

Viabilitat i rendiment d'un sistema d'informació geogràfica en dispositius mòbils per realitzar càlculs LCP en zona de muntanya sense connexió de xarxa

Sergio Sosa-Sesma ^(1,2), Antoni Pérez-Navarro ⁽²⁾, Jordi Conesa-Caralt ⁽²⁾

(1) CNES – Centre National d'Etudes Spatiales, BP 726, 97310 Kourou (França),

sergio.sosa-sesma@cnes.fr

(2) Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació, Universitat Oberta de Catalunya, Rambla Poblenou 156, 08018 Barcelona, [ssosas|aperezn|jconesac]@uoc.edu

Abstract

The aim of this research paper is to present a macroscopic study about the feasibility and the efficiency of mobile devices in computing Least-Cost Path (LCP). This kind of artifact must work in off-line mode and must allow to load data from a mountain zone like digital terrain models and meteorological data.

The research strategy has two steps:

- First of all, we need to identify the set of software components in order to implement them inside the IT artifact. This set of components should have to be able to do LCP calculations, visualize results and present a well adapted human interface. The main goal of this first step is to demonstrate the feasibility of a mobile geographic information system by following the “Design & Creation” research strategy.
- In a second time, the goal is to evaluate the reliability and usability of this IT artifact by an “Experiments” research approach. In this step we want to characterize the behavior of the artifact in terms of fidelity and LCP process speed. This evaluation will be carried out by some external users.

During the reading of this paper, we will see that this kind of geographic information system (the IT artifact) has the minimal requirements needed to carry out LCP calculations in mobile devices although it has several limitations and constraints in terms of useability and reliability. We will point out qualitative and quantitative elements related to the IT artifact performances while doing this kind of computations.

Resum

Aquest estudi de recerca té com objectiu la realització d'un anàlisi macroscòpic sobre la viabilitat i el rendiment dels dispositius mòbils per realitzar, en mode “off-line”, els càlculs de camí de mínim cost (LCP) en zona de muntanya mitjançant un artefacte IT.

L'anàlisi aquí proposat es compon de dues fases:

- Identificar els components de programari existents més fàcils d'implementar en una aplicació mòbil i que presentin les característiques requerides per a: la realització d'aquest tipus de càlculs en dispositius mòbils, la visualització necessària i un mínim de

funcionalitats d'usuari per poder pilotar-les. La integració i adaptació d'aquestes parts dintre del nou artefacte IT permetran validar la viabilitat d'un sistema d'informació geogràfica d'aquestes característiques.

- Avaluar el rendiment d'aquest artefacte per mitjà d'un anàlisi experimental dissenyat per caracteritzar dos dels comportaments que s'han considerat de més rellevància per a l'usuari final: la rapidesa del procés de càlcul i la fiabilitat dels resultats obtinguts.

La realització d'aquesta recerca completarà la bibliografia existent i l'estat de l'art actual sobre el tema de realitzar càlculs de tipus LCP en dispositius mòbils i aportarà al mateix temps elements quantitatius i/o qualitius sobre les característiques de funcionament de l'artefacte IT necessari per realitzar aquest càlculs.

Com es veurà al llarg d'aquest article, un sistema d'informació geogràfica (artefacte IT) que tingui les característiques i requeriments mínims per aquests objectius de càlcul és viable encara que presenta un gran nombre de limitacions tant d'usabilitat com de fiabilitat.

Paraules clau

Android, DEM, GIS, Least-Cost Path (LCP), Mobile Devices, Trekking

I. INTRODUCCIÓ

El càlcul de rutes optimitzades, o camí de mínim cost (LCP – Least-Cost Path), ha estat sempre un problema per al desenvolupament de la societat (comunicacions, transport, intercanvi de mercaderies, oci...) i per a la millora de les infraestructures terrestres (construcció de canals, carreteres, camins...) [1]. El nivell d'optimització de les rutes generades pels algorismes actuals ha augmentat gràcies a la millor qualitat i resolució en les mesures del terreny, a l'existència de variables de superfície complementàries (meteorològiques, contaminació acústica i visual, radiació electromagnètica...), a la major potència de càlcul dels sistemes informàtics i a l'existència d'eines més potents per processar tota la informació geogràfica: els anomenats sistemes d'informació geogràfica (SIG) [2], [3].

L'aparició de dispositius mòbils amb sistemes de posicionament [4], GNSS i Internet, ha democratitzat l'ús de sistemes d'informació geogràfica basats en localització (LBS – Location Based Systems) [5]. És en aquest context on l'ús de rutes optimitzades pot ser molt útil en activitats d'oci en què es requereixen funcionalitats de localització i navegació [6]. Aquestes dues funcionalitats prenen una importància major en zones aïllades (zones de muntanya sense carreteres o camins establerts) on els usuaris disposen de poques senyalitzacions o punts de referència per seguir l'itinerari desitjat o l'itinerari més convenient segons les circumstàncies (per exemple una situació climatològica adversa). El nivell de disponibilitat de les connexions de xarxa en aquestes zones [7] fa que les funcionalitats de navegació i localització siguin a vegades els únics elements d'ajuda per aquests usuaris. Un exemple dels beneficis aportats per l'optimització de rutes en aquest tipus de zones és el guany de temps i l'energia física estalviada [8].

El concepte de ruta optimitzada que s'utilitza en aquest treball no es refereix a l'elecció del millor itinerari amb dades vectorials (més curt, més econòmic o que més temps estalvia) entre dos punts geogràfics donats [9] -com és el cas dels dispositius de navegació GPS dels cotxes per exemple- sinó una optimització des del punt de vista del cost de trànsit entre dos punts per trobar el camí de mínim cost (LCP – Least-Cost Path) utilitzant dades ràster. El cost de trànsit és una funció discreta en 2D en que cada cel·la X,Y representa el cost acumulat per tal d'arribar al punt de destinació: funció més coneguda en l'àmbit dels SIG com a superfície de cost acumulat. El principi de superfície de cost acumulat s'ha utilitzat en diversos treballs, com ara: [8], [10], [11], [12], [13] i d'altres. L'optimització, el càlcul LCP, consisteix a trobar la sèrie de punts X,Y que presenten els valors més petits de cost acumulat i que permetin d'unir el punt d'origen i destinació de manera contínua (punts X,Y adjacents): [14] i [15].

La superfície de cost acumulat modela el cúmul de criteris d'entrada sobre els quals es vol condicionar el càlcul LCP. Aquests criteris són també superfícies discretes en què cada punt o cel·la X,Y representa el cost associat al criteri; són les anomenades superfícies de fricció. Per exemple, si tenim una superfície de fricció que modela el pendent màxim (sense tenir en compte la direcció – cas isòtrop), el cost de travessar una cel·la serà major com major sigui el pendent ja que l'usuari tindrà més dificultats per travessar-lo, [16]. En el cas d'estudi proposat en aquest article s'ha considerat que els criteris que condicionen l'elecció d'un camí són: el relleu (pendent i orientació), el tipus de climatologia, el nivell de pluviometria, el tipus de sòl transitat, els obstacles hidrogràfics (rius, llacs,...) i els ponts i passos elevats.

Fins on sabem, no hi ha cap treball que hagi estudiat la possibilitat de realitzar aquest càlcul en dispositius mòbils ni prengui en consideració els factors climàtics i de posició de l'usuari en temps real. Això és així perquè normalment els estudis de tipus LCP són utilitzats durant les fases de concepció de les noves infraestructures (construcció de canals, carreteres, etc...) i per tant, es basen en dades estàtiques ja que la infraestructura també és estàtica (no es mourà del lloc un cop construïda). D'altra banda, fins a l'aparició de dispositius mòbils de tipus Smartphone, els càlculs LCP no es podien

aplicar en temps real sobre el territori. Si es volia fer una ruta, hi havia una fase de preparació, on es generava un itinerari sobre un PC que es composava d'un mapa estàtic amb punts de referència. L'itinerari del mapa es seguia amb l'ajuda d'un GPS i/o una brúixola.

El resultat dels treballs desenvolupats en [17] i [18] mostren que actualment és viable la implementació d'algorismes de *routing* complexos en dispositius mòbils en el cas de dades vectorials. Tanmateix, creiem que les característiques tècniques dels dispositius mòbils haurien de permetre també la implementació d'algorismes sobre dades ràster (superfícies de dades discretes) i fer possible l'ús de càlculs LCP en temps real sobre el terreny. La irrupció del temps real fa que passi a tenir sentit el còmput de dades variables amb el temps, com per exemple la climatologia, que podran afectar el resultat del càlcul LCP i justifica per tant la necessitat d'actualitzar l'itinerari sobre el mateix dispositiu durant el recorregut.

Amb aquest objectiu present, la pregunta de recerca que es vol resoldre en aquest treball és:

Es pot crear un sistema d'informació geogràfica per a dispositius mòbils sense connexió de xarxa que pugui fer càlculs d'optimització de rutes sobre dades ràster de zones de muntanya i que sigui eficient des del punt de vista de l'usuari final?

Taula 1: Pregunta de recerca

Per tal de respondre aquesta pregunta s'ha creat un artefacte software que s'executa sobre dispositius mòbils i permet calcular camins LCP en temps real. Amb aquesta eina de suport, s'han realitzat un conjunt d'experiments per caracteritzar el comportament del sistema creat i així poder avaluar la seva funcionalitat, el seu rendiment, la fiabilitat percebuda pels usuaris i com afecten les limitacions tècniques dels dispositius en el càlcul LCP. El conjunt de dades recollides amb els experiments realitzats sobre l'artefacte ha permès respondre íntegrament a la pregunta anterior. Per tal d'afitar l'abast de l'aplicació creada, aquesta tan sols s'ha enfocat a generar camins LCP en zones de muntanya, i funciona amb i sense connexió a Internet (encara que amb algunes limitacions).

Aquest document s'ha estructurat en quatre seccions:

1. La descripció dels materials lògics i físics utilitzats durant el procés d'investigació, així com la presentació de les estratègies utilitzades per tal de generar les dades necessàries a l'estudi.
2. La presentació factual i sense interpretació dels resultats obtinguts amb el desenvolupament de les estratègies de generació de dades anteriors.
3. L'anàlisi i crítica dels resultats obtinguts.
4. Les conclusions d'aquest estudi.

II.MATERIALS I MÈTODES

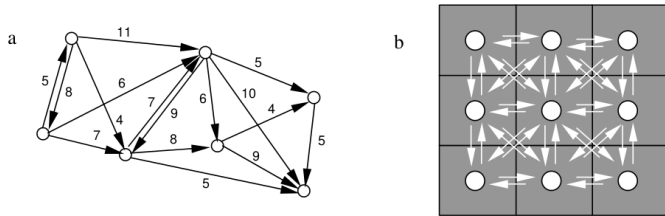
Els materials utilitzats en aquest estudi són diversos tant a nivell lògic (tipus de dades, algorismes, programaris...) com a nivell físic (dispositius mòbils i PC). El context de la recerca es limita a l'escenari següent:

- L'artefacte IT només serà compatible sobre dispositius mòbils amb SO Android 2.3.

- Les dades d'entrada corresponents a la zona del parc natural de la Serra del Cadí (uns 410km²)
- La visualització es farà sobre una vista simplificada 2D de tipus vectorial.
- El dispositiu mòbil de proves serà un “SONY Xperia go” amb una targeta d'emmagatzematge extern de 2GB.
- Un conjunt d'usuaris extern al projecte amb la finalitat d'avaluar l'eficiència subjectiva de l'artefacte.

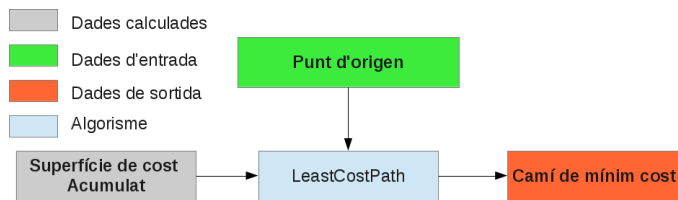
Materials lògics: Els algorismes de càlcul

Un càlcul LCP s'aplica sobre dades de tipus ràster ja que es requereix prendre una decisió sobre la millor direcció de desplaçament virtual de l'usuari fins arribar a la cel·la cau (destinació). El principi de càlcul utilitza un algorisme on s'assumeix una xarxa de connexions entre les cel·les veïnes de la superfície de cost acumulat [14], imatge 1.



Imatge 1: Representació d'una xarxa de nodes en el cas de dades ràster

La imatge 1a representa una xarxa de nodes arbitrària on cada enllaç indica el cost d'anar al node següent. En la imatge 1b es pot veure com, en el cas de dades ràster, la cel·la central està connectada amb les vuit veïnes; cada trànsit entre cel·les contigües podrà tenir un cost diferent. La imatge 2 mostra un esquema del principi de càlcul de l'algorisme LCP on es mostren les dades ràster d'entrada necessàries i la sortida generada per l'algorisme (ràster o llista de punts).



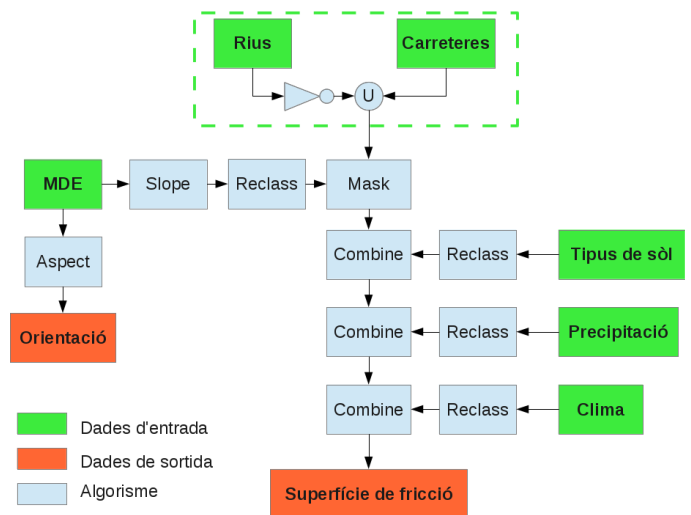
Imatge 2: Càlcul del camí de mínim cost

La complexitat de l'algorisme recau doncs en el càlcul d'aquesta superfície de cost acumulat per tenir en compte els criteris sobre els quals es vol fer l'optimització. El procés de generació de la superfície de cost acumulat comença amb la producció d'una superfície de fricció i de manera opcional una superfície que indiqui la direcció de cost màxim (només necessari en el cas anisòtrop). La definició de les dades d'entrada depèn de la problemàtica que es vol tractar: per exemple en [19] s'utilitzen capes de conques visuals per definir la superfície de fricció ja que l'objectiu és trobar els camins amb millors vistes, els camins més amagats o estratègics, etc.; en [13] només es fa servir el model digital d'elevació (MDE) i el tipus de sòl ja que l'objectiu és

determinar la implantació òptima d'una carretera. En el nostre cas d'estudi, considerant els criteris que poden condicionar l'elecció d'un camí o un altre en zona de muntanya, el conjunt de dades d'entrada establert és el següent:

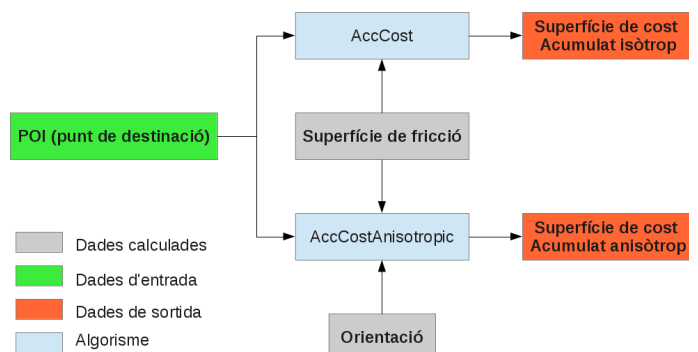
- l'elevació del terreny (MDE)
- la màscara de rius i carreteres
- el tipus de sòl de la zona
- la pluviometria
- el tipus de clima

La imatge 3 mostra un esquema conceptual del procés de càlcul de les superfícies de fricció i orientació pel nostre cas d'estudi. Tal i com es pot veure, cada dada d'entrada, amb excepció de les dades de la màscara, ha de ser primerament reclassificada, és a dir que a un rang de valors d'entrada se'ls atribueix un valor normalitzat i predefinit de sortida. Així s'obté una superfície de cost unitari que després s'ha de combinar amb les altres per produir la superfície de fricció. L'algorisme de reclassificació és necessari per combinar, és a dir ponderar, els valors sobre una mateixa escala. També s'utilitzen algorismes específics per calcular el pendent i l'orientació a partir de les dades ràster d'elevació [20].



Imatge 3: Càlcul de les capes estàtiques (orientació i superfície de fricció) en l'artefacte IT

Un cop tenim aquestes dues superfícies generades, ja es pot calcular la superfície de cost acumulat respecte al punt de destinació escollit. Aquest càlcul de superfície de cost acumulat pot fer-se utilitzant un algorisme isòtrop o anisòtrop tal i com es pot veure en la figura 4:



Imatge 4: Càlcul de la superfície de cost acumulat segons l'algorisme escollit

En el cas de l'algorisme isòtrop [20], el cost acumulat no té cap dependència amb la direcció del desplaçament, és a dir que el cost de travessar una cel·la és el mateix en qualsevol direcció: el concepte de cost acumulat només depèn de la distància recorreguda ponderada amb el cost unitari de travessar la cel·la. Si utilitzem l'algorisme anisòtrop [20], el cost de travessar la cel·la sí que depèn de la direcció i sentit del desplaçament: el concepte de cost acumulat és igual que l'anterior però, a més a més, es pondera amb la dependència angular.

Materials lògics: Les dades d'entrada

En l'apartat anterior sobre els algorismes necessaris per realitzar càlculs LCP, ja ha estat identificat el format necessari i el conjunt de dades externes que condicionaran l'optimització. En canvi, aquestes dades provenen de fonts diverses i tenen un format i un sistema de coordenades de referència (CRS) que pot ser diferent segons quines siguin les dades:

- Dades DEM 15m de l'ICGC full 254A - Gósol, fitxer de tipus ESRI amb CRS EPSG:25831 (ETRS89 – UTM31N), 19MB
- Dades del tipus de clima del DMAH, fitxer de tipus SHP amb CRS EPSG:25831, 1MB
- Dades de precipitació anual del DMAH, fitxer de tipus SHP amb CRS EPSG:25831, 1MB
- Dades CLC2006 100m del tipus de sòl de l'EEA, fitxer de tipus TIFF amb CRS EPSG:3035, 140MB
- Dades hidrogràfiques DGN de l'ICGC, fitxer de tipus DXF amb CRS EPSG:25831, 6MB
- Dades de la xarxa de carreteres de Catalunya DGC, fitxer de tipus SHP amb CRS EPSG:25831, 235MB

En total tenim uns 400MB de dades brutes. A més, els formats i sistemes de referència utilitzats són diversos i això implica que les dades no es poden utilitzar directament, es necessita un processat previ. En el nostre cas d'estudi i degut a les necessitats de l'algorisme quant al tipus de dades ràster, s'ha definit el format ESRI ASCII amb resolució de graella de 15m i CRS EPSG:25831 com el format de referència (format de base de les dades DEM 15 m de l'ICGC). El procediment per realitzar la conversió de formats es mostra seguidament i s'ha fet sobre un PC amb l'ajuda de gvSIG desktop 2.0 i els manaments de la biblioteca GDAL. Aquest mateix procés es pot dur a terme amb altres programaris SIG que tinguin funcionalitats de geoprocessament equivalents i amb independència del tipus de dispositiu (mòbil/tableta o PC).

Els valors de reclassificació necessaris als algorismes presentats en la imatge 3 no són utilitzats durant el procés de tractament de dades desenvolupat en els apartats següents, tanmateix es donen les taules associades a cada tipus de dades. Tot seguit es mostra el tractament a què cal sotmetre cada font de dades per tal d'harmonitzar-les i normalitzar-les amb els valors de reclassificació corresponents:

Tractament de les dades DEM

Les dades DEM ja estan en el format establert i no patiran cap transformació. La taula de reclassificació del pendent que permet generar una capa de fricció coherent amb les altres dades es mostra en la taula 2, aquesta reclassificació és molt similar a la utilitzada en [13]:

Pendent mínim (%)	Pendent màxim (%)	Valor reclassificat
0	0.55	1
0.55	1.72	2
1.72	3.25	3
3.25	4.97	4
6.86	12.55	6
12.55	23.0	7
23.0	40.0	20
40.0	1000.0	100

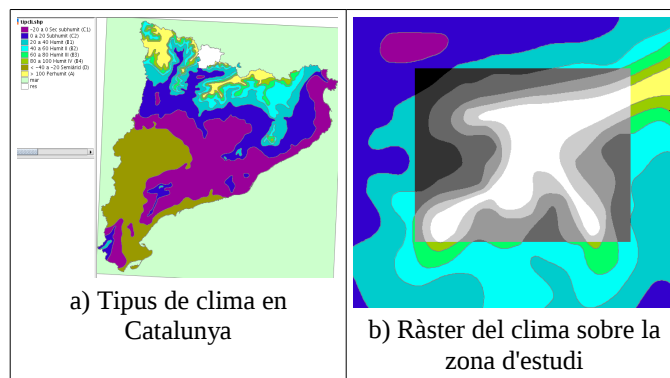
Taula 2: Classificació del pendent

Tractament de les dades del tipus de clima

Les dades climàtiques estan en un format vectorial i tenen una cobertura sobre tota la zona de Catalunya. Per aquestes raons, s'han de "rasteritzar" i retallar sobre la zona d'interès. Aquest procés s'ha realitzat amb l'ajuda de l'eina gvSIG la qual presenta una interfície d'usuari molt ergonòmica pel tractament visual i geoprocessament. Com gvSIG només pot exportar capes ràster en format TIFF (Tagged Image File Format), s'ha utilitzat la biblioteca GDAL sobre un terminal per tal de transformar el format TIFF en ESRI ASCII amb la comanda següent:

```
gdal_translate -a_nodata NODATA -of AAIGrid source_file.tif dest_file.asc
```

La imatge 5 mostra els diferents tipus de clima en Catalunya i la capa ràster generada sobre la zona d'estudi corresponent al DEM.



Imatge 5: Dades vectorials del tipus de clima

La generació de la capa ràster s'ha fet sobre l'atribut "classe" que es correspon amb el tipus de clima via la taula 3 on també tenim el valor reclassificat per generar la capa de fricció corresponent. D'aquesta manera els valors podran ser ponderats coherentment entre les diferents capes.

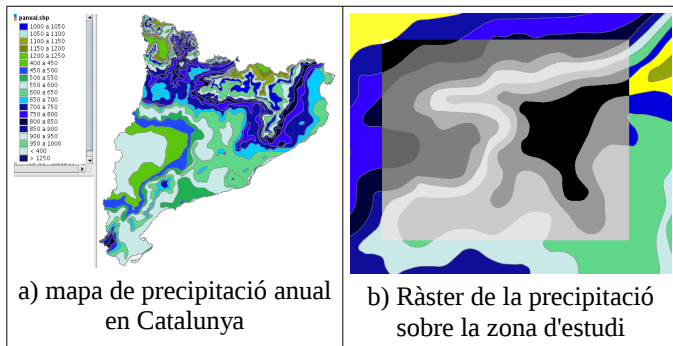
Classe	Tipus de clima (humitat relativa en %)	Valor reclassificat
52	0 a 20 Subhumit (C2)	1
53	20 a 40 Humit II (B1)	2
54	40 a 60 Humit II (B2)	3
55	60 a 80 Humit III (B3)	4
56	80 a 100 Humit IV (B4)	5
57	> 100 Per-humit (A)	6

Taula 3: Correspondència entre classe i tipus de clima

Seguidament, la capa ràster es desa com imatge TIF per poder ser transformada amb GDAL cap a ESRI ASCII.

Tractament de les dades de precipitació anual

Sobre les dades de precipitació anual, el procés és idèntic al cas anterior. Les capes obtingudes es mostren en la imatge 6:



Imatge 6: Tractament amb gvSIG de la capa de precipitació anual en Catalunya

La generació de la capa ràster s'ha fet sobre l'atribut "classe" que es correspon amb el tipus de clima via la taula 4:

Classe	Precipitació anual (mm)	Valor reclassificat
118	650-700	1
50	700-750	1
54	750-800	2
55	800-850	2
57	850-900	3
59	900-950	4
58	950-1000	5
56	1000-1050	6
48	1050-1100	7

Taula 4: Correspondència entre classe i tipus de clima

Tractament de les dades CLC2006

Les dades Corine Land Cover (CLC) estan en un format ràster sobre un CRS que permet cobrir tota Europa amb una resolució de 100 m. Per tal d'obtenir les dades corresponents

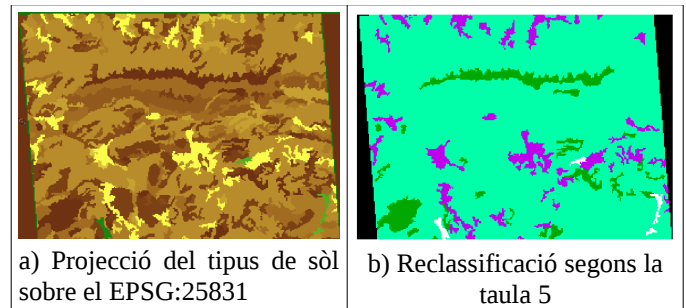
en la zona d'estudi s'han de seguir els següents passos sobre l'eina gvSIG i l'extensió SEXTANTE:

- Carregar la capa CLC2006 amb el CRS EPSG:3035
- Carregar la capa DEM 15x15 amb el CRS EPSG:25831
- Fer la reprojecció de la capa DEM sobre el CRS EPSG:3035
- Crear un polígon envoltant la capa DEM reprojectada
- Retallar la capa CLC2006 amb el polígon anterior
- Fer la projecció d'aquesta ultima capa retallada sobre el CRS EPSG:25831
- Retallar aquesta ultima capa especificant que la mida de la cel·la és 15m i utilitzant els límits de la capa DEM 15x15.
- Desar el resultat en format TIF i convertir-lo posteriorment en ESRI ASCII amb la comanda GDAL corresponent.

Classe	Tipus de sòl	Valor reclassificat
0 o 128	NO_DATA	NO_DATA
2	Fàbriques urbanes	7
7,8	Zona minera	6
18,20,21	Àrea de conreu	1
23,24,25	Boscós densos	4
26,27,29	Vegetació diversa	3
31,32	Clarianes i zones amb poca vegetació	2

Taula 5: Correspondència entre classe i tipus de sòl

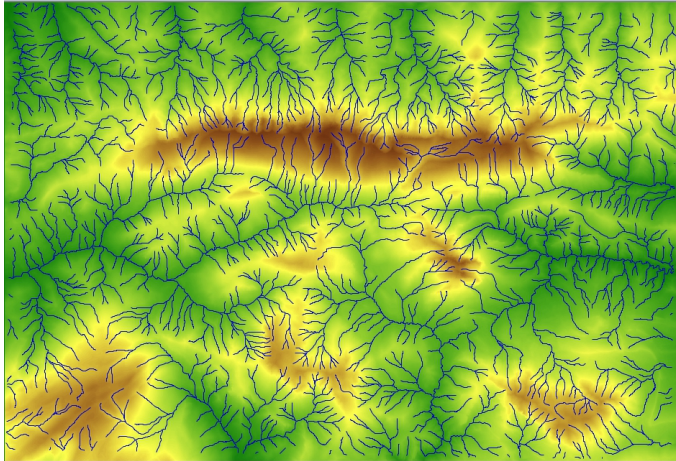
La taula 5 conté les informacions de les metadades CLC2006 sobre la zona d'estudi. Els valors de reclassificació de la taula 5 són coherents amb els valors proposats en [13]. La imatge 7 mostra el resultat final del procés de tractament sobre les dades CLC2006. Es pot observar com el canvi de sistema de referència (projecció) provoca unes bandes laterals triangulars sense dades. Aquest fenomen no té cap repercussió important i només redueix la zona efectiva de dades.



Imatge 7: Reclassificació del sòl de la zona d'estudi

Tractament de les dades hidrogràfiques i xarxa de carreteres

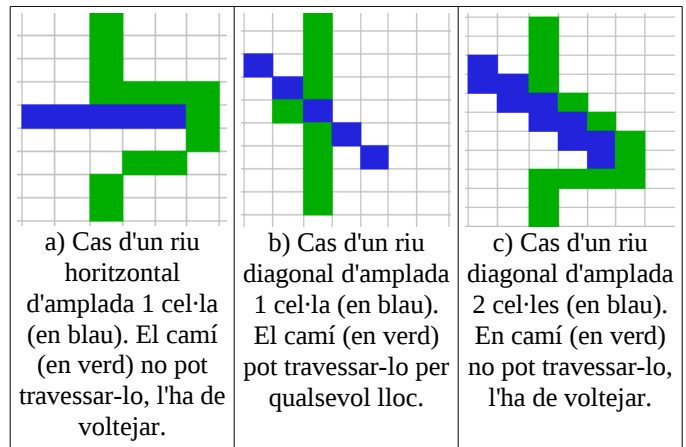
Les dades hidrogràfiques es poden obtenir de la base topogràfica 50 m de l'ICGC en format vectorial sobre un CRS EPSG: 25831. Tal com es pot veure en la imatge 3, un algorisme tracta les dades hidrogràfiques per tal de generar una màscara, és a dir zones on està prohibit anar (condició límit). La imatge 8 mostra la capa vectorial hidrogràfica i la seva resolució en rius, afluents i estanys.



Imatge 8: Xarxa hidrogràfica de la zona de proves (base ICGC)

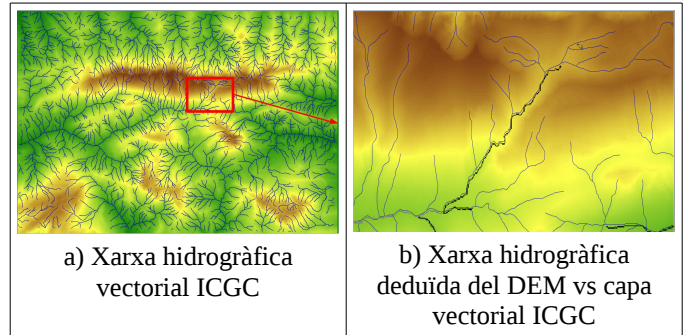
Aquesta capa vectorial no conté les metadades necessàries per tal de filtrar els rius i afluents de més importància, és per aquesta raó que s'ha proposat un procés de tractament alternatiu a partir de la capa ràster DEM 15x15. El resultat d'aquest tractament ràster serà comparat amb la capa hidrogràfica vectorial de la imatge 8 per validar la coherència amb les informacions oficials de l'ICGC. Aquest procés s'ha realitzat amb gvSIG desktop v2.0 i els mòduls d'anàlisi hidrogràfic de SEXTANTE amb els passos següents:

- Tractar la capa DEM per tal de suprimir totes les depressions. Aquest pas elimina les cel·les de la graella amb pendent nul per evitar l'estancament teòric d'aigua.
- Fer un càlcul d'acumulació de flux (mètode MFD amb valor 1.1). Aquest pas permet calcular el cúmul teòric d'aigua en cada cel·la de la graella.
- Fer un càlcul de xarxa de drenatge (valor límit 2e6). Aquest pas permet de filtrar les cel·les de la graella segons el valor de cúmul d'aigua calculat anteriorment, és a dir que permet diferenciar els rius amb més cabal dels petits afluents.
- Adjuntar una zona d'influència sobre la xarxa de drenatge anterior (en aquest cas s'ha utilitzat arbitràriament una distància de 20 m per tal que el riu sempre tingui una amplada mínima de dues cel·les sobre la graella de 15x15, 40 m en el cas de la graella de 30x30, etc..). D'aquesta manera cap riu no podrà creuar-se en diagonal tal com es pot veure en la imatge 9.

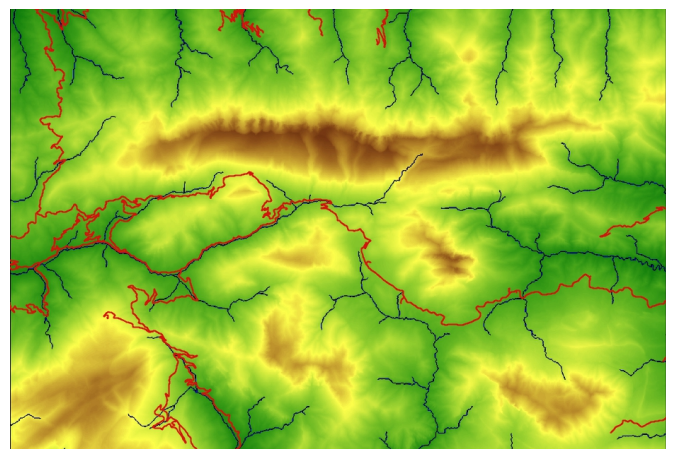


Imatge 9: Justificació de la necessitat de tenir una amplada de riu mínima de 2 cel·les

La imatge 10 permet comparar la xarxa hidrogràfica de l'ICGC amb la xarxa deduïda amb el procés anterior. Es pot veure com el procés proposat permet modelar únicament els afluents més importants i elimina els petits rierols.



Imatge 10: Simplificació de la xarxa hidrogràfica de la zona

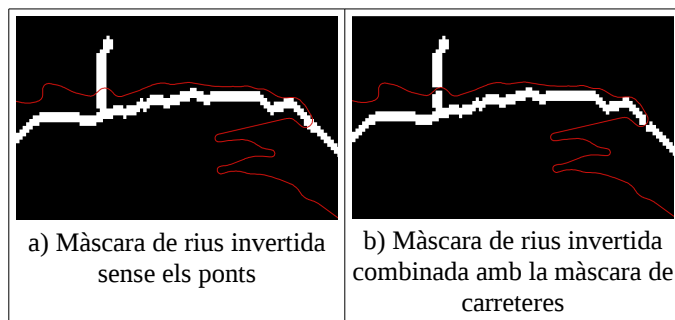


Imatge 11: Xarxa hidrogràfica deduïda del DEM amb zona d'influència de 20m (en blau) i xarxa de carreteres principal (en vermell)

Finalment, tal i com es pot veure en la imatge 11, la xarxa de carreteres de la zona ha estat superposada sobre la xarxa hidrogràfica calculada anteriorment. D'aquesta manera es poden tenir en compte els ponts que permeten travessar els rius per alguna de les seves parts sense necessitat de voltejar-los completament. El procediment que s'ha seguit sobre l'eina gvSIG desktop 2.0 i el mòdul SEXTANTE és el següent:

- Rasteritzar la capa vectorial de carreteres (dades DGC de tipus SHP) per tal d'obtenir una màscara que serà aplicada sobre la capa hidrogràfica. Les carreteres tindran un valor vàlid i la resta de la capa un valor "NO DATA".
- Invertir la capa ràster hidrogràfica amb el mòdul "invertir màscara" de SEXTANTE, d'aquesta manera l'amplada del riu tindrà un valor "NO DATA" i la resta de la capa un valor vàlid.
- Unir aquestes dues capes per tal d'obtenir la màscara final.
- Desar la màscara final en format TIF i després transformar-la en ESRI ASCII amb la comanda GDAL corresponent.

El resultat d'aquest procés es mostra en la imatge 12 on s'obté la màscara de rius abans d'aplicar els ponts (a) i la màscara final (b) on es veu que els rius han estat tallats amb el pas de la carretera.



Imatge 12: Generació de la màscara de rius amb les carreteres

Ponderació de cada tipus de dada

Falta definir quina és la contribució de cada capa en la superfície de fricció (imatge 3), és a dir quina ponderació tenen les capes de pendent, del tipus de clima, de precipitació i de tipus de sòl. La taula 6 presenta la ponderació utilitzada per l'algorisme de combinació la qual ha estat deduïda de [12]:

Pendent	Tipus de sòl	Clima	Precipitació
40%	30%	20%	10%

Taula 6: Factors de ponderació de cada capa de dades

Amb el procés de tractament anterior cada capa ocupa ara 19MB d'espai en memòria, és a dir aproximadament un total de 100MB de dades amb els fitxers de reclassificació i ponderació inclosos. El temps total d'aquest processament de les dades d'entrada ha estat d'1h30m per un usuari experimentat i familiaritzat amb les eines SIG.

Materials físics: Els dispositius mòbils

Un cop definits els materials lògics d'aquest estudi (algorismes i dades) cal descriure els materials físics emprats com suport de la recerca. El conjunt de dispositius mòbils utilitzats per tal d'estudiar la viabilitat i el rendiment d'un artefacte capaç de realitzar càlculs LCP en zona de muntanya sense connexions de xarxa ha sigut el següent:

Dispositiu i utilització		SO i versió	Autonomia en mode 3G	Capacitat targetes SD
SONY XPERIA Go	Banc de test 1	Android 2.3.7	5h30	4GB SD interna 2GB SD externa
HTC Desire	Telèfon personal del testejador 1	Android 2.3.7	6h	2GB SD interna 8GB SD externa
Samsung Galaxy S SCL	Telèfon personal del testejador 2	Android 2.3.6	3h30	4GB SD interna 0GB SD externa

Taula 7: Característiques tècniques dels dispositius mòbils utilitzats en l'estudi (revista tècnica www.01net.com)

En la taula 7 es pot observar que el dispositiu utilitzat com banc de proves és d'una gama similar als dispositius utilitzats pel grup de testejadors.

Metodologia de recerca

Per poder respondre a la pregunta de recerca de la taula 1 s'han desenvolupat dues estratègies diferents:

1. L'estratègia "Design&Creation" amb l'objectiu d'implementar en un artefacte IT:
 - 1.1. Els algorismes presentats en l'apartat de materials lògics per realitzar els càlculs LCP sobre el dispositiu mòbil.
 - 1.2. La interfície d'usuari necessària per proposar com a mínim les següents funcionalitats:
 - introduir el punt de destinació i d'origen,
 - escollir el tipus de càlcul (isòtrop o anisòtrop),
 - escollir la configuració dels algorismes isòtrop i anisòtrop [20],
 - visualitzar el resultat.
2. L'estratègia "Experiments" amb l'objectiu de caracteritzar el comportament d'aquest artefacte i estudiar la seva viabilitat, fiabilitat i usabilitat a partir d'un conjunt de proves específicament dissenyades per tal d'avaluar aquestes mètriques:
 - Des del punt de vista tècnic en el laboratori de proves:
 - Validar la viabilitat i el temps necessari sobre el dispositiu mòbil per realitzar el procés de tractament de dades exposat en l'apartat anterior.
 - Avaluar quantitativament el temps de resposta de l'aplicació en els casos següents:
 - Carregar en memòria les dades necessàries (capes ràster).

- Realitzar un càlcul de superfície de cost acumulat amb els algorismes isòtrop i anisòtrop.
- Realitzar un càlcul LCP amb diferents distàncies entre el punt d'origen i el punt de destinació.
- Validar que el temps total necessari en qualsevol cas d'utilització és compatible en termes d'autonomia amb les característiques del dispositiu.
- Avaluar qualitativament la fiabilitat mitjançant la superposició de les dades LCP sobre una ortofoto de la zona de proves:
 - Validar que el càlcul LCP genera un itinerari coherent amb el relleu de la zona (l'algorisme prioritza el pas per les valls i no les zones amb desnivells importants)
 - Validar que la travessa de rius i altres elements geogràfics només pot fer-se en els passos existents (ponts, carreteres, etc...)
 - Comparar el resultat LCP amb un itinerari real (<http://es.wikiloc.com>)
- Des del punt de vista de l'usuari:
 - Avaluar el nivell d'adaptació de l'artefacte IT a les necessitats de l'usuari. S'han definit un conjunt de 20 proves que seran avaluades per un conjunt d'usuaris externs sobre una escala de Likert (nivell de satisfacció entre 1 i 5). La taula 8 presenta la llista d'experiments amb un identificador i la descripció corresponent:

ID	Descripció de la prova
E12	Realitzar un càlcul LCP sobre una capa disponible en la llista de POI (E10) i avaluar el temps de resposta
E13	Visualitzar el camí obtingut en E11 i E12 i avaluar l'adaptació de l'itinerari proposat
E14	Realitzar un càlcul de superfície de cost amb l'algorisme isòtrop sobre el punt de destinació del Pedraforca i avaluar el temps de resposta
E15	Realitzar un càlcul de superfície de cost amb l'algorisme anisòtrop sobre el punt de destinació del Pedraforca i avaluar el temps de resposta
E16	Realitzar un càlcul sobre LCP amb el mateix punt d'origen amb les superfícies dels dos casos anterior (E14 i E15). Visualitzar el camí obtingut i avaluar l'adaptació de l'itinerari proposat
E17	Carregar noves dades d'entrada ràster
E18	Carregar noves dades d'entrada vectorials (clima, precipitació, etc.)
E19	Carregar noves dades vectorials de visualització: "mapa de fons"
E20	Canviar la ponderació i reclassificació de les capes

Taula 8: Proves d'usuari de l'artefacte mXPdroid

ID	Descripció de la prova
E1	Llançar l'aplicació: adaptació de la pantalla d'inici i els indicadors (escala, GPS, brúixola)
E2	Sortir de l'aplicació
E3	Entrar i sortir del menú principal
E4	Desplaçar del mapa
E5	Fer un zoom sobre el mapa: amb les tecles +/- i via un doble "tap"
E6	Fer un zoom màxim i un zoom mínim
E7	Introduir un punt d'origen/destinació via diferents modes (introducció numèrica, captors extern, "tap" sobre la pantalla)
E8	Calcular una nova superfície de cost utilitzant un dels punts anteriors (E7)
E9	Introduir la configuració desitjada (tipus d'algorisme de la distància, factor K, etc.)
E10	Seleccionar una de les superfícies de cost disponibles en memòria (POI) amb un càlcul LCP posterior
E11	Realitzar un càlcul LCP sobre una capa calculada (E8), avaluació del temps de resposta

III.RESULTATS

En aquest apartat es presentaran els resultats obtinguts en l'ordre següent:

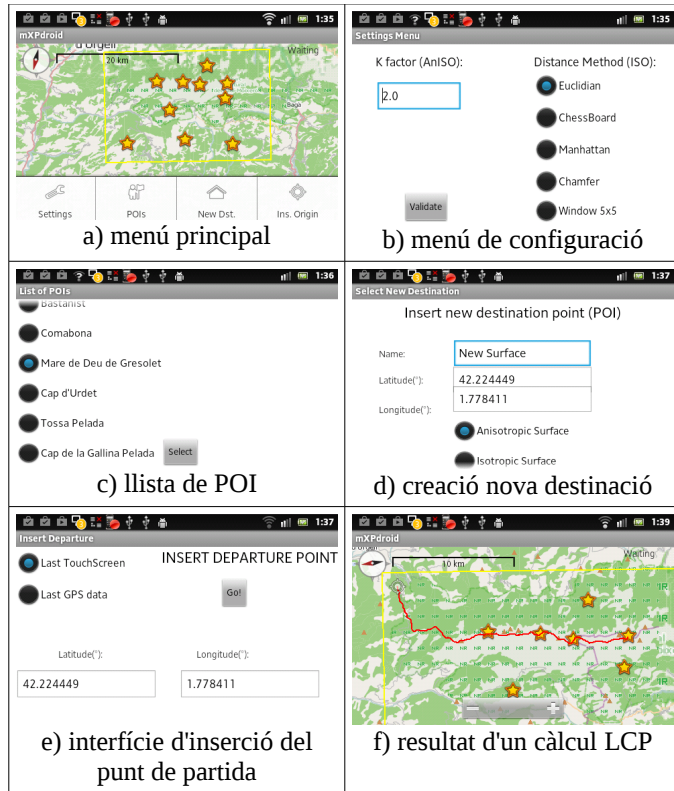
1. Presentació l'artefacte IT de generació de dades
2. Resultat de les proves per:
 - 2.1. la viabilitat del procés de tractament de dades,
 - 2.2. l'avaluació quantitativa del comportament intrínsec de l'artefacte,
 - 2.3. l'avaluació qualitativa del nivell d'adaptació de l'artefacte a les necessitats de l'usuari.

L'artefacte IT de proves

L'artefacte IT de proves que s'ha desenvolupat per tal de generar les dades necessàries a l'estudi presentat en aquest article és una aplicació Android anomenada *mXPdroid*. La recerca bibliogràfica realitzada ens ha permès d'identificar els programaris (API) i biblioteques de base per dur a terme aquest desenvolupament:

- Biblioteca *SEXTANTE* (únicament les classes JAVA necessàries) per la implementació dels algorismes de càlcul LCP [21]. S'ha escollit *SEXTANTE* perquè presenta funcionalitats de càlcul més coherents amb el propòsit de la recerca en comparació a d'altres com *GRASS* (www.grass.osgeo.org). Per exemple la darrera versió de *GRASS*, la v6.5, només conté els algorismes per calcular el cost isòtrop malgrat els desenvolupaments presentats en [11].
- API *Osmdroid* v3.0.8 per la visualització dels resultats i implementació dels menús d'usuari [22].

La imatge 13 recull un exemple del conjunt de menús disponibles en l'aplicació i un cas de visualització d'un resultat de càlcul LCP.



Imatge 13: ScreenShots de l'artefacte IT

Viabilitat del procés de tractament de dades

En l'apartat II s'ha dit que es necessita un tractament previ de les dades independentment de l'artefacte utilitzat per realitzar el càlcul LCP. La primera prova que s'ha realitzat en aquest estudi és, doncs, l'avaluació del nivell de viabilitat del procés de tractament de dades sobre el dispositiu mòbil de proves. La recerca bibliogràfica sobre programaris SIG en dispositius Android amb funcionalitats de geoprocessament només ha permès identificar un sol projecte: QGIS Android (<http://hub.qgis.org/projects/android-qgis>). Per contra, el projecte sembla estar en una fase prematura i el procés d'instal·lació presenta dificultats majors que impedeixen tota utilització de l'eina sobre el dispositiu de proves (Sony Xperia Go). Per aquests dos motius, manca d'alternatives d'aquest tipus de programaris SIG i impossibilitat d'utilitzar el projecte QGIS Android, s'ha considerat que actualment el procés de tractament previ de les dades només pot realitzar-se sobre un PC.

Avaluació dels temps de resposta de l'artefacte mXPdroid

Un cop el tractament previ de dades realitzat sobre el PC, aquestes es carreguen sobre el dispositiu mòbil i són disponibles per l'aplicació *mXPdroid*. El procés de càlcul sobre el dispositiu mòbil comença amb la càrrega de les dades i el càlcul de la superfície de fricció (imatge 3), després s'ha de calcular la superfície de cost acumulat (imatge 4) i finalment el càlcul de camí de mínim cost (imatge 2).

La primera prova realitzada ha mostrat que l'artefacte *mXPdroid* és incompatible amb els recursos lògics autoritzats

per les aplicacions Android. Com ja s'ha dit, després del tractament, cada capa de dades té 19MB i les aplicacions Android estan limitades a 25MB de memòria dinàmica. Aquest fet impedeix la càrrega simultània de més d'una capa i per tant la generació de la superfície de fricció (imatge 3). El problema és el mateix pel càlcul de la superfície de cost acumulat (imatge 4) ja que internament l'algorisme utilitza capes temporals de dades intermèdies de la mateixa mida que les dades d'entrada. En canvi, l'algorisme de càlcul LCP no es veu afectat per aquesta limitació de l'espai de memòria dinàmica (heap) ja que només requereix la càrrega de la superfície de cost acumulat (imatge 4). La solució proposada per limitar els efectes negatius d'aquesta incompatibilitat ha estat la següent:

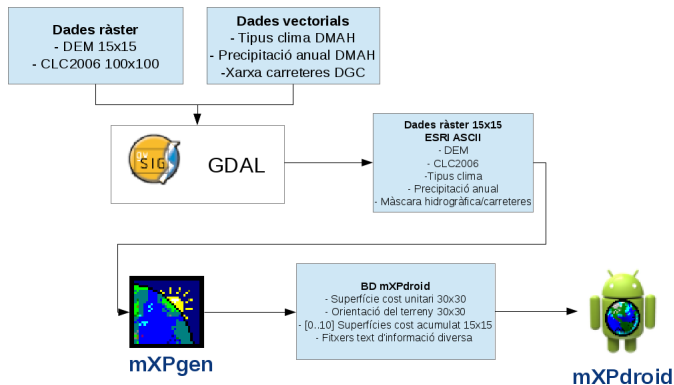
1. Per una banda s'ha decidit calcular externament 10 superfícies de cost acumulat (isòtrop o anisòtrop) corresponents a les 10 destinacions més rellevants de la zona (POI). Aquestes 10 superfícies de cost (amb graella de 15 m) poden ser utilitzades directament per l'aplicació un cop introduïdes en el mòbil i fer un càlcul LCP a partir d'un punt d'origen introduït per l'usuari.
2. Per altra banda, s'ha reduït la resolució de la graella a 30 m i per tant la mida dels fitxers de dades és ara de 5MB aproximadament. Aquesta reducció s'ha fet externament sobre un PC i permet utilitzar el principi de càlcul de la superfície de cost acumulat (isòtrop o anisòtrop) però continua sent incompatible amb el càlcul de la superfície de fricció ja que l'algorisme requereix 5 capes d'entrada i 2 capes de sortida en memòria (uns 35MB en total).
3. Finalment, i degut a la limitació del càlcul de la superfície de fricció exposat en el punt anterior, s'ha decidit realitzar el càlcul de la superfície de fricció i la capa d'orientació amb graella de 30 m també de manera externa.

El canvi a 30 m de resolució fa que els rius tinguin una amplada mínima de 60 m i les carreteres de 30 m. Aquests dos fenòmens no tenen cap influència en l'àmbit d'aquest estudi. Els tractaments externs anteriors es fan de manera automàtica amb l'ajuda d'un nou artefacte per a PC desenvolupat amb aquestes finalitats. Aquesta nova eina complementària ha estat anomenada *mXPgen*. S'ha comprovat que el temps màxim de generació de la nova base de dades és d'uns 20 minuts en el cas en que hi hagi 10 POI de tipus anisòtrop seleccionats per l'usuari, que correspon amb el pitjor cas de sol·licitació de l'eina *mXPgen*. La taula 9 presenta el total d'espai necessari que utilitzarà l'aplicació *mXPdroid* després del tractament fet amb *mXPgen*:

Fitxers	Espai (MB)
Superfícies de cost acumulat 15x15	< 200
Cost unitari 30x30	3.5
Orientació 30x30	5.7
Altres (aplicació, fitxer text, etc...)	< 5
TOTAL (max/min)	215 / 15

Taula 9: Espai necessari per a l'aplicació *mXPdroid*

La imatge 14 presenta un esquema global de la seqüència dels dos processos de tractament de dades necessaris per disposar d'una base de dades utilitzable per l'aplicació *mXPdroid* i que permet la realització del conjunt de proves de rendiment.



Imatge 14: Procés de tractament final de les dades *mXPdroid*

Un cop les dades disponibles amb la mida i resolució de graella compatibles amb les limitacions de memòria dinàmica del sistema operatiu Android, ja es poden realitzar les proves dissenyades en l'apartat anterior (apartat II). La taula 10 mostra els temps màxims i mínims obtinguts sobre el dispositiu de test per un total de 5 repeticions de cada prova.

Prova	Temps de càlcul (ms)	
	Màxim	Mínim
Càrrega capa 15x15	91831	79174
Càrrega capa 30x30	18944	17331
Càlcul cost Anisòtrop 30x30 (*)	427042	255587
Càlcul cost Isòtrop 30x30	167968	114879
Càlcul LCP sobre capa 15x15 (longitud de 1197/524 cel·les)	282	95
Càlcul LCP sobre capa 30x30 (longitud de 831/451 cel·les)	196	84

Taula 10: Estadístiques sobre el temps de resposta

(*) De les 5 proves realitzades sobre els càlculs de tipus anisòtrop (imatge 4) una ha presentat un problema amb la "heap" i l'aplicació ha patit una excepció d'execució greu. Tal i com es pot veure en la taula 10 aquest és l'algorisme que més recursos consumeix (temps de resposta elevat) i en funció del punt de destinació escollit per l'usuari, el nombre d'iteracions i generació de dades temporals pot superar els límits de memòria dinàmica. Tal i com s'observa en la taula 10 el dispositiu mòbil permet realitzar els càlculs de superfície de cost (algorisme de la imatge 4) i els càlculs LCP (imatge 2) però no el càlcul de superfície de fricció (imatge 3) respecte a la zona d'estudi i les resolucions de graella utilitzades (15 m o 30 m).

El temps de càrrega d'una capa és lineal: aproximadament 85 s en el cas 15 m i 18 s en el cas 30 m. El temps de càlcul de les superfícies de cost és variable i té una dependència forta amb el punt de destinació escollit per l'usuari. El càlcul anisòtrop és molt més llarg (almenys 2 vegades més) que un càlcul isòtrop.

El càlcul LCP té una dependència amb la distància de graella que separa els punts d'origen i destinació: segons la taula 10 cada cel·la té un cost de computació d'uns 6 ms amb independència del tipus de resolució de graella utilitzada.

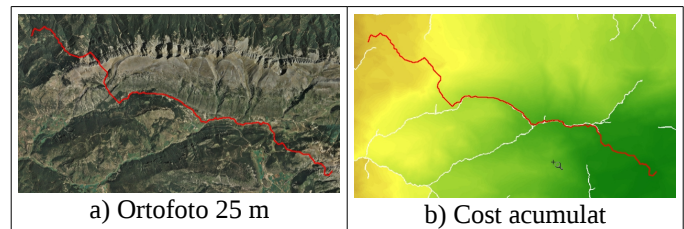
Avaluació de la fiabilitat de les dades LCP produïdes per l'artefacte *mXPdroid*

Un conjunt de proves de càlcul LCP ha permès avaluar el grau de fiabilitat de les dades obtingudes. Atès que la cartografia vectorial proposada per l'API *osmdroid* és bastant limitada en detalls orogràfics, el procediment de validació és el següent:

1. Realitzar un càlcul LCP sobre el dispositiu de proves
2. Recuperar el resultat sobre un CRS EPSG 25831 i un format compatible amb SIG (per exemple fitxer csv de punts)
3. Visualitzar el camí sobre la capa de l'ortofoto de Catalunya 1:25000 (25 m) i 1:2.500 (25 cm) amb gvSIG.
4. Visualitzar el camí sobre la superfície de cost acumulat corresponent.
5. Comparar el camí amb l'itinerari real seguit per muntanyencs (<http://es.wikiloc.com>)

La validació qualitativa es duu a terme sobre el punt de destinació de la muntanya coneguda com Pedraforca i un punt d'origen situat al nord-oest (coordenades UTM x=378636 m, y=4683343 m).

En la imatge 15a es pot observar que el camí calculat amb l'artefacte IT segueix de manera natural l'orografia del terreny i privilegia les travessies per les zones de vessant de les diferents muntanyes (valls).

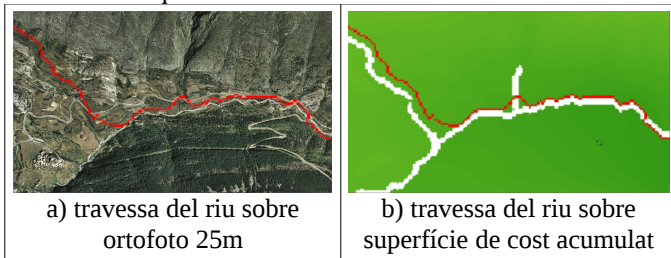


Imatge 15: Camí *mXPdroid* per anar al Pedraforca

El mateix camí ha estat dibuixat amb gvSIG sobre la superfície de cost corresponent. En la imatge 15b es pot observar que el camí segueix els rius (zones de valls) i només pot travessar-los en les parts que s'han definit amb la màscara de carreteres.

Les darreres imatges d'aquest apartat permeten validar la correspondència numèrica entre les dades generades per l'artefacte IT (l'aplicació *mXPdroid*) i les veritables dades geogràfiques (presència de passos elevats, camins d'accés al pic del Pedraforca, etc...). Les imatges 16a i 16b mostren en particular com la modelització hidrogràfica realitzada a partir del model digital d'elevació (imatge 11) es correspon amb la realitat geogràfica i permet respectar la condició límit de no poder travessar els rius excepte en els creuaments amb carreteres. Aquesta condició límit també provoca que hi hagi diversos creuaments innecessaris de la carretera que transita paral·lelament al riu ja que no hi ha cap restricció de pas sobre

les carreteres en les dades d'entrada, vegeu la imatge 17. És doncs un efecte no desitjat de la modelització discreta utilitzada en aquest estudi.

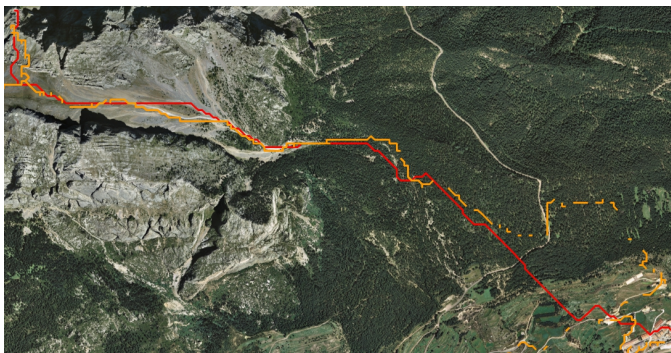


Imatge 16: Detall LCP de la travessa del riu



Imatge 17: Zoom sobre la travessa del riu pel pont de la carretera

La darrera prova que s'ha realitzat en termes de fidelitat de les dades obtingudes consisteix en una comparació visual entre l'itinerari seguit pels usuaris de la pàgina <http://es.wikiloc.com> per tal d'anar del poble de Saldes (X=395703, Y=4675963 en coordenades UTM 31N) fins al cim del Pedraforca i la ruta proposada per l'artefacte *mXPdroid*.



Imatge 18: Comparació *mXPdroid* vs Wikiloc

La imatge 18 mostra la comparació entre rutes Wikiloc (taronja) i *mXPdroid* (vermell) on es pot veure una similitud bastant alta entre els dos recorreguts. Les principals diferències es troben en el creuament de la carretera (part de la dreta) on la ruta proposada per *mXPdroid* és molt més directa. En la part de la tartera -zona de l'esquerra amb menys vegetació- la ruta proposada per l'artefacte segueix de prop el camí habitual dels muntanyencs.

Avaluació funcional d'usuari

El resultat de les proves d'usuari *mXPdroid* de la taula 7 es mostra en la taula 11:

ID	Valoració mitja / Comentari	
E1	4	Superposició de la brúixola amb la barra d'escala
E2	5	OK
E3	4,5	OK
E4	3,5	Velocitat d'actualització lenta i manquen tiles
E5	4	Velocitat lenta
E6	2,5	Els Zoom max/min tenen problemes de refresc
E7	3,5	GPS no funciona bé
E8	3,5	Temps d'espera elevat
E9	3,5	Complexitat elevada dels menús i opcions
E10	4	Temps de càlcul llarg
E11	5	OK
E12	4,5	OK
E13	2,5	OK
E14	1,5	La cartografia proposada per l'API osmdroid no permet aquesta avaluació, és molt pobre en detalls. Problema de "heap" de l'aplicació
E15	1,5	Temps de resposta molt llarg
E16	3	Anisòtrop sembla més coherent amb la cartografia.
E17	1	El procés de generació és massa complicat per usuaris que no tinguin coneixements informàtics
E18	1	Mateix cas que E17
E19	3,5	Amb connexió a Internet el procés és transparent a l'usuari, les imatges es carreguen automàticament amb l'API osmdroid. No obstant això, hi ha un problema de refresc de les imatges tessell·lades per part de l'API.
E20	1	Els criteris són difícilment comprensibles per a l'usuari i impactaran directament el càlcul de la superfícies de cost i per tant el camí òptim. Aquests paràmetres no s'haurien de deixar escollir a l'usuari.

Taula 11: Valoració del nivell d'usabilitat de l'artefacte

L'artefacte *mXPdroid* ha tingut una avaluació mitjana de 3/5 per l'usuari 1 i 3,25/5 per l'usuari 2. La prova E14 realitzada per l'usuari 1 ha provocat una excepció similar a l'error obtingut sobre el banc de test número 1 (vegeu els resultats de la taula 10).

IV.DISSCUSSIÓ

El conjunt de resultats obtinguts en l'apartat anterior permet de respondre a la pregunta de recerca d'aquest estudi dintre del context i limitacions establertes. Els resultats mostren que actualment és viable la realització de càlculs de tipus LCP en dispositius mòbils però amb un conjunt de limitacions importants tant a nivell del rendiment com a nivell de la usabilitat per part d'un usuari.

Estudi de viabilitat

L'eina desenvolupada per tal d'avaluar la viabilitat, l'artefacte *mXPdroid*, ha mostrat diverses limitacions:

1. Per una banda, s'ha demostrat que actualment no es pot realitzar el geoprocessament de dades d'entrada necessari als càlculs de tipus LCP sobre el dispositiu mòbil. Aquest fet presenta les limitacions següents:
 - L'artefacte *mXPdroid* no és autònom al 100% ja que depèn d'un tractament de dades extern sobre un PC i una eina SIG escollida per l'usuari.
 - El funcionament “off-line” no està garantit ja que, si bé les dades climàtiques es poden actualitzar quan el dispositiu té connexió de xarxa en algunes zones de muntanya, el tractament no pot fer-se sobre aquest. La necessitat de disposar d'un PC per fer el tractament fa que, un cop l'usuari serà sobre el terreny, les dades de l'artefacte *mXPdroid* seran “estàtiques” i sense possibilitat de ser actualitzades.
2. Seguidament, les primeres proves de rendiment realitzades sobre el banc de test número 1 han mostrat que hi ha una limitació forta pel que fa a la resolució de la graella utilitzada sobre la zona de proves. En realitat aquesta limitació és en termes d'extensió de la zona de dades respecte a la resolució de la graella (més extensa és una zona de dades i menys resolució podrem tenir). El pal·liatiu proposat ha estat el següent:
 - D'una banda es calcularan externament un màxim de 10 superfícies de cost acumulat amb graella 15x15 i es desaran en la memòria externa del dispositiu. D'aquesta manera i seguint el principi de la imatge 2, només caldrà carregar 1 capa (19MB) en memòria i es podrà obtenir el càlcul LCP per aquests POI predeterminats sense depassar el límit dels 25MB de memòria cau. Els avantatges/inconvenients són els següents:
 - **Avantatge:** es redueix el temps de càlcul ja que només s'ha de carregar la superfície en memòria i executar l'algorisme LCP (imatge 2); això es tradueix per una economia d'energia.
 - **Inconvenient:** necessita un espai de memòria suplementari en la targeta SD externa.
 - Per altra banda, també es calcularan externament les capes d'orientació i superfície de fricció (caixes taronges de la imatge 3) amb graella 30x30 (5 MB) per que l'artefacte pugui executar els algorismes de càlcul de les superfícies de cost acumulat (imatge 4) sense superar el límit ja que només s'utilitzaran un total de 15MB (2*5MB en dades d'entrada + 5MB de la capa de sortida). Els avantatges/inconvenients són els següents:
 - **Avantatge:** l'usuari pot escollir qualsevol punt de destinació sobre la zona geogràfica i no només els 10 POI predefinits anteriorment.
3. Les proves de rendiment realitzades han mostrat que els temps de processament de les diferents etapes necessàries al càlcul LCP són compatibles amb l'autonomia energètica del dispositiu. Segons les mesures de temps obtingudes durant les proves funcionals, un càlcul LCP des de zero, és a dir amb necessitat de calcular una superfície de cost (imatges 2 i 4), triga uns 10 minuts com a màxim (2 càrregues de capes 30x30 + un càlcul de cost + un càlcul LCP) i l'autonomia del dispositiu de proves és superior a 5h en el cas de sol·licitació màxima (comunicació 3G). Es considera doncs que el temps de processament necessari als càlculs LCP és compatible amb l'autonomia dels dispositius mòbils. Aquestes mateixes proves han posat en evidència un comportament no desitjat de l'artefacte en alguns casos particulars de càlcul d'una nova superfície de cost acumulat amb graella 30x30. El problema continua essent el mateix, és a dir superar els 25 MB de memòria dinàmica durant aquest procés de càlcul. La solució consisteix un cop més en reduir la zona de dades o bé augmentar la mida de la graella (per exemple a 60 m).
4. Finalment, les proves de fiabilitat de les dades LCP s'han fet mitjançant una comparació visual amb les ortofotos de la zona i els camins reals de referència. En aquest àmbit i segons els resultats obtinguts es pot afirmar el següent:
 - 4.1. Els camins de mínim cost generats amb l'artefacte *mXPdroid* respecten totalment les condicions límit i els criteris aplicats sobre les dades d'entrada. Per aquest motiu es considera que la implementació de l'algorisme de càlcul és correcta sobre el dispositiu mòbil.
 - 4.2. De manera general, les dades i criteris utilitzats per l'aplicació permeten seguir el camí lògic entre dos punts de la zona de proves. Es privilegien les travessies per les valls i es segueixen les tendències de les carreteres i camins existents.
 - 4.3. La utilització de dades ràster (discretes) fa que el camí proposat per l'artefacte sigui localment incoherent amb la topografia: Hi ha biaixos en

els passos elevats, el camí proposat oscil·la al voltant de carreteres i camins existents, etc.

- 4.4. La comparació realitzada entre la ruta proposada per l'artefacte *mXPdroid* i la ruta Wikiloc mostra que el resultat obtingut és en general una tendència a seguir on la correlació amb el camí real augmenta en les zones amb poca vegetació o manca d'elements orogràfics (boscos, rius, carreteres, etc...). L'itinerari real pot estar condicionat per altres elements que no han estat considerats en els criteris d'entrada de l'aplicació. Aquest elements podrien ser les vistes i paisatges, la riquesa botànica (pasturatges...), camins d'interès històric, etc.

Estudi d'usabilitat i eficiència subjectiva dels usuaris

El conjunt de proves d'usuari realitzades pels dos testejadors externs permet una avaluació de primer nivell de l'eficiència percebuda per persones externes a l'estudi d'investigació presentat en aquest article. De manera global l'artefacte no és compatible amb una utilització d'oci per part dels usuaris: la valoració mitjana és de 3 sobre l'escala de Likert. Una anàlisi més profunda d'aquestes dades mostra que els usuaris han valorat positivament (mitjana de 4) el funcionament tècnic de l'artefacte sobre els seus dispositius mòbils (proves E1 a E12). En contra partida el temps de resposta del càlcul de la superfície de cost acumulat i el procés de càrrega de noves dades ha estat percebut com incompatible (proves E13 a E20) amb una mitjana inferior a 2. Segons els comentaris de valoració dels dos usuaris, els menús i diferents configuracions possibles de l'artefacte no són comprensibles per a usuaris normals i no queda clar l'ordre en què els càlculs s'han de realitzar. El nivell de configuracions possibles (isòtrop, anisòtrop, tipus de distància, factor de ponderació, etc.) ha estat considerat massa elevat per una aplicació mòbil de tipus "oci" ja que és difícil veure quina és la sensibilitat del resultat LCP respecte aquestes configuracions.

Un altre punt negatiu que sorgeix d'aquesta sèrie de proves és que la cartografia utilitzada per l'API *Osmdroid* no permet avaluar l'adaptació del camí LCP al relleu real de la zona; els usuaris consideren que el nivell de detall de la cartografia és molt pobre en zones de muntanya en comparació amb les zones urbanes (carreteres, carrers, línies ferroviàries, etc.).

V.CONCLUSIONS

L'objectiu d'aquest treball ha estat avaluar la viabilitat i el rendiment d'un sistema d'informació geogràfica en dispositius mòbils per realitzar càlculs LCP en zona de muntanya sense connexió de xarxa. Per aconseguir-ho s'han seguit dues estratègies de recerca que han estat dissenyades i desenvolupades per tal d'obtenir el conjunt de mètriques necessàries per aquest anàlisi. La primera d'aquestes estratègies -Design&Creation- tenia com objectiu el desenvolupament d'un artefacte per, d'una banda poder demostrar la viabilitat d'un tal sistema; i per altra banda disposar de l'artefacte generador de les dades analítiques necessàries a aquest estudi. La segona estratègia -Experiments- tenia com objectiu la utilització de l'artefacte anterior sobre un escenari i conjunt de proves específiques per tal d'obtenir dades de rendiment, fiabilitat i usabilitat.

Durant el mateix disseny de l'estratègia de recerca "Design&Creation", i gràcies a les primeres proves realitzades, s'ha pogut definir la millor arquitectura lògica d'un tal sistema d'informació geogràfica. S'ha demostrat que la millor arquitectura requereix un tractament extern de la base de dades per generar un conjunt d'informació coherent tant per al format electrònic com sobre la zona geogràfica d'estudi. Aquest tractament extern es fa amb programaris SIG.

Per altra banda, els problemes de limitació de la memòria dinàmica sobre dispositius mòbils amb SO Android han condicionat el tipus de graella i la resolució de les dades utilitzades. La solució ha consistit en utilitzar superfícies de cost acumulat precalculades externament amb graella 15x15 i al mateix temps utilitzar superfícies estàtiques (cost unitari i orientació) amb graella 30x30 per que l'usuari pugui fer càlculs de superfície de cost acumulat sobre el dispositiu. Per tal de generar automàticament aquest conjunt de superfícies s'ha desenvolupat l'eina *mXPgen* per a PC. Aquests dos processos de tractament previ (SIG + *mXPgen*) fan que l'artefacte IT no pugui ser totalment autònom des del punt de vista d'un funcionament sense connexió de xarxa i, per tant aquest objectiu no ha pogut ser assolit totalment. En canvi, aquest doble procés permet que la utilització de l'aplicació sigui compatible dels recursos de màquina disponibles en el dispositiu (consum de bateria i memòria "heap" disponible).

Respecte al concepte de viabilitat dels càlculs LCP en dispositius mòbils, s'ha pogut demostrar que els algorismes de càlcul dissenyats (càrrega de dades, càlculs de superfícies de cost i càlculs LCP) són compatibles amb l'autonomia de la bateria: el procés de càlcul triga uns 10 min. En canvi, la recerca també ha demostrat que hi ha alguns casos on, tot hi haver pres les precaucions per tal de no superar els límits de la "heap" (paràgraf anterior), l'artefacte IT no respon als requeriments i no pot calcular el camí de mínim cost. Aquest cas particular es produeix per l'algorisme anisòtrop durant el càlcul de la superfície de cost acumulat i les solucions possibles estan orientades cap a la reducció de la mida de les dades (reduir la resolució de la graella o reduir la zona d'estudi). Amb independència de les limitacions identificades sobre la mida de les dades d'entrada, l'estudi mostra que actualment l'algorismica dels càlculs LCP és totalment viable en dispositius mòbils amb SO Android. Per altra banda, s'ha demostrat que les dades generades per l'artefacte IT segueixen una tendència moderada però coherents amb el relleu i camins reals existents, per aquest motiu es considera que l'objectiu sobre la fidelitat de les dades ha estat assolit parcialment. En aquest sentit, es requereix un estudi més profund per tal d'identificar acuradament els factors que indueixen els errors i biaixos observats.

En termes d'usabilitat de l'eina desenvolupada, l'artefacte ha estat percebut com poc adaptat i amb una seqüència d'operacions poc comprensible per a usuaris normals. La valoració obtinguda sobre una escala de Likert ha estat de 3/5 amb la qual cosa pot considerar-se que l'objectiu referent a l'eficiència d'usuari no ha estat assolit. Igual que succeeix al paràgraf anterior, es requereix un estudi cognitiu i d'ergonomia complementari per poder respondre positivament a aquest requeriment d'usabilitat. Encara que hi ha hagut

concepcions i realitzacions d'interfícies gràfiques d'usuari, la valoració dels testejadors mostra que l'artefacte desenvolupat ha de considerar-se com una eina de generació de dades i no pas com una aplicació utilitzable directament per usuaris externs.

Així doncs, s'ha pogut demostrar que el desenvolupament d'un sistema d'informació geogràfica per realitzar càlculs LCP en zona de muntanya és viable però l'artefacte no pot considerar-se autònom des del punt de vista de les connexions de xarxa en el cas que es vulguin actualitzar les dades meteorològiques durant el recorregut de l'itinerari. Addicionalment, el nivell de fiabilitat dels camins obtinguts mostra que aquest tipus d'eines proposen una tendència a seguir on l'usuari haurà de completar/valorar aquesta proposició amb d'altres criteris externs (criteris no introduïts en les dades d'entrada d'aquest estudi). En termes d'usabilitat de l'artefacte, s'ha demostrat que tenir una arquitectura lògica basada en una llista de POI per defecte respon millor a les necessitats de l'usuari. Sobre aquest mateix aspecte, les proves realitzades mostren que cal un desenvolupament més cognitiu i "user friendly" de les interfícies gràfiques per que l'aplicació sigui percebuda com eficient des del punt de vista de l'usuari. S'ha considerat que les limitacions de la "heap", la manca de fidelitat de les dades LCP o la poca ergonomia d'utilització de l'artefacte, poden ser tractats en estudis d'investigació específics per identificar solucions alternatives.

RECONeixEMENTS

Aquesta recerca ha estat desenvolupada amb el suport de l'Agència Espacial Francesa (CNES – Centre National d'Etudes Spatiales), www.cnes.fr.

Les proves d'usuari han estat realitzades benèvolament per dos enginyers informàtics de l'empresa GTD – Enginyeria de Sistemes, www.gtd.es: Marco-Antonio Espinosa i Hèctor Santamarta.

REFERENCIES

- [1] Chollischonn W., Pilar J.V., "A direction dependent least cost path algorithm for roads and canals", 2000, International Journal of Geographical Information Science, vol. 14, issue 4, pp. 397-406
- [2] Olaya V., *Sistemas de información geográfica*. Ed 1.0 – Rev. 25 noviembre de 2011
- [3] Pérez-Navarro A. et al., *Sistemas de información geográfica i geotelemática*. Ed.2 febrero de 2010, ISBN: 978-84-692-8641-8
- [4] Gellerse HW. et al., "Multi-sensor context-awareness in mobile devices and smart artifacts". Mobile Networks and Applications, 2002
- [5] Vaughan-Nichols SJ., "Will mobile computing's future be location, location, location?" Computer 2009 <http://ieeexplore.ieee.org>
- [6] Brown B., Chalmers M., "Tourism and mobile technology". ECSCW 2003
- [7] IPAS A., *Las zonas sin cobertura de móvil en el Pirineo impiden recurrir al 112*. Diari Heraldo (www.heraldo.es) setembre 2008.

- [8] Baltrom T., "On identifying the most time-saving walking route in a trackless mountainous terrain", 2002, Danish Journal of Geography n°102, pp 51-58
- [9] Descamps-Vila L., Conesa Caralt J., Pérez-Navarro A. "Rutas turísticas personalizadas en dispositivos móviles sin necesidad de conexión a internet: Itiner@", VI Jornadas de SIG Libre de Girona 2012
- [10] Stahl C., "Accumulated Surfaces & Least-Cost Paths: GIS Modeling for Autonomous Ground Vehicle (AGV) Navigation", 2005, Master's Thesis at Virginia Tech.
- [11] Romo Peña C., Torres Cantero J.C., "Superficies de coste anisotrópicas", V Jornadas de SIG Libre de Girona 2011
- [12] Vallés Vilanou R., Muñoz Bollas A., Pérez-Navarro A. "Modelo anisotrópico de rutas de coste mínimo con gvSIG y SEXTANTE", IV Jornadas de SIG Libre de Girona 2010.
- [13] Chandio I., et al., "Computer Application in Routing of Road using Least-Cost Path Analysis in Hillside Development", 2012 Research Journal of Environmental and Earth Sciences 4(10), pp. 907-911
- [14] Dijkstra E.W., "A note on two problems in connexion with graphs", 1959 Numerische Mathematik vol. 1, pp. 269-271
- [15] Douglas D.H., "Least-Cost Path in GIS using an accumulated cost surface and slope lines", 1994, Cartographica vol. 31, pp. 37-51
- [16] Kinsella-Shaw, J. M.; et al., "Perceiving 'Walk- on-able' Slopes", 1992 Ecological Psychology vol.4, pp. 223-239.
- [17] Descamps-Vila L., Conesa Caralt J., Pérez-Navarro A. "Itiner@: Ontology for personalizing tourist routes in mobile devices", 2012 Fourth International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, IEEE Computer Society
- [18] Descamps-Vila L., Conesa Caralt J., Pérez-Navarro A. "Problemas en la implementación de algoritmos de routing de alta complejidad en dispositivos móviles: el caso Itiner@", VI Jornadas de SIG Libre de Girona 2012
- [19] Lee J., Stucky D., "On applying viewshed analysis for determining least-cost path on Digital Elevation Models", 1998, International Journal of Geographic Information Science, vol.12, no.8. pp. 891-905
- [20] Olaya V., *Fundamentos de análisis geográfico con SEXTANTE*. Ed. 1.0 – Rev. 23 de marzo de 2006
- [21] Olaya V., *SEXTANTE programming guide*. Ed 1.0 – Rev. December 19, 2011
- [22] Mårten Karlberg, "Mobile Map Client API – Design and Implementation for Android", Master's thesis presented to Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis Centre for Geographical Information Systems of LUND University, 2011.