
This is the **published version** of the article:

Estruch Blanco, Pau; Alsina, Aitor. Creació d'una xarxa de rutes ciclista : Topologia, visualització i càlcul dels camins òptims. 2019. 25 p.

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/214383>

under the terms of the  license

Creació d'una xarxa de rutes ciclista: Topologia, visualització i càlcul dels camins òptims

Màster en Geoinformació, Desenvolupament de Geoaplicacions

Treball Final de Màster

Pau Estruch Blanco

Universitat Autònoma de

ÍNDEX

RESUM.....	2
1. INTRODUCCIÓ.....	3
1.1. Marc institucional.....	3
1.2. Antecedents.....	3
1.3. Abast.....	4
1.4. Descripció del projecte.....	4
1.5. Pla de treball i fases del projecte.....	5
2. OBJECTIUS.....	7
3. ANÀLISIS DELS REQUISITS.....	8
3.1. Especificacions per l'usuari.....	8
3.2. Especificacions retorn programari.....	8
3.3. Especificacions visor mapa.....	9
3.4. Especificacions càlcul ruta òptima.....	9
4. METODOLOGIA I IMPLEMENTACIÓ.....	10
4.1. Descripció de l'entorn de desenvolupament.....	10
4.2. Documentació i instal·lació del programari.....	10
4.3. Creació de la base de dades.....	11
4.4. Càlcul de la ruta òptima.....	12
4.5. Visor mapa.....	13
5. RESULTATS.....	14
6. CONCLUSIONS.....	17
REFERÈNCIES.....	18
ANNEX.....	20

RESUM

El projecte fa referència a les xarxes i itineraris aptes pel ciclisme i els seus usuaris que s'hi poden trobar al portal web d'una entitat ciclista anomenada *Cyclocat*, que és la promotora de l'esmentat treball. Es tracta de donar un servei als usuaris que actualment no s'ofereix digitalment, i és el fet de proporcionar una eina que permeti a l'usuari saber quina ruta pot fer entre dos punts seleccionats per ell mateix i poder-la exportar-la en el seu dispositiu mòbil o *gps*. Actualment el portal de *Cyclocat* ofereix molta informació i eines pels usuaris a nivell de rutes per tot l'àmbit català, amb la corresponen fitxa tècnica del *track*. No obstant, el que s'intentarà aconseguir amb aquest projecte és programar una aplicació que et calculi les possibles rutes existents entre un punt origen i un punt de destí. Per fer això, serà necessari un seguit d'eines de programació a partir de generar uns *scripts* amb l'ajuda de *pluggins* ja existents, i per l'altra banda, la creació i implementació d'una nova base de dades.

RESUMEN

El proyecto hace referencia a las redes e itinerarios aptos para el ciclismo y sus usuarios que se pueden encontrar en el portal web de una entidad ciclista llamada *Cyclocat*, que es la promotora de dicho trabajo. Se trata de dar un servicio a los usuarios que actualmente no se ofrece digitalmente, y es el hecho de proporcionar una herramienta que permita al usuario saber qué ruta puede hacer entre dos puntos seleccionados por él mismo y poder exportarla en su dispositivo móvil o *gps*. Actualmente el portal de *Cyclocat* ofrece mucha información y herramientas por los usuarios a nivel de rutas por todo el ámbito catalán, con la correspondiente ficha técnica del *track*. Sin embargo, el que se intentará conseguir con este proyecto es programar una aplicación que te calcule las posibles rutas existentes entre un punto origen y un punto de destino. Para hacer esto, será necesario una serie de herramientas de programación a partir de generar unos *scripts* con la ayuda de *pluggins* ya existentes, y por otro lado, la creación e implementación de una nueva base de datos.

SUMMARY

The project refers to networks and itineraries that are suitable for cycling and its users that can be found on the web portal of a cyclist called *Cyclocat*, which is the promoter of the mentioned work. It is about providing a service to users that is not currently offered digitally, and is to provide a tool that allows the user to know the route between two points selected by himself and to be able to export it in your mobile device or *gps*. The *Cyclocat* portal currently offers a lot of information and tools for users at the level of routes throughout the Catalan area, with the corresponding technical sheet of the track. However, what you are trying to achieve with this project is to schedule an application that calculates possible routes between an origin point and a point of destination. To do this, you will need a series of programming tools from generating scripts with the help of existing pluggins, and on the other, the creation and implementation of a new database.

1. INTRODUCCIÓ

Aquest document descriu el Treball Final de Màster (TFM) del màster en Geoinformació i Desenvolupament de Geoaplicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). L'esmentat projecte consisteix en desenvolupar una aplicació que permeti a l'usuari ciclista obtenir la ruta ciclista òptima a partir de la cerca de dos punts (sortida/arribada).

1.1. Marc institucional

Aquest projecte està vinculat amb l'entitat *Cyclocat*, una associació ciclista sense ànim de lucre que es dedica a oferir un servei web. Aquest servei, va destinat a tots aquells usuaris amants del ciclisme, ja que tenen la possibilitat d'informar-se sobre la xarxa ciclista de Catalunya que ofereix aquest portal web de *Cyclocat*, on també tenen la opció de descarregar-se els tracks per tal de que es puguin utilitzar en qualsevol smartphone o GPS. Actualment es poden visualitzar més de 1.000 km d'itineraris per anar en bicicleta, ja siguin carrils bici segregats, pistes de terra o grava, carreteres poc transitades, i camins Rals o rurals. Segons la seva filosofia, la premisa principal que han tenir aquests itineraris és que siguin lo més segurs i que tinguin el mínim desnivell possible.

El present projecte fa referència al mòdul integrat per les Pràctiques Externes Obligatòries i l'esmentat TFM. Per un costat, les Pràctiques Externes tenen un paper molt important en el màster, ja que permet obtenir una experiència formativa i un primer contacte amb el món professional. A més, serveix de base per desenvolupar el Treball de Final de Màster. Aquest, té com a finalitat la realització d'un treball pràctic d'aplicació real, concretament de l'especialitat en Desenvolupament de Geoaplicaciones, amb l'objectiu que l'alumne demostrï que ha adquirit i sap integrar les competències demandades.

1.2. Antecedents

Per elaborar aquest projecte que pretén donar un nou servei als usuaris de *Cyclocat* enfocat en una nova xarxa de rutes ciclistes per Catalunya, ens hem basat en algunes webs i entitats similars que ens puguin ajudar a veure el possible resultat que es vol obtenir. Sobretot, hi ha dues webs molt ben gestionades que poden fer de referència per elaborar aquest projecte. I com no podria ser d'una altra manera, provenen de dos països tradicionalment ciclistes i amb un territori perfectament adaptat a aquest medi de transport, i es tracta de Bèlgica i Holanda. Seguidament es poden visualitzar els noms i enllaços web.

Fiets Route (Bèlgica)

<http://www.fietsroute.org>

<http://www.fietsroute.org/cycle-node-planner>

Holland Cycling Routes (Holanda)

<https://www.hollandcyclingroutes.com/online-cycle-route-planner>

Per altra banda, hi ha una referència catalana que també ens podria il·lustrar en aquest sentit, però el seu abast és força petit a nivell territorial. A continuació es pot visualitzar el nom i enllaç web.

Vies Verdes (Catalunya)

<http://www.viesverdes.cat/>

Hi ha múltiples opcions que treballen amb *Big Data* però no donen resultats fiables a dia d'avui:

- Google Maps (opció ciclista)
- Route you
- Wikiloc
- Strava
- BikeMap
- Falk (<https://www.falk.de/routenplaner-fahrrad>)
- Cycle.travel (<https://cycle.travel/>)
- BBBike (<https://www.bbbike.org/>)

1.3. Abast

Aquest projecte pretén fer una descripció precisa i comprensible de la totalitat del procés que s'ha dut a terme. Per tant, l'aplicació d'elaborar un *Cyclocat Route Planner* es centra sobretot en la mobilitat interurbana a Catalunya, amb un abast geogràfic que serà Catalunya i potser algun territori proper on hi hagi una demanda clara de mobilitat en bicicleta.

1.4. Descripció del projecte

Aquest projecte està vinculat amb l'entitat *Cyclocat*, una associació ciclista sense ànim de lucre que es dedica a oferir un servei web. Aquest servei, va destinat a tots aquells usuaris amants del ciclisme, ja que tenen la possibilitat d'informar-se sobre la xarxa ciclista de Catalunya que ofereix aquest portal web de *Cyclocat*, on també tenen la opció de descarregar-se els *tracks* per tal de que es puguin utilitzar en qualsevol *smartphone* o *GPS*. Actualment es poden visualitzar més de 1.000 km d'itineraris per anar en bicicleta, ja siguin carrils bici segregats, pistes de terra o grava, carreteres poc transitades, i camins Rals o rurals. Segons la seva filosofia, la premissa principal que han tenir aquests itineraris és que siguin lo més segurs i que tinguin el mínim desnivell possible.

A part, en aquest portal web es poden trobar tots els *tracks* classificats segons el nivell de dificultat físic i tècnic, així com el tipus de terreny i la seguretat del ciclista. Els *tracks* es divideixen en 4 colors diferents, des del color negre (nivell avançat), passant pel vermell (nivell alt), blau (nivell moderat), i verd (nivell baix). A més, l'usuari pot obtenir informació detallada del camí en qüestió, ja que es pot visualitzar la distància recorreguda, desnivell acumulat, percentatge de tipus de ferm, percentatge de

seguretat, i una valoració general que obtingui la classificació segons la seva dificultat total (color). Cal afegir que existeix una breu descripció de cada ruta que s'ofereix amb una explicació del itinerari determinat i amb un mapa de situació.

Una vegada s'ha dut a terme la contextualització d'aquest projecte, el que es pretén és elaborar un aplicació amb tota aquesta informació que permeti oferir una xarxa de rutes interactiva pels usuaris ciclistes i que millori el servei actual. Primer de tot, es realitzarà un estudi analític dels objectius generals i específics que aconseguixin obtenir els resultats esperats. Seguidament, s'entrarà en la part de metodologia i documentació, que és una de les branques més importants del projecte. En aquest cas, s'analitzaran diferents vies i opcions per realitzar el projecte. Un cop escollida la opció més viable, es procedirà a documentar-se correctament a partir de l'aprenentatge amb eines de programació. A partir d'aquests softwares de programació i anàlisi GIS, es pretén obtenir els resultats esperats a partir dels objectius que es plantegen en el següent punt.

1.5. Pla de treball i fases del projecte

Per tal de definir el pla de treball i les fases que tindrà el projecte, ens hem basat en el Diagrama de Gantt, una bona eina per classificar i mostrar totes les tasques a realitzar durant un projecte determinat.

ID	Activitat	Data inici	Data final	Predecessor	Duració
A	Especificació requisits y avaluació projecte	8/4/2019	30/4/2019	-	23
A-I	Elaboració cronograma	8/4/2019	9/4/2019	-	2
A-II	Cerca d'informació	9/4/2019	14/4/2019	A-I	5
A-III	Definició requisits	14/4/2019	21/4/2019	A-I	7
A-IV	Revisió especificacions	21/4/2019	25/4/2019	A-II, A-III	4
A-V	Incorporar millores	25/4/2019	30/4/2019	A-IV	5
B	Anàlisi y disseny	1/5/2019	12/5/2019	A	11
B-I	Disseny base dades	1/5/2019	5/5/2019	A-IV	4
B-II	Obtenció eines programació	5/5/2019	8/5/2019	A-IV	3
B-III	Revisió disseny	8/5/2019	10/5/2019	B-I, B-II	2
B-IV	Incorporar millores	10/5/2019	12/5/2019	B-I, B-II	2
C	Implementació	13/5/2019	25/6/2019	B	43
C-I	Preparació entorn treball	13/5/2019	18/5/2019	B-I, B-II	5
C-II	Preparació programari i llibreries	18/5/2019	30/5/2019	C-I	11
C-III	Creació base de dades	30/5/2019	10/6/2019	B-I, B-II	12
C-IV	Topologia rutes gpx	10/6/2019	18/6/2019	C-II, C-III	8
C-V	Creació visor mapa	18/6/2019	22/6/2019	C-II, C-III	4
C-VI	Revisió implementacions	22/6/2019	25/6/2019	C	3
D	Proves integració	26/6/2019	12/7/2019	C	17
D-I	Revisar codificació	26/6/2019	30/6/2019	C-VI	5
D-II	Provar cerca rutes i exportació gpx	30/6/2019	4/7/2019	C-IV	5
D-III	Detectar errors	4/7/2019	6/7/2019	D-II	2
D-IV	Corregir errors	6/8/2019	8/7/2019	D-III	2
D-V	Tornar a provar aplicació	8/7/2019	10/7/2019	D-IV	2
D-VI	Revisió producte	11/7/2019	11/7/2019	D-V	1
E	Entrega producte final	12/7/2019	12/7/2019	D	1

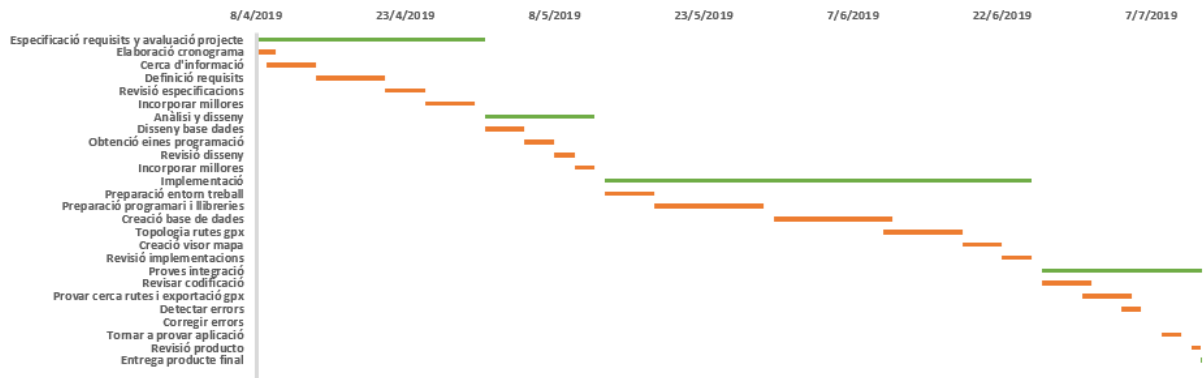


Figura 1 i 2: Diagrama de Gantt (planificació i cronograma treball). Elaboració pròpia.

2. OBJECTIUS

- Objectiu principal:

L'objectiu d'aquest projecte és crear una interfície entre CycloCat i l'usuari que permeti consultar l'itinerari òptim per a moure's en bicicleta. Per això CycloCat vol integrar un planificador de rutes: CycloCat Route Planner (CRP).

El CRP ha de ser molt fàcil d'utilitzar per l'usuari final i ha de generar un track per a poder seguir amb un aparell GPS. A més ha de permetre a CycloCat expandir, densificar i actualitzar la xarxa d'una manera fàcil i senzilla.

- Objectius específics de l'aplicació:

- Crear un visor web que mostri totes les rutes i ofereixi una informació geogràfica adient, però també una informació tècnica del track.
- Generar un arxiu GPX per descarregar a partir de la selecció de nodes consecutius.
- Generar un arxiu GPX per descarregar a partir de la selecció de nodes no consecutius, on l'aplicació calculi la ruta més curta.
 - En el visor web es mostrarà els colors dels trams.
 - En el visor web es podrà triar no passar per trams negres, vermells, blaus o verds.
 - En el visor web es generarà una etiqueta amb les característiques de la ruta.

- Objectius del projecte:

Elaborar una aplicació web que permeti obtenir els resultats esperats i requerits tant per l'objectiu principal, com pels objectius específics. Ha de ser una eina útil i que millori el servei que ofereix als usuaris. Aquest projecte constarà de 4 fases principals, que seran l'anàlisi, disseny, implementació i resultats.

A part dels objectius específics, en aquest apartat es pretén mostrar un seguit de especificacions que es volen intentar aconseguir, i que no són purament de caràcter tècnic:

- Oferir informació relativa al track (zones d'interès del voltant, punts de servei de necessitat).
- Millorar les dades geogràfiques del visor web i presentar-les en diferents formats a partir capes WMS.
- Analitzar les possibles dificultats i diferents problemàtiques a nivell geogràfic que es generen de la bici i els tracks.

3. PLEC DE CONDICIONS

3.1. Especificacions per l'usuari

L'usuari veurà un mapa de Catalunya amb els nodes i els trams. L'usuari entra la següent informació:

- Origen i destí de la ruta que vol fer. Aquestes dades les podrà entrar de dos maneres:

- Clicant sobre node origen i després sobre node destí.
- Entrant el nom de node origen en un camp habilitat per fer-ho i entrant el nom del destí en un altre camp habilitat per fer-ho. També podrà desplegar una llista per veure tots els possibles punts d'origen i destí.

- Filtres. Amb aquests filtres l'usuari podrà escollir el nivell de dificultat de la ruta. Per defecte s'admet fins a nivell negre. Al cantó dret del mapa, al costat dels camps *origen* i *destí*, i haurà un control de capes on l'usuari podrà seleccionar segons el nivell de dificultat que vulgui (blau, verd, vermell i negre) de menor a major dificultat. També tindrà la opció de fer un *zoom in/zoom out* sobre el visor mapa en qüestió.

3.2. Especificacions retorn programari

Un cop entrades les dades el programa retornarà:

- Retornarà la ruta seleccionada marcada en color groc a partir del càlcul de la ruta òptima entre dos punts determinats per l'usuari.

- L'arxiu *gpx*. A partir de la selecció de l'usuari, el programa retornarà un nou *track* en format *gpx* apte per la descarga.

- Informació de la ruta (*Fitxa dinàmica*). En una finestra al cantó del mapa sortirà la informació de la ruta escollida en forma de fitxa de la ruta.

- Nom de la ruta.
- Distància (*km*).
- Desnivell acumulat (*m*) ascendent i descendent.
- Percentatge de tipus de terreny: asfalt, terra compacta o terra trencada.

3.3. Especificacions visor mapa

- Visor mapa creat a partir de *leaflet*.

- El mapa ha de mostrar de fons:

- Mapa base a partir de *OpenStreetMap (OSM)*.
- Nuclis urbans amb el seu nom.
- Mar, llacs (estanys) i rius (canals).
- La xarxa viària bàsica
- Línies de ferrocarril i les seves estacions.

- El mapa ha de mostrar específicament atributs de *CycloCat*:

- Els trams seran *polilínies* contínues. Els trams són de diferents color segons la classificació de *CycloCat* (verd, blau, vermell o negre).
- Funció de control de *zoom*.
- Funció *pluggin* control de capes.
- Funció buscador de rutes.

3.4. Especificacions càlcul ruta òptima

El càlcul de ruta òptima té en compte el node origen, el node destí i el nivell de dificultat màxim escollits per l'usuari. El programa retornarà la ruta que compleixi els tres paràmetres entrats per l'usuari i que sumi la mínima distància en *km*.

- Què retorna el programa en cas de no haver-hi cap possibilitat de ruta amb els paràmetres entrats?

- El programa no retornarà cap ruta al clicar el node destí.
- El programa no retornarà cap ruta al introduir el node destí i apareixerà un pop-up que indica que no hi ha ruta.

- Què retornarà el programa en cas d'haver-hi possibilitat de ruta amb els paràmetres entrats?

- Tot el descrit en el capítol 3.2.

4. METODOLOGIA I IMPLEMENTACIÓ

4.1. Descripció de l'entorn de desenvolupament

En el present projecte, treballarem amb el sistema de gestió de BBDD de *PostgreSQL*, que ofereix un servei de dades relacional orientada a objectes i de codi obert. Amb *pgAdmin 4*, que és el gestor i l'eina servible per l'usuari que ofereix el software de *PostgreSQL*, crearem la base de dades necessària per treballar i poder-la administrar de forma eficaç. Un cop creada, importarem tota la informació (tracks rutes ciclistes) i ho vincularem a través de la generació d'uns scripts i la creació d'un seguit de taules que posteriorment documentarem. A partir d'aquí, podrem visualitzar una xarxa de trams formada per tots els *tracks gpx* vinculats a la BBDD i que els hem extret de la web de *Cyclocat*. No obstant, aquests no estan connectats entre sí, i per poder crear la xarxa de nodes correctament connectada, necessitarem descarregar el *pluggin* que ofereix el software de *pgRouting*. Així, a partir de la generació d'una funció i uns scripts, es podrà calcular la ruta òptima segons les ordres de prioritats (nivell de dificultat, punt origen i punt destí) que l'usuari cregui oportú. Finalment, crearem un visor mapa a partir de *leaflet*, que és una llibreria de codi obert de JavaScript que s'utilitza per crear aplicacions de mapa web.

Per una banda, a nivell de codi de programació es farà servir el llenguatge de *PHP* (Hypertext Preprocessor) i *CSS* (Casacading Style Sheet). El primer serà per crear l'aplicació i les seves funcions, i el segon per definir l'estil concret d'aquest. En referència al codi, ens basarem un arxiu anomenat *index.php* que administrarà tot el conjunt de l'aplicació i anirà cridant a totes les funcions que haguem creat. També cal afegir que a nivell genèric, hi haurà un arxiu anomenat *search.php* que farà de motor de l'aplicació, és a dir, es farà una funció de cerca per tal de que el programari retorni unes coordenades que serveixin per crear una polyline i veure el resultat final esperat. I per altra banda, tindrem una sèrie de scripts vinculats amb la BBDD i que serviran per programar totes les funcions necessàries.

- *Track_list.php* (script per crear una llista amb tots els tracks format gpx).
- *Set_track_names.php* (script per gestionar els noms dels tracks).
- *Import_tracks.php* (script per importar tots els tracks format gpx).
- *Get_web_tracks.php* (script per tal de visualitzar-los a la web).
- *Build_topology.php* (script per fer un anàlisi de errors topològics i solucionar-los).

4.2. Documentació i instal·lació del programari

- Programari/software:

- *PostgreSQL 9.6.10*
- *pgAdmin 4*
- *pgRouting 2.6.1*
- *PostGIS 2.4.5*

- Llenguatge programació:

- *PHP (Hypertext Preprocessor).*
- *CSS (Casacading Style Sheet).*

- *Pluggin leaflet per crear el visor mapa.*

- Descàrrega i documentació per calcular ruta òptima:

- URL: <http://pgrouting.org>
- Docs: <http://docs.pgrouting.org/latest/en/index.html>
- *pgAdmin*: <https://www.pgadmin.org/>
- Manual: <https://mappinggis.com/2015/01/como-configurar-una-base-de-datos-postgis-para-pgrouting/>
- Exemple: <http://docs.pgrouting.org/latest/en/sampledata.html>

- Instal·lació de les llibreries *php*, *css*, *leaflet* i activació de l'aplicació *pgAdmin 4* per crear i vincular la base de dades amb el servidor.

- Obrir *pgAdmin 4* i crear un nou *server* amb els paràmetres per defecte més els següents:

- *General -> Name: PostgreSQL9.6*
- *Connection -> Host: localhost*

4.3. Creació de la base de dades

A continuació es mostraran un resum dels passos seguits per crear la base de dades que permeti funcionar l'aplicació i complir els objectius establerts.

- Amb *pgAdmin 4* es crea una nova base de dades anomenada *cyclocat*.

- Obrir la consola SQL (anomenada *Query Tool*) i s'executen aquestes comandes:

- *create extension postgis.*
- *create extension pgrouting.*

- Això, entre altres coses, crea la taula "*spatial_ref_sys*".

- Crear un usuari específic per a la base de dades:

- *User: cyclo*
- *Pass: Cc-1357924680*

- Donar a l'usuari els permisos per *logar-se* i per connectar-se a la base de dades que s'acaba de crear.

- Crear una taula per guardar els *tracks* que es vagin important. En aquesta taula es guarden tots els *tracks gpx* que s'han exportat de la web Cyclocat. Seguidament, s'importen les dades dels *tracks* amb l'script *import_tracks.php*. *veure annex script
- Crear una taula per guardar els *trackpoints* dels *tracks*. És a dir, a partir de la taula *tracks*, es genera aquesta taula segons una funció generada per un script que les vincula entre elles, i concretament en aquesta s'afegeixen les coordenades corresponents. *veure annex script.
- Per tant, per cada *track gpx* que tenim, afegim dades en aquestes dues taules, una de caràcter genèric (taula *tracks*) amb el seu id, nom *track*, nom origen i nom destí; i l'altre de caràcter específic amb les coordenades (latitud/longitud) dels *tracks*.
- Construir la topologia a la base de dades amb l'script "*build_topology.php*". Aquí es farà referència per aconseguir el resultat final esperat, que és obtenir una xarxa de nodes i trams connectada. Aquesta eina de control topològic ens permetrà resoldre errors en les interconnexions entre els diferents trams. * veure annex script.
- Finalment també es crearà la taula *edge_table*, que servirà per crear totes les arestes/trams necessaris per connectar tots els trams/*tracks* existents i formar una xarxa connectada al complet. Només així es podrà realitzar la consulta de calcular la ruta òptima entre dos punts diferents.

4.4. Càlcul de la ruta òptima

La clau del projecte i objectiu principal a assolir és aquest, crear una xarxa de trams interconnectats entre ells i que formin un sol conjunt. Només així es podrà calcular la ruta òptima entre dos punts diferents.

Per aconseguir aquest resultat, s'ha fet servir el pluguin de *pgRouting* (script per crear xarxa de rutes) i a través de *PostGIS* (convertidor de la BBDD a una de dades espacial).

Amb el script *build_topology.php*, obtindrem tots els *tracks*, i per cada *track* també obtindrem els *trackpoints* (coordenades). A partir d'això, es crearà un nou tram/arestes per cada parella de *trackpoints* de cada tram, és a dir, servirà per resoldre els errors topològics i poder connectar tots els trams entre sí. A la taula *edge_table* es guardaran totes les arestes/trams que hauria de formar tota aquesta xarxa de rutes.

L'afegit és que per cada tram hem mirat el punt d'origen/final un cop teniem la xarxa montada pero no connectada. En el punt d'origen hem buscat el punt de la xarxa que estava més a prop d'aquest punt d'origen i hem creat un tram nou que els connecta; pel punt final el mateix. Es a dir, s'ha connectat la xarxa a través de la creació nous trams que connectaven cada un dels punts d'origen i final dels trams amb el punt mes proper de la resta de la xarxa. Per exemple quan dos camins es creuen se suposa que ha de tenir un node intermig per poderse connectar. Tot això es fa amb funcions de *pgRouting* de *PostGIS*.

4.5. Visor mapa

El visor mapa el crearem a partir de la llibreria *Leaflet* de *JavaScript* *opensource* ja que ens permet crear mapes interactius per entorns web o mòbil.

El llenguatge utilitzat en aquest cas serà *PHP* per tal de definir l'estructura i el contingut d'una pàgina web. També farem servir *CSS*, que serveix per marcar l'estil del visor web.

El codi d'aquest mapa es troba a l'arxiu *index.php*, i la capa del mapa està nombrada com a *id=map*. Hi haurà un llistat d'ubicacions per obtenir el formulari de cerca (origen i destí).

La capa que farem servir com a mapa base serà la que ens ofereix *OpenStreetMap* (*OSM*), carregant la URL corresponen al script de control de capes. L'afegirem com a *vector tile layer*.

Afegirem unes quantes funcionalitats. En primer lloc, la possibilitat de fer *zoom in* o *zoom out* amb una botonera. En segon lloc, un control de capes que mostrin els *tracks* dividits per la seva dificultat (blau, verd, vermell, negre). També afegirem una botonera per escollir punt d'inici i punt final de la ruta que desitgi l'usuari. Això va definit pel càlcul de la ruta òptima.

5. RESULTATS

En aquest apartat es mostren els resultats obtinguts un cop realitzada la implantació de l'aplicació que permeti calcular la ruta òptima entre dos punts diferents agafant els *tracks* existents que forma la xarxa de *Cyclocat*.

En primer lloc, es mostra una captura de pantalla que reflecteix el visor mapa web amb la cartografia *OpenStreetMap* de fons, i els *tracks* per fer en bicicleta dividits segons la seva dificultat, tal i com hem comentat anteriorment.

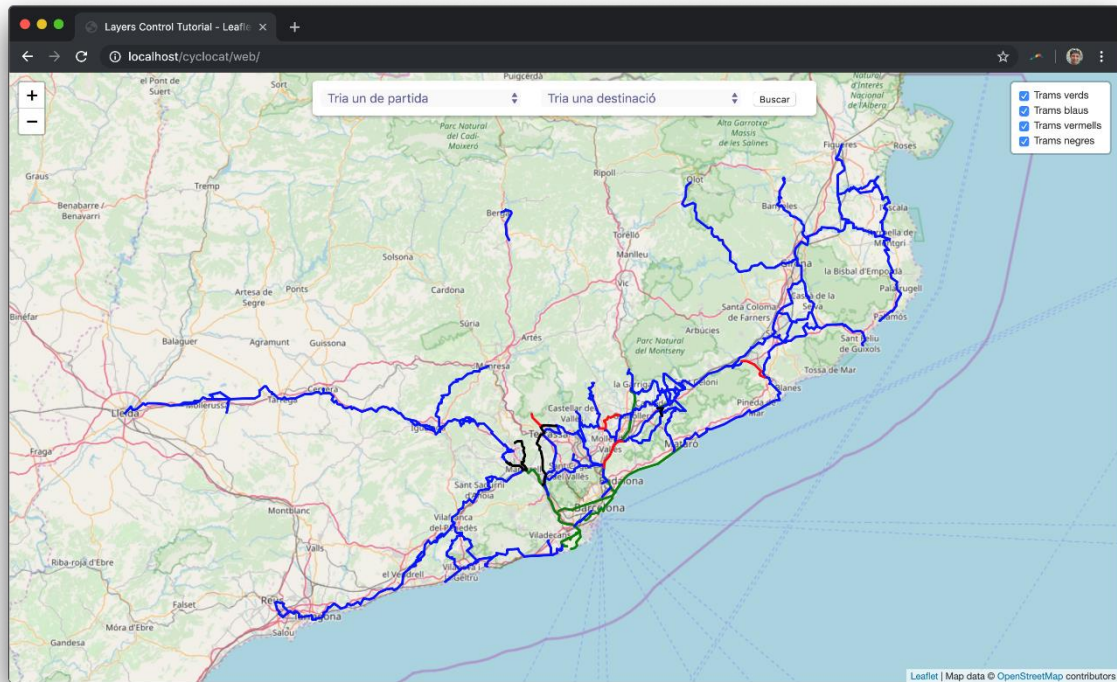


Figura 3: Mapa resultant aplicació (I). Elaboració pròpia.

En segon lloc, en aquest cas es pretén mostrar la possibilitat de seleccionar i treure els *tracks* que l'usuari consideri oportú. Per exemple, aquí es pot veure la pestanya dels *tracks* blaus no seleccionada.

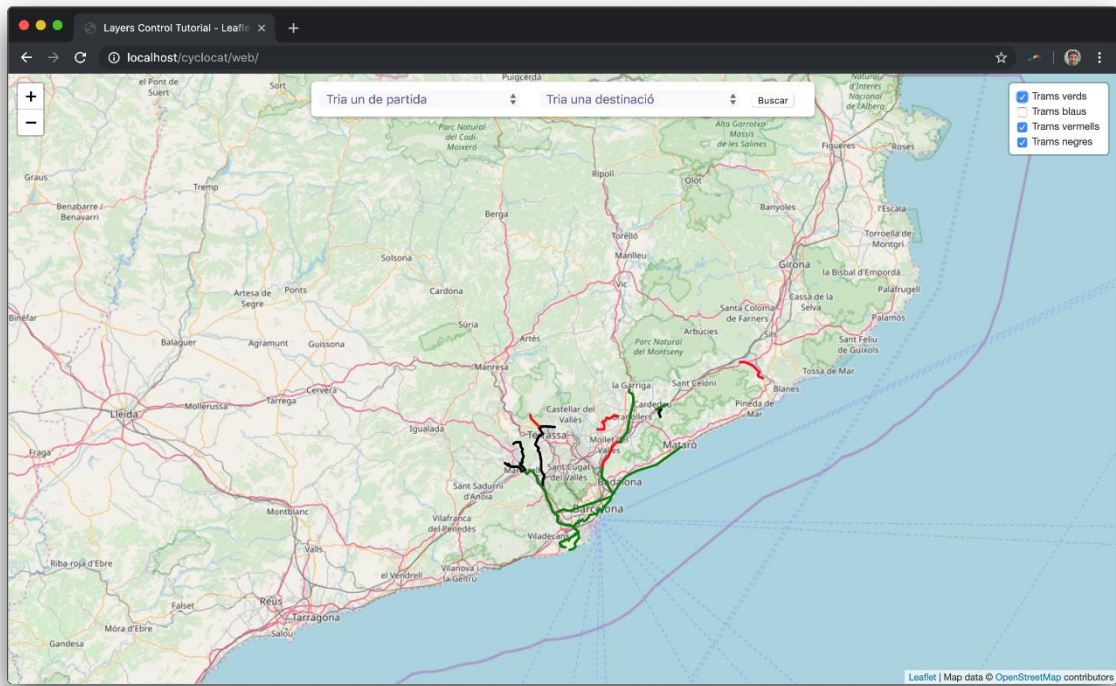


Figura 4: Mapa resultant aplicació (II). Elaboració pròpia.

Finalment, el resultat esperat seria el següent, ja que marcat en color groc es pot veure el *track* calculat com a ruta òptima entre Altafulla i Banyoles.

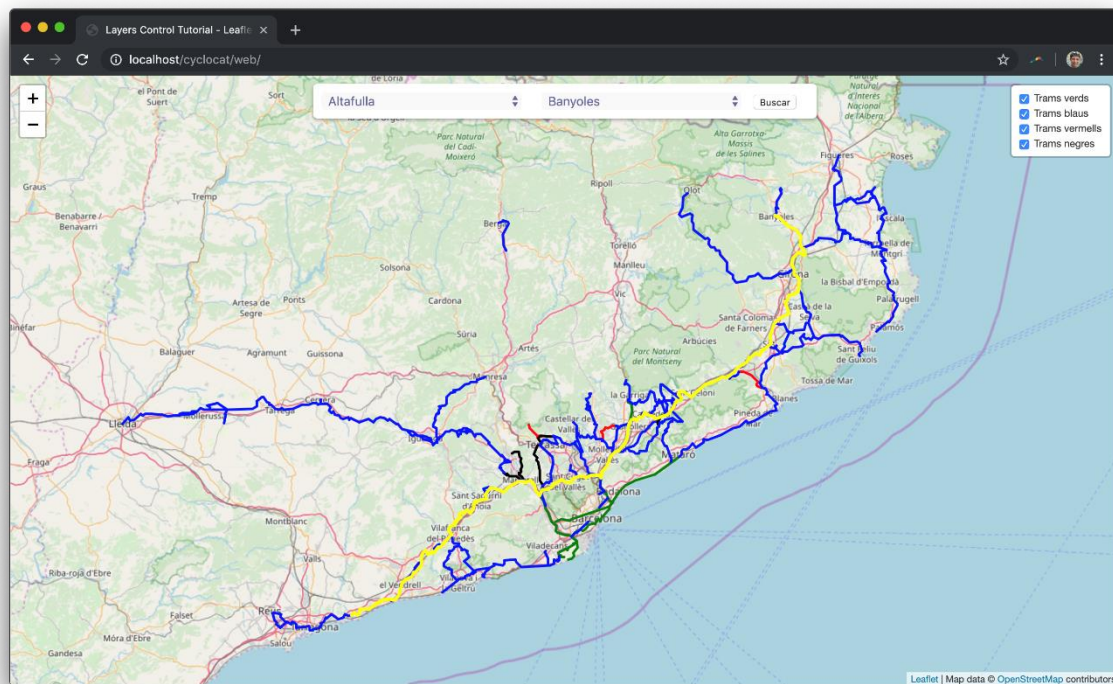


Figura 5: Mapa resultant càlcul ruta òptima. Elaboració pròpia.

6. CONCLUSIONS

L'objectiu principal del projecte era desenvolupar i implementar un sistema que fos capaç de calcular una ruta òptima (mínim desnivell/màxima seguretat) entre dos punts, a partir dels *tracks* existents que ofereix *Cyclocat*. D'aquesta manera, es pot dir que s'ha aconseguit complir l'objectiu establert, ja que es compta amb un sistema que representa, una eina eficaç per tal d'oferir aquest servei als usuaris, i mode informatiu i lúdic per què se'l puguin descarregar al seu dispositiu.

Seguint en aquesta línia, cal dir que aquest servei divideix les rutes segons dificultat (per colors), on s'aconsegueix a partir de la base de dades creada on es guarden tots els *tracks* amb els seus atributs corresponents (km, seguretat, desnivell, etc), i que s'ha connectat amb el servidor per tal que es reflecteixin en el visor mapa.

Per l'altre costat, fins al moment no s'ha aconseguit assolir una sèrie d'objectius secundaris, com eren el de oferir informació relativa al *track* (zones d'interès del voltant, punts de servei de necessitat), millorar les dades geogràfiques del visor web i presentar-les en diferents formats a partir capes WMS, i analitzar les possibles dificultats i diferents problemàtiques a nivell geogràfic que es generen de la bici i els *tracks*.

Per finalitzar, comentar que el present treball ha servit per aprendre noves pràctiques de disseny i implementació d'eines i aplicacions basades en el sistema de programació i anàlisi de dades. També ha sigut positiu obtenir un primer contacte amb el món laboral a través d'aquest projecte vinculat amb *Cyclocat*, que ens ha donat la opció de treballar en una *geoaplicació*.

REFERÈNCIES

- Programari:

PostgreSQL 9.6.10

PostGIS 2.4.5

pgRouting 2.6.1

pgAdmin 4

- Web:

Cyclocat

<https://cyclocat.cat/>

Fiets Route (Bèlgica)

<http://www.fietsroute.org>

<http://www.fietsroute.org/cycle-node-planner>

Holland Cycling Routes (Holanda)

<https://www.hollandcyclingroutes.com/online-cycle-route-planner>

Vies Verdes (Catalunya)

<http://www.viesverdes.cat/>

Google Maps (opció ciclista)

<https://www.google.com.mx/maps>

Route you

<https://www.routeyou.com/es>

Wikiloc

<https://es.wikiloc.com/>

Strava

<https://www.strava.com/>

BikeMap

<https://www.bikemap.net/>

Falk

<https://www.falk.de/routenplaner-fahrrad>

Cycle.travel

<https://cycle.travel/>

BBBike

<https://www.bbbike.org/>

Leaflet (llenguatge programació)

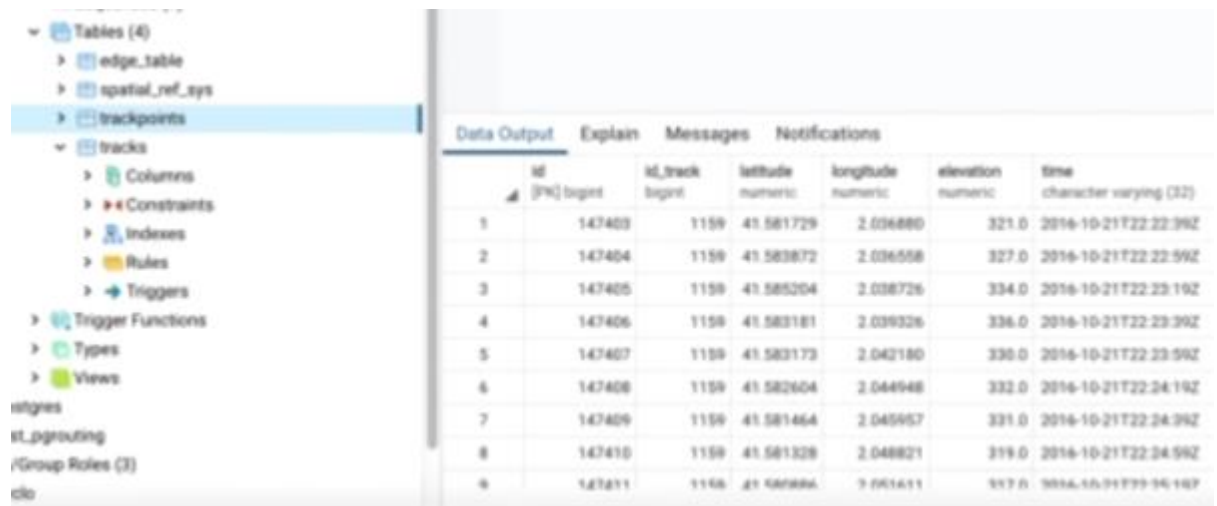
<https://leafletjs.com/>

PHP (Hypertext Preprocessor)

<https://www.w3schools.com/php/>

ANNEX

En referència a la creació de la BBDD i les seves taules:



	Data Output	Explain	Messages	Notifications																																																																		
	<table border="1"><thead><tr><th>id</th><th>id_track</th><th>latitude</th><th>longitude</th><th>elevation</th><th>time</th></tr><tr><td>[PK] bigint</td><td>bigint</td><td>numeric</td><td>numeric</td><td>numeric</td><td>character varying (32)</td></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>147403</td><td>1159 41.581729</td><td>2.036880</td><td>321.0</td><td>2016-10-21T22:22:39Z</td></tr><tr><td>2</td><td>147404</td><td>1159 41.583872</td><td>2.036558</td><td>327.0</td><td>2016-10-21T22:22:59Z</td></tr><tr><td>3</td><td>147405</td><td>1159 41.585204</td><td>2.038726</td><td>334.0</td><td>2016-10-21T22:23:19Z</td></tr><tr><td>4</td><td>147406</td><td>1159 41.583181</td><td>2.039326</td><td>336.0</td><td>2016-10-21T22:23:39Z</td></tr><tr><td>5</td><td>147407</td><td>1159 41.583173</td><td>2.042180</td><td>330.0</td><td>2016-10-21T22:23:59Z</td></tr><tr><td>6</td><td>147408</td><td>1159 41.582604</td><td>2.044948</td><td>332.0</td><td>2016-10-21T22:24:19Z</td></tr><tr><td>7</td><td>147409</td><td>1159 41.581464</td><td>2.045957</td><td>331.0</td><td>2016-10-21T22:24:39Z</td></tr><tr><td>8</td><td>147410</td><td>1159 41.581328</td><td>2.048821</td><td>319.0</td><td>2016-10-21T22:24:59Z</td></tr><tr><td>9</td><td>147411</td><td>1156 41.589896</td><td>2.051411</td><td>317.0</td><td>2016-10-21T22:25:19Z</td></tr></tbody></table>	id	id_track	latitude	longitude	elevation	time	[PK] bigint	bigint	numeric	numeric	numeric	character varying (32)	1	147403	1159 41.581729	2.036880	321.0	2016-10-21T22:22:39Z	2	147404	1159 41.583872	2.036558	327.0	2016-10-21T22:22:59Z	3	147405	1159 41.585204	2.038726	334.0	2016-10-21T22:23:19Z	4	147406	1159 41.583181	2.039326	336.0	2016-10-21T22:23:39Z	5	147407	1159 41.583173	2.042180	330.0	2016-10-21T22:23:59Z	6	147408	1159 41.582604	2.044948	332.0	2016-10-21T22:24:19Z	7	147409	1159 41.581464	2.045957	331.0	2016-10-21T22:24:39Z	8	147410	1159 41.581328	2.048821	319.0	2016-10-21T22:24:59Z	9	147411	1156 41.589896	2.051411	317.0	2016-10-21T22:25:19Z			
id	id_track	latitude	longitude	elevation	time																																																																	
[PK] bigint	bigint	numeric	numeric	numeric	character varying (32)																																																																	
1	147403	1159 41.581729	2.036880	321.0	2016-10-21T22:22:39Z																																																																	
2	147404	1159 41.583872	2.036558	327.0	2016-10-21T22:22:59Z																																																																	
3	147405	1159 41.585204	2.038726	334.0	2016-10-21T22:23:19Z																																																																	
4	147406	1159 41.583181	2.039326	336.0	2016-10-21T22:23:39Z																																																																	
5	147407	1159 41.583173	2.042180	330.0	2016-10-21T22:23:59Z																																																																	
6	147408	1159 41.582604	2.044948	332.0	2016-10-21T22:24:19Z																																																																	
7	147409	1159 41.581464	2.045957	331.0	2016-10-21T22:24:39Z																																																																	
8	147410	1159 41.581328	2.048821	319.0	2016-10-21T22:24:59Z																																																																	
9	147411	1156 41.589896	2.051411	317.0	2016-10-21T22:25:19Z																																																																	

Figura 6: Captura de pantalla de la BBDD. Elaboració pròpia.

En referència a la importació de les rutes *gpx Cyclocat* i la web actual:

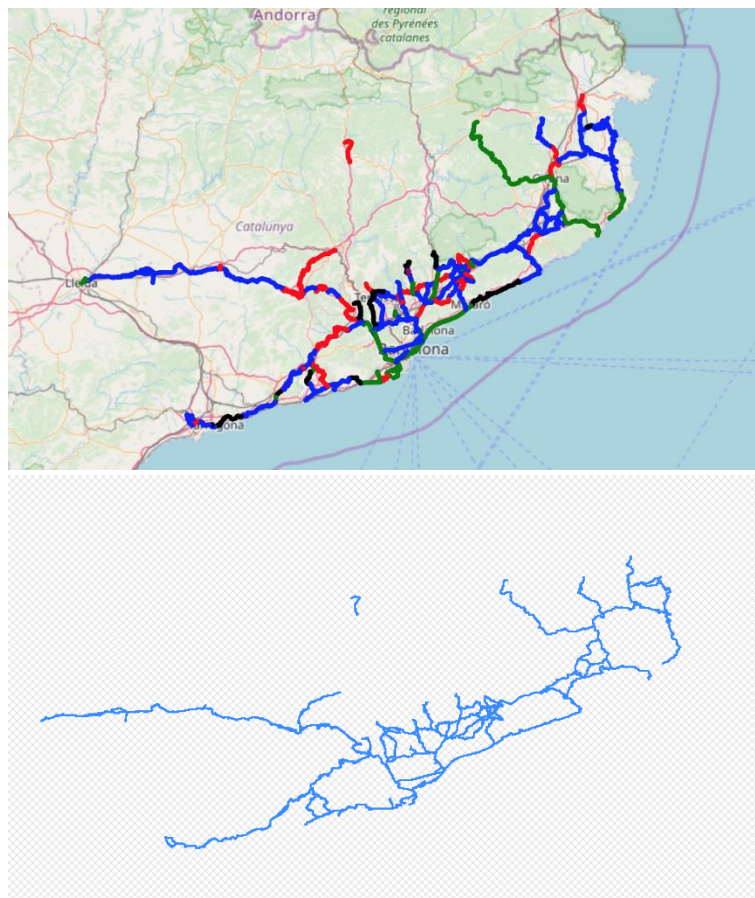


Figura 7 i 8: Mapa proves importació dades. Elaboració pròpia.

En referència als scripts generats per importar els tracks:

Import_tracks.php

```
// Obrir connexió amb la base de dades

$dbconn = pg_connect("host=localhost dbname=cyclocat user=cyclo password=Cc-1357924680") or die("No es pot connectar amb la base de dades: " . pg_last_error());

// Obtenir els fitxers a importar

$import_path = "tracks/";
$files = scandir($import_path);
$n_found_files = 0;

if (false!==$files) {

    echo "<br><strong>Fitxers:</strong><br>";

    foreach ($files as $file) {

        if ($file == '.' || $file == '..')
            continue;

        if (substr($file, 0, 1) == '.')
            continue;

        if (substr($file, -4) != ".gpx")
            continue;

        echo $file . "<br>";

        // Llegir fitxer amb el track

        $xml = simplexml_load_file($import_path . $file);
        $track_name = pg_escape_string((string)$xml->trk->name[0]);

        // Comprovar si ja existeix un track amb aquest nom

        $query = "SELECT count(name) FROM tracks WHERE name='$track_name'";
        $res = pg_query($query);
        $found = pg_fetch_array($res)[0];
        pg_free_result($res);

        if ($found > 0) {
```

```

    echo "Error: Ja existeix un track amb aquest nom.<br><br>";
    continue;
}

// Afegir track a la base de dades

$query = "INSERT INTO tracks (name) VALUES ('$track_name') RETURNING id";
$res = pg_query($query);
if (!$res) {
    echo "Error: No s'ha pogut afegir el track a la base de dades. Comproba el fitxer si
us plau.<br>";
    break;
}
$track_id = pg_fetch_array($res)[0];
pg_free_result($res);

// Afegir trackpoints a la base de dades

$track_points = $xml->trk->trkseg->trkpt;
$n_points = count($track_points);

for ($i = 0; $i<$n_points; $i++) {

    $point = $track_points[$i];
    $attr = $point->attributes();
    $lat = $attr["lat"];
    $lon = $attr["lon"];
    $ele = $point->ele;
    $tim = $point->time;

    $query = "INSERT INTO trackpoints (id_track, latitude, longitude, elevation, \'time\')
VALUES ($track_id, $lat, $lon, $ele, '$tim')";
    $res = pg_query($query);
    if (!$res) {
        echo "Error: No s'ha pogut afegir el trackpoint $i. Comproba el fitxer si us
plau.<br>";
        continue;
    }
    pg_free_result($res);
}

echo "<br>";
$n_found_files++;
}

echo "<br>" . $n_found_files . " fitxers importats.<br>";

```



```

} else {
    echo "<br>No s'han trobat fitxers per importar.<br>";
}

```

```

// Tancar connexió amb la base de dades

```

```

pg_close($dbconn);

```

En referència al script generat per generar geometria i topologia dels tracks:

Build_topology.php

```

// Obrir connexió amb la base de dades

```

```

$dbconn = pg_connect("host=localhost dbname=cyclocat user=cyclo password=Cc-1357924680") or die('No es pot connectar amb la base de dades: ' . pg_last_error());

```

```

// Obtenir tots els tracks

```

```

$query = "SELECT * FROM tracks";
$res = pg_query($query);
while ($track = pg_fetch_object($res)) {
    $track_id = $track->id;
}

```

```

// Obtenir tots els trackpoints

```

```

$query2 = "SELECT * FROM trackpoints WHERE id_track=" . $track_id . " ORDER BY id";

```

```

$res2 = pg_query($query2);
$n_points = pg_num_rows($res2);
if ($n_points > 1) {
    $point_ini = pg_fetch_object($res2);
    while ($point_fin = pg_fetch_object($res2)) {

```

```

        $query3 = "INSERT INTO edge_table (cost, reverse_cost, x1, y1, x2, y2) VALUES (1, 1, $point_ini->longitude, $point_ini->latitude, $point_fin->longitude, $point_fin->latitude)";

```

```

        $res3 = pg_query($query3);
        $point_ini = $point_fin;
    }
}
}

```

```

pg_free_result($res);
pg_free_result($res2);
pg_free_result($res3);

```

```

// Afegir geometria

$query = "

UPDATE edge_table SET the_geom = st_makeline(st_point(x1,y1),st_point(x2,y2)),
dir = CASE WHEN (cost>0 AND reverse_cost>0) THEN 'B' -- both ways
          WHEN (cost>0 AND reverse_cost<0) THEN 'FT' -- direction of the
LINESSTRING
          WHEN (cost<0 AND reverse_cost>0) THEN 'TF' -- reverse direction of the
LINESSTRING
          ELSE " END;          -- unknown
";
$res = pg_query($query);
pg_free_result($res);

// Crear topologia (omple les columnes source i target)

$query = "SELECT pgr_createTopology('edge_table', 0.001);";
$res = pg_query($query);
pg_free_result($res);

// Tancar connexió amb la base de dades

pg_close($dbconn);

```