (2015). i-Locate: Indoor/Outdoor LOcation and Asset management Through open GEOdata. FOSS4G Europe Como 2015 [http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n12/FOSS4Geu15\\_submission\\_183.pdf](http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n12/FOSS4Geu15_submission_183.pdf)

Open Data (OD), la disponibilitat d'informació geogràfica ens espais interiors no està disponible en una gran escala. Aconseguir que en edificis d'accés públic, com ara hospitals, estacions, aeroports, centres comercials i oficines públiques, es tingui accés a dades geogràfiques d'interiors, podria permetre noves activitats empresarials i aportar beneficis socials.

Un altre dels reptes de la navegació *indoor* ve donat per les implicacions que suposa el concepte d'ambient interior. En aquest sentit, el grau de llibertat d'un usuari caminant dins d'un edifici és significativament més gran que en escenaris a l'aire lliure on existeixen camins completament definits, com ara carrers o carreteres en el cas de vehicles. A més, l'usuari es pot moure a través de diferents plantes i utilitzar diferents mitjans per a fer-ho, tals com ascensors, escales mecàniques, etc. Cal afegir-hi que les restriccions de navegació poden ser molt més diverses; per exemple escales, portes, horaris i zones restringides. Si encara no fos suficient també podem parlar de tipus d'usuaris ( cadira de rodes, vehicles d'interior, robots, etc.).

A més de tot l'anterior, cal destacar que els enfocaments més clàssics per a la navegació, com ara frases de l'estil: "després de 300 metres giri a l'esquerra", pot ser que no siguin del tot suficients en aquests escenaris. On sembla "a priori" més adient altres indicacions com ara anar a la segona planta, escales al costat de recepció o segona porta a la dreta.

Amb l'objectiu de ser capaç de fer front a les dificultats relacionades i, a la vegada, proporcionar escalabilitat, adaptabilitat a totes les condicions l'Open Geospatial Consortium(OGC) ha desenvolupat IndoorGML com a estàndard per a la navegació *indoor*. Tal com s'indica en les seves especificacions, l'objectiu d'IndoorGML és possibilitar l'intercanvi de la informació geogràfica per a construir i operar amb sistemes de navegació *indoor*.

## 1.2 Objectius del treball

En aquest apartat es detallen els objectius que es van planificar en la fase inicial del treball. En el primer subapartat, s'enumeren una sèrie d'objectius de caire més general relacionats amb els Sistemes d'Informació Geogràfica com a branca dels estudis de Grau d'Enginyeria Informàtica. En el segon, s'enumeren una altra sèrie d'objectius relacionats amb el tema concret que tracta el projecte; és a dir, l'estudi de l'estàndard de codificació IndoorGML i de la navegació *indoor*.

### 2.1.1 Objectius generals

- ✓ Conèixer els conceptes bàsics que formen i defineixen els SIG.
- ✓ Conèixer els requeriments necessaris tan de maquinari com de programari per a dur a terme un projecte SIG.
- ✓ Conèixer els diferents tipus d'eines SIG que es poden utilitzar per a desenvolupar un projecte.
- ✓ Saber escollir quines d'aquestes eines poden ser les més adequades segons les característiques del projecte.
- ✓ Conèixer quina és la dinàmica actual i les tendències futures sobre projectes de navegació *indoor*.

### 2.1.2 Objectius específics

- ✓ Aprendre com funciona l'estàndard de codificació OGC® indoorGML.
- ✓ Conèixer els requeriments de les dades (plànols en aquests cas) que són necessaris per a poder aplicar la codificació OGC® indoorGML.
- ✓ Conèixer quines transformacions cal fer sobre aquestes dades i si és necessari afegir-hi altra informació.
- ✓ Conèixer les eines que poden dur a terme aquesta codificació.
- ✓ Implementar el cas concret d'un plànol segons el model de dades OGC® indoorGML.

- ✓ Desenvolupar mecanismes d'automatització per a la generació d'aquests models.

A més de la llista anterior, el desenvolupament del projecte m'ha donat l'oportunitat de treballar alguns aspectes que en principi no havia previst. En aquest sentit, s'ha considerat oportú afegir els següents objectius:

- Implementació del mapa *indoor* i graf de navegació sobre el plànol del projecte.
- Desenvolupament d'una aplicació web que mostra el mapa *indoor* i el graf de navegació.

Val a dir que alguns dels objectius s'han assolit de forma totalment satisfactòria. Ara bé, alguns altres no ha estat possible aconseguir-los fruit de diversos motius, com ara la pròpia complexitat que presenta la navegació *indoor*. En l'apartat de final de conclusions s'aprofundeix abastament sobre el grau d'assoliment de cadascun dels objectius. Es detallen quins han estat els camins de l'èxit en alguns casos i els entrebancs que no ha estat possible superar en d'altres.

### 1.3 Enfocament i mètode seguit

Segons es va extreure de l'enunciat del projecte, és evident que es tractava d'un treball amb un elevat grau d'investigació. En aquest sentit, des d'un bon principi es va considerar oportú dividir el treball en dues parts clarament diferenciades. Una primera part d'anàlisi dedicada a l'estudi d'IndoorGML. A més, aquesta primera part havia de servir per a extreure conclusions de quines eines utilitzar en el desenvolupament de la segona part.

Pel que fa a la segona part, estava previst obtenir la codificació IndoorGML sobre un cas real. Afortunadament, es va poder disposar del plànol d'un edifici públic, concretament, l'edifici de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Arran d'aquest enfocament inicial es van cercar diferents fonts per a l'estudi d'IndoorGML. D'aquestes fonts convé destacar la pàgina oficial de l'organisme Open Geospatial Consortium [1] i i-Locate Project [3]. Fou aquesta darrera font la clau alhora de definir l'estratègia de desenvolupament de la part més pràctica. Bàsicament, i-Locate és un projecte finançat per la Unió Europea, on hi participen diferents organitzacions, destinat a la creació d'empreses que operin amb la navegació en espais interiors i exteriors.

Es va seguir aquesta estratègia perquè i-Locate havia desenvolupat un *plugin* sobre Java OpenStreetMap que proporcionava la codificació IndoorGML a partir de la generació del mapa *indoor*. És evident que la utilització *plugin* obria la porta a un coneixement pràctic de la codificació IndoorGML, així com a veure quins aspectes de la codificació es podien automatitzar.

Malauradament, en una fase força avançada del treball, es va conèixer que el *plugin* estava en una fase inicial de desenvolupament, i per tant, no podia ser utilitzat amb garanties. Aquest factor ha estat determinant perquè la codificació IndoorGML sobre el plànol del projecte no s'hagi pogut aconseguir.

A més, aquest fet va obligar a considerar un canvi d'estratègia. En primer lloc, pensant en línies de treball futur, s'ha cregut convenient dedicar un apartat a la comparació teòrica entre IndoorGML i Indoor OpenStreetMap (IndoorOSM). L'objectiu de l'apartat es veure els punts en comú que presenten ambdós models.

D'altra banda, la part pràctica ha consistit en el desenvolupament d'una aplicació web que mostri el mapa *indoor* de l'edifici i el graf de navegació aprofitant les dades extretes d'OSM a partir dels plànols CAD de l'edifici.



## 1.4 Planificació del treball

Bàsicament, les activitats incloses en el pla de treball corresponen a cadascun dels lliuraments parcials que conformen el projecte. És a dir, les diferents PAC's que s'han lliurat durant el període de desenvolupament. Tasques que van ser marcades com a fites en la planificació inicial. Totes les esmentades activitats, així com les seves dates es detallen en la taula 1:

<b>PAC1: PLA DE TREBALL</b>	
<b>Data d'inici</b>	27/2/2016
<b>Data de fi</b>	8/3/2016
	Redacció del Pla de Treball
	Lliurament esborrany
	Revisió
	Lliurament
<b>PAC2: IndoorGML (1er lliurament del treball)</b>	
<b>Data d'inici</b>	8/3/2016
<b>Data de fi</b>	20/4/2016
<b>Subactivitats</b>	Cerca d'informació IndoorGML
	Implementació del model concret OSM
	Comparació teòrica OSM/IndoorGML
	Lliurament esborrany
	Informe PAC2 (1er lliurament del treball)
<b>PAC3: Aplicació Web (2on lliurament del treball)</b>	
<b>Data d'inici</b>	20/4/2016
<b>Data de fi</b>	24/5/2016
<b>Subactivitats</b>	Estudi d'eines de desenvolupament
	Desenvolupament Mapbox
	Desenvolupament Leaflet
	Lliurament esborrany
	Informe PAC3 (2on lliurament del treball)
<b>PAC4: LLIURAMENT FINAL (PAC2+PAC3+Presentació Virtual)</b>	
<b>Data d'inici</b>	18/5/2016
<b>Data de fi</b>	6/6/2016
<b>Subactivitats</b>	Memòria final (PAC2+PAC3)
	Presentació virtual
	Lliurament esborrany
	Revisió
	Lliurament

Taula 1: Detall d'activitats de la planificació

## 1.5 Breu descripció dels capítols més rellevants del treball

Es aquest apartat es descriu de forma molt breu el contingut dels apartats més rellevants que conformen el treball.

### 2. Estudi de l'estàndard IndoorGML

Descripció de la codificació IndoorGML com a estàndard escollit per a la navegació *indoor*. S'analitzen quines són les característiques de cadascuna de les representacions: espai de cel·les, representació semàntica, representació geomètrica, representació topològica, representació semàntica i l'espai multicapa. Posteriorment, es descriu el seu model de dades, compostat pel mòdul *core* que defineix els components bàsics del model de dades i pel mòdul *navigation* que és l'extensió semàntica del mòdul *core*.

### 3. OpenStreetMap

Atès que l'eina principal escollida per al desenvolupament del projecte ha estat OpenStreetMap, i evidentment, la seva eina d'edició Java OpenStreetMap (JOSM), s'ha considerat adient dedicar un capítol del projecte a la descripció d'aquest recurs de generació de mapes. En la segona part del capítol, de forma més concreta, s'analitza el contingut de la branca d'OSM dedicada als mapes *indoor*, és a dir, IndoorOSM. Les pautes marcades per IndoorOSM són les que s'han seguit per tal generar el mapa *indoor* del projecte.

### 4. Comparació teòrica OpenStreetMap/IndoorGML

Tal com s'ha comentat en l'apartat anterior, la idea inicial del projecte era partir de les dades generades amb OSM per tal generar la codificació IndoorGML. Per esmenar d'alguna manera la impossibilitat d'arribar a aquest l'objectiu, s'ha

considerat oportú incloure un apartat que compari ambdós codificacions. El seu objectiu és servir de guia per a propers treballs relacionats amb la navegació *indoor*. Al final d'aquest apartat s'han afegit una sèrie de conclusions que poden donar una idea de la complexitat del procés.

### 5. Indoor Maps

Aquest és l'apartat més pràctic del treball. Es descriu de forma molt metòdica totes les etapes necessàries per a la creació de mapes *indoor* a partir del modelatge generat segons les premisses d'IndoorOSM. Val a dir que les dades no poden ser utilitzades directament, sinó que s'han hagut de realitzar alguns canvis. A més, també es detallen els diferents passos necessaris per a la generació del graf de navegació. Aquest graf és pot utilitzar per a la creació de recorreguts amb eines de Routing (OpenTripPlanner, OpenRouterService, ...).

A continuació, també es descriu la implementació d'una aplicació web que mostra el mapa *indoor* de l'edifici del projecte i el graf de navegació en cadascuna de les plantes.

### 6. Conclusions

Segurament l'apartat més important del treball. En una primera part es detallen els resultats assolits en cadascun dels objectius que es van marcar en la planificació. S'analitza quins d'aquests s'han assolit i quins altres no ha estat possible. Pel cas dels objectius que no ha estat possible assolir se'n detallen les causes que ho han impedit.

A continuació, es realitza una valoració de la part teòrica del treball. S'analitza els aspectes més rellevants de la comparació entre IndoorGML i IndoorOSM.

Posteriorment, es valora la utilització d'OSM com a eina de creació de mapes *indoor* i grafs de navegació.

El darrer apartat de les conclusions està dedicat a les línies de treball que es podrien desenvolupar en projectes futurs. En una primera part, es recomana continuar la tasca relacionada amb la obtenció i codificació IndoorGML, en aquest sentit es recomana la utilització del software FME. En una segona part, es recomana una altra línia de treball consistent en la creació d'una eina de *routing* ( o l'adaptació d'una eina existent) que utilitzi el graf de navegació creat amb OSM.

## 2. Estudi de l'estàndard IndoorGML

L'objectiu d'aquest apartat és descriure quina és la raó de ser, l'objectiu i les característiques de l'estàndard de codificació IndoorGML. Se'n detallen l'estructura, la representació d'objectes i el model de dades.

### 2.1 Introducció

Atenent el grau d'importància que la navegació d'interiors ha adquirit recentment, l'organisme Open Geospatial Consortium (OGC) ha considerat oportú definir un estàndard de codificació. El seu objectiu és especificar un model obert de dades i un esquema d'informació espacial. Aquest nou model s'ha anomenat indoorGML<sup>2</sup>. Consisteix bàsicament en un esquema d'aplicació de OGC® GML 3.2.1. En la actualitat ja existeixen diversos estàndards de modelatge d'edificis 3D que s'ocupen dels interiors dels edificis des del punt de vista geomètric, cartogràfic i semàntic. Per exemple, podem destacar models com CityGML<sup>3</sup>, KML<sup>4</sup> i IFC<sup>5</sup>. No obstant això, a diferència dels anteriors, l'objectiu bàsic d'IndoorGML és el modelatge d'espais interiors per a la navegació (figura 1).

Pel que fa a l'estructura d'IndoorGML, consta de dues parts:

- 1) Un model de dades bàsiques per descriure connectivitat topològica i diferents contextos d'espai interior (per exemple, espai topogràfic o espai sensor).
- 2) Un model de dades per a la navegació.

---

<sup>2</sup> <http://docs.opengeospatial.org/is/14-005r3/14-005r3.html>

<sup>3</sup> CityGML es un model d'informació comú per a la representació de conjunts d'objectes urbans en 3D <https://es.wikipedia.org/wiki/CityGML>

<sup>4</sup> KML és un llenguatge de marcat basat en XML per a representar dades geogràfiques en 3D <https://es.wikipedia.org/wiki/KML>

<sup>5</sup> IFC és un format de dades per a descriure, intercanviar i compartir informació, normalment s'utilitza en el sector de la construcció i la indústria. [http://www.ifcwiki.org/index.php/Main\\_Page](http://www.ifcwiki.org/index.php/Main_Page)

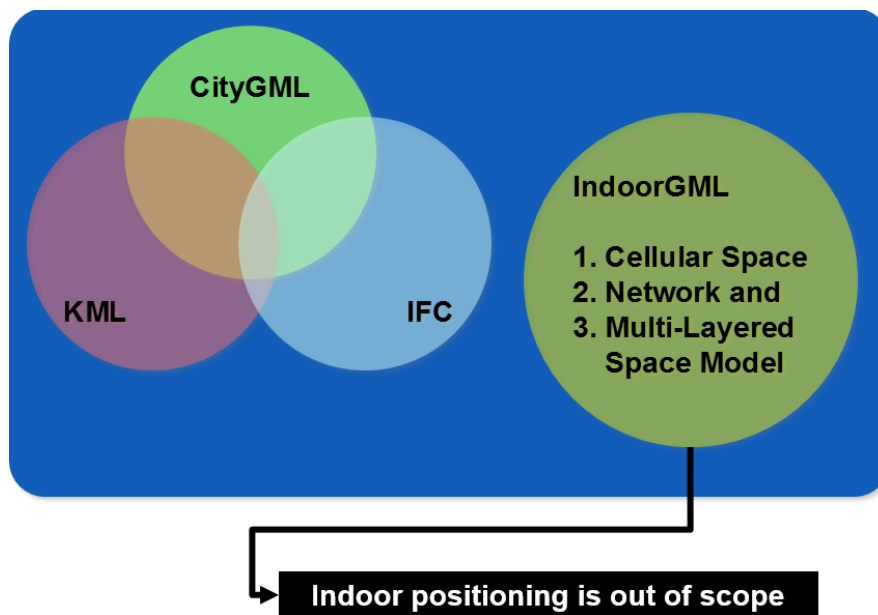


Figura 1: IndoorGML com a complement d'altres estàndards existents [1](OGC,2014)

IndoorGML determina la següent informació sobre l'espai interior:

- ✓ Context i limitacions de navegació.
- ✓ Subdivisions espacials i tipus de connectivitat entre els espais.
- ✓ Les propietats geomètriques i semàntiques dels espais i la seva connectivitat.
- ✓ Xarxes de navegació i les seves relacions.

En general, existeixen diferències força rellevants entre espais interiors i espais exteriors. Per exemple, en el cas d'espais interiors, és necessari especificar la informació espacial d'acord amb l'activitat que es desenvolupa en cadascun dels espais. La informació corresponent a cadascun dels espais és pot classificar en dues categories:

- Gestió dels elements de construcció i les seves instal·lacions.
- Ús de l'espai interior.

Com a exemple, la construcció d'edificis, la gestió i administració d'instal·lacions pertanyen a la primera categoria. El focus principal de la primera categoria són els elements de construcció tals com sostres i parets. En canvi, la segona categoria es

centra en l'ús i localització dins de l'espai. La informació espacial de la segona categoria inclou requisits de representació, com ara habitacions o passadissos i les seves connexions, com per exemple les portes. També pertanyen a la segona categoria serveis de localització en espais tancats, anàlisi de rutes o serveis de geo-tagging<sup>6</sup>.

Enlloc de representar la construcció de components arquitectònics, l'objectiu essencial d'IndoorGML és definir un marc d'informació per a localitzar elements fixes o mòbils i proporcionar serveis d'informació espacial. IndoorGML està orientat a proporcionar les següents funcions:

- ✓ Representació de les propietats de l'espai interior
- ✓ Proporcionar referència espacial de les característiques de l'espai interior

En aquesta primera versió d'IndoorGML proporciona requisits de navegació i control d'emergències en espais interiors. En el futur és previsible que en noves versions s'afegeixin altres aplicacions com per exemple, la gestió d'instal·lacions.

## 2.2 Representació d'objectes a IndoorGML

Per tal d'entendre la filosofia d'IndoorGML cal analitzar una diferència important entre espai interior i espai exterior. En general, un espai interior està format per un conjunt de restriccions, com ara passadissos, portes, escales, ascensors, etc. Per la seva banda, un espai de la xarxa de carreteres presenta un altre conjunt de restriccions, com ara el trànsit. En aquest sentit, cal destacar que una adequada representació de les limitacions interiors és una qüestió clau. IndoorGML considera les limitacions interiors segons els següents aspectes:

- ✓ Espai de cel·les

---

<sup>6</sup> Geo-tagging és el procés d'afegir metadades d'identificació geogràfica a elements multimèdia com ara fotografia o vídeo. Aquestes dades poden ser latitud i longitud, l'altitud, el rumb, distància, etc.

- Representació semàntica
- Representació geomètrica
- Representació topològica
- Representació multicapa

### 2.2.1 Espai de cel·les

Es considera tot el conjunt de l'espai interior com un conjunt de cel·les. Cadascuna d'aquestes cel·les es pot definir com l'espai d'organització més petit (despatxos, sales,...). Així doncs, un espai de cel·les  $S$  es defineix com segueix:

$$S = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, \text{ on } c_i \text{ és la } i\text{-ésima cel·la}$$

Dins l'espai de cel·les cal destacar una sèrie de propietats a tenir en compte. En primer lloc, cada cel·la ha de tenir un identificador (CID), com per exemple un número d'habitació. En segon lloc, cada cel·la pot tenir un límit comú altres cel·les, però no pot solapar-se amb cap altra. En tercer lloc, la posició dins l'espai de cel·les es pot especificar mitjançant l'identificador de cel·la, o també es poden emprar les coordenades  $(x, y, z)$  per tal d'especificar una posició de localització més precisa.

A més, l'espai de cel·les pot incloure informació addicional de la següent manera:

- Semàntica: per exemple, classificació de les cel·les.
- Geomètrica: per exemple, sòlids 3D o superfícies 2D.
- Topologia: per exemple, adjacència i connectivitat.
- Representació multicapa: per exemple, capa Wi-Fi, capa àrees de seguretat.

### 2.2.2 Representació semàntica

Per tal de realitzar la divisió en cel·les indicada anteriorment es poden escollir diferents criteris. Per exemple, la subdivisió de cel·les es pot representar segons la



## Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

topografia de l'edifici, segons xarxes Wi-Fi disponibles o segons les àrees de seguretat, etc. Així doncs, un espai topogràfic es compon de conceptes com: "espai", "porta", "finestra". En un espai Wi-Fi poden existir "Wi-Fi A", "Wi-Fi B", etc. Conseqüentment, un espai de seguretat es pot compondre de "control a la Zona 1", "Zona d'embarcament", "àrees de la tripulació", etc.

A IndoorGML, la semàntica s'utilitza per a proporcionar la identificació d'una cel·la, determinar la connectivitat entre cel·les o determinar la importància de cada cel·la per a la navegació. Per exemple, una classificació molt utilitzada de cel·les en l'espai topogràfic és la divisió en: cel·les navegables (habitacions, passadissos, portes) o cel·les no navegables (obstacles).

D'altra banda, d'acord amb la seva semàntica, les cel·les poden estar organitzades en una estructura jeràrquica d'herència (especialització i generalització). Per exemple, "habitació" és una especialització de "cel·la navegable" i "cel·la no navegable" és una generalització de "murs" i "obstacles" (figura 2).

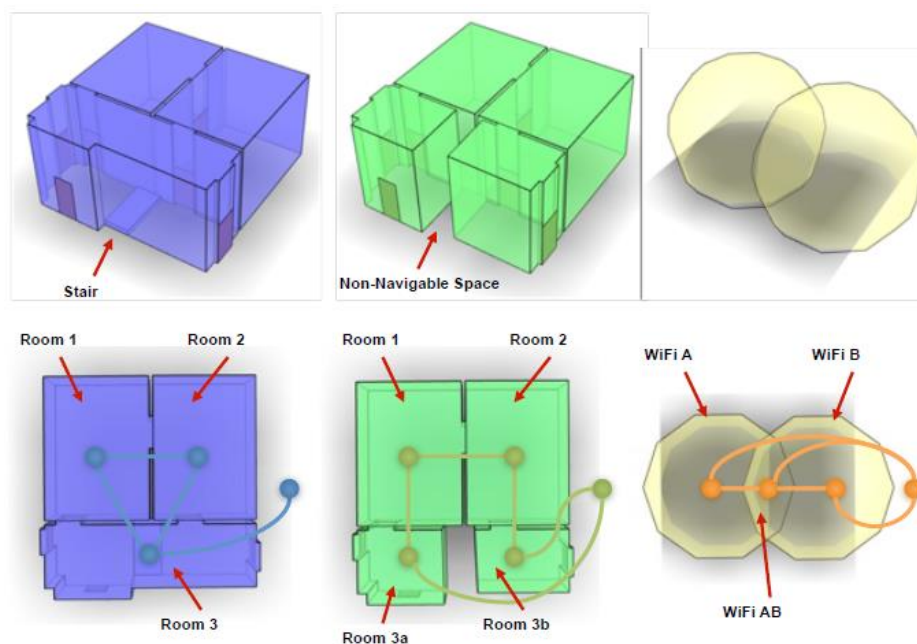


Figura 2: Representació semàntica: espais navegables i no-navegables, divisió d'espais Wi-Fi [1](OGC,2014)

La semàntica també va lligada amb la connectivitat. Per exemple, per ser capaç de passar d'una habitació a una altra, cal saber si hi ha almenys una obertura comuna, però també cal saber si aquesta obertura comuna presenta alguna restricció d'ús, com per exemple l'ample de la porta.

### 2.2.3 Representació geomètrica

La representació geomètrica d'entitats a l'espai interior no és un aspecte rellevant en la filosofia d'IndoorGML. Els aspectes que fan referència a la geometria estan definits en el model ISO 19107<sup>7</sup>, base per als estàndards CityGML, IFC. No obstant això, la geometria de l'objecte 2D o 3D també es pot definir opcionalment en IndoorGML. Per tal de realitzar la representació geomètrica IndoorGML ofereix 3 opcions:

1. Referència externa: En lloc de la representació explícita de la geometria, el document IndoorGML conté enllaços externs a objectes definits en altres conjunts de dades, com ara CityGML. Els objectes externs referenciats inclouen informació geomètrica.

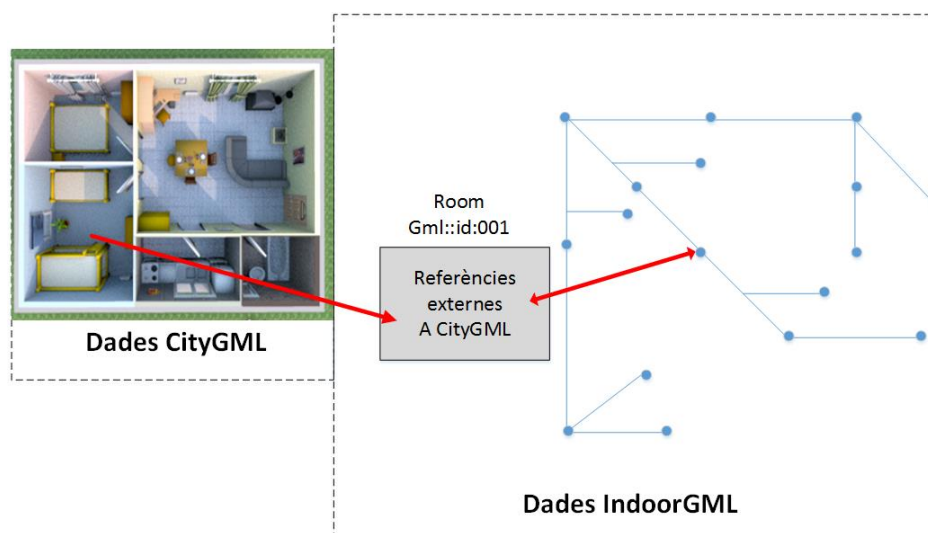


Figura 3: Dades provinents de referències externes, per exemple CityGML

<sup>7</sup> [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=26012](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=26012)

2. Geometria a IndoorGML : la representació geomètrica de la cel·la està inclosa en el document IndoorGML. Es tracta de GM\_Solid quan ens trobem en espais 3D i GM\_Surface quan ens trobem en espais 2D, tal com es defineix en la norma ISO 19107.

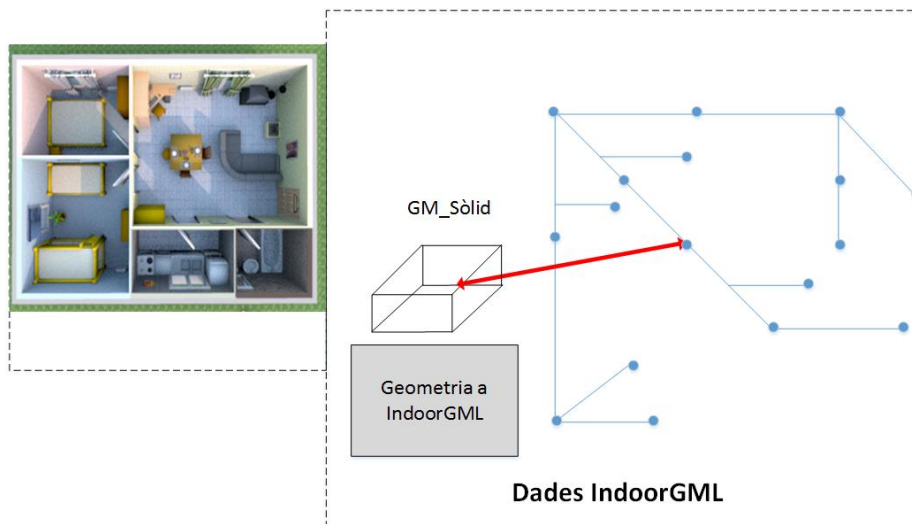


Figura 4: Dades geomètriques dins d'IndoorGML

3.No hi ha geometria: No hi ha informació geomètrica en el document IndoorGML.

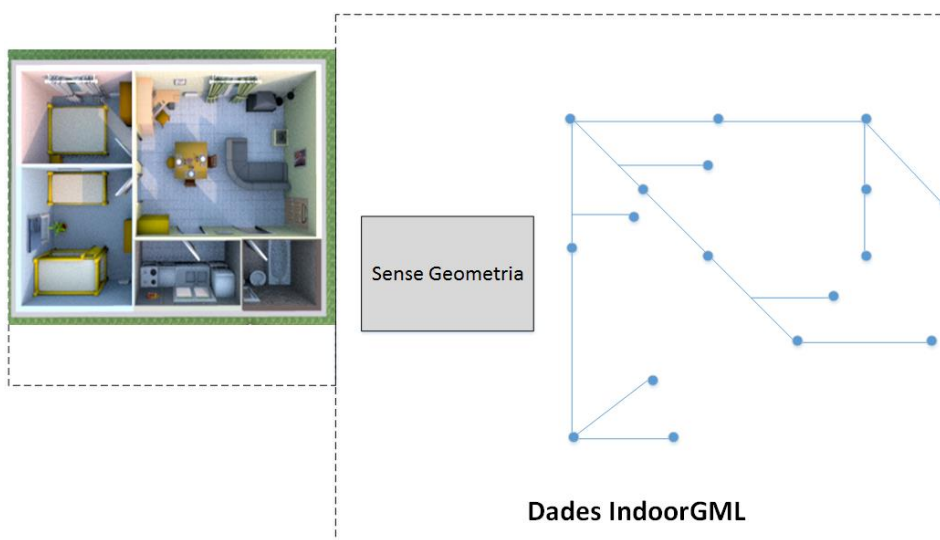


Figura 5: Sense dades geomètriques

### 2.2.4 Representació topològica

Per a representar les relacions topològiques s'utilitza el graf Node-Relacions (NRG). Aquest graf permet simplificar la representació de les relacions topològiques entre els espais, com ara les habitacions d'un edifici. Es pot implementar com un graf que representa l'adjacència i la connectivitat sense tenir directament en compte les propietats geomètriques.

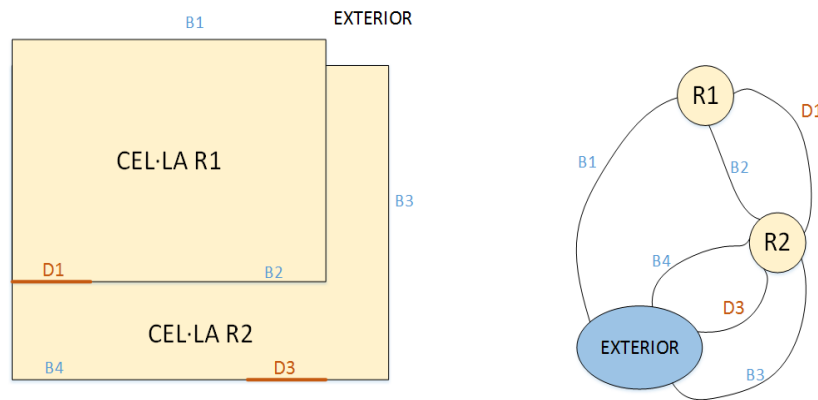
D'acord amb la dualitat de Poincaré<sup>8</sup>, un objecte k-dimensional en un espai primari N-dimensional s'assigna a un objecte tridimensional (N-k) en el espai dual. Així objectes sòlids 3D o superfícies 2D en l'espai primari, són assignats a nodes (0D) en l'espai dual. Superfícies compartides 3D o contorns 2D és transformen en arestes (1D) que connecten dos nodes en espai dual. Els nodes i les arestes en espai dual formen un graf d'adjacència. En aquest graf els nodes i les arestes representen les cel·les i les relacions d'adjacència entre elles respectivament.

El graf d'adjacència  $G_{ADJ}$  es defineix com:

$G_{ADJ} = (V, E_{ady})$ , on  $V$  i  $E_{ady}$  són un conjunt de nodes i arestes en espai dual que representen cel·les i superfícies en 3D o superfícies i contorns 2D de l'espai primari.

---

<sup>8</sup> Una forma de la dualitat de Poincaré va ser establerta primer, sense prova, per **Henri Poincaré** el 1893. Va ser establerta en termes dels nombres de Betti: El k-èsim i (nk) -èssim número de Betti d'una varietat orientable tancada són iguals. [https://es.wikipedia.org/wiki/Dualidad\\_de\\_Poincar%C3%A9](https://es.wikipedia.org/wiki/Dualidad_de_Poincar%C3%A9)



GRAF D'ADJACÈNCIA

Figura 6: 6-a Representació topogràfica espai primari 6-b Graf d'adjacència a l'espai dual [1](OGC,2014)

Si al graf d'adjacència hi afegim informació semàntica, com ara informació sobre les arestes (parets o portes), el graf obtingut rep el nom de graf de connectivitat. Anant més enllà, si sobre aquest graf afegim restriccions de moviment, per exemple, amplada de porta insuficient per l'accés de discapacitats, obtenim un nou esquema anomenat graf d'accessibilitat.

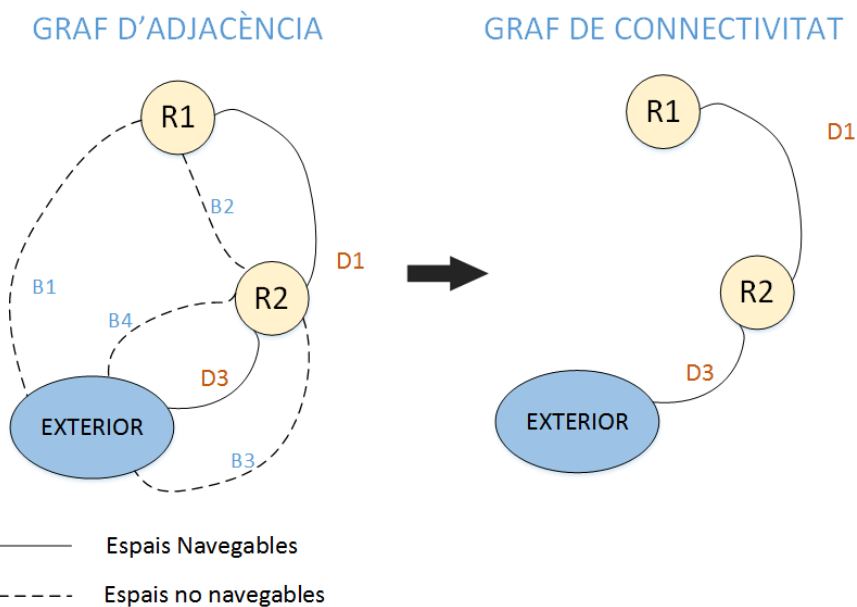


Figura 7: Espai dual: derivació del graf d'adjacència al graf de connectivitat [1](OGC,2014)

Tal com s'ha realitzat anteriorment, es poden definir els grafs de connectivitat i d'accessibilitat:

$\underline{G}_{CON} = (V, E_{CON})$ , on  $V$  és un conjunt de nodes en l'espai dual que representen cel·les i  $E_{CON}$  són arestes en espai dual que representen la connectivitat entre cel·les en l'espai primari.

$\underline{G}_{ACC} = (V, E_{ACC})$ , on  $V$  és un conjunt de nodes en l'espai dual que representen cel·les i  $E_{ACC}$  són arestes en espai dual que representen l'accessibilitat entre cel·les en l'espai primari.

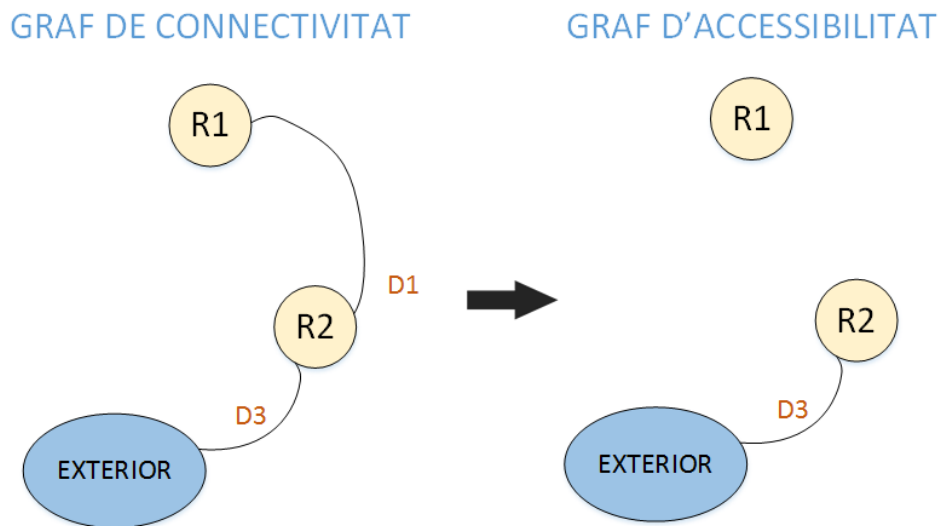


Figura 8: Espai dual: derivació del graf de connectivitat al graf d'accessibilitat [1](OGC,2014)

Existeix un altre model de representació si es considera l'ample dels murs que formen les cel·les. Aquest model s'anomena: *thick wall* (figura 9). En canvi, el model representat en les figures anteriors s'anomena: *thin wall*.

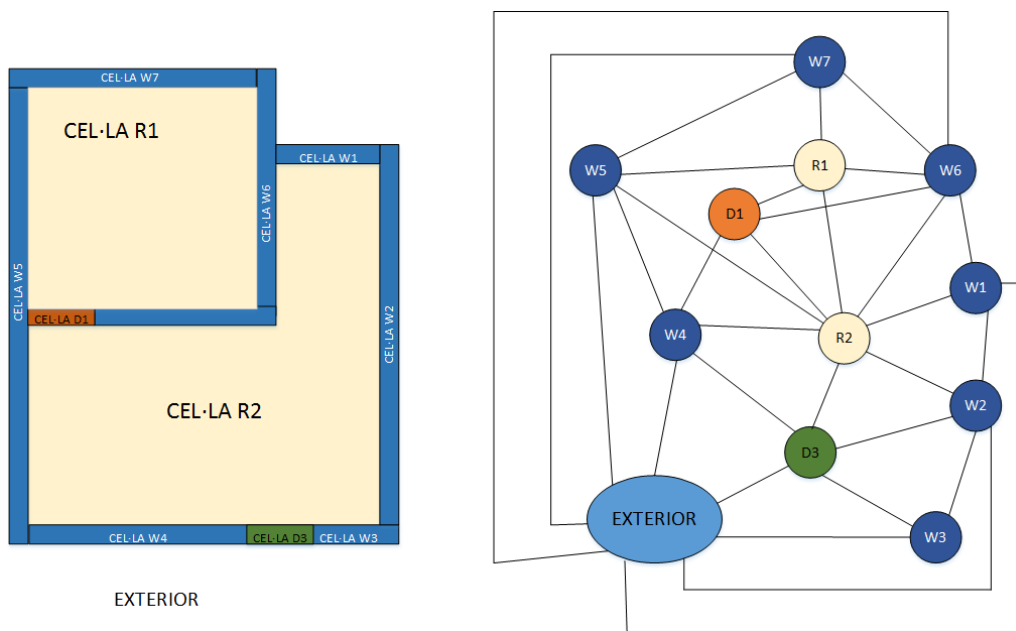


Figura 9: Graf d'adjacència per al model: thick wall [1](OGC,2014)

## 2.2.5 Representació multicapa

Ja hem vist que la representació cel·les pot estar definida segons diferents interessos, com per exemple: representació geomètrica (parets, portes,...), representació segons àrees Wi-Fi, etc. IndoorGML ofereix la possibilitat de representació dels espais de cel·les en diferents capes. Aquesta forma de representació s'anomena *Multiple Layered Space Representation* (MLS). A més, el sistema permet representar les relacions d'herència entre les capes.

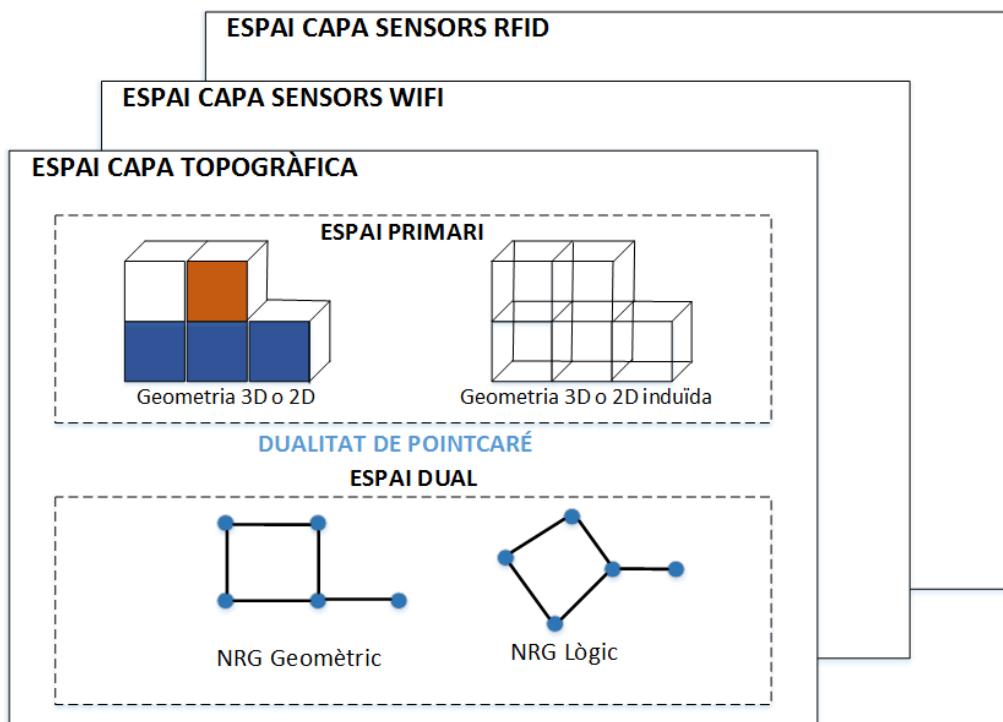


Figura 10: Representació multicapa [1](OGC,2014)

## 2.3 Estructura del model IndoorGML

IndoorGML es basa en dos *frameworks* conceptuals:

- Model d'espai estructurat
- Model d'espai multicapa (*Multi-Layered Space Model*).

### 2.3.1 Model d'espai estructurat

El model d'espai estructurat permet la separació entre espai primari/espai dual i la separació entre geometria/topologia, tal com s'ha explicat en l'apartat de representació topològica.

Seguint aquest model, un node del graf NRG s'anomena estat i una aresta s'anomena transició. L'estat actiu descriu l'àrea espacial on es troba l'objecte en un moment



determinat. Quan l'objecte es mou a una altra àrea o node es parla d'un nou estat actiu. L'aresta de connexió entre el dos nodes representa la transició d'estat.

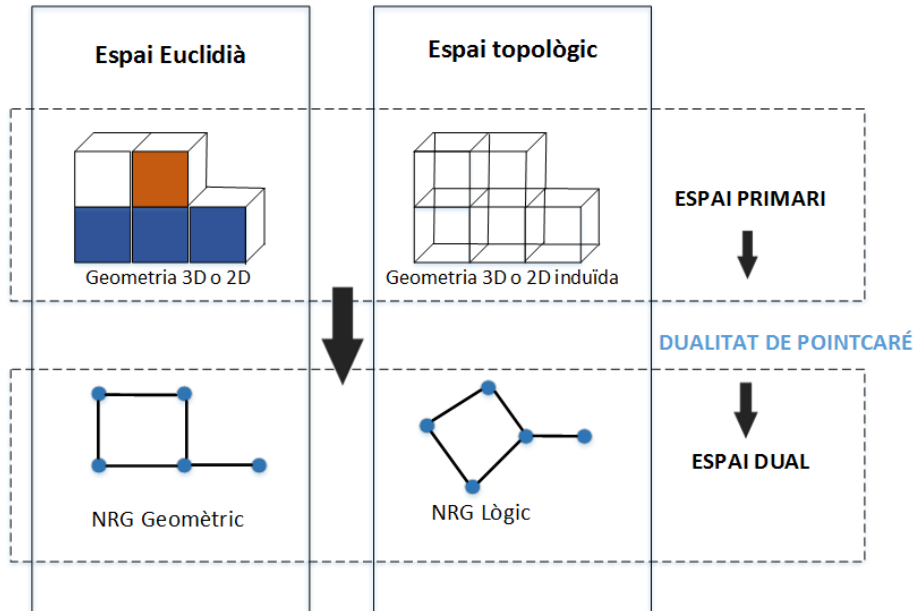


Figura 11: Model d'espai estructurat [1](OGC,2014)

La figura 12 mostra el diagrama UML del model d'espai estructurat. La classe SpaceLayer està composta per les classes Estat i Transició que representen els nodes i les arestes del graf NRG en l'espai dual. Les classes Estat i Transició estan associades (duality) amb les classes CellSpace i CellSpaceBoundary de l'espai primari. Finalment, el diagrama representa la relació externa de les dades geomètriques segons la codificació GML.

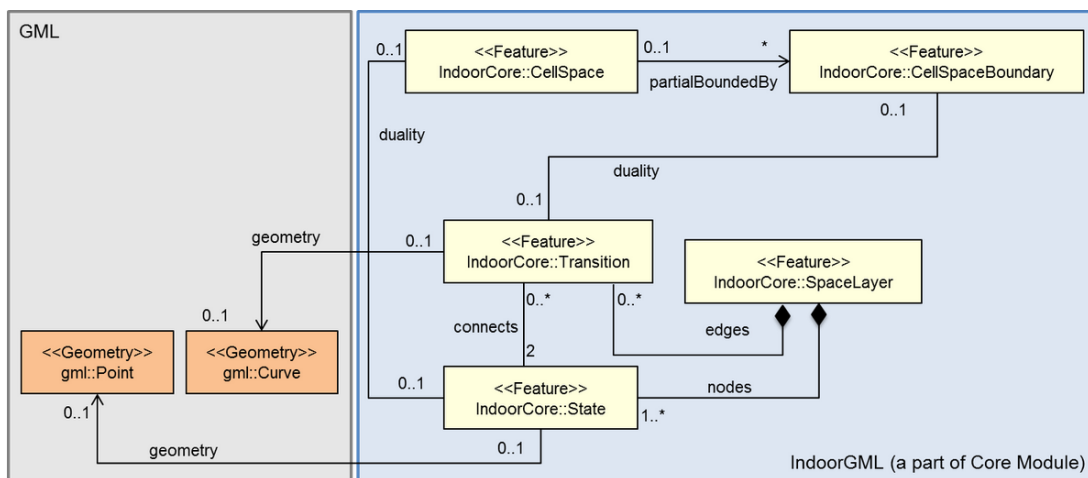


Figura 12: Implementació espai model estructurat [1](OGC,2014)

## 2.3.2 Model d'espai multicapa

El concepte de Model d'Espai Multicapa ofereix un enfocament que combina múltiples estructures espacials per a recollir les diferents interpretacions que proporcionen la informació d'un espai interior.

Aquest model connecta les diverses capes utilitzant relacions entre capes. Per exemple, podrien existir tres capes en un espai, cadascuna d'aquestes capes constitueix un graf NRG. En una capa topogràfica, els nodes representen els possibles estats de navegació d'un objecte que correspon a les cel·les de l'espai primari. Mentre que les vores representen les transicions d'estat; és a dir, el moviment d'un objecte d'un espai a un altre. En una capa sensor, el graf NRG conté una estructura lleugerament diferent. Els nodes representen de nou les cel·les (per exemple, tot l'espai de cobertura d'un transmissor Wi-Fi), mentre que les arestes representen la transició d'un espai a un altre. Existeix la possibilitat de combinar els grafos de cada capa en un únic graf amb diverses capes.

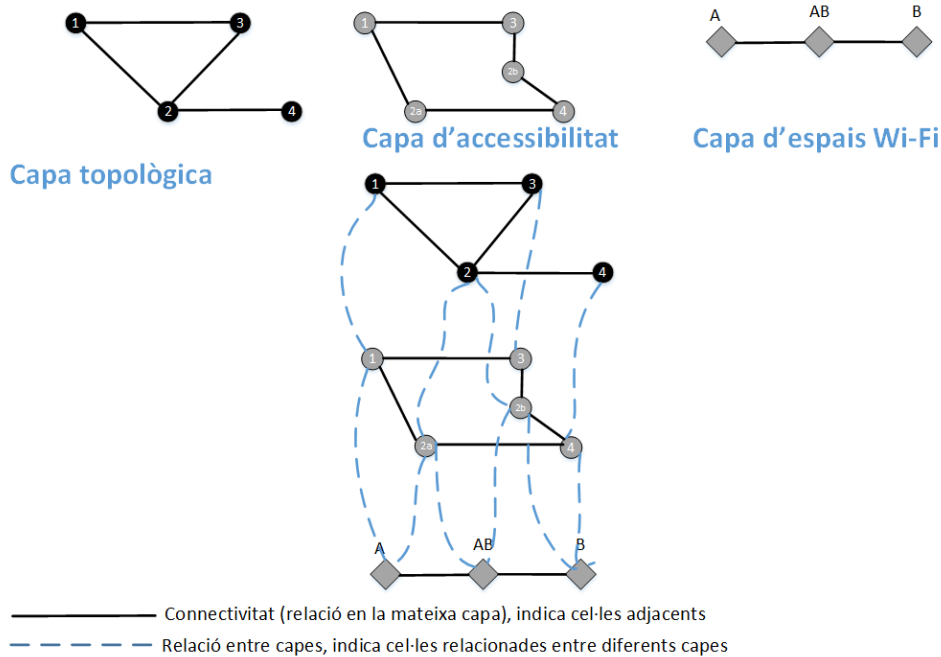


Figura 13: Representació de les relacions entre capes a l'espai dual [1](OGC,2014)

## Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

La representació UML d'aquest model està formada per la classe SpaceLayer que representa cadascuna de les capes de l'espai (capa topogràfica, capa de sensors, etc.). Aquesta capa està composta per un conjunt d'objectes d'estat i transició. Les relacions entre capes s'apliquen mitjançant la classe InterLayerConnection. Cadascuna de les instàncies d'aquesta classe representa la relació entre dues cel·les de diferents capes. La classe MultiSpaceLayer és una agregació de SpaceLayer i, a la vegada, és una composició de la classe InterLayerConnection.

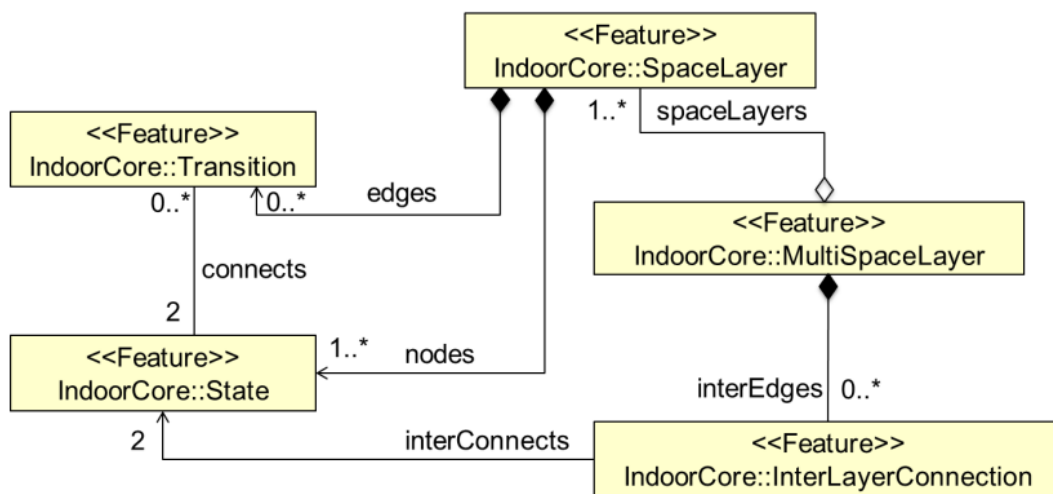


Figura 14: Implementació del model d'espai multicapa [1](OGC,2014)

```
<stateMember>
  <State: gml:id="S192">
    <name>S192</name>
    <connects gml:id="CON192">
      <transitionMember xlink:href="#T193"></transitionMember>
      <transitionMember xlink:href="#T194"></transitionMember>
    </connects>
    <geometry>
      <gml:point gml:id="P192">
        <gml:pos>46.071538115183 23.556190157366</gml:pos>
      </gml:point>
    </geometry>
  </State>
</stateMember>
```

Figura 15: Exemple d'una instància de la classe State [3](i-Locate project,2014)

```
<transitionMember>
  <Transition: gml:id="T193">
    <name>T193</name>
    <weight>1</weight>
    <start xlink:href="#S191"></start>
    <end xlink:href="#S192"></end>
  </Transition>
</transitionMember>
```

```

    <gml:LineString gml:id="LS193">
      <gml:pos>46.071550185123 23.556140536500</gml:pos>
      <gml:pos>46.071538115183 23.556190157366</gml:pos>
    </gml:LineString>
  </geometry>
</Transition:>
</transitionMember>

```

Figura 16: Exemple d'una instància de la classe Transition [3] (i-Locate project,2014)

```

<MultiLayeredGraph gml:id="MG1">
  <spaceLayers gml:id="SL1">
    <spaceLayerMember>
      <SpaceLayer gml:id="IS1">
        <nodes gml:id="N1">
          <stateMember>
            <State gml:id="R1">
              <gml:name>002</gml:name>
              <duality xlink:href="#C1" />
              <connects xlink:href="#T0"/>
              <connects xlink:href="#T1"/>
              <geometry>
                <gml:Point gml:id="P1">
                  <gml:pos>445536.4 5444906.2 -2.02</gml:pos>
                </gml:Point>
              </geometry>
            </State>
          </stateMember>
          <stateMember>
            ...
          </stateMember>
          <stateMember>
            ...
          </stateMember>
        </nodes>
        <edges gml:id="E1">
          <transitionMember>
            <Transition gml:id="T0">
              <weight>1</weight>
              <connects xlink:href="#R1"/>
              <connects xlink:href="#R3"/>
              <geometry>
                <gml:LineString gml:id="LS0">
                  <gml:pos>445536.490 5444906.248 -2.02</gml:pos>
                  <gml:pos>445537.914 5444904.590 -2.02</gml:pos>
                  <gml:pos>445538.543 5444902.273 -2.02</gml:pos>
                </gml:LineString>
              </geometry>
            </Transition>
          </transitionMember>
          <transitionMember>
            ...
          </transitionMember>
          <transitionMember>
            ...
          </transitionMember>
        </edges>
      </SpaceLayer>
    </spaceLayerMember>
  </spaceLayers>
</MultiLayeredGraph>

```

Figura 17: Exemple d'una instància de la classe MultiSpaceLayer

## 2.4 Referències externes

Tal com s'ha comentat en apartats anteriors l'objectiu principal d'IndoorGML és crear un espai topològic de representació. Per tant, una codificació IndoorGML no hauria de contenir geometries. De fet, una de les funcionalitats d'IndoorGML és proporcionar un mètode per a referenciar un objecte del conjunt de dades extern. Aquestes dades poden provenir d'altres estàndards com ara CityGML o IFC. En la figura 18 es representa esquemàticament la capa topogràfica amb referències externes:

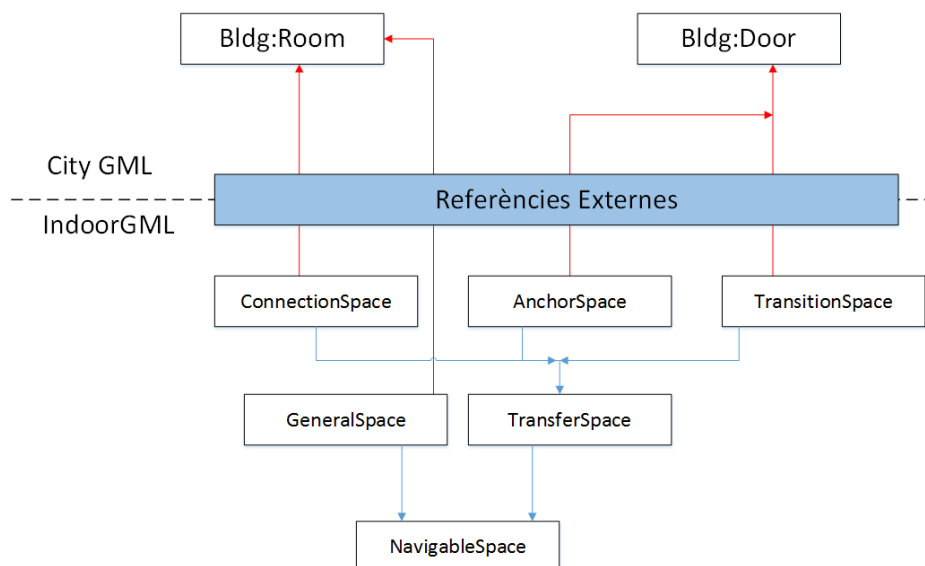


Figura 18: Exemple de referències externes a CityGML[1] (OGC,2014)

```

<externalReference>
  <informationSystem>FJK-Haus-LoD4-V3.gml</informationSystem>
  <externalObject>
    <name>GMLID_BUI6147_355_7717</name>
  </externalObject>
</externalReference>
    
```

Figura 19: Exemple d'instància de referència externa

## 2.5 Connexió entre espais exteriors i espais interiors

La connexió d'espais interiors i exteriors és un requeriment essencial per a la navegació. IndoorGML proporciona la possibilitat de connexió entre espais interiors i exteriors mitjançant la definició d'elements topològics addicionals en el límit entre

ambdós espais. És evident que cada espai interior conté almenys una entrada que pot ser utilitzada per connectar l'interior amb l'exterior. A IndoorGML, el concepte "entrada" es representa com un node especial del graf topològic. Aquest node s'anomena Anchor Node. Aquest node diferencia de la resta perquè conté els atributs necessaris que han de permetre la conversió de dades entre espais interior i exterior. Alguns d'aquests atributs poden ser:

- Referències a la xarxa de transport
- Paràmetres de conversió de dades per aquells casos en que l'espai interior utilitza coordenades relatives.

### 2.6 Divisió d'espais

Els espais interiors sovint presenten estructures jeràrquiques. En algunes ocasions, pot ser interessant la descomposició de l'espai interior en aquestes estructures jeràrquiques. Per exemple, un passadís es pot dividir per representar amb més precisió les seves propietats o senzillament perquè els diferents usos de l'espai ho aconsellen. IndoorGML recull la possibilitat de dividir els espais en espais més petits o subespais segons les necessitats de l'usuari.

### 2.7 Model de dades

El model de dades d'IndoorGML es divideix en 2 mòduls:

#### **IndoorGML core:**

El mòdul core o nucli defineix els components bàsics del model de dades IndoorGML. Inclou les definicions de l'esquema de classes de les cel·les, l'espai dual i el model multicapa.

#### **IndoorGML navigation:**

El mòdul de navegació defineix l'extensió semàntica del mòdul core per a la navegació en interiors. En aquest mòdul es defineix l'esquema de classes de navegació.

### 2.7.1 IndoorGML core

La figura 20 representa el diagrama UML del mòdul core basat en múltiples capes. Aquest model de dades defineix les classes i les relacions necessàries per descriure la representacions geomètriques i topològiques de cada capa en els espais primari i dual.

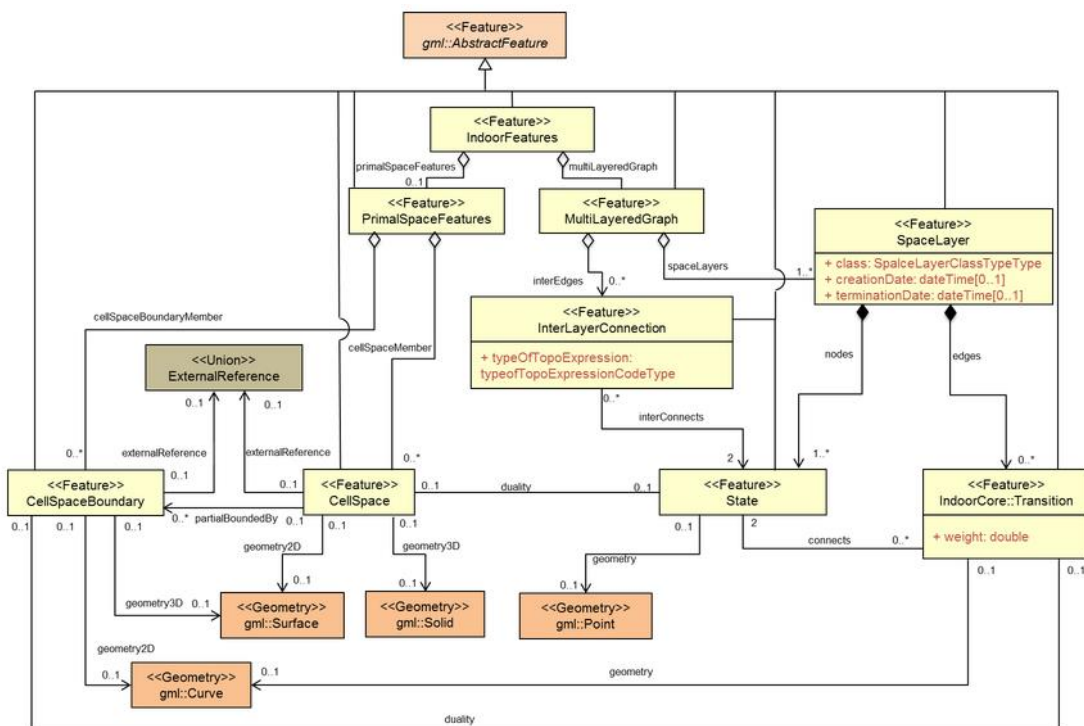


Figura 20: Diagrama UML del mòdul IndoorGML core [1](OGC,2014)

En la següent taula es descriuen cadascuna de les classes que defineixen el model de nucli:

CLASSE	DESCRIPCIÓ
<b>&lt;State&gt;</b>	La classe State representa un node en l'espai dual. Per a la seva representació geomètrica s'utilitza un punt. Presenta una associació amb la classe CellSpace anomenada <i>duality</i> . També està associada amb la classe Transició a través de l'associació <i>connects</i> .
<b>&lt;Transition&gt;</b>	Els objectes de la classe Transition són arestes que representen la relació d'adjacència i la connectivitat entre els nodes. Aquesta classe sempre connecta dos estats. Es representa geomètricament com una corba. La relació <i>connects</i> associa amb les 2 instàncies de la classe State. La relació <i>duality</i> representa l'associació amb la classe CellSpaceBoundary.
<b>&lt;CellSpace&gt;</b>	La classe CellSpace és essencial per a la representació d'un espai interior. Conté les propietats dels atributs espacials i representacions geomètriques de l'espai. CellSpace també conté referències a objectes en cas de fonts de dades externes. La representació geomètrica a l'espai primari és referenciada per XLink. Cada instància de la classe CellSpace està associat amb un objecte de geometria que pot representar-se 2D i 3D.
<b>&lt;CellSpaceBoundary&gt;</b>	La classe CellSpaceBoundary s'utilitza per descriure semànticament el límit de cada cel·la en l'espai. La relació <i>externalReference</i> s'utilitza per a la referència l'objecte en cas de fonts de dades externa.
<b>&lt;SpaceLayer&gt;</b>	La classe SpaceLayer representa cadascuna de les capes espacials, com ara topografia, sensors,



	<p>espai de seguretat, etc. La classe SpaceLayer presenta una relació d'agregació amb les classes State i Transition que s'associen directament amb les corresponents classes de geometria (nodes i arestes).</p>
<b>&lt;InterLayerConnection&gt;</b>	<p>La classe InterLayerConnection representa les relacions entre States en capes (SpaceLayers) diferents.</p>
<b>&lt;MultilayeredGraph&gt;</b>	<p>La classe MultilayeredGraph és un element clau del mòdul nucli d'IndoorGML s'utilitza per representar l'espai del model en l'espai multicapes. Presenta una relació d'agregació amb les classes SpaceLayers i InterLayerConnections. La classe MutliLayeredGraph conté tots els nodes (States) de totes les <math>n</math> capes (SpaceLayers), però separats en <math>n</math> particions connectades per la classe Transition.</p>
<b>&lt;PrimalSpaceFeatures&gt;</b>	<p>La classe PrimalSpaceFeatures representa els diferents usos de l'espai primari.</p>
<b>&lt;IndoorFeatures&gt;</b>	<p>La classe IndoorFeatures és l'element arrel del mòdul nucli d'IndoorGML.</p>

Taula 2: Classes del mòdul IndoorGML core

### 2.7.2 IndoorGML navigation

El mòdul Indoor Navigation proporciona informació semàntica per donar suport a les aplicacions de navegació interior. Les classes d'aquest mòdul es poden classificar en dos grups:

NavigableSpace: representa tot espais (per exemple, habitacions, passadissos, escales, finestres) que poden ser utilitzats per una aplicació de navegació.

NavigableSpaceBoundary: representa totes els elements connecten la navegació (per exemple, portes).

L'objectiu d'aquest mòdul és descriure els elements del mòdul core necessaris per a la navegació d'interiors. S'inclou adreçament i esquemes de georeferenciació, conceptes sobre la comunicació i la visualització de seccions de ruta navegables i la introducció de restriccions de navegació addicionals( per exemple, horaris d'obertura).

La figura 21 representa el diagrama UML del model de dades del mòdul de navegació . El model de dades defineix les classes i les relacions necessàries.

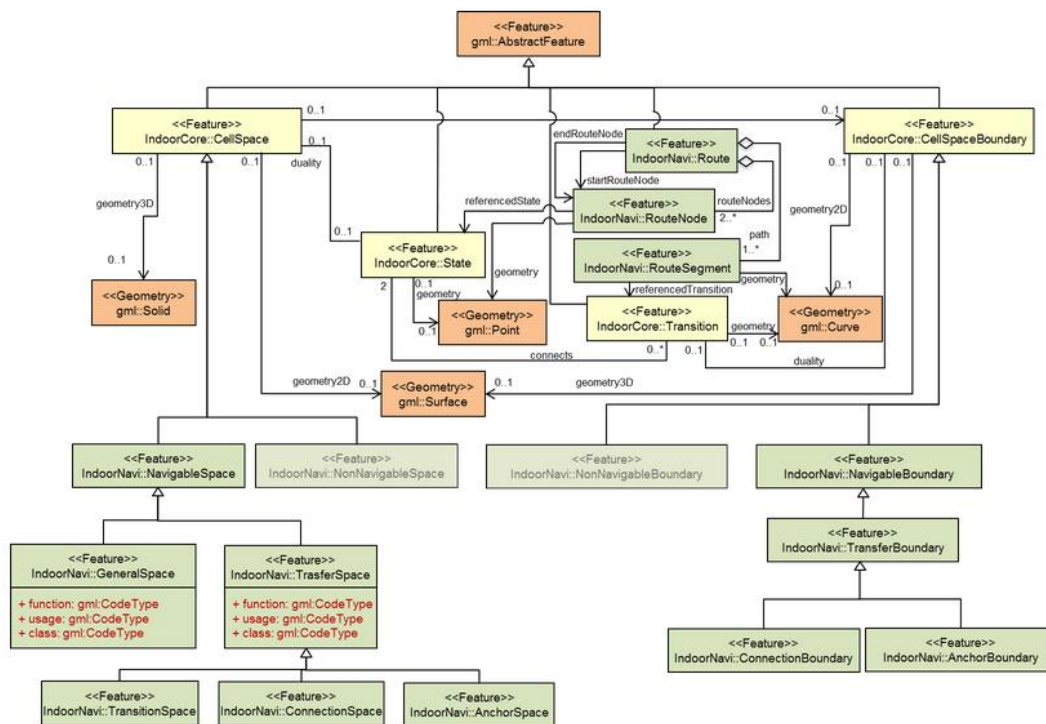


Figura 21: Diagrama UML del mòdul IndoorGML navigation [1](OGC,2014)

Per tal d'associar les característiques d'un espai interior a les classes del mòdul de navegació els diferents espais s'han de classificar segons funcions i/o usos. Cada classe d'aquest model conté els atributs necessaris per a realitzar les classificacions. Per tal d'evitar errors de codificació, IndoorGML ofereix llistes de codis que

## Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

especifiquen quins han de ser els valors dels atributs, com per exemple tipus de classes d'espai, tipus de funcions i tipus d'ús.

Tal com s'ha realitzat en l'apartat anterior, en la següent taula es descriuen cadascuna de les classes que defineixen el model de navegació:

CLASSE	DESCRIPCIÓ
<b>&lt;NavigableSpace&gt;</b>	La classe NavigableSpace conté els espais en que els usuaris es puguin moure lliurement. Presenta una relació d'herència amb dues subclasses GeneralSpace i TransferSpace. Segons la finalitat de l'espai els objectes d'aquesta classe estaran inclosos en una de les dues subclasses indicades. Espais com ara passadís, vestíbul, etc. es representen en aquesta classe.
<b>&lt;NonNavigableSpace&gt;</b>	La NonNavigableSpace representa l'espai que està ocupat pels obstacles. Com a exemple, en un model de dades 3D, una paret és un objecte d'aquesta classe.
<b>&lt;GeneralSpace&gt;</b>	Els objectes d'aquesta classe són tots els espais navegables, excepte els objectes de la classe següent (TransferSpace). Com a exemple d'objectes d'aquesta classe: despatxos, sales, terrasses.
<b>&lt;TransferSpace&gt;</b>	Els objectes que pertanyen a aquesta classe són els passatges entre els espais generals. La classe està especialitzada en 3 subclasses ConnectionSpace, AnchorSpace i TransitionSpace.
<b>&lt;ConnectionSpace&gt;</b>	Els objectes d'aquesta classe són els que representen un espai d'obertura que proporciona passatges entre espais, per exemple una porta.

<b>&lt;AnchorSpace&gt;</b>	La classe AnchorSpace representa l'espai d'obertura especial que proporciona una connexió entre l'espai interior i l'espai exterior. Es refereix, doncs, a les portes d'entrada dels edificis. Els objectes d'aquesta classe s'utilitzen com a punt de control per a les integracions interior/exterior.
<b>&lt;TransitionSpace&gt;</b>	La classe TransitionSpace representa els espais que proporcionen moviment, com ara passadissos, escales, etc.
<b>&lt;NavigableBoundary&gt;</b>	La classe es defineix com el límit del NavigableSpace incloent el límit del AnchorSpace i ConnectionSpace.
<b>&lt;TransferBoundary&gt;</b>	La classe TransferBoundary és una subclasse NavigableBoundary. S'utilitza per modelar els límits entre NavigableSpace. La classe presenta una relació d'especialització amb 2 subclasses ConnectionBoundary i AnchorBoundary.
<b>&lt;ConnectionBoundary&gt;</b>	Representa els límits que connecten 2 NavigableSpace adjacents.
<b>&lt;AnchorBoundary&gt;</b>	Representa els límits que connecten 2 NavigableSpace amb l'exterior.
<b>&lt;RouteNode&gt;</b>	La classe representa els nodes associats amb una ruta de navegació. Conté una relació d'associació amb la classe State.
<b>&lt;RouteSegment&gt;</b>	Representa les relacions de connectivitat entre espais. Es poden representar com a arestes entre les instàncies de la classe RouteNode. Un objecte d'aquesta classe està relacionat amb 2 objectes de la classe RouteNode que representen la posició inicial i final.

<b>&lt;Route&gt;</b>	La classe Route representa una possible ruta de navegació. La ruta està formada per una sèrie de RouteNodes.
----------------------	--

*Taula 3: Classes del mòdul IndoorGML navigation*

### 3. OpenStreetMap

OpenStreetMap<sup>9</sup> és un mapa mundial lliure i editable construït a partir de dades de domini públic de multitud de fonts. Es troba disposició de qualsevol usuari d'acord amb una llicència de codi obert. Des de la seva fundació, el 22 d'agost de 2006, OpenStreetMap s'ha convertit en un gran recurs per a les dades de mapes de lliure accés. Utilitza dades procedents de dispositius GPS mòbils, ortofotografies i moltes altres fonts. Amb més de 2,4 milions d'usuaris registrats<sup>10</sup>, OSM s'ha convertit en una alternativa als proveïdors comercials de mapes.

La base del seu model de dades és bastant simple. Bàsicament, està formada per la utilització dels elements de base següents:

- Nodes (“*nodes*”): elements puntuals
- Vies (“*ways*”): elements en forma de línia (o polígon) que defineixen les característiques lineals o límits del contorn.
- Relacions (“*relations*”): elements relacionals que connecten tots els tipus d'elements que presenten alguna característica comuna.
- Etiquetes (“*tags*”): sistema d'etiquetatge consistent en la definició d'atributs dels elements segons el model clau-valor.

Els nodes d'OSM (*nodes* en la figura 22) s'utilitzen per representar les característiques de punts. Aquests poden ser aïllats o formar part d'una via de la xarxa. Els nodes inclouen un identificador i els valors de coordenades (longitud i latitud). A més, es complementen amb informació a través de l'ús d'etiquetes i relacions que connecten el node amb altres elements.

---

<sup>9</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>

<sup>10</sup> <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Stats>, consultat a l'abril de 2016

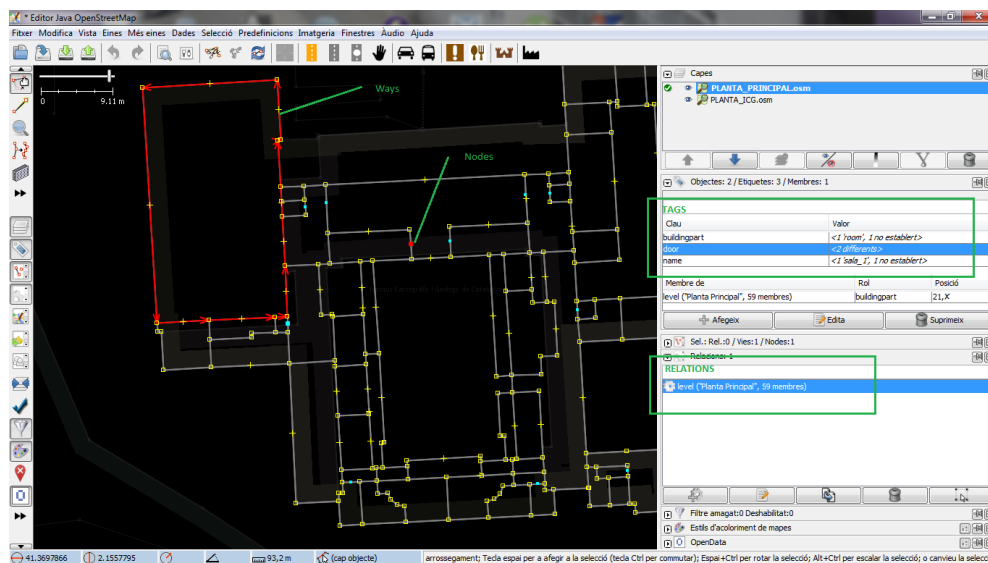


Figura 22: Elements base d'OpenStreetMap

Les vies (*ways* en la figura 22) representen els esquemes lineals. Per exemple, poden representar una única entitat de línia que connecta dos nodes o ser part d'una entitat més complexa que connecta un gran nombre de nodes com ara, els límits d'un polígon que defineix una línia de metro. Quan el primer i últim node en el camí són el mateix, es denominen vies tancades. Es diferencien d'altres vies segons les etiquetes i relacions que incloguin. Existeix la possibilitat de combinar les relacions de forma múltiple, de tal forma que una mateixa via pot pertànyer a diferents relacions.

Les relacions (*relations* en la figura 22) són elements de dades que proporcionen informació entre altres elements. OSM considera diversos tipus de relacions, que es defineixen a través de l'ús d'etiquetes i el seu contingut. Per exemple, l'etiqueta "tipus" descriu la naturalesa de la relació. Les relacions poden ser col·leccions d'elements, com ara una llista de nodes o vies. A més, també ofereixen la possibilitat de cobrir restriccions, com per exemple en el cas de restriccions de gir entre vies. Finalment, es poden expressar com a combinacions de múltiples vies per a la descripció de les característiques poligonals més complexes.

En darrer terme, les etiquetes (tags en la figura 22) ajuden a definir amb major detall tots els aspectes de cada element. Aquestes segueixen el model clau/valor. Per tant, consten d'una clau que descriu la categoria d'informació i un valor que qualifica la informació.

Pel que fa a l'esquema de dades, OSM està disponible en format .osm (és a dir, format XML). Normalment, els arxius XML s'acompanyen d'un arxiu XSD (*XML Schema Definition*) que descriu el contingut esperat de l'arxiu XML segons el model. No obstant això, a diferència d'altres models de dades basats en XML com ara el detallat IndoorGML o CityGML, OSM no disposa de cap esquema XSD oficial.

Les dades d'OSM en el format XML estàndard són directament accessibles a partir de l'API d'OSM. A part de la utilització directa de l'API, els usuaris també poden exportar dades des del seu lloc web <http://www.openstreetmap.org/>. A més, OSM disposa d'una eina client d'edició, Java OpenStreetMap (JOSM) que permet la descàrrega, l'edició i la posterior càrrega a la base de dades d'OSM. Encara que presenta algunes limitacions en quan a la grandària de la zona que es pot descarregar.

### 3.1 Indoor OpenStreetMap

En els darrers anys, per tal de donar resposta el creixent interès sobre el mapes *indoor* es va crear una part del projecte diferenciada de l'anterior totalment focalitzada en la representació i l'etiquetatge d'espais interiors: IndoorOSM<sup>11</sup>.

El concepte d'IndoorOSM es basa en la definició d'un model que cobreix gairebé tots els aspectes necessaris per a la representació de les característiques interiors i exteriors d'un edifici. La proposta consisteix en una extensió de l'esquema d'OSM

---

<sup>11</sup> <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/IndoorOSM>



etiquetatge, definint l'ús de primitives (nodes, vies tancades, organitzats jeràrquicament sota una estructura de relacions ) i etiquetes. S'incorporen noves claus per tal de definir un mètode coherent de descripció d'un edifici. En la figura 23 es mostra el model que pretén aconseguir IndoorOSM.

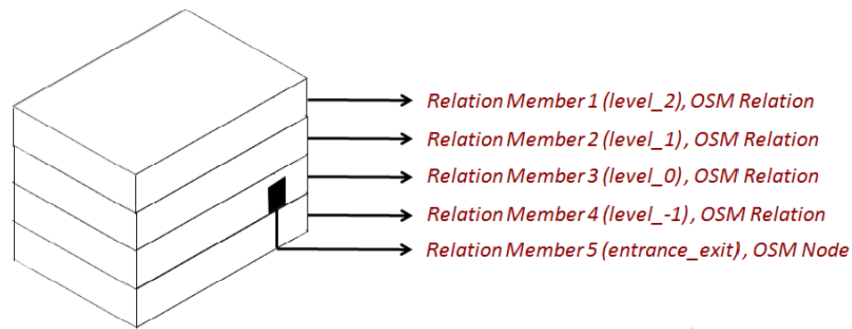


Figura 23: Esquema de representació d'un edifici segons IndoorOSM [10]

## 4. Comparació teòrica IndoorOSM/IndoorGML

Tenint en compte que la major part de la implementació pràctica del projecte està desenvolupada segons la plataforma OpenStreetMap, en aquest apartat s'analitzen les característiques comunes i les diferències entre IndoorGML i el model de dades d'IndoorOSM. L'objectiu que es pretén assolir és definir i identificar els punts comuns entre ambdós models per tal de configurar alguns paràmetres de conversió d'IndoorOSM a IndoorGML.

Tal com ja s'ha esmentat, els següents conceptes formen part del nucli de IndoorGML:

Conceptes	
Espai de cel·les	Representació multicapa
Representació geomètrica	Subespais
Representació topològica	Connexió entre interiors i exteriors
Representació semàntica	Referències externes

Pel que fa al model OSM es tracta d'un concepte molt més simple, basat en l'ús combinat de les següents dades bàsiques:

Elements	
Nodes	Relacions
Vies	Etiquetes

### 4.1 Espai de cel·les

Espai de cel·les representa la descomposició d'un espai interior en cel·les espacials petites que ni es superposen ni es creuen. Una diferència clau entre IndoorGML i IndoorOSM és que la segona no presenta un enfocament basat en l'espai cel·les similar. Efectivament, els elements node i via a IndoorOSM es poden interseccionar i/o

superposar-se sense cap problema. Les possibles raons d'aquest funcionament són el contingut més generalitzat de dades d'IndoorOSM, juntament amb el major marge d'error que generalment es considera acceptable en informació geogràfica voluntària. Arran d'això, el concepte d'espai cel·lular no és directament transferible a IndoorOSM.

### 4.2 Representació geomètrica i topològica

Tal com s'ha esmentat en l'apartat 1.2.3, IndoorGML ofereix tres opcions per a la representació geomètrica dins el model de dades:

- Referència externa
- Geometria a IndoorGML
- No hi ha geometria

OSM és una plataforma de mapes d'ús general que requereix una representació geomètrica en les seves bases de dades. Per tant, la geometria provinent d'OSM es pot incorporar directament a IndoorGML. Ara bé, cal tenir en compte les limitacions d'OSM, ja que es tracta principalment una plataforma orientada a la representació 2D. D'altra banda, no es podria considerar l'opció amb referències externes, perquè el suport per a la referència externa d'OSM és molt limitat en comparació amb IndoorGML. A més, cal tenir en compte els dos models de representació d'IndoorGML: *thick wall* i *thin wall*. És evident que tenint en compte les limitacions de la representació en IndoorOSM seria molt complexe obtenir el model *thick*.

Pel que fa a la representació topològica de les dades, IndoorOSM està ben equipat per cobrir aquesta representació a IndoorGML. Atès que les característiques d'IndoorOSM consisteixen essencialment en punts i elements lineals, les relacions Node/State i Via/Transition demanades per l'espai dual són possibles. En aquest sentit, les instàncies de la classe State d'IndoorGML poden ser cobertes per les característiques dels nodes d'OSM, mentre que les instàncies de la classe Transition estan coberts per vies d'IndoorOSM. No obstant això, cal assenyalar que les vies

d'OSM són en realitat molt més complexes que la classe Transition d'IndoorGML, atès que poden consistir en múltiples arestes que connecten diversos nodes.

Finalment, una possible solució per a cobrir les mancances de la representació 3D del model OSM seria etiquetar cadascuna de les vies que representen espais amb una etiqueta "*height*".

### 4.3 Representació semàntica

A IndoorGML les propietats semàntiques estan emmagatzemades en les funcions SpaceLayer. A més de proporcionar dades addicionals, aquesta informació semàntica és útil per l'assignació del mòdul core al mòdul de navegació. Un altre element important de la informació semàntica són les restriccions. Es tracta, per exemple, de restriccions d'accés en temps i/o dimensions físiques. El concepte de restricció defineix limitacions que es poden assignar a les classes CellSpace i CellSpaceBoundary.

Hi ha diferències significatives en el tractament de la informació semàntica en IndoorGML i OSM. Tal com s'ha comentat en l'apartat 3, OSM utilitza un ample conjunt de parells de clau i valor a través del seu sistema d'etiquetatge lliure. Aquest sistema d'etiquetatge no només s'utilitza per proporcionar atributs de característiques. Es poden representar vies tancades per tal de definir addicionalment contorns o àrees, incloent representacions en 2D de característiques com ara edificis, parts d'edificis, habitacions, etc. Els nodes poden definir-se com indicadors importants de punts per a la representació d'elements com entrades d'edificis, portes, etc. Les relacions sovint deriven funcionalitat de l'addició d'una clau "tipus" que defineix amb més precisió el contingut i la finalitat de la relació.

És evident, que amb un esquema d'etiquetatge totalment lliure, les possibilitats d'extensió de OSM són pràcticament il·limitades. Ara bé, aquest és un punt en contra de l'estandardització. Arran d'això, la solució passa per escollir un etiquetatge de característiques que cobreixi la major part de la informació semàntica estàndard disponible a IndoorGML Core, IndoorGML Navigation i les seves restriccions. Cal fer-ho a través de l'ús d'etiquetes OSM ben establertes. Una opció adequada és garantir la interoperabilitat utilitzant els atributs addicionals definits en la llista de codis de la pàgina oficial d'IndoorGLM<sup>12</sup>.

### 4.4 Representació Multicapa (MLESM)

IndoorGML està basat en el concepte del *Multi-Layered Space Model* que permet la representació simultània de diferents capes d'informació en un únic conjunt de dades. El gran avantatge d'aquest enfocament és que permet la definició de varies capes semàntiques. Un benefici addicional és la capacitat per establir connexions entre elements que pertanyen a diferents capes.

Per contra, a OSM només hi ha una capa de dades singular que cobreix la representació completa de totes les funcions. En intentar migrar dades OSM a IndoorGML, caldrà tenir en compte les diferents capes que han de formar la representació MLSEM.

Una possible solució passa per crear múltiples elements OSM disposats en diferents capes. Com a resultat d'això, es disposaria de diversos elements superposats amb diferent etiquetatge exclouent entre si. D'altra banda, les connexions entre capes poden ser definides a través de la utilització de les relacions d'OSM. Ara bé, aquesta estratègia

---

<sup>12</sup> La llista completa d'aquests codis es troba: <http://docs.opengeospatial.org/is/14-005r3/14-005r3.html>  
Annex D:Example of CodeList

de transformació només té sentit quan el conjunt de dades IndoorGML tindrà un nombre petit de capes. En cas contrari l'elevat nombre de dades superposades que caldria manejar no estaria a l'abast de la majoria d'editors d'OSM.

### 4.5 Subespais

Tal com s'ha indicat anteriorment, la noció d'espai de cel·les, tal com es defineix a IndoorGML no es pot migrar adequadament a OSM. A més, el concepte de subespais d'IndoorGML definit com a divisió d'espais en subconjunts més petits no és una funció que es pot fer directament a l'OSM. Per tant, és un concepte que, en cas de ser necessari, caldrà resoldre una vegada les dades hagin estat migrades a IndoorGML.

### 4.6 Connexió espais interiors i exteriors (*Anchor Node*)

Les principals funcions de l'*Anchor Node* són definir el sistema de coordenades utilitzat dins el conjunt de dades IndoorGML i els paràmetres de transformació necessaris per a projectar-los a altres sistemes de coordenades. De tal forma que es proporcionin un punt de connexió entre els conjunts de dades en interiors i exteriors.

Les dades OSM es basen en el sistema de coordenades WGS84/EPSSG 4326. Les dades IndoorGML poden utilitzar un sistema de coordenades absolut (per exemple, EPSG: 31468) o un sistema de coordenades relatiu. Els paràmetres de transformació s'emmagatzemen en l'*Anchor Node*. Atenent a que disposem de les coordenades de cadascun dels nodes OSM, un sistema de transformació podria considerar l'*Anchor node* com el centre de coordenades relatives de les dades IndoorGML. Evidentment, l'etiquetatge del node hauria d'incloure els paràmetres de transformació.

Per tal d'assolir la connectivitat, des d'un punt de vista semàntic, cal etiquetar el node a OSM com a "*entrance*". No obstant això, és important assenyalar que l'etiqueta de

"entrance" té algunes limitacions que també eviten que correlació directa. L'etiqueta de "entrance" només es pot utilitzar per descriure una característica de node i ha de formar part del contorn exterior de l'edifici.

Una altra opció més senzilla, seria utilitzar les coordenades de cadascuna dels elements d'IndoorOSM per a definir les coordenades de l'espai de cel·les a IndoorGML, tenint en compte que no pot existir cap superposició.

### 4.7 Referències externes

Les referències externes a IndoorGML s'utilitzen per a vincular directament les característiques del conjunt de dades IndoorGML a altres conjunts de dades, com un arxiu o CityGML IFC. En aquest cas, les referències van incloses dins les dades OSM, per tant les dades quedaran totalment integrades en el procés de transformació.

### 4.8 Conclusió de la relació teòrica OSM/IndoorGML

Com a resum de cadascun dels conceptes enumerats en l'apartat anterior en la taula 3 es mostra un resum que relaciona els conceptes d'IndoorGML amb els elements d'OSM.

IndoorGml	OpenStreetMap elements			
	Nodes	Vies	Relacions	Etiquetes
Espai de cel·les				
Representació geomètrica	X	X		
Representació topològica	X	X	X	
Representació semàntica			X	X

## Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

<b>Representació de multicapa</b>	X	X	X	X
<b>Connexió entre interiors i exteriors</b>	X			X
<b>Referències externes</b>				

*Taula 4: Comparació teòrica elements OSM, conceptes IndoorGML [13](George Mouratidis,2015).*



## 5. Indoor Maps

En aquest apartat s'inicia la part més pràctica del projecte. Un dels requeriments del projecte era considerar la possibilitat de realitzar l'estudi sobre un edifici real, preferentment públic. Finalment seguint aquesta premissa s'ha escollit l'edifici de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya situat al Parc de Montjuïc de la ciutat de Barcelona.

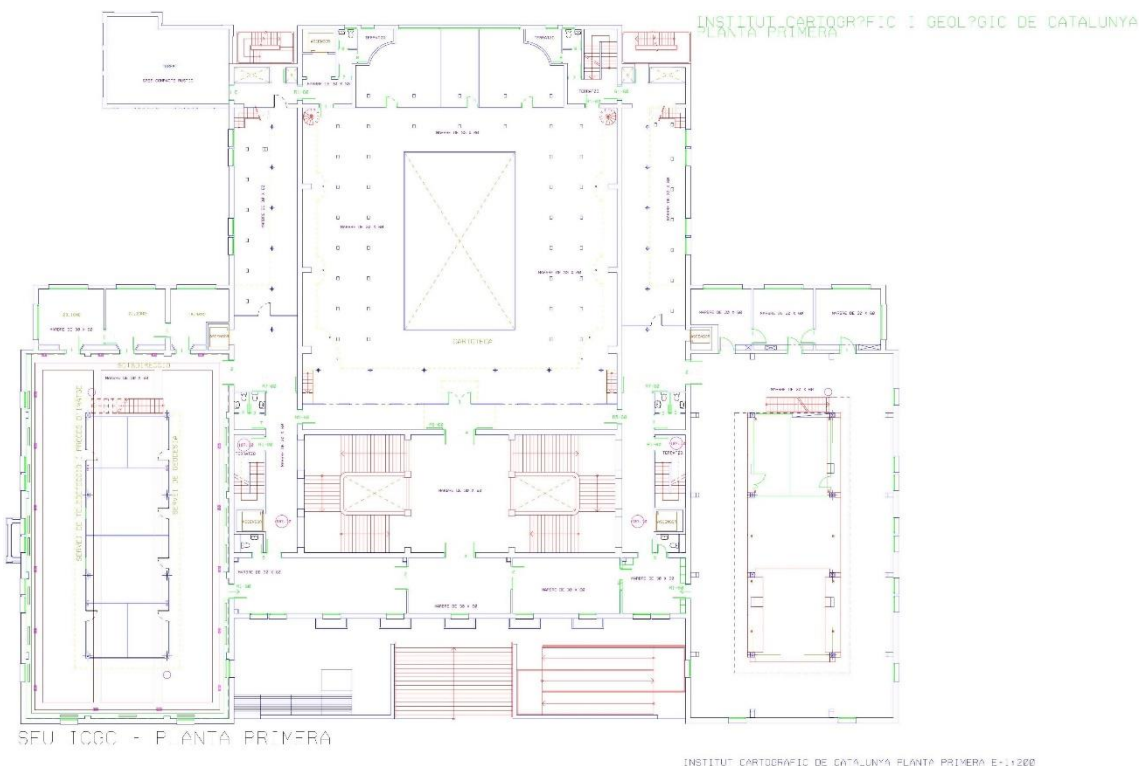


Figura 24: Plànol Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Planta Primera

### 5.1 Implementació d'IndoorOSM sobre el plànol del projecte

L'eina escollida per a realitzar el mapa *indoor* de l'edifici i el graf de navegació ha estat OpenStreetMap. Més concretament s'han seguit les pautes que marca IndoorOSM <sup>13</sup>.

<sup>13</sup> <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/IndoorOSM>

En aquest subapartat, es descriuen cadascun dels passos necessaris per tal de realitzar el mapa *indoor* de l'edifici.

### **Codificació dependències i plantes:**

En la taula 5 es mostra la nomenclatura escollida per a codificar les diferents plantes i dependències (despatxos, passadissos, escales,...) que componen l'edifici:

Elements	Noms
<b><u>Levels</u></b>	
Planta Principal	Level_0
Planta Principal Altell	Level_1
Planta Primera	Level_2
Planta Primera Altell	Level_3
Planta Àtic	Level_4
<b><u>Buildingpart</u></b>	
Dependències	Sales, oficines, lavabos, magatzems, terrasses
	Buildingpart: room
	Door: * (ex: yes, double)
	Name:* (ex: magatzem_PPRIM_AL_1)
Passadissos	Passadissos
	Buildingpart: corredor
	Door: * (ex: yes, double)
	Name:* (ex: passadis_PPRIN_AL_1)
Esales	Esales
	Buildingpart: verticalpassage
	Buildingpart:verticalpassage:stairs
	Name:* (ex:escales_PPRIN_AL_1)
	buildingpart:verticalpassage:floorrange: * (ex: 0 to 2)
Ascensors	Ascensors
	Buildingpart: verticalpassage
	Buildingpart:verticalpassage:elevator
	Name:* (ex:ascensor_PPRIN_AL_1)
	buildingpart:verticalpassage:floorrange: * (ex: 0 to 2)

Taula 5: Codificació seguida per al mapeig de l'edifici

## **Modelatge de l'edifici (relació principal):**

Cada edifici es representa com una relació que engloba les relacions que componen cadascuna de les plantes de l'edifici. A més, aquesta relació proporciona informació addicional sobre l'edifici com ara població, adreça, nom, alçada, etc. Les relacions “member” (és a dir, les relacions filles) de la principal corresponen a les diferents plantes de l'edifici. És a dir, per a cada planta de l'edifici hi ha una relació “member”. El nivell del sòl és sempre el “level\_0”. Les entrades/sortides també s'assignen com a membres de relació (nodes individuals). En la figura 25 es mostra la part del fitxer xml final que representa la relació de modelatge de l'edifici.

```
<relation id='-4020' action='modify' visible='true'>
  <member type='relation' ref='-4014' role='level_4' />
  <member type='relation' ref='-4008' role='level_3' />
  <member type='relation' ref='-4012' role='level_2' />
  <member type='relation' ref='-4018' role='level_1' />
  <member type='relation' ref='-4016' role='level_0' />
  <tag k='addr:city' v='Barcelona' />
  <tag k='addr:country' v='ES' />
  <tag k='addr:district' v='Sants-Montjuic' />
  <tag k='addr:housenumber' v='s/n' />
  <tag k='addr:street' v='Parc de Montjuic' />
  <tag k='building' v='yes' />
  <tag k='building:levels' v='5' />
  <tag k='building:max_level' v='4' />
  <tag k='building:min_level' v='0' />
  <tag k='buildingpart:condition' v='good' />
  <tag k='height' v='12' />
  <tag k='name' v='Institut cartogràfic i geològic de Catalunya' />
  <tag k='type' v='building' />
</relation>
```

Figura 25: Relació modelatge de l'edifici en el plànol de l'ICG

## **Modelatge de les diferents plantes:**

Cada planta de l'edifici s'assigna com una relació d'OSM. La relació és de tipus “level” (“nivell”). Els membres d'aquestes relacions són elements d'OSM (nodes, vies o relacions) que representen les diferents dependències de cada planta (habitacions, passadissos, etc.). A més, també es proporciona informació general sobre la planta com ara nom, l'ús, l'alçada, etc. Finalment, s'inclou en la relació una via tancada per representar el contorn (“shell”) de la planta. En la figura 26 es mostra la part del fitxer

.xml que representa la relació de modelatge d'una planta (en aquest cas el nivell 1 corresponent a la Planta Primera Altell).

```
<relation id='-9120' action='modify' visible='true'>
  <member type='way' ref='-9119' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9108' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9112' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9116' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9113' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9117' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9104' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9114' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9105' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9110' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9115' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9109' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9106' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9111' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9107' role='buildingpart' />
  <member type='way' ref='-9118' role='buildingpart' />
  <tag k='level' v='1' />
  <tag k='level:usage' v='varis' />
  <tag k='name' v='Planta Primera Altell' />
  <tag k='type' v='level' />
</relation>
```

*Figura 26: Relació modelatge de la planta primera altell en el plànol de l'ICG*

### **Modelatge de les dependències de l'edifici:**

Les diferents dependències es modelen com a vies tancades. Mentre que altres parts, com ara portes o finestres, es representen com a nodes individuals amb informació addicional sobre l'amplada, l'alçada, accessibilitat, etc. A més, és possible afegir més informació sobre elements de construcció, usos, etc. En la figura 27 es mostra la part del fitxer xml que representa la relació de modelatge d'una dependència (en aquest cas es tracta d'una oficina de la planta principal que s'ha etiquetat com a "oficina\_PPRIN\_5").

```
<way id='-9471' action='modify' visible='true'>
  <nd ref='-9398' />
  <nd ref='-9375' />
  <nd ref='-9333' />
  <nd ref='-9357' />
  <nd ref='-9398' />
```

```
<tag k='buildingpart' v='room' />
<tag k='door' v='double' />
<tag k='name' v='oficina_PPRIN_5' />
</way>
```

Figura 27: Relació modelatge d'una oficina planta principal en el plànol de l'ICG

### Modelatge de connexió entre pisos:

Una qüestió crucial sobre l'assignació d'interior d'un edifici són les connexions verticals entre els diferents nivells (connectors verticals). Les “*buildingparts*” que representen una connexió vertical han de ser assignades com:

```
buildingpart : verticalpassage.
```

És a dir, cada ascensor, cada àrea d'escala o escala mecànica de cada planta s'assignaran com una via tancada. Per a proporcionar informació sobre quin tipus de “*verticalpassage*” es tracta, s'utilitza la següent etiqueta:

```
buildingpart:verticalpassage= * (escala, ascensor, escala mecànica)
```

L'etiqueta “*floorange*” indica l'interval de pisos als que està connectat verticalment:

```
buildingpart:verticalpassage:floorange = *
```

La figura 28 mostra la part del fitxer xml que representa la relació de modelatge d'un element de connexió entre plantes (en aquest cas es tracta d'unes escales de la planta principal que s'han etiquetat com a “*escales\_PPRPIN\_6*”).

```
<way id='-3988' action='modify' visible='true'>
  <nd ref='-3416' />
  <nd ref='-3604' />
  <nd ref='-3572' />
  <nd ref='-3482' />
  <nd ref='-3490' />
  <nd ref='-3500' />
  <nd ref='-3416' />
  <tag k='buildingpart' v='verticalpassage' />
  <tag k='buildingpart:verticalpassage' v='stairs' />
  <tag k='buildingpart:verticalpassage:floorange' v='0 to 1' />
  <tag k='name' v='escales_PPRIN_6' />
</way>
```

Figura 28: Relació modelatge d'un element de connexió entre pisos en el plànol de l'ICG

# Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

Finalment, cal afegir en cadascuna de les dependències etiquetades com a “verticalpassage” un node. En aquest node s'indica (segons la etiqueta connector:ids) les connexions amb els nodes de les altres plantes. La figura 29 mostra la part del fitxer xml que representa la relació de modelatge d'un node de connexió entre pisos.

```
<node id='-9362' action='modify' visible='true' lat='41.36986803922' lon='2.15550388783'>  
  <tag k='connector:ids' v='11859,10899,9233' />  
  <tag k='door' v='yes' />  
</node>
```

Figura 29: Definició d'un node de connexió entre pisos en el plànol de l'ICG

La figura 30 mostra el resultat final del modelatge de l'edifici seguint les directrius d'IndoorOSM.

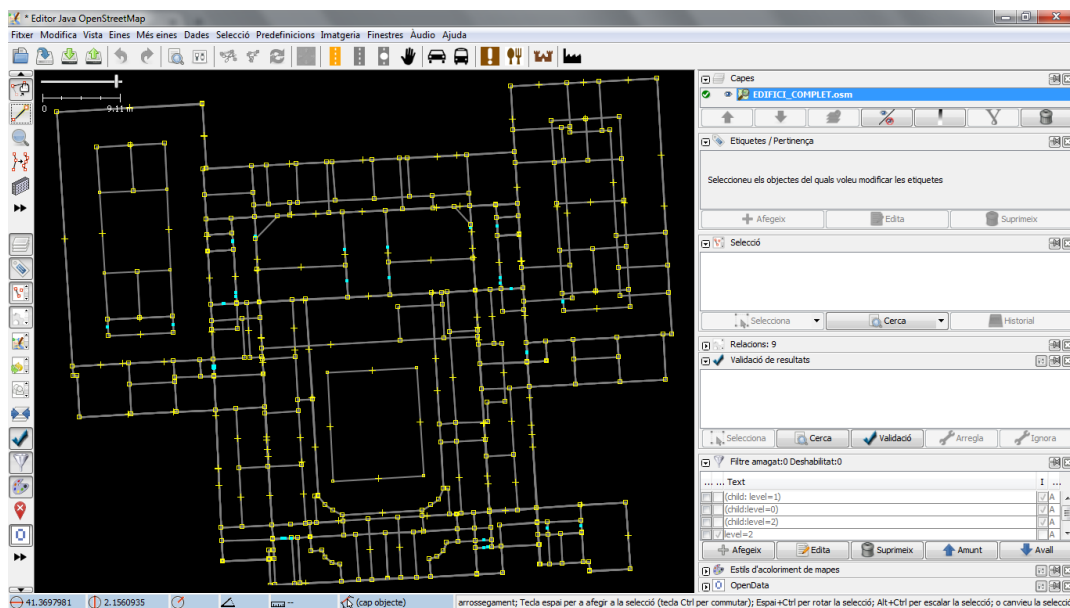


Figura 30: Mapeig complet de l'edifici de l'ICGC

## 5.2 Generació del graf de navegació amb OpenStreetMap sobre el plànol del projecte

El graf de navegació es genera a partir del modelatge de l'edifici. Per a generar-lo, s'ha utilitzat el mateix editor Java OpenStreetMap (JOSM) i s'han seguit les pautes marcades pel treball de Nair Isabel Braga Simões Alves [14] . Els arxius .osm de cadascuna de les plantes obtinguts en l'apartat anterior s'han utilitzat com a guia per a la generació del graf.

El graf de navegació es compon de nodes i vies. Cadascuna de les dependències (oficines, sales, escales,...) s'assigna a un node, definit aproximadament en el seu centre. Posteriorment, es connecten tots els nodes utilitzant vies.

Tots els objectes gràfics han estat etiquetats amb parells clau/valor segons els criteris de la taula 6:

Elements	Noms
<b><u>Nodes</u></b>	
Room	Sales, oficines, lavabos, magatzems, terrasses
	Buildingpart: room
	Name:* (ex: oficina_ATIC_1)
	Level: * (ex: 4)
Corridor	Passadissos
	Buildingpart: corredor
	Level: * (ex: 2)
Elevator	Ascensors
	Buildingpart: verticalpassage
	Name:* (ex: ascensor_ATIC_1)
	Level: * (ex: 0)
Stair	Escales
	Buildingpart: verticalpassage
	Name:* (ex: escales_ATIC_1)

## Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

	Level: * (ex: 1)
Entrance	Entrada principal
	Buildingpart: entrance
	Name:* Entrada Principal
	Level: 0
<b><u>Vies</u></b>	
Footway	Connexió entre dependències
	Highway: footway
	Level: * (ex: 1)
Elevator	Connexió entre ascensors
	Highway: elevator
	Oneway: no
Stairs	Connexió entre escales
	Highway: steps
	Oneway: no

Taula 6: Codificació seguida per a generar el graf de navegació

S'han considerat les mateixes 5 plantes (0-4) que en el modelatge de l'edifici. Per a codificar ascensors i escales s'ha assignat un node que representa l'entrada a cadascuna de les escales i ascensors. Per tant, cada ascensor i cada escala està formada íntegrament per un conjunt d'arestes que defineixen els camins entre diferents plantes. Per tal d'assignar ascensors i escales s'utilitza l'etiqueta “*highway*” :*elevator* o “*highway*” :*steps*, respectivament. En les figures 31a i 31b es mostren exemples dels grafs resultants per a un dels ascensors i una de les escales, respectivament.

Al final del procés, s'ha obtingut un graf de navegació de l'edifici complet amb totes les plantes connectades. El gràfic conté la xarxa amb tots possibles camins per a la navegació a l'interior de l'edifici. Com en l'apartat anterior la informació resultant generada és un arxiu .osm. La figura 32 mostra el diagrama final considerant totes les plantes.



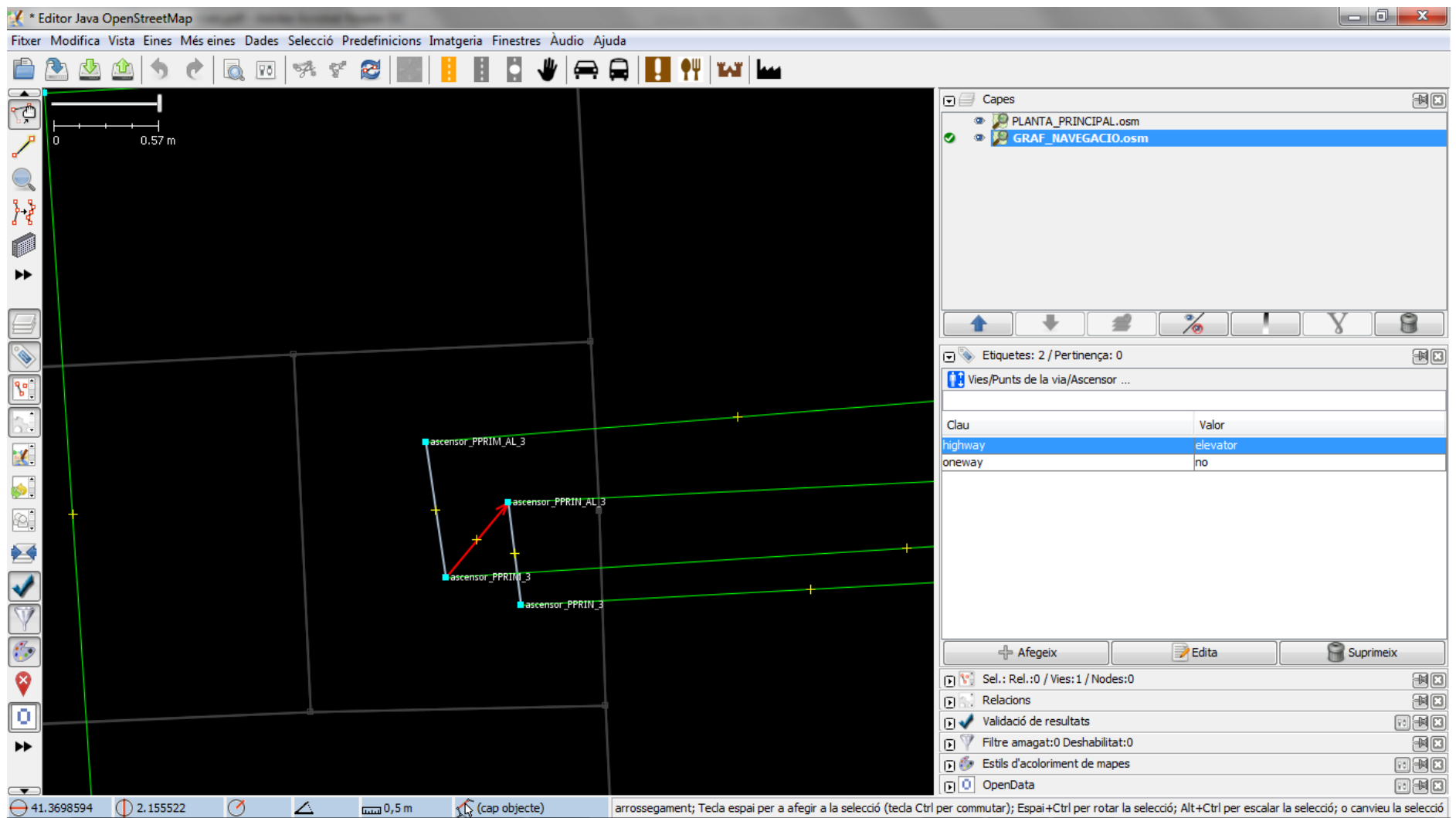


Figura 31a: Graf de navegació per un ascensor

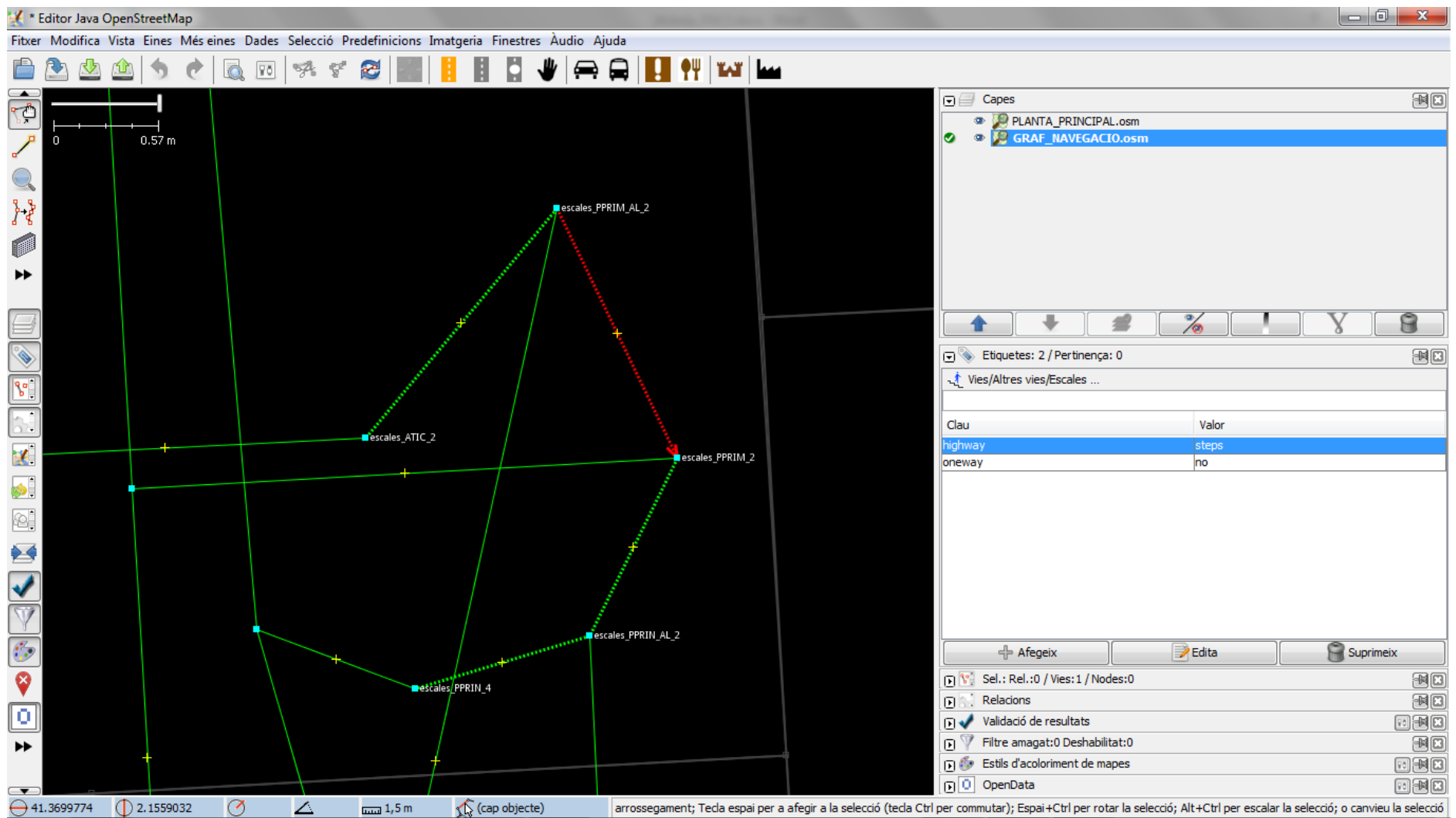


Figura 31b: Graf de navegació per unes escales

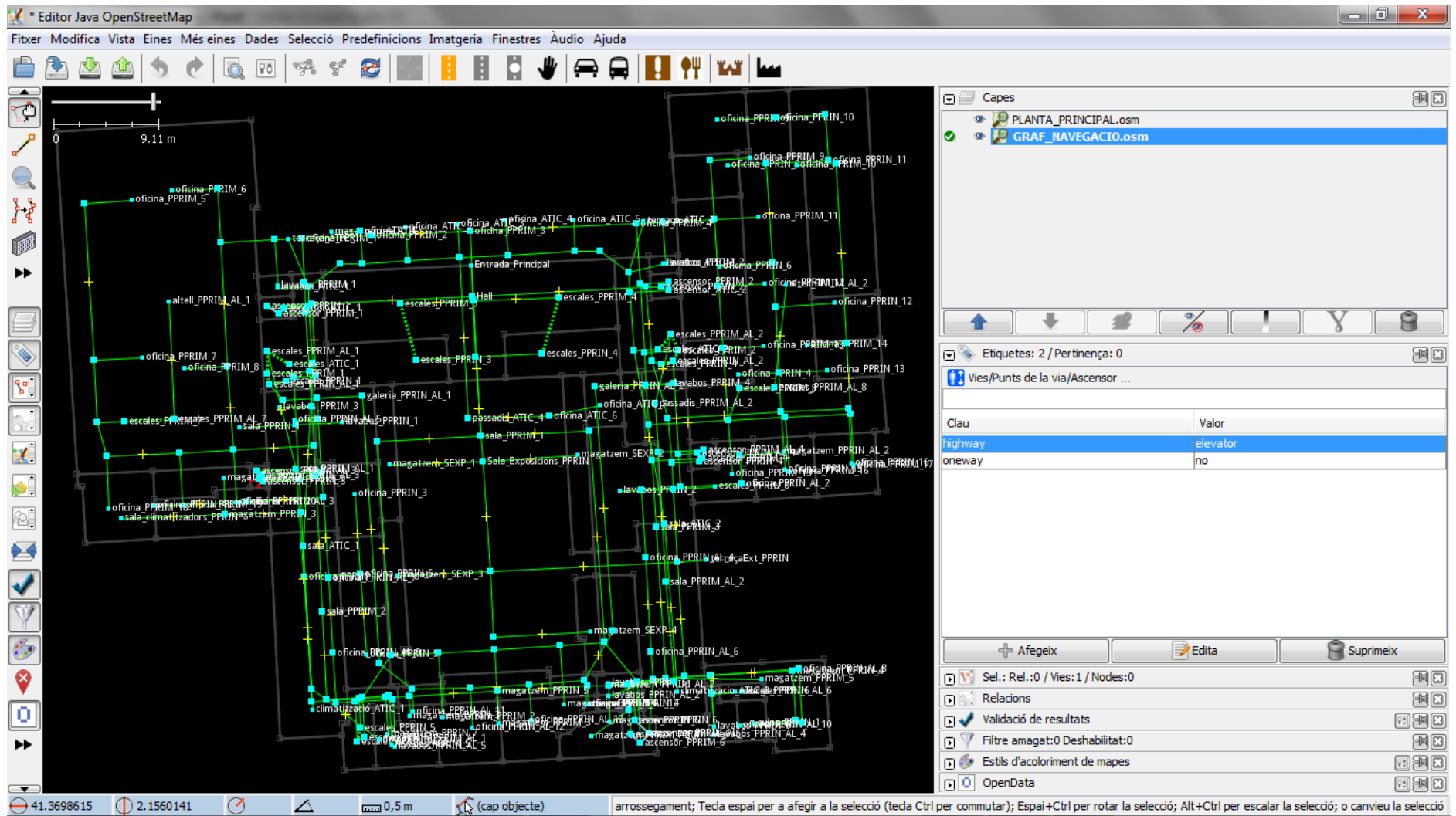


Figura 32: Graf de navegació de tot l'edifici

A mode d'exemple, en la figura 33 es mostra una part del fitxer .osm generat amb el graf de navegació.

```
<node id='-550' action='modify' visible='true' lat='41.36986349477'
lon='2.15549879075'>
  <tag k='buildingpart' v='verticalpassage' />
  <tag k='level' v='0' />
  <tag k='name' v='ascensor_PPRIN_3' />
</node>
<node id='-552' action='modify' visible='true' lat='41.36986502867'
lon='2.1555362647'>
  <tag k='buildingpart' v='corridor' />
  <tag k='level' v='0' />
</node>
<node id='-554' action='modify' visible='true' lat='41.37014378015'
lon='2.15596755679'>
  <tag k='buildingpart' v='room' />
  <tag k='level' v='0' />
  <tag k='name' v='oficina_PPRIN_9' />
</node>
<way id='-556' action='modify' visible='true'>
  <nd ref='-50' />
  <nd ref='-48' />
  <tag k='highway' v='footway' />
  <tag k='level' v='4' />
</way>
<way id='-558' action='modify' visible='true'>
  <nd ref='-24' />
  <nd ref='-54' />
  <tag k='highway' v='footway' />
  <tag k='level' v='4' />
</way>
```

Figura 33: Part del fitxer .osm generat

### 5.3 Aplicació web sobre el plànol del projecte

En aquest apartat es detallen els passos seguits per a la visualització en un navegador web del mapa *indoor* i el graf de navegació de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Val a dir que les dades necessàries han estat extretes del modelatge realitzat amb OSM descrit en els apartats 5.1 i 5.2. En la primera part de l'apartat es descriuen les eines escollides per a realitzar la implementació. Posteriorment, es detallen les diferents fases que s'han necessitat per a dur a terme la implementació.

Actualment existeixen diferents eines de tractament de mapes. Després d'una primera fase de recerca, finalment s'han escollit les eines MapBox<sup>14</sup> i Leaflet<sup>15</sup>. Ambdues han estat escollides bàsicament per la seva condició d'*opensource*.

### 5.3.1 MapBox

Mapbox és un gran proveïdor de mapes en línia personalitzats per a llocs web com ara Foursquare, Pinterest, Evernote, Financial Times, The Weather Channel i Uber Technologies. Va ser creat com a eina per l'elaboració de mapes sense ànim de lucre. Darrerament, concretament des del 2010, s'ha expandit ràpidament com a eina per a la realització de mapes personalitzats. Mapbox ha contribuït a la creació d'algunes biblioteques de codi obert de modelatge i aplicacions; com ara MBTiles, l'IDE de cartografia TileMill, Leaflet de JavaScript, i CartoCSS relacionat amb els estils dels mapes.

Les dades que utilitza provenen tant de fonts de dades obertes, com OSM i la NASA, o de fonts de dades propietàries, com ara DigitalGlobe. La tecnologia es basa en Node.js, CouchDB, Mapnik, GDAL i Leaflet.js. Mapbox també utilitza dades de rastreig dels usuaris o clients, per identificar amb mètodes automàtics mancances d'altres eines com ara OSM. Seguidament, s'aplica manualment les correccions i es comunica als col·laboradors d'OSM.

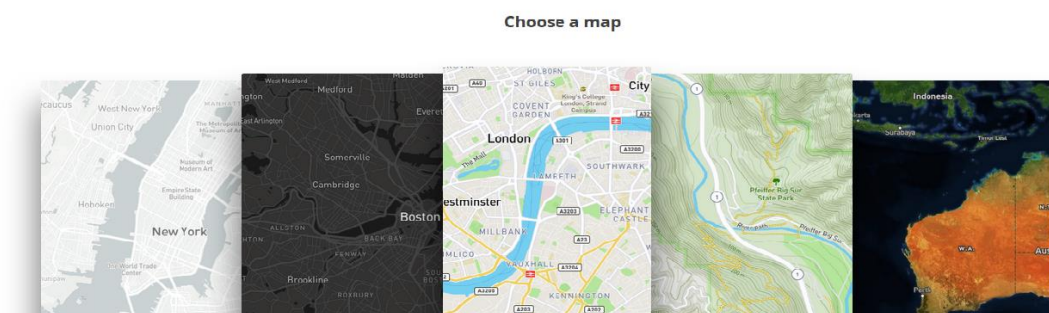


Figura 34: Exemples d'estils de mapes a Mapbox

<sup>14</sup> <https://www.mapbox.com/>

<sup>15</sup> <http://leafletjs.com/>

**Mapbox GL JS** és la biblioteca JavaScript que utilitza WebGL per generar mapes interactius de capes de vectors i estils Mapbox GL. Mapbox GL també inclou Mapbox mòbil, un processador compatible escrit en C++ amb plataformes web i mòbils. Per tal d'iniciar-se en la realització de mapes, cal donar-se d'alta a **MapBox Studio**. Una vegada donats d'alta, l'eina ens atorga un "Accés Token" que correspon a un codi personal que caldrà introduir en la nostra implementació per a la visualització dels mapes.

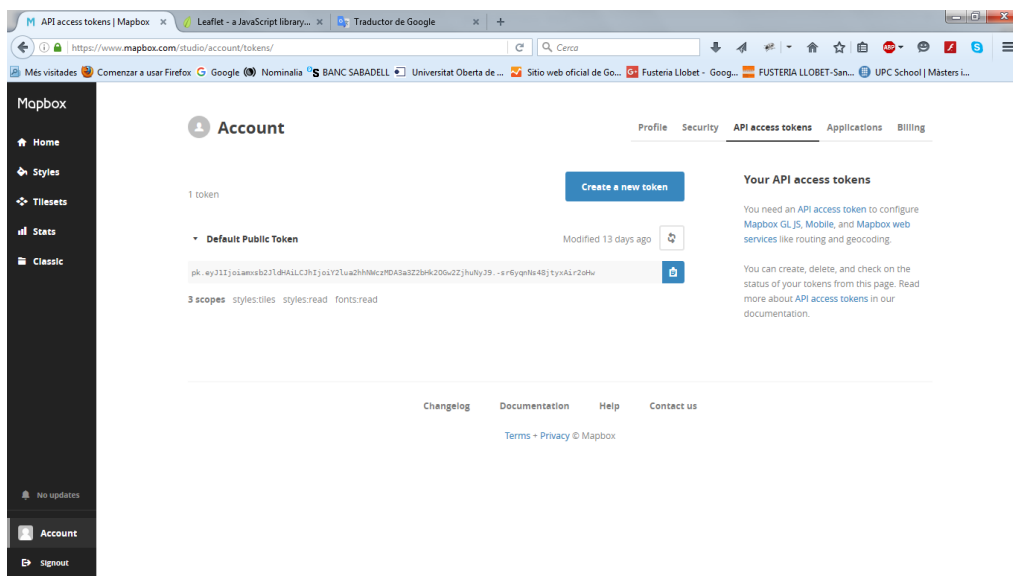


Figura 35: Accés Token necessari per a la utilització de Mapbox

## 5.3.2 Leaflet

Leaflet és una biblioteca open-source àmpliament utilitzada per al desenvolupament d'aplicacions web de mapes. Fou desenvolupada per Vladimir Agafonkin que posteriorment es va unir a MapBox. És va lliurar al públic durant el 2011. És compatible amb la majoria de plataformes mòbils i web, disposa de suport HTML5 i CSS3. Juntament amb OpenLayers, i l'API de Google Maps és una de les llibreries més populars de mapeig de JavaScript. A més és utilitzada per a llocs web força coneguts com ara Foursquare, Pinterest i Flickr.

Leaflet permet als desenvolupadors sense coneixements profunds en SIG visualitzar

molt fàcilment mapes web de capes allotjats en servidors públics. Es pot carregar dades a partir d'arxius de GeoJSON. A més, permet crear diferents estils i crear capes interactives, com ara marcadors amb finestres emergents.

Suporta capes Web Map Service (WMS), capes de GeoJSON i capes vectorials de forma nativa. Molts altres tipus de capes són compatibles a través de connectors. Igual que altres biblioteques mapa web, el model de pantalla bàsic implementat és un mapa base amb zero o més objectes vectors que apareixen a la part superior.

Tipus d'objectes:

- Mapa de bits (TileLayer i ImageOverlay)
- Vectors (Path, polígon, i els tipus específics com ara cercle)
- Tipus agrupats (grup de capes, FeatureGroup i GeoJSON)
- Controls (Zoom, capes, etc.)

### Leaflet Tutorials

Every tutorial here comes with step-by-step code explanation and is easy enough even for beginner JavaScript developers.



#### [Leaflet Quick Start Guide](#)

A simple step-by-step guide that will quickly get you started with Leaflet basics, including setting up a Leaflet map (with Mapbox tiles) on your page, working with markers, polylines and popups, and dealing with events.



#### [Leaflet on Mobile](#)

In this tutorial, you'll learn how to create a fullscreen map tuned for mobile devices like iPhone, iPad or Android phones, and how to easily detect and use the current user location.

Figura 36: Leaflet tutorials: <http://leafletjs.com/examples.html>

També hi ha una varietat de classes d'utilitat, com ara interfícies per a la gestió de projeccions, transformacions i interacció amb el DOM. A més, Leaflet proporciona el suport bàsic per a alguns formats estàndard de SIG amb la utilització de *plugins*.

D'altra banda, en el seu lloc web ofereix una sèrie de tutorials que faciliten molt l'aprenentatge.

### 5.3.3 Implementació de l'aplicació web

En aquest subapartat es descriu la implementació de l'aplicació web per a la visualització del mapa *indoor* i el graf de navegació de l'edifici l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Per tant, aquest subapartat està directament relacionat amb un dels objectius més rellevants del projecte que està orientat a la representació de mapes *indoor*.

En la primera part de la implementació es van escollir les eines *opensource* més adequades. La decisió final va recaure en Leaflet per la possibilitat que ofereix de crear diferents capes a partir de dades Geojson. Aquesta possibilitat obria la porta a la utilització del modelatge de l'edifici i el graf de navegació realitzats amb OSM.

Malauradament, no ha estat possible utilitzar directament les dades extretes del modelatge realitzat en l'apartat 5.1, sinó que ha estat necessària la introducció d'importants canvis. En la següent llista és detallen cadascun dels canvis que s'han realitzat en el modelatge:

1.-Introduir una etiqueta de planta (level) en cada via que representi una dependència, (passadissos, escales, ascensors,oficines, etc.):

- Afegir a cada via una etiqueta "level" amb valor corresponent a la planta a la que pertany (0-4).

2.-Esborrar les relacions de modelatge de les diferents plantes (la informació corresponent a la planta recau en cadascuna de les vies):

- Esborrat de cadascuna de les relacions.

3.-Esborrar els nodes de connexió entre plantes: (no són necessaris)



# Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

- Esborrat dels nodes amb etiqueta connector:ids

## 4.-Modificar les vies que representen dependències per tal que siguin considerades com a type="Polygon"

- Incloure en cada via una etiqueta Building="true"

## 5.-Esborrar les relacions de contorn: (no són necessàries)

- Esborrat de les relacions de contorn(Shell)

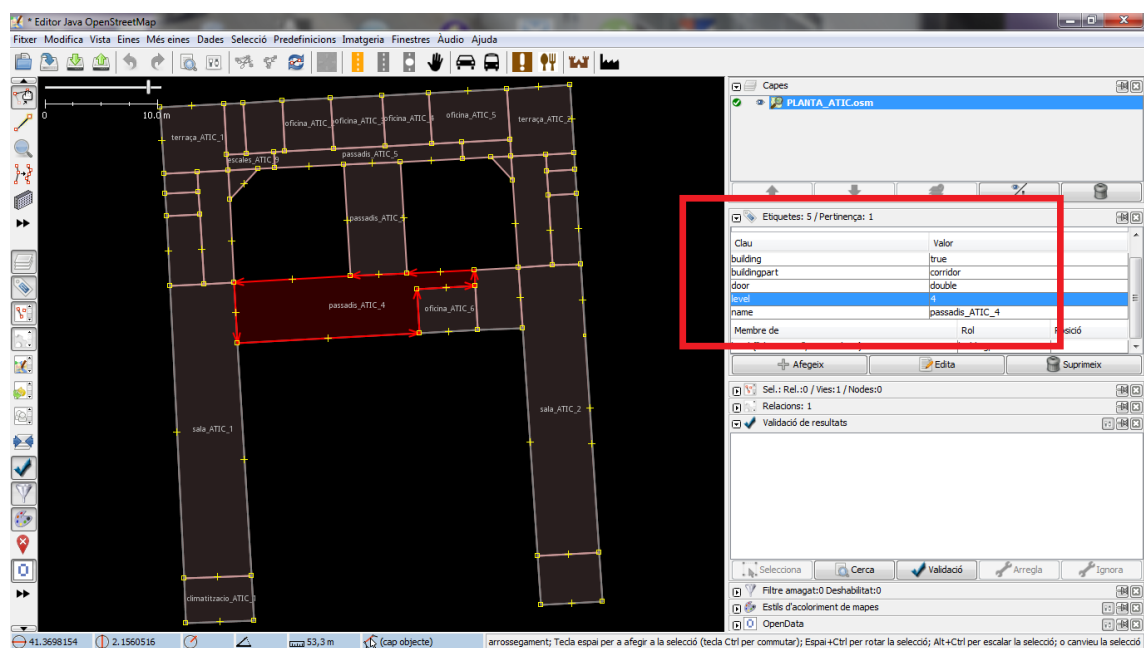


Figura 37: Exemple del nou etiquetatge de les vies en la planta àtic

Pel que fa al graf de navegació, les dades s'han pogut utilitzar directament; és a dir no ha estat necessari realitzar cap canvi sobre l'arxiu generat en l'apartat 5.2.

Tal com s'ha comentat anteriorment el format de dades que reconeix Leaflet per a la formació de les diferents capes en el mapa és GeoJson. Per tant, el següent pas és

convertir les dades en format .osm a format .json. L'eina escollida per a realitzar la transformació és: **osmtogeojson**<sup>16</sup>.

Per a la seva instal·lació i la seva execució només cal tenir instal·lat Node.js i executar les següents instruccions des de la línia de comandes:

```
$ npm install -g osmtogeojson
$ osmtogeojson file.osm > file.geojson
```

En la figura 38 és mostra una part de l'arxiu amb format GeoJson resultant de la transformació de les dades d'OSM. Es pot veure que cadascuna de les vies disposa de l'etiqueta "level" i, a més, la geometria està considerada com a type="Polygon"

```
{
  "type": "Feature",
  "id": "way/-5801",
  "properties": {
    "buildingpart": "verticalpassage",
    "buildingpart:verticalpassage": "stairs",
    "buildingpart:verticalpassage:floorrange": "4 to 4",
    "level": "4",
    "name": "escales_ATIC_10",
    "id": "way/-5801"
  },
  "geometry": {
    "type": "Polygon",
    "coordinates": [
      [
        [
          2.15585935506,
          41.37004944913
        ],
        [
          2.15586040927,
          41.37003647549
        ],
        [
          2.15583878053,
          41.37003569388
        ],
        [
          2.15580917494,
          41.3700344621
        ]
      ]
    ]
  }
}
```

Figura 38: Exemple d'una part del fitxer .json resultant

<sup>16</sup> <https://www.npmjs.com/package/osmtogeojson>

El següent pas ha consistit en el desenvolupament de l'aplicació web. Després d'algunes cerques s'ha considerat oportú adaptar una aplicació Leaflet orientada a mapes *indoor*. Dita aplicació es troba en la següent adreça del repositori públic GitHub: <https://github.com/cbaines/leaflet-indoor>

Evidentment, ha estat necessari adaptar l'aplicació a les nostres necessitats:

## 1-Introducció de la capa amb el mapa de base generat a Mapbox:

Per tal de situar l'edifici dins una capa de base de la zona on es troba localitzat (Parc de Montjuic) s'ha utilitzat MapBox Studio Classic. Tal com s'ha comentat anteriorment ha estat necessari donar-se d'alta per a aconseguir el "token" d'accés i definir l'estil de mapa per a l'aplicació. En la figura 39a es mostra l'estil de mapa generat amb MapBox. En la figura 39b es mostra el codi que s'ha introduït en l'arxiu index.html de l'aplicació.

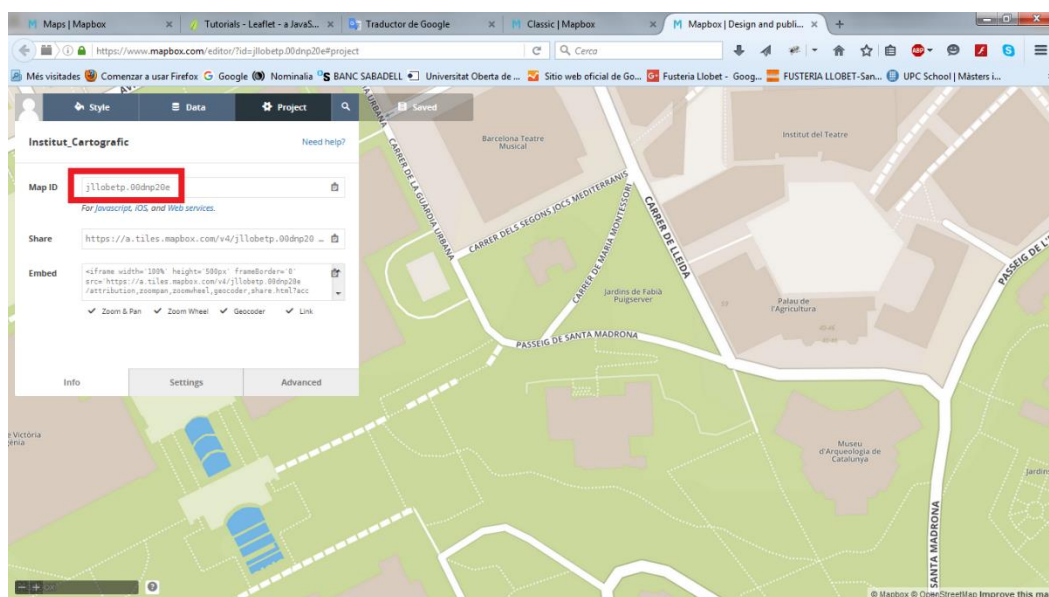


Figura 39a: Mapbox: Estil de mapa per a capa base

```
osm=newL.tileLayer('https://api.tiles.mapbox.com/v4/{id}/{z}/{x}/{y}.png?access_token={accessToken}', {attribution: 'Mapdata&copy;<a href="http://openstreetmap.org">OpenStreetMap</a>contributors, <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/">CC-BY-SA</a>, Imagery<a href="http://mapbox.com">Mapbox</a>',
  maxZoom: 22,
  id: 'j1lobetp.00dnp20e',
  accessToken: 'pk.eyJ1Ijoiamxsb2JldHhhaWLCJhIjoieY2lua2hhNWczMDA3a3Z2bHk2OGw2ZjhuNyJ9.-sr6yqnNs48jtyxAir2oHw'
```

```
});  
var map = new L.Map('map', {  
  layers: [osm],  
  center: new L.LatLng(41.36989, 2.1558),  
  zoom: 20  
});
```

Figura 39b: Index.html: codi de l'aplicació que incorpora la capa amb el mapa base

## 2.-Configuració de la capa de dades amb el mapa *indoor* de l'edifici (arxiu Geojson):

Tal com s'ha realitzat en l'apartat anterior, cal modificar l'arxiu de l'aplicació index.html segons la llibreria Leaflet, per adaptar al màxim la visualització resultant a les necessitats del projecte. Seguidament s'enumeren cadascun dels canvis:

2a: Introducció de la ruta de l'arxiu des d'on l'aplicació extraurà les dades:

```
$.getJSON("data/EDIFICI_COMPLET.json", function(geoJSON) {
```

2b: Modificació del mètode `onEachFeature` per tal que en fer clic sobre cadascun dels polígons es mostri la informació que es desitja.

```
onEachFeature: function(feature, layer) {  
  layer.bindPopup(planta + '<br>'  
    + feature.properties.name + '<br>'  
    + 'Porta: ' + porta);  
},
```

2c: Modificació de la mètode `style` per tal de visualitzar amb diferents colors els diferents tipus considerats (dependències, passadissos, escales, ascensors).

```
style: function(feature) {  
  var fill = '#FD9B67';  
  var var_name = feature.properties.name;  
  
  if (feature.properties.buildingpart === 'corridor') {  
    fill = '#F6F2F1';  
  
  } else if (feature.properties.buildingpart === 'verticalpassage' &&  
    var_name.startsWith('ascensor')) {  
    fill = '#CBEDFA';  
  
  }  
}
```

```
    } else if (feature.properties.buildingpart === 'verticalpassage' &&
var_name.startsWith('escales')) {
        fill = '#B5FF9E';
    }

    return {
        fillColor: fill,
        weight: 2,
        color: '#000000',
        fillOpacity: 1
    };
};
```

2d: Modificació de la mèthode `control` per a introduir informació com la llegenda, nom de l'edifici, zoom, canvi de planta.

### 3.-Configuració de la capa de dades amb el mapa *indoor* de l'edifici i el graf de navegació (arxiu Geojson):

Amb l'objectiu de mostrar un graf de navegació més entenedor, s'ha considerat necessari que es mostrés el graf juntament amb el modelatge de l'edifici. Per tant, s'han convertit ambdós (modelatge de l'edifici, graf de navegació) en un únic fitxer amb tot el conjunt de dades. En l'aplicació aquest fitxer s'ha anomenat: EDIFICI\_GRAF.json.

Finalment, de forma més general, s'han introduït altres canvis en l'arxiu css per tal de millorar el resultat final de l'aplicació, així com els enllaços que mostren les diferents parts de l'aplicació. En les figures 40a,40b es mostra el mapa *indoor* de l'edifici; en les figures 41a,41b es mostra el graf de navegació.

# Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

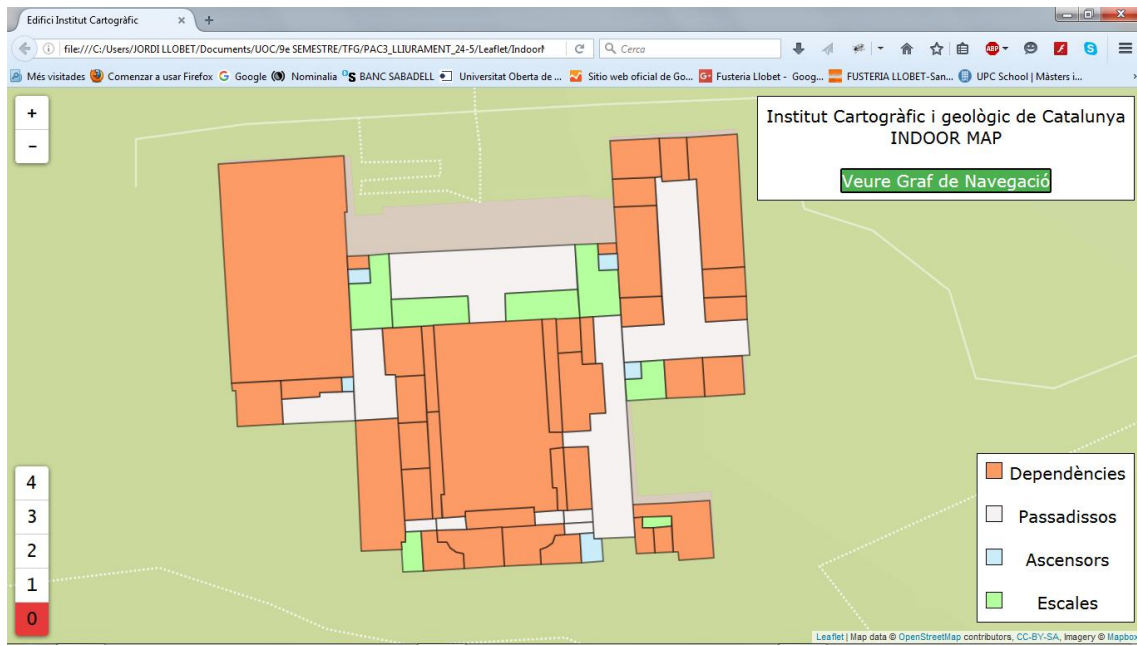


Figura 40a: Indoor map. Planta Principal

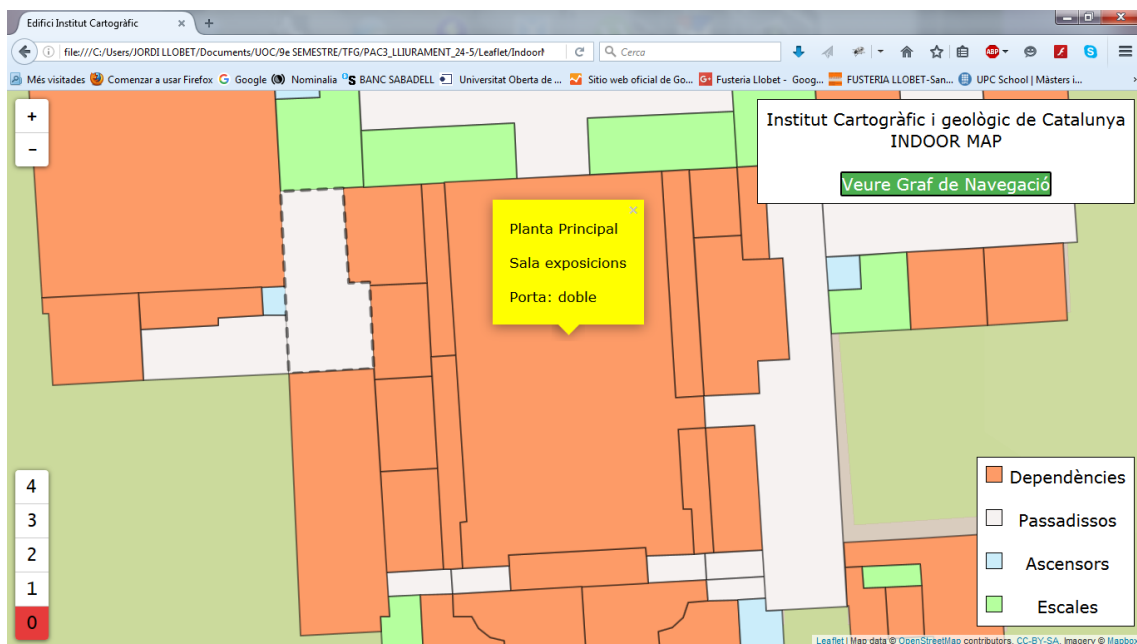


Figura 40b: Indoor map. Planta Principal. Informació dependències

# Requeriments per a la implantació d'un sistema de navegació indoor

Autor: JORDI LLOBET PALAU

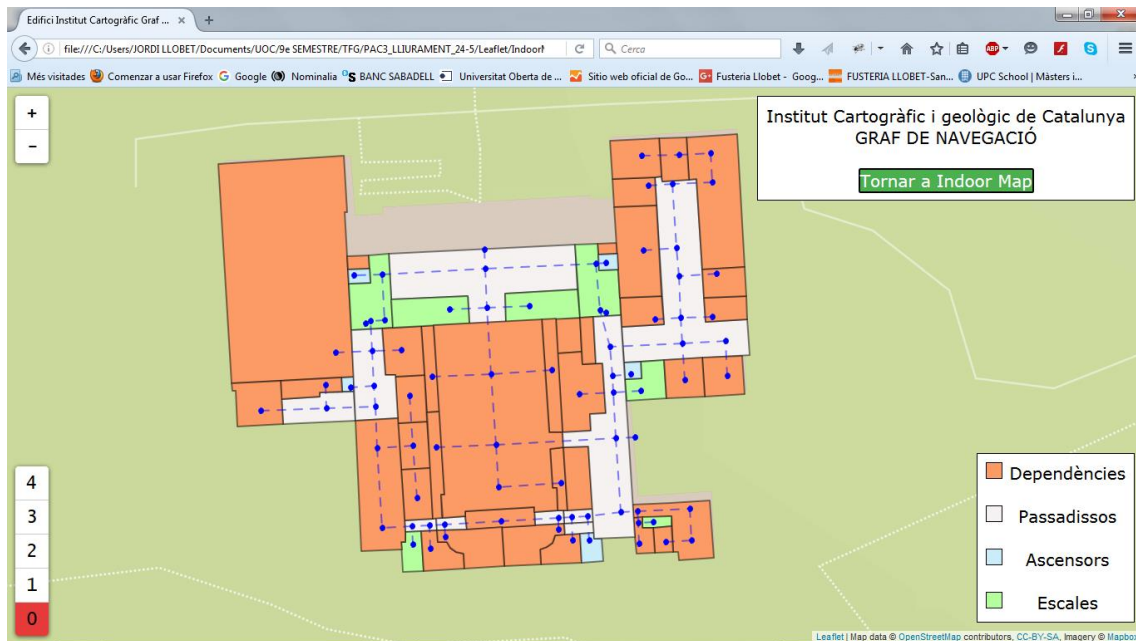


Figura 41a: Graf de navegació. Planta Principal

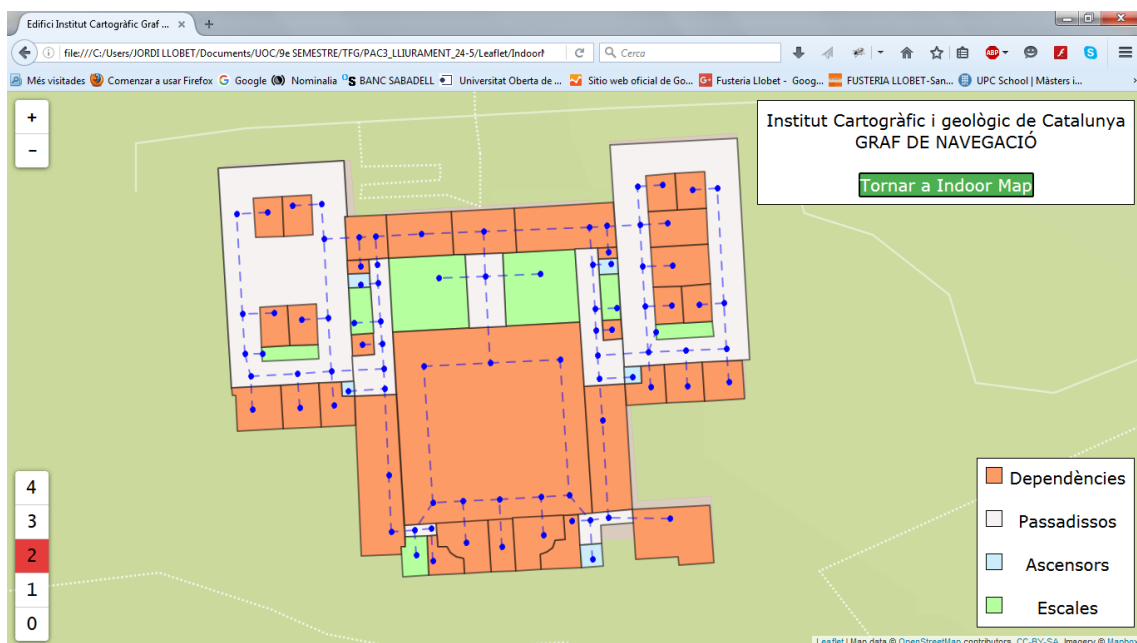





Figura 41b: Graf de navegació. Planta Primera

## 6. Conclusions

Aquest apartat detalla les conclusions que es poden extreure després de la realització del treball. En una primera part, es comparen cadascun dels objectius previstos amb els resultats obtinguts. En la segona part, es valoren els aspectes més rellevants del treball realitzat. Finalment, es recomanen algunes línies de treball futures.

### 6.1 Valoració d'objectius

S'ha considerat el mateix criteri que en l'apartat 1 del treball i s'han dividit la valoració dels objectius en 2 grups, objectius generals i objectius específics. Les taules 8a, 8b recull totes les valoracions.

Llegenda					
Objectiu assolit		Objectiu assolit 50%		Objectiu no assolit	

#### Objectius generals

##### Conèixer els conceptes bàsics que formen i defineixen els SIG.

La navegació *indoor* només és una part molt específica de tots els temes que s'inclouen en els SIG. No obstant això, crec sincerament que la redacció del projecte m'ha permès conèixer de primera mà una bona part de conceptes que formen part del món dels SIG. Com a exemple, es pot fer referència explícita al desenvolupament del mapa *indoor* amb les eines Java OpenStreetMap, Mapbox i Leaflet.

##### Conèixer els requeriments necessaris tan de maquinari com de programari per a dur a terme un projecte SIG.

De forma similar a l'objectiu anterior el fet d'haver tingut l'oportunitat de desenvolupar tot el projecte i en concret, un mapa *indoor*, ha permès conèixer programari relacionat amb els SIG. Val a dir, que durant el desenvolupament del projecte s'han instal·lat i provat moltes eines SIG, com ara ArcGIS, GeoGis,



OpenTripPlanner, PostGis...; encara que finalment cap d'aquestes s'hagi acabat incloent.

### **Conèixer els diferents tipus d'eines SIG que es poden utilitzar per a desenvolupar un projecte.**

Molt relacionat amb els objectius anteriors, efectivament el desenvolupament del projecte ha permès treballar amb diferents eines SIG de les quals se'n pot destacar Java OpenStreetMap, MapBox i Leaflet, .

### **Saber escollir quines d'aquestes eines poden ser les més adequades segons les característiques del projecte.**

La realització del projecte m'ha anat ensenyant en cada moment quina era l'eina més adequada per a cadascuna de les parts del desenvolupament. Com a exemple es pot senyalar la utilització de Java OpenSrteetMap per a la modelització de l'edifici. Per contra, no s'han utilitzat bases de dades per a la creació del mapa *indoor*, sinó que directament les dades extretes d'OSM s'han transformat a format GeoJson.

### **Conèixer quina és la dinàmica actual i les tendències futures sobre projectes de navegació *indoor*.**

Sobre aquest objectiu en concret es pot destacar que va ser una gran sort poder assistir al simpòsium celebrat a Barcelona sobre navegació *indoor*. Em va permetre conèixer les diferents línies d'investigació que existeixen actualment, com ara ultrasons o camps magnètics. Reptes que s'hauran de superar en el futur com ara la heterogeneïtat del dispositius, eficiència en el consum de bateries, els costos de muntatge del sistema o la determinació de les trajectòries dels usuaris. A més, es van escenificar possibles aplicacions com l'ajuda a pacients en els hospitals.

Finalment, també es pot destacar un altre dels reptes de futur de la navegació *indoor*, com és la dificultat de la realització dels mapes *indoor* (molt relacionat amb el projecte), En aquest sentit, cal conèixer quins elements arquitectònics és necessari incloure, si cal incloure els mobles o elements de decoració, etc.

Taula 7a: Valoració objectius generals

## Objectius específics

### **Aprendre com funciona l'estàndard de codificació OGC® indoorGML.**

Malgrat haver realitzat un bon anàlisi teòric d'IndoorGML, es considera que l'objectiu no s'ha acomplert, atès que ha mancat una part pràctica que mostri avantatges, inconvenients, aspectes a millorar, etc.

### **Conèixer els requeriments de les dades (plànols en aquests cas) que són necessaris per a poder aplicar la codificació OGC® indoorGML.**

Ha estat necessària la cerca d'eines per a la transformació del plànol del projecte en format CAD a un format importable a OSM. Es van analitzar diferents opcions fins que finalment es va optar pel format jpg i el plugin PicLayer. Per tant, es pot considerar que es coneixen els requeriments d'OSM. No obstant això, no es coneixen els requeriments dels plànols per a altres eines; per tant que aquest objectiu no s'ha assolit completament

### **Conèixer quines transformacions cal fer sobre aquestes dades i si és necessari afegir-hi altra informació.**

En l'apartat 4 s'ha desenvolupat la comparativa teòrica entre IndoorOSM i IndoorGML. No obstant això, tal com succeeix en l'objectiu que valora el coneixement d'IndoorGML, ha mancat una part pràctica per tal d'arribar a conèixer les transformacions necessàries per a dur a terme la codificació.

### **Conèixer les eines que poden dur a terme aquesta codificació.**

S'han cercat altres eines de codificació com ara FME, però els resultats han estat força decebedors. No s'ha aconseguit transformar les dades d'OSM a IndoorGML. Aquest fet es degut bàsicament a que FME presenta un elevat grau de complexitat, especialment en el cas de formats més innovadors com és el cas d'IndoorGML.

### **Implementar el cas concret d'un plànol segons el model de dades OGC® indoorGML.**

No s'ha pogut assolir l'objectiu. El motiu, com ja s'ha comentat en l'apartat 1.3, és la impossibilitat de disposar del plugin del projecte i-Locate com a eina per a la implementació.

### Implementació del graf de navegació sobre el plànol del projecte.

S'ha realitzat el graf de navegació de totes les plantes de l'edifici a partir del mapa *indoor* amb OSM.

### Desenvolupament d'una aplicació web que mostra el mapa de l'edifici i el graf de navegació.

S'ha desenvolupat una aplicació web que mostra el mapa *indoor* de l'edifici i el graf de navegació. Cal destacar que per a la aplicació web s'han utilitzat els projectes opensource Leaflet i Mapbox.

Taula 7b: Valoració objectius específics

## 6.2 Valoració de l'anàlisi IndoorGML/IndoorOSM

Els apartats 2,3 i 4 del treball s'han destinat a la part més teòrica. L'objectiu d'aquests ha estat conèixer en profunditat l'estàndard IndoorGML. Analitzar una de les eines lliures més utilitzades en el món del SIG com és OSM i més concretament IndoorOSM. I, en el darrer, realitzar una comparativa teòrica entre models amb l'objectiu de trobar punts en comú.

Tal com s'explica en l'apartat 4.8 existeixen força punts de correlació entre ambdós models, fins al punt que es possible dibuixar correlacions entre els models de representació definits a IndoorGML i els elements d'IndoorOSM. No obstant això, és evident, que la filosofia d'IndoorGML és molt més complexa i sembla "a priori" difícil de creure que en el futur s'utilitzi OSM per tal d'obtenir la codificació IndoorGML. Prova d'això és que alguns aspectes com l'espai de cel·les, el model *thick wall*, el model 3D no sembla que es puguin resoldre d'una manera senzilla utilitzant OSM. A més, cal veure com es poden resoldre amb relacions OSM tots els aspectes que ha de cobrir el mòdul de navegació d'IndoorGML.

Sota el meu parer, el futur ha d'anar més encaminat al disseny d'un editor d'IndoorGML que importi directament la geometria dels edificis en format CAD. A partir

de la geometria, caldrà definir tots els elements del mòdul core, com ara l'espai de cel·les o la semàntica per tal de definir les diferents capes. Posteriorment, definir els elements que formaran part del mòdul de navegació com ara les diferents rutes amb els seus punts d'inici i final.

També cal considerar que altres projectes innovadors com ara BIM sembla que poden jugar un paper important en el futur més proper de la navegació indoor.

### 6.3 Valoració Indoor Map

L'apartat 5 ha mostrat els diferents passos per tal d'implementar un mapa *indoor* a partir dels plànols d'un edifici. Per a dur a terme el modelatge de l'edifici s'han seguit les directrius d'IndoorOSM. A més, també s'ha desenvolupat el graf de navegació que connecta totes les dependències de l'edifici tenint en compte les diferents plantes i els elements de connexió com ara escales i ascensors.

En primer lloc, cal dir que per a la generació del mapa *indoor* ha estat necessari introduir canvis sobre les dades extretes d'OSM. Per exemple, es defineix una relació per planta etiquetada amb el tipus "*level*" que engloba totes les dependències de cada planta. Aquesta relació permet conèixer en quina planta estan localitzades cadascuna de les dependències. Doncs bé, el mapa *indoor* no s'ha pogut crear tenint en compte aquesta relació; sinó que ha estat necessari afegir la etiqueta "level" a cada dependència amb el número planta. A més, les vies tancades que formen les dependències són considerades com a tipus "LineString" quan per a la correcta visualització és necessari que siguin tipus "Polygon".

Per contra, per a la generació del graf de navegació on s'han seguit les directives de la referència [14] no ha estat necessari introduir cap canvi. Directament, les dades s'han transformat a format GeoJson i s'han incorporat a l'aplicació.

Contràriament a la valoració realitzada en l'apartat anterior i malgrat els inconvenients descrits, crec que es pot considerar que OSM és una eina força adequada per a generació de mapes *indoor* i graf de navegació. En aquest sentit, OSM ofereix un ample ventall de possibilitats d'etiquetatge que poden oferir proporcionar molta informació al mapa. Les dades osm resultants poden ser transformades a altres formats (GeoJson, en aquest cas) o incorporades a bases de dades, com per exemple PostGis. A més, altres parts del projecte com OSM, com ara OSMBuildings poden oferir visualitzacions 3D dels edificis.

### 6.4 Línies de futur

En aquesta darrera part de l'apartat de conclusions s'enumeren algunes línies de treball futures que podrien ampliar el contingut desenvolupat en el treball. En primer lloc, es fa referència a la codificació IndoorGML. En segon lloc, es comenten les eines de routing existents que podrien recollir les dades del graf de navegació i oferir la ruta *indoor* més adequada a l'usuari.

Tal com s'ha comentat en l'apartat 6.2, segons el meu parer, OSM no sembla l'eina més adequada per a l'obtenció de la codificació IndoorGML. Més aviat crec que s'acabaran desenvolupant editors que permetin la seva codificació a partir de dades CAD. Ara bé, una altra línia de treball, segurament més senzilla, seria utilitzar el programari FME<sup>17</sup> per obtenir la codificació. FME és un programari desenvolupat per l'empresa canadenca SAFE Software que ofereix la transformació de dades en innumerables formats, encara que molt orientat a dades geogràfiques. Precisament, la versió 2016 ha incorporat IndoorGML en la seva llista de formats. Com a inconvenients, cal dir que no és programari *opensource* encara que disposa d'una versió trial. A més, la seva utilització presenta un grau de complexitat molt elevat, segurament motivat per la gran quantitat de formats que inclou. A més, aquest fet es

---

<sup>17</sup> <https://www.safe.com/how-it-works/>

veu agreujat perquè a data d'avui existeixen molts pocs exemples de dades en format IndoorGML.

Pel que al graf de navegació realitzat en el projecte. Una nova línia de treball podria ser escollir alguna de les eines de Routing *opensource* existents<sup>18</sup>, com ara OpenTripPlanner, OpenRouteServices, OSRM,... adaptar-la per tal de mostrar les rutes més adequades a partir del graf de navegació d'un edifici. Es tracta de estudiar el format que han de tenir les dades del graf de navegació. Adaptar l'aplicació per tal que consideri les diferents plantes de l'edifici, els elements de connexió entre plantes, bàsicament només consideri recorreguts a peu, etc. En definitiva, tenir en compte les particularitats de la navegació *indoor*.

---

<sup>18</sup> <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Routing>

### 7. Glossari

**CAD** (disseny assistit per ordinador), consisteix en l'ús d'un ampli rang d'eines computacionals que assiteixen a enginyers, arquitectes i dissenyadors.

**CityGML** (City Geography Markup Language) és un model d'informació comú per a la representació de conjunts d'objectes urbans en 3D. Defineix les classes i relacions per als objectes topogràfics més rellevants en models de ciutats.

**CRS** (Sistema de coordenades de referència) El conjunt d'eixos, punts o plans, que conflueixen en l'origen i a partir dels quals es calculen les coordenades s'anomena sistema de referència.

**GeoJSON** és un format estàndard obert dissenyat per representar característiques geogràfiques simples, juntament amb els seus atributs no espacials, basat en JavaScript Object Notation.

**GML** (Geography Markup Language) és una notació XML definit per l'Open Geospatial Consortium (OGC) per expressar característiques geogràfiques. GML serveix com un llenguatge de modelatge de sistemes geogràfics, així com un format d'intercanvi obert per a transaccions geogràfiques a Internet. La clau per a la utilitat de GML és la seva capacitat per integrar totes les formes d'informació geogràfica.

**GPS** (Sistema de posicionament Global) és un sistema de navegació per satèl·lit que permet conèixer amb molta precisió la mateixa situació geogràfica i l'hora de referència amb gran exactitud en gairebé qualsevol lloc de la Terra. Fa servir una òrbita circular intermèdia de satèl·lits.

**IFC** (Industry Foundation Classes) és un model de dades orientat a la descripció d'edificis.

**ISO** (Organització Internacional per l'Estandarització) és l'organisme internacional de format per representants de diverses organitzacions d'estandarització nacionals.

**KML** (Keyhole Markup Language) és una notació XML per expressar l'anotació i visualització geogràfica, ofereix mapes bidimensionals i en tres dimensions. KML va ser desenvolupat per al seu ús amb Google Earth que originalment s'anomenava Visor Keyhole.

**LBS** (Location-Based Services) són serveis a nivell de computacional que utilitzen dades de localització per controlar les funcions. Es consideren serveis d'informació accessibles amb dispositius mòbils que utilitza la informació sobre la posició geogràfica del dispositiu mòbil.

**OGC** (Open Geospatial Consortium) consorci que agrupa 372 organitzacions públiques i privades amb l'objectiu de definir estàndards oberts per permetre la interoperabilitat entre els sistemes d'informació geogràfica i la world wide web.

**OSM** (Open Street Map) és un projecte que crea i distribueix dades geogràfiques lliures per tot el món.

**SIG** Sistema d'informació geogràfica. Sistema informàtic, format per maquinari, programari, dades, usuaris i un marc organitzatiu, que permet enregistrar, emmagatzemar, gestionar, analitzar, consultar, visualitzar, presentar i difondre qualsevol tipus d'informació geoespacial.

**UML** (Uniform Modeling Language) és un llenguatge de desenvolupament de propòsit general, utilitzat com a llenguatge de modelatge en el camp de l'enginyeria de programari. Orientat a proporcionar una forma estàndard de visualització del disseny d'un sistema.



## 8. Referències

### 8.1 Publicacions

- **Rodríguez, JR. i Lamarca, I. (2007)** “Metodologia i gestió de projectes informàtics”, Universitat Oberta de Catalunya.
- **Josep Cuenca, Ma.; Jesús Marco, Ma. i Nicolau, F. (2006)** “Competència comunicativa per a professionals de la informàtica”, Universitat Oberta de Catalunya.
- **Botella, A.; Muñoz, A.; Olivella, R.; et Al. (2011).** Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática. Barcelona: Editorial UOC.  
<http://www.editorialuoc.cat/introduccinalossistemasdeinformaciongeografica-ygeotelematica-p-739.html?cPath=1>
- **Sáez, N.; Vidal, R. (2010).** Mòdul de redacció de textos científicotècnics. Barcelona: Editorial UOC.
- **Treballs i Projectes Finals de Carrera en Sistemes d'Informació Geogràfica de la Biblioteca Virtual de la UOC.**<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/36>

### 8.2 Enllaços

- **[1] OGC® IndoorGML.** <http://www.opengeospatial.org/standards/indoorgml>
- **[2] Piffer, S.; Dorigatti,N; Conti, G (2015).** i-Locate: Indoor/Outdoor Location and Asset management Through open GEOdata. FOSS4G Europe Como 2015  
[http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n12/FOSS4Geu15\\_submission\\_183.pdf](http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n12/FOSS4Geu15_submission_183.pdf)
- **[3] i-Locate PROJECT.** Indoor/outdoor navigation and asset management through open geodata.  
<http://www.i-locate.eu/>  
<http://www.gisig.eu/platform/course/index.php?categoryid=15>

- **[4] Ki-Joune Li (2014).** IndoorGML – Candidate Standard for Indoor Spatial Navigation. 90th OGC Technical Committee. ARWorkshopindoorGML. WashingtonDC.  
[http://www.perey.com/ARStandards/IndoorGML\\_Overview\\_March\\_26\\_2014.pdf](http://www.perey.com/ARStandards/IndoorGML_Overview_March_26_2014.pdf)
- **[5] Ranga Vangipuram (2013).** Indoor-navigation, the solution too last mile problem. <http://www.slideshare.net/vsranga/indoor-navigation-a-solution-to-lastmile-problem>
- **[6] Descamps-Vila, L. (2013).** Integración de un sistema de posicionamiento *indoor* en aplicaciones SIG para dispositivos móviles. VII Jornadas de SIG Libre. SIGTE, Universitat de Girona.  
[http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre2013/uploads/articulos\\_13/a29.pdf](http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre2013/uploads/articulos_13/a29.pdf)
- **[7] Li Yuan; HE Zizhang (2008).** 3D Indoor Navigation: A Framework of Combining BIM with 3D GIS. 44th ISOCARP Congress 2008  
[http://www.isocarp.net/Data/case\\_studies/1187.pdf](http://www.isocarp.net/Data/case_studies/1187.pdf)
- **[8] OpenStreetMap Wiki Indoor Projects.**  
<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Indoor/Projects>
- **[9] WU Wien Campus.** <http://gis.wu.ac.at/>
- **[10] OpenStreetMap Wiki IndoorOSM.**  
<http://wiki.openstreetmap.org/wiki/IndoorOSM>
- **[11] S. S. Mirvahabi a, R. A. Abbaspour (2015)**AUTOMATIC EXTRACTION of IndoorGML CORE MODEL from OpenStreetMap.  
[https://www.researchgate.net/publication/285725064\\_AUTOMATIC\\_EXTR ACTION of IndoorGML CORE MODEL from OpenStreetMap](https://www.researchgate.net/publication/285725064_AUTOMATIC_EXTR_ACTION_of_IndoorGML_CORE_MODEL_from_OpenStreetMap)
- **[12] Guillermo Amat, Javier Fernandez, Alvaro Arranz, Angel Ramos (2014)** Using Open Street Maps data and tools for *indoor* mapping in a Smart City scenario.  
[https://agile-online.org/Conference\\_Paper/cds/agile\\_2014/agile2014\\_82.pdf](https://agile-online.org/Conference_Paper/cds/agile_2014/agile2014_82.pdf)

- **[13] George Mouratidis (October,2015)** Context dependent multimodal routing in indoor/outdoor environments based on IndoorGML and OpenStreetMap.  
<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1291310/1291310.pdf>
- **[14] Nair Isabel Braga Simões Alves (October,2012)** Uma Solução para Navegação Indoor <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/23407>