

## MOBILITAT SOSTENIBLE PER A TOTHOM

**Jordi Montero,<sup>1</sup> Mari Paz Linares<sup>2</sup> i Ernest Teniente<sup>3</sup>**

1. Responsable tècnic de l'Àrea de Modelització i Simulació: Bessó Digital de l'inLab FIB i professor associat del Departament d'Estadística i Investigació Operativa de la Universitat Politècnica de Catalunya. [jordi.montero@upc.edu](mailto:jordi.montero@upc.edu)

2. Responsable de l'Àrea de Mobilitat Intel·ligent de l'inLab FIB i professora lectora del Departament d'Estadística i Investigació Operativa de la Universitat Politècnica de Catalunya. [mari.paz.linares@upc.edu](mailto:mari.paz.linares@upc.edu)

3. Director de l'inLab FIB i professor catedràtic del Departament d'Enginyeria de Serveis i Sistemes d'Informació de la Universitat Politècnica de Catalunya. [ernest.teniente@upc.edu](mailto:ernest.teniente@upc.edu)

**Resum:** L'experiència d'un usuari del transport públic es pot millorar gràcies a l'ús de mecanismes i d'eines tecnològiques. L'objectiu d'aquest article és descriure un cas d'ús pràctic basat en la utilització de la realitat augmentada per tal d'afavorir l'accessibilitat de les persones amb mobilitat reduïda (PMR) als diferents operadors de transport integrats dins de l'Autoritat de Transport Metropolità (ATM) a partir d'una aplicació client-servidor.

**Paraules clau:** geolocalització en interior, realitat augmentada, accessibilitat, mobilitat sostenible.

### SUSTAINABLE MOBILITY FOR EVERYONE

**Abstract:** The experience of a public transport user can be improved through the use of technological mechanisms and tools. The aim of this article is to describe a practical case of such use by applying augmented reality to promote the accessibility of people with reduced mobility (PRMs) to the different transport operators integrated within Barcelona's Metropolitan Transport Authority by means of a client/server application.

**Keywords:** indoor geopositioning, augmented reality, accessibility, sustainable mobility.

### 1. Introducció

Un dels objectius principals de la mobilitat sostenible és que els nostres desplaçaments diaris no contribueixin al canvi climàtic, ja sigui fent l'ús de vehicles elèctrics i autònoms com reduint el transport privat o potenciant la compartició de vehicle privat, però també ho és, i molt important, el foment de la utilització del transport públic. Aquest article descriu, mitjançant un cas d'ús de l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM) de la ciutat de Barcelona, com les tecnologies de la informació i de la comunicació (TIC) aplicades a la mobilitat sostenible poden contribuir a millorar l'experiència d'usuari de les persones amb mobilitat reduïda en l'ús diari del transport públic.

El creixement continu de noves línies de transports de diferents operadors comporta un increment dels possibles intercanviadors modals o canvis de ruta als quals pot optar un usuari del transport públic. Sovint, aquests intercanvis modals poden comportar la necessitat d'usar ascensors o altres mecanismes automàtics que facilitin l'intercanvi.

Tot i que un usuari recurrent d'un mateix trajecte automatitzarà fàcilment el recorregut després d'uns quants viatges, per a la gran majoria dels usuaris esporàdics que realitzen un nou intercanvi el desconeixement o la incertesa del recorregut pot traduir-se en una insatisfacció

personal envers l'ús del transport. Val a dir que aquesta percepció pot ser encara més gran quan l'usuari afectat és una persona amb mobilitat reduïda i descobreix com d'infructuós ha estat el seu esforç per arribar a un destí no desitjat.

La solució TIC que es presenta en aquest article té per objectiu facilitar els intercanvis modals existents i altres de futurs mitjançant un sistema de navegació de realitat augmentada que permeti afrontar amb garantia un desplaçament desconegut tot i no disposar dels sistemes tradicionals de geolocalització basats en senyal de GPS o wifi.

L'article està estructurat en quatre blocs: en el primer bloc, es fa una breu revisió de l'evolució dels sistemes de geolocalització que pot ser interessant per als neòfits en sistemes de posicionament, i descriu alguns dels hàndicaps més habituals en els sistemes d'informació que requereixen un component de geolocalització, tal com és el nostre cas; en el segon bloc, s'explica des d'un punt de vista més tècnic la solució presentada, tant pel que fa a l'arquitectura utilitzada en el seu disseny com a la tecnologia usada i el desenvolupament realitzat; el tercer bloc s'introdueix el lector en el cas d'ús associat per a la validació del sistema desenvolupat i, en el darrer bloc, s'exposen les conclusions del sistema desenvolupat.

Prèviament a l'inici del primer bloc, i per tal de facilitar la lectura d'aquest article, es posen en context al-

gus conceptes que són rellevants per a la comprensió de l'article.

El primer terme que cal aclarir és *persona amb mobilitat reduïda* (PMR). Tradicionalment, el terme s'ha utilitzat de manera banal per referir-se a les persones que requereixen un mitjà de transport —mecanitzat o manual— per tal de realitzar desplaçaments físics i a les persones amb alguna discapacitat visual. Malauradament, aquesta interpretació reduccionista deixa fora altres discapacitats i el col·lectiu, cada cop més nombrós, de persones d'edat avançada que veuen limitada la seva autonomia motora en el seu dia a dia,<sup>1</sup> que també han de ser considerades com a PMR. Així doncs, l'augment de l'esperança de vida comporta la necessitat de replantejar-se com hauria de ser la interacció del sistema de transport públic amb el col·lectiu de PMR. Val a dir que dins d'aquest col·lectiu també s'hi haurien d'incloure aquelles persones que temporalment poden veure limitada la seva autonomia diària, com ara dones amb gestació avançada, famílies amb nadons, així com altres persones que requereixen, de manera puntual, croses o elements similars de suport al desplaçament, i que veuen alterada la seva mobilitat en el dia a dia.

El segon terme és el concepte *realitat augmentada* (RA). Aquesta tecnologia permet combinar elements del món real amb elements sintètics generats per ordinador, amb l'objectiu de millorar la percepció i interacció de l'usuari amb el seu entorn. El contingut augmentat pot ser variat —imatges, vídeos o altres elements virtuals— i sol presentar-se dins d'una jerarquia de capes que permet decidir la profunditat de cadascun dels elements continguts en una capa respecte a una altra, definint l'ordre de renderització i, per tant, establint una major o menor profunditat del contingut augmentat. Tot i que les capes d'informació es poden mostrar totes sobreposades amb la realitat capturada pel dispositiu que s'utilitzi per fer la immersió —mòbils, ulleres d'RA o altres dispositius—, és el disseny de l'aplicació el que acaba confeccionant o dissenyant el contingut que cal augmentar en funció de la interacció de l'usuari. Cal destacar que la capacitat de crear una experiència mixta que combini el món real amb el món virtual pot comportar, en la majoria dels casos, un enriquiment de la percepció de la realitat física i, per tant, esdevindrà un element clau dins del sistema presentat.

El tercer terme que cal destacar és *accessibilitat*, ja que aquesta pot diferir en funció de l'àmbit d'aplicació. Dins del marc d'aquest treball, s'entén per *accessibilitat* la facilitat d'accés a un sistema de transport mitjançant una ruta que eviti les barreres arquitectòniques i garanteixi el mínim recorregut possible per a una PMR que desitgi arribar a una parada específica d'un determinat transport. Queden fora de l'àmbit d'accessibilitat dins del context les mancances cognitives de les persones invidents que disposen de sistemes de suport al guiatge com l'eina Navilens.<sup>2</sup>

Finalment, els darrers termes que cal contextualitzar són *interfície d'usuari* (UI) i *experiència d'usuari* (UX). Encara que tradicionalment els termes s'associen a les noves tecnologies i, concretament, a la millora de l'experiència que obté l'usuari en cadascuna de les interaccions que realitza amb una interfície tecnològica, en el context de l'article ens centrarem en la seva vessant més psicològica —enfocament dirigit a l'usuari i les seves tasques, deixant de banda la tecnologia i prioritant les funcionalitats i l'ajust a les necessitats (Johnson, 2007)—, per tal que l'usuari no senti frustració ni desencís a l'hora d'accedir a un determinat transport públic.

## 2. Geolocalització

Els sistemes de localització actuals fan ús principalment de senyals de triangulació i trilateració i depenen de la font dels emissors, les quals han anat variant al llarg del temps en funció de la tecnologia existent. En aquest primer bloc es fa una revisió històrica dels sistemes de navegació (Vanin, 2022) que permeti al lector observar com l'evolució d'eines com el quadrant, el kamal, l'astrolabi, l'octant o el sextant i l'ús de la triangulació a partir de la posició del Sol o altres astres esdevenen clau perquè els primers navegants no vaguessin pels oceans. D'entre les eines descrites anteriorment, el sextant<sup>3</sup> seria l'instrument de referència que permetria oferir una millor precisió de la latitud de l'usuari. El procediment, relativament senzill, requeria un correcte calibratge i anivellament del sextant per mesurar l'angle entre l'horitzó i l'estrella alfa de l'Ossa Menor, Polaris, altrament coneguda com a *estrella polar*. Aquest mecanisme permetia, i continua permetent, obtenir la latitud on es trobava l'usuari gràcies a la posició «invariable» de l'estrella polar sobre el pol nord geogràfic.

Malauradament, aquestes eines es veien afectades per interferències. Així doncs, qualsevol intent de localització en condicions climàtiques adverses podia ser infructuosa, i addicionalment el càlcul de la longitud requeria un control específic del temps i del rumb difícil d'assolir en aquella època fins a la creació del cronòmetre marí. I no serà fins a l'arribada dels sistemes moderns que es podrà millorar encarà més la precisió de la latitud i la longitud. No obstant això, i com es veurà més endavant, les eines modernes de localització tampoc no estan exemptes d'error.

L'evolució dels sistemes moderns de navegació assolirà un punt d'inflexió a partir del segle xx, tal com es veu en la figura 1, amb l'aparició dels sistemes de navegació inercials (INS) i posteriorment amb els sistemes moderns de localització basats en satèl·lits, que volten la Terra en diferents òrbites. La geolocalització usada en la solució que presentem utilitza un sistema híbrid basat en tècniques d'RA i INS, tal com es descriurà més endavant.

1. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>.  
2. [www.navilens.com](http://www.navilens.com).

3. Actualment el sextant continua essent una eina vàlida de navegació que es complementa amb taules i mètodes específics per determinar la longitud.

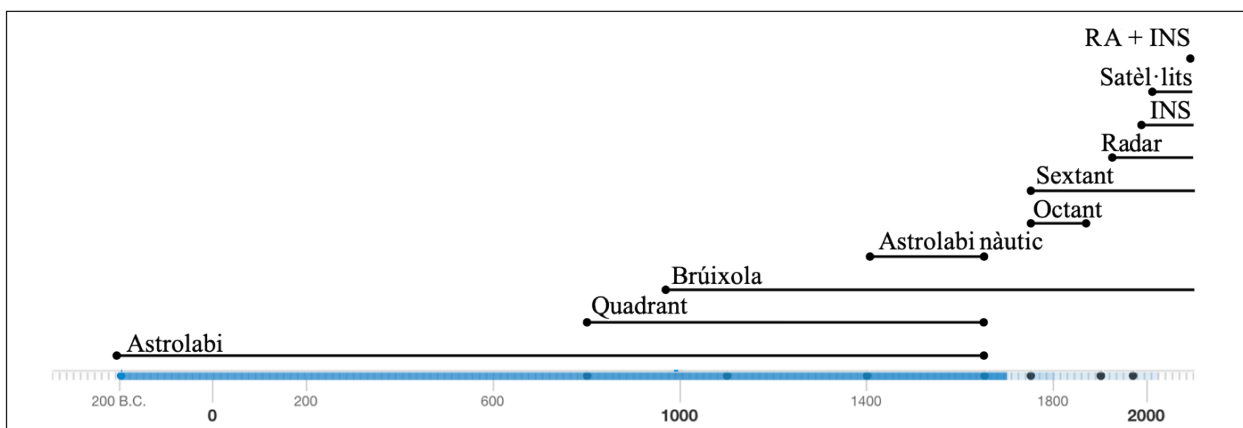


FIGURA 1. Cronograma de sistemes i d'eines de navegació.  
FONT: Elaboració pròpia.

Actualment, es poden trobar diferents sistemes de localització per satèl·lit que varien en funció de la xarxa de satèl·lits emprada, i aquestes poden variar segons el nombre de satèl·lits associats, que poden oscil·lar entre els 24 associats a la xarxa proveïda pels Estats Units d'Amèrica (GPS) i els 35 de la xarxa proveïda per la República Popular de la Xina (Beidou). La Unió Europea disposa d'una xarxa composta per 30 satèl·lits, que s'anomena *Galileo*.

### 2.1. Triangulació i trilateració

La triangulació, en el context de localització, es refereix al mètode que utilitza la mesura de distàncies des de tres punts de referència coneguts per determinar la ubicació exacta d'un objecte o dispositiu. Aquest procés es basa en la geometria dels triangles i la intersecció de les línies de distància per calcular la posició precisa.

La trilateració és un procés similar a la triangulació en el qual els satèl·lits transmeten senyals de ràdio a receptors a la Terra que permeten determinar la posició precisa en termes de coordenades geogràfiques (latitud, longitud i altitud), sota la premissa que totes les parts implicades comparteixen la mateixa hora exacta i que la velocitat de la llum en el buit s'aproxima als 300.000 quilòmetres per segon.

A grans trets, l'algoritme de trilateració, que es descriu gràficament en la figura 2, aplicat a localització per satèl·lits calcula el temps transcorregut entre l'enviament del senyal emès pel satèl·lit i la seva recepció pel dispositiu del sistema. A partir d'aquí, i coneixent la posició del satèl·lit, es podrà projectar el perímetre del cercle on es localitza el dispositiu. Així doncs, esdevé clau la necessitat de conèixer exactament la ubicació del satèl·lit, i per aquest motiu es requereixen un seguit d'estacions de terra que permetin validar, per diferents mitjans, on es troba emplaçat el satèl·lit implicat en la trilateració.

La principal diferència de la trilateració respecte a la triangulació recau en l'ús de les distàncies per tal de poder establir la posició de l'objecte sobre el globus terrestre i no l'ús d'angles, tal com fa el procés de triangulació. Per tal de

poder ubicar latitud i longitud, caldran com a mínim tres satèl·lits.<sup>4</sup> D'altra banda, com més satèl·lits es vegin implicats, més precís serà l'ajust obtingut. No obstant això, és important destacar que, en funció de l'òrbita on es localitza i la relació espacial entre ells, la precisió de l'algoritme podria variar.

Com hem dit anteriorment, els sistemes basats en satèl·lits no són infal·libles i presenten sobretot dos inconvenients. El primer està associat a la dependència de la xarxa de satèl·lits i de qui els gestiona. Així doncs, és habitual que les distàncies rebudes puguin variar per interessos personals del propietari de la xarxa, com ha succeït en diferents episodis de la història moderna en què s'han registrat conflictes bèl·lics. El segon està associat al grau de visibilitat dels senyals rebuts i la geometria de l'espai on es localitza el receptor —arbres, muntanyes i edificis solen ser els principals inhibidors físics del senyal. Ara bé, no es pot oblidar que determinats fenòmens meteorològics de la troposfera (Elsobeiey i El-Diasty, 2016), així com una possible desincronització dels rellotges, podrien provocar l'endarreriment o l'alteració de la recepció del senyal i, consegüentment, afectar les distàncies calculades i usades en la trilateració.

Per tal de compensar aquests errors, és cada cop més freqüent aplicar algoritmes de correcció del senyal, i determinades aplicacions solen complementar la ubicació amb l'ús de sistemes de trilateració a partir de la intensitat rebuda per altres emissors —antenes de senyal mòbil, wifi o balises. Aquests ajustos i tecnologies són habituals en la geolocalització en interiors.

### 2.2. Geolocalització en interiors

La geolocalització en interiors requereix sistemes de localització independents de satèl·lits. Dins del ventall de pos-

4. A partir del quart satèl·lit es podrà obtenir una aproximació a l'altitud del dispositiu receptor.

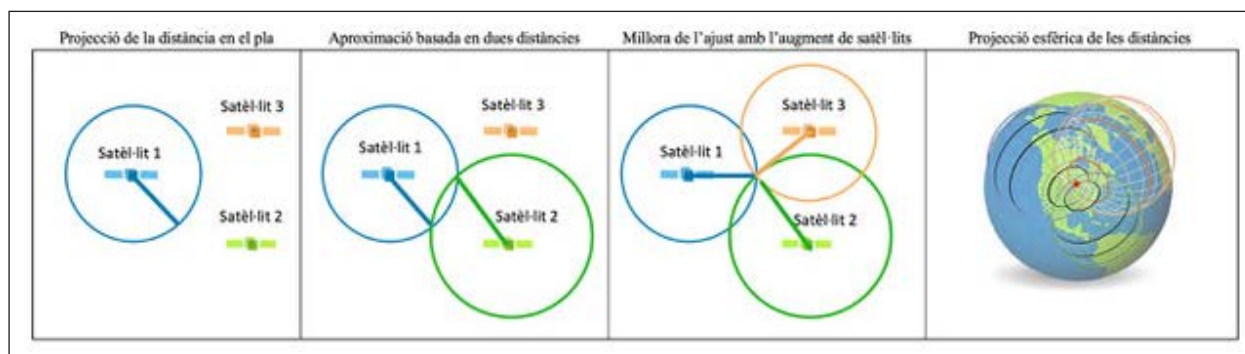


FIGURA 2. Trilateració i projeccions.  
FONT: Elaboració pròpia.

sibles emissors, cal destacar les xarxes de comunicacions sense fil, les balises, els identificadors de radiofreqüència (IRDF) i els sistemes basats en Bluetooth Low Energy (BLE). Cadascun d'aquests emissors té la necessitat d'haver de disposar d'una infraestructura de suport que actuï a imatge i semblança dels satèl·lits, i que sol ser relativament costosa per tal de poder aplicar tècniques de triangulació o trilateració.

Existeixen alternatives com els anomenats *sistemes inercials*. Aquests sistemes permeten, a partir d'una posició inicial, coneguda, inferir la posició a partir de les lectures de sensors —acceleròmetre, giroscopi i brúixola— d'un dispositiu assignat a l'usuari, i poden ser complementats amb altres sistemes de posicionament d'interiors.

### 2.3. Geolocalització basada en realitat augmentada

Tal com s'introduïa a l'inici de l'article, l'RA ens ofereix la possibilitat d'enriquir la interacció de l'usuari amb l'entorn a partir de sobreposar informació —dinàmica o estàtica— a la realitat observada a través d'un dispositiu digital.

Els sistemes de posicionament en RA aprofiten el reconeixement de determinats patrons, marques de referència, núvol de punts o plans (verticals o horitzontals) per tal d'establir la ubicació de contingut addicional respecte a la marca detectada. Un cop s'estableix aquesta posició de referència, els dispositius poden fer ús d'algorismes de seguiment i detecció d'imatges, que permeten al dispositiu identificar punts d'interès en el món real i seguir els moviments de l'usuari o del dispositiu per mantenir la coherència entre els elements virtuals i la imatge en temps real capturada per la càmera del dispositiu.

Alguns autors (Herbers i König, 2019) exposen com a partir d'un núvol de punts i un model d'informació de l'edifici (BIM) seria possible la localització sense sensors externs. Però s'ha de tenir present que, si es volgués aplicar al conjunt d'estacions subterrànies de la ciutat de Barcelona, l'escalabilitat de la solució quedaria compromesa no tan sols pel volum de dades per gestionar, sinó també per la fiabilitat de la transformació de la imatge obtinguda en

andanes o passadissos saturats d'usuaris a un mapa de núvols.

Per tal de gestionar la geolocalització en interiors dins del context definit en aquest article, s'ha decidit realitzar una combinació d'estudis previs basats en tècniques de realitat (Ghantous, Shami i Taha, 2018) i sistemes inercials (Hang, Sachini i Yasutaka, 2019).

## 3. La nostra solució: EnllaçApp

En aquest bloc es descriu l'arquitectura i les tecnologies associades a l'aplicació que hem desenvolupat, i a la qual anomenem EnllaçApp. Aquesta aplicació és una prova de concepte que permet donar resposta als objectius esmentats.

### 3.1. Arquitectura

L'arquitectura de la solució desenvolupada, que es representa en la figura 3, consta principalment de quatre components:

- *Interfície de programació d'aplicacions (API)*. Més enllà de fer ús d'API de tercers per proveir capes de contingut augmentat, l'arquitectura dissenyada inclou una API pròpia que permet la comunicació entre el front i el fons i, al mateix temps, la comunicació entre les aplicacions mòbils i el fons.

- *Fons (backend)*. El fons té per objectiu donar suport a la resta de components, especialment en allò que fa referència a la gestió de rutes.

- *Front (frontend)*. El front permet portar un manteniment intern de les rutes que s'integren en la solució, validant les rutes noves, activant o desactivant rutes validades o substituint rutes validades per altres rutes en cas de manteniment, entre altres funcionalitats que no es descriuen en aquest treball.

- *Aplicacions mòbils per a dispositius iOS i Android*. Les aplicacions mòbils permeten visualitzar i crear rutes que són emmagatzemades dins de la base de dades i recuperades mitjançant l'API pròpia.

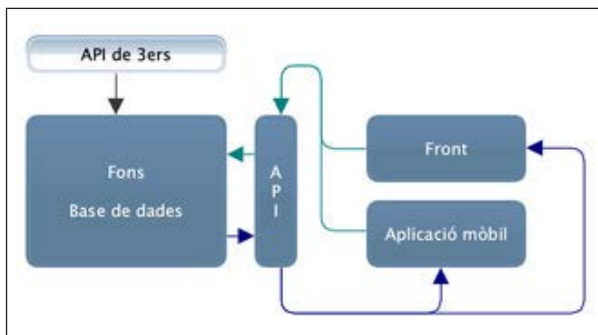


FIGURA 3. Components de la solució TIC.  
FONT: Elaboració pròpia.

### 3.2. Tecnologies

Les tecnologies utilitzades en el desenvolupament del sistema es mostren en la figura 4. En el nivell superior de la figura hi ha els sistemes operatius dels telèfons que poden usar l'aplicació desenvolupada en Unity, que és una plataforma de desenvolupament de videojocs i aplicacions en 2D i 3D. És àmpliament utilitzada per desenvolupadors de jocs, artistes i creadors d'aplicacions per crear contingut interactiu per a multiplataformes i s'hi inclouen biblioteques de suport al desenvolupament de solucions d'RA i altres biblioteques que agilitzen el desenvolupament d'aplicacions.

En el nivell inferior de la figura, s'hi detallen les tecnologies que donen suport al desenvolupament del fons, front i API del sistema:

- node.js és un entorn d'execució per a JavaScript al servidor. Està dissenyat per construir aplicacions en xarxa escalables i és especialment eficient per a aplicacions en temps real.

- Angular és un marc de desenvolupament d'aplicacions web al front desenvolupat i mantingut per Google. És una eina potent per construir aplicacions d'una sola pàgina (SPA) i ofereix una estructura per organitzar el codi, així com una sèrie de característiques i funcionalitats predefinides.

- MongoDB és una base de dades NoSQL orientada a documents. Emmagatzema dades en format BSON (Binary JSON), que és similar a JSON. A diferència de les bases de dades relacionals, MongoDB no fa servir taules, files i columnes, sinó que emmagatzema dades en documents fle-



FIGURA 4. Tecnologies integrades a l'aplicació.  
FONT: Elaboració pròpia.

xibles amb un format semblant a JSON. És altament escalable i sovint s'utilitza en entorns on cal gestionar dades no estructurades o semiestructurades.

Per tal de millorar l'escalabilitat i la portabilitat del sistema s'ha optat per fer un desenvolupament basat en contenidors Docker. Docker és una plataforma de virtualització de contenidors que facilita la creació, la distribució i l'execució d'aplicacions en contenidors. Els contenidors són entorns lleugers i autònoms que encapsulen aplicacions juntament amb les seves dependències i configuracions, cosa que permet una execució consistent independentment de l'entorn.

### 3.3. Característiques de l'aplicació mòbil

La darrera secció dins d'aquest bloc es dedica al desenvolupament de l'aplicació mòbil<sup>5</sup> i, en especial, a la definició d'un recorregut augmentat i els perfils d'usuaris i funcionalitats de l'aplicació client.

#### 3.3.1. Recorregut augmentat

Tal com s'ha esmentat a l'inici de l'article, l'objectiu del sistema desenvolupat és millorar l'experiència de l'usuari i, en especial, del col·lectiu PMR, quan realitza un intercanvi modal, tot oferint-li contingut augmentat al llarg del seu trajecte.

Per tal d'assolir aquest objectiu cal definir clarament què és un *recorregut augmentat*. Un recorregut augmentat és la representació en format d'RA d'una ruta definida dins del sistema, entenent com a ruta el trajecte que es realitza entre un origen i un destí georeferenciats. La ruta està composta d'un seguit de punts de pas, igualment georeferenciats dins d'un sistema de coordenades cartesianes reals, que, mitjançant una translació geomètrica de l'origen de la ruta al centre de coordenades d'un sistema cartesià virtual, permetrà mantenir les mateixes propietats al voltant de la distància i l'angle entre dos punts reals i dos punts virtuals. Així, a mesura que avancem pel món virtual mitjançant tècniques de geolocalització en RA, estarem avançant al mateix temps pel món real, encara que no disposem de sistemes de posicionament global. Val a dir que una ruta pot comportar diferents canvis de secció, entenent per *canvi de secció* un canvi de planta o nivell del sòl o del subsol.

En la figura 5 es mostra la correspondència existent entre ruta, secció i punts de pas georeferenciats («landmarks» dins de la figura). Cal destacar que una ruta també inclou informació addicional que serà d'utilitat per a la selecció del recorregut per part de l'usuari.

5. Es deixa per a una futura publicació el desenvolupament del front i fons del sistema.

```

{
  "id": "431065-4590244",
  "lat": "41.46083391",
  "lng": "2.17456515",
  "cota": "0",
  "tipus": "Ascensor",
  "ubicacio": "Carrer Pedraforca, 1",
  "xarxa": "Metro",
  "linia": "L11",
  "direccio": "",
  "poi": "1",
  "routes": [
    {
      "type": 0,
      "destination": "a: Ciutat Meridiana \ndirecció Can Culàs",
      "accessibility": true,
      "active": true,
      "line": "L11",
      "area": "Undefined",
      "sections": [
        {=},
        {=}
      ],
      "origin": "De Carrer Pedraforca, 1 ",
      "routeKind": 3
    },
    {
      "area": "Undefined",
      "sections": [
        {
          "active": true,
          "order": 1,
          "landmarks": [
            {
              "coordinates": {
                "x": 0,
                "z": 0,
                "y": -10
              }
            },
            {
              "coordinates": {
                "x": -4,
                "z": -5,
                "y": -10
              }
            }
          ]
        },
        {=}
      ]
    }
  ]
}

```

FIGURA 5. Detall de la digitalització d'una ruta.  
 FONT: Elaboració pròpia.

### 3.3.2. Importació de rutes

Per afavorir la creació de recorreguts augmentats s'ha realitzat un procés d'importació automàtica de rutes accessibles, creades per BCN Regional, i que es troben emmagatzemades en format DXF, per posteriorment ser inserides a la base de dades MongoDB mitjançant una sentència de llençatge de consulta de MongoDB (*MongoDB query language*).

En la figura 6 es mostra un exemple dels recorreguts que s'han utilitzat.

### 3.3.3. Perfils d'usuari i funcionalitats

El disseny de l'aplicació ha inclòs tres perfils d'usuari diferents (passatger, creador i gestor), cadascun dels quals té

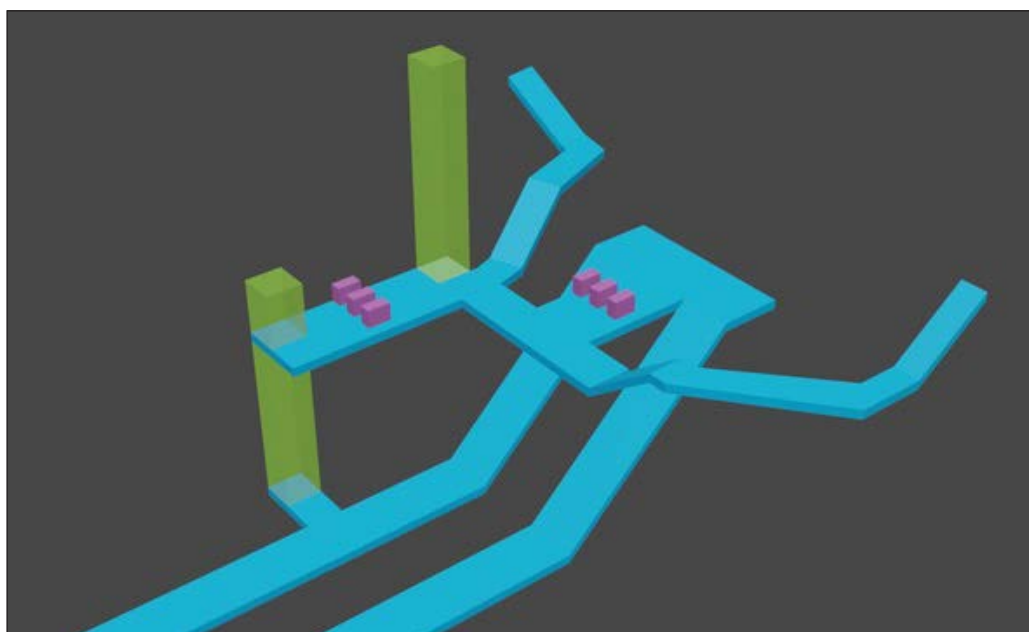


FIGURA 6. Representació 3D d'accés a l'estació de metro Tarragona.  
 FONT: Elaboració pròpia.

una interacció diferent amb el servidor, tal com es resumeix a la taula 1.

TAULA 1  
Funcionalitats i perfils de la solució

| Perfil    | Visualitzar ruta (client) | Crear ruta (client) | Validar ruta (servidor) | Gestionar ruta (servidor) | Altres (servidor) |
|-----------|---------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|
| Passatger | Sí                        | No                  | No                      | No                        | No                |
| Creador   | Sí                        | Sí                  | No                      | No                        | No                |
| Gestor    | Sí                        | Sí                  | Sí                      | Sí                        | Sí <sup>6</sup>   |

FONT: Elaboració pròpia.

Cal esmentar en aquest punt que la visualització i creació de rutes tenen lloc a la banda del client, mentre que la gestió i la validació de la ruta es realitzen a la banda del servidor, conjuntament amb altres funcionalitats que no es detallen en aquesta publicació.

Les funcionalitats principals de l'aplicació són les següents:

— *Visualització de rutes.* Aquesta funcionalitat fa ús de la metodologia i l'eina descrites en l'apartat «2.3. Geolocalització basada en realitat augmentada», i esdevé crucial per al desenvolupament d'un sistema de guiatge de rutes augmentades. A mesura que l'usuari es mou pel món real, l'aplicació va mostrant el recorregut augmentat que cal seguir per arribar al destí, acompanyat d'indicacions de guiatge, com els metres pendents per finalitzar el recorregut i arribar al proper gir.

— *Creació de rutes.* Com s'esmentava en les funcionalitats associades al rol de creador, l'aplicació client permet crear rutes que podran ser visualitzades per passatgers o altres usuaris que seleccionin la ruta dins de la llista de rutes disponibles.

El procés de creació d'una ruta en certa manera no equidista gaire del procediment de visualització de la ruta augmentada. La principal diferència resideix en el fet que el creador defineix la ruta mentre realitza el recorregut real que caldrà seguir cada cop que es desitgi reproduir-la, i durant el recorregut va disposant un seguit de fites virtuals dins del sistema de coordenades cartesianes del món virtual. La relació existent entre dues fites consecutives permet establir les indicacions de navegabilitat de la ruta, tant pel que fa a l'orientació que s'ha de seguir com els metres que cal recórrer fins al proper canvi de direcció. El resultat final és la creació d'un graf dirigit que permet la navegabilitat i la connexió de diferents rutes individuals.

— *Validació de rutes.* Totes les rutes definides per un creador cal que siguin validades abans de poder ser posades a disposició de tots els passatgers, i aquesta tasca recau en la figura del gestor.

— *Gestió de rutes.* El sistema ha estat dissenyat per tal que un gestor pugui activar, desactivar o canviar rutes des

6. El sistema desenvolupat integra altres funcionalitats al voltant de l'RA que estan associades a l'ecosistema fons/front i es deixen per a futures possibles publicacions.

del seu lloc de treball amb l'objectiu de dotar el sistema d'un component de resiliència d'alt valor en la gestió diària de la infraestructura implicada en les diferents rutes que componen el sistema.

## 4. Cas d'ús de l'eina

Un cop finalitzat el desenvolupament de la nostra solució, es va dur a terme un procés de validació de l'aplicació EnllaçApp per tal de garantir que el procés d'importació de rutes automàticament funcionés correctament i, en el cas de detectar alguna anomalia, verificar que la ruta definida per BCN Regional es corresponia amb el recorregut real.

Els usuaris de l'aplicació poden iniciar un recorregut en superfície o en el subsol (figura 7) i, en funció de l'inici, el comportament de l'aplicació serà diferent.



FIGURA 7. Captura de pantalla de selecció de l'inici de ruta, aplicació EnllaçApp.  
FONT: EnllaçApp.

### 4.1. Inici de la ruta

En el primer cas, l'aplicació utilitzarà la localització de l'usuari (via GPS) per tal de detectar quins recorreguts augmentats es localitzen dins d'un radi de cerca establert pel mateix usuari. En el cas de detectar més d'un accés possible a un mateix destí, el sistema mostrarà aquell accés que impliqui un menor recorregut per a l'usuari, i aquesta distància serà la suma de la distància entre la posició de l'usuari i l'inici de la ruta més la distància total associada al recorregut augmentat. Aquests recorreguts sempre s'inicien en un ascensor per tal de garantir l'accessibilitat de la ruta a les PMR; l'aproximació fins a l'ascensor es realitza amb l'ajuda de la brúixola integrada al mòbil.

En el segon cas (figura 8), l'aplicació utilitzarà la selecció de l'usuari per tal de carregar el recorregut augmentat associat a la ruta i poder iniciar el seguiment de la ruta a mesura que avança l'usuari. Totes les rutes augmentades s'inicien, a dia d'avui, a peu de la plataforma que dona un accés fàcil al primer o darrer vagó.

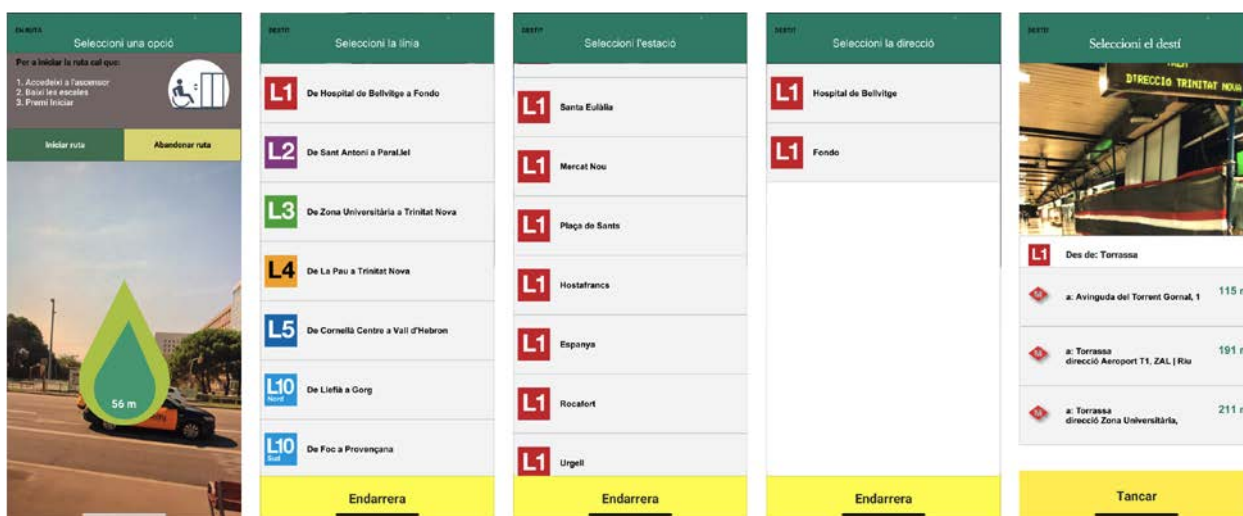


FIGURA 8. Captura de pantalla de selecció de ruta en subsof, aplicació EnllaçApp.  
FONT: EnllaçApp.

#### 4.2. Recorregut augmentat

Amesura que la PMR avança en el món real, l'aplicació sincronitza la seva posició dins del món virtual fent ús de la tecnologia RA, que, en el nostre cas d'ús, es veu reforçada o compensada amb les lectures dels sensors utilitzats —giroscopi, acceleròmetre i brúixola. D'aquesta manera l'usuari rep contínuament indicacions de la trajectòria i els passos que ha de seguir per arribar al seu destí, tal com es mostra en la figura 9.

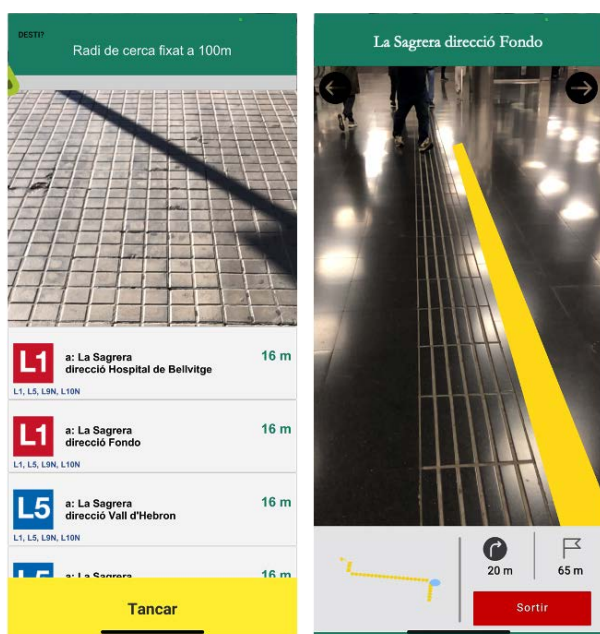


FIGURA 9. Captura de pantalla d'elecció de la ruta i indicacions augmentades de la ruta que es vol seguir, aplicació EnllaçApp.  
FONT: EnllaçApp.

#### 5. Conclusions

Arran de les primeres valoracions del cas d'ús de l'aplicació, l'equip de desenvolupament pot concloure que:

- Els sistemes híbrids de geolocalització en interiors basats en RA i INS són una molt bona alternativa per a la localització d'interiors en relació amb l'ús d'altres sistemes tradicionals basats en infraestructura d'emissors, tant pel que fa a la reducció del cost en el procés d'instal·lació com al seu manteniment, però requereixen un correcte posicionament a l'inici de la ruta.

- Els sistemes basats en rutes augmentades, com la solució presentada, s'ajusten millor que els sistemes tradicionals, basats en senyalístiques físiques, i es converteixen en una alternativa molt vàlida per a la gestió diària d'incidents o esdeveniments excepcionals que no requereixen una infraestructura física i ofereixen un sistema de guiatge amb una alt component de resiliència. Com a exemple de cas d'ús, sistemes com el presentat podrien ser molt útils per a determinats esdeveniments o accions de manteniment que poden alterar el sistema de transport habitual —afegint, modificant o desactivant rutes.

La validació del cas d'ús ha permès verificar que:

- El calibratge de l'usuari a la sortida de cada ascensor esdevé clau per millorar la fiabilitat del recorregut.
- Es requereix una millora del sistema inercial desenvolupat. És necessària la incorporació d'un model d'entrenament basat en xarxes neuronals que assisteixi la localització inercial quan la PMR utilitza una cadira de rodes per al desplaçament.

En paral·lel a l'inici del procés de millora de les accions de calibratge i rectificació presentades en el punt anterior, cal esmentar l'inici de les tasques de desenvolupament per a la integració de capes d'informació augmentades que permetin millorar l'experiència de l'usuari en rebre notifiacions d'incidències que puguin afectar el mitjà de transport actual i els ascensors implicats.



### Agraïments

Aquest projecte és finançat conjuntament per l'inLab FIB i l'Autoritat de Transport Metropolità.

### Bibliografia

- ELSOBEIEY, M.; EL-DIASTY, M. (2016). «Impact of tropospheric delay gradients on total tropospheric delay and point positioning». *International Journal of Geosciences* [en línia], núm. 7, p. 645-654. <<https://doi.org/10.4236/ijg.2016.75050>>.
- GHANTOUS, M.; SHAMI, H.; TAHA, R. (2018). «Augmented reality indoor navigation based on wi-fi trilateration». *International Journal of Engineering Research* [en línia], vol. 7, núm. 7. <<https://doi.org/10.17577/IJERTV7IS070059>>.
- HANG, Y.; SACHINI, H.; YASUTAKA, F. (2019) «RoNIN: Robust neural inertial navigation in the wild: Benchmark, evaluations, and new methods» [en línia]. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.12853>>.
- HERBERS, P.; KÖNIG, M. (2019). «Indoor localization for augmented reality devices using BIM, point clouds and template matching». *Appl. Sci.* [en línia], vol. 9, núm. 20, p. 4260. <<https://doi.org/10.3390/app9204260>>.
- JOHNSON, J. (2007). *GUI Bloopers 2.0: Common user interface design: Don'ts and dos*. 2a ed. San Francisco, Califòrnia: Morgan Kaufmann.
- VANIN, G. (2022). *The beginnings of celestial navigation* [en línia]. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.02371>>.