

Universidad Pública de Navarra
ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS

Nafarroako Unibertsitate Publikoa
NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA

Propuesta de metodología para el despliegue de redes públicas de fibra óptica en Catalunya

presentado por

Marc Llurba Mur

tutoriza

César Arriaga Egüés

MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN
MASTERRA INFORMAZIO SISTEMA GEOGRAFIKOETAN ETA TELEDETEKZIOAN

Septiembre de 2019



Índice de contenidos

Resumen	6
Lista de abreviaturas, siglas y símbolos	8
1. Introducción	9
1.1. Objeto de estudio	10
1.2. Objetivos del proyecto	10
1.3. Antecedentes.....	11
1.4. Ámbito de estudio.....	12
2. Marco teórico	13
2.1. Definición y aspectos técnicos.....	13
2.1.1. La banda ancha	13
2.1.2. La fibra óptica (FTTx)	14
2.1.3. Estructura de la red fija de fibra óptica	15
2.2. Situación de la fibra óptica en Catalunya	16
2.3. La fibra óptica como herramienta de desarrollo en las zonas rurales	19
3. Análisis de requisitos	21
3.1. Requisitos funcionales.....	21
3.2. Requisitos no funcionales.....	21
3.3. Normativa.....	22
4. Datos de partida	24
4.1. Obtención de los datos	24
4.2. Tratamiento previo de los datos.....	25
5. Diseño	26
5.1. Modelo de datos	26
5.1.1. Diagrama Entidad-Relación.....	26
.....	27
5.1.2. Modelo Relacional.....	28
5.1.3. Tipos de datos de cada columna	29
5.2. Arquitectura de la solución	32
5.3. Análisis de costes	33
5.3.1. Infraestructura interurbana	33
6. Implementación	36

6.1.	Base de datos.....	36
6.2.	Consulta y manejo de la información de la base de datos des de QGIS	39
6.3.	Análisis e interpretación de los resultados.....	44
7.	Problemas	47
7.1.	Disponibilidad de datos	47
7.2.	Limitaciones de PostgreSQL al manejarlo con QGIS	47
8.	Tecnologías.....	48
8.1.	PostgreSQL y PostGIS	48
8.2.	QGIS.....	48
8.3.	Python	48
9.	Instalación del software.....	49
9.1.	Instalación de PostgreSQL y de PostGIS	49
9.2.	Instalación de QGIS y conexiones con PostgreSQL	49
10.	Manual de usuario	51
11.	Valoraciones y conclusiones.....	57
11.1.	Valoraciones	57
11.2.	Conclusiones	57
11.3.	Posibles aspectos de mejora.....	58
12.	Bibliografía	59
	Anexo 1: Precios públicos de alquiler (FTTx)	61

Índice de tablas

Tabla 1. Tipo de infraestructura de banda ancha y velocidades de funcionamiento	14
Tabla 2. Tipos de datos de la tabla "Proyecto"	29
Tabla 3. Tipos de datos de la tabla "Municipios"	29
Tabla 4. Tipos de datos de la tabla "Trazado"	30
Tabla 5. Tipos de datos de la tabla "Tramos"	30
Tabla 6. Tipos de datos de la tabla "Tipo"	30
Tabla 7. Tipos de datos de la tabla "Ferrocarril"	30
Tabla 8. Tipos de datos de la tabla "Carreteras"	31
Tabla 9. Tipos de datos de la tabla "Red_XOC"	31
Tabla 10. Tipos de datos de la tabla "Buffer_trazado"	31
Tabla 11. Tipos de datos de la tabla "Extremos_tramo"	31
Tabla 12. Tipos de datos de la tabla "Control_calidad"	32
Tabla 13. Tipos de datos de la tabla "Cálculos_trazado"	32
Tabla 14. Estimación del precio por metro de infraestructura de fibra óptica en las distintas situaciones contempladas	34
Tabla 15. Resultados de los trazados utilizados como ejemplo.....	45
Tabla 16. Precios únicos de alquiler	61
Tabla 17. Precios sobre canalizaciones enterradas.....	61
Tabla 18. Precios sobre los elementos de registro	62
Tabla 19. Precios sobre perforaciones y taladros	63
Tabla 20. Precios sobre la infraestructura de paso de cable	63
Tabla 21. Precios sobre despliegue de cable	64
Tabla 22. Precios sobre los elementos de registro	64
Tabla 23. Precios sobre el cable de fibra óptica.....	64
Tabla 24. Precios únicos sobre mano de obra	65

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Estructura de una red fija de fibra óptica	15
Ilustración 2. Diagrama entidad-relación del modelo de datos del proyecto	26
Ilustración 3. Trazados propuestos para dos municipios	44
Ilustración 4. Imagen del formulario con los resultados de algunos análisis	45
Ilustración 5. Imagen del ambiente de trabajo con los municipios según si tienen cobertura	51
Ilustración 6. Imagen del ambiente de trabajo con los municipios según si tienen cobertura	51
Ilustración 7. Formulario de introducción de un nuevo trazado	52
Ilustración 8. Digitalización del buffer para la selección de los tramos	52
Ilustración 9. Selección de los tramos mediante el buffer digitalizado.....	53
Ilustración 10. Selección de la consulta SQL “Control de calidad”	53
Ilustración 11. Resultados de la aplicación del control de calidad.....	54
Ilustración 12. Digitalización de un tramo para dar continuidad al trayecto	54
Ilustración 13. Cálculo de la longitud total del trazado y de su precio final.....	55
Ilustración 14. Selección de la consulta SQL “Actualizar precios”	55
Ilustración 15. Interpretación de los resultados que surgen del análisis	56

Índice de gráficos

Gráfico 1. Cobertura FTTH por CCAA en 2018	16
Gráfico 2. Cobertura FTTH en hogares de Catalunya según el tamaño del municipio (2018)	17
Gráfico 3. Cobertura FTTH por provincias en Catalunya (2018)	18
Gráfico 4. Evolución de la cobertura \geq 100 Mbps. Período 2016-2018.....	18

Resumen

La banda ancha ha demostrado ser una herramienta cada vez más indispensable para la sociedad, que avanza hacia la digitalización a pasos agigantados. El presente estudio analiza la situación actual en que se encuentra el territorio de Catalunya en cuanto a infraestructuras de fibra óptica, y propone una metodología de actuación para ampliar la Red Pública de Telecomunicaciones. En análisis se centra en hacer llegar este servicio hasta las zonas rurales, que quedan descartadas por los grandes operadores por la baja densidad de habitantes y el alto coste que suponen este tipo de infraestructuras, lo que genera una brecha digital cada vez más evidente entre zonas urbanas y rurales. Mediante la utilización de software libre, gestionado desde un ambiente QGIS, y enlazado con otros elementos como PostgreSQL, se elabora una herramienta que permite construir trazados alternativos por donde puede desplegarse fibra óptica, obteniendo el coste total de lo que podría suponer el proyecto.

Palabras clave: Fibra óptica, brecha digital, software libre, zonas rurales, redes públicas, infraestructuras de telecomunicaciones, software libre, SIG, bases de datos.

Abstract

Broadband has proven to be an increasingly indispensable tool for society, which is moving towards digitalisation by leaps and bounds. This study analyzes the current situation in the territory of Catalonia in terms of fiber optic infrastructures and proposes a methodology for action to expand the Public Telecommunications Network. It focuses on extending this service to rural areas, which are discarded by large operators due to the low density of inhabitants and the high cost of this type of infrastructure, which generates an increasingly evident digital gap between urban and rural areas. Through the use of free software, managed from a QGIS environment, and linked to other elements such as PostgreSQL, a tool is developed that allows to build alternative routes where optical fiber can be deployed, obtaining the total cost of what the project could involve.

Keywords: Fiber optics, digital divide, free software, rural areas, public networks, telecommunications infrastructure, free software, GIS, database.

Laburpena

Banda zabala, gero eta baliabide ezinbestekoagoa bilakatuz joan da azken urteotan digitalizaziorantz pauso garrantzitsuak emanez. Jarraian datorren ikerketa lanak Kataluniako zuntz optikoen azpiegituren egoeraren analisia dakar. Honez gain, bertako Telekomunikazio Publikoaren Sarea hedatzeko metodo bat proposatzen du. Metodologia honen helburua, teleoperadoreek, biztanleria kopuru baxuagatik edota honelako azpiegituren kostu ekonomikoagatik, baztertutako landa eremuetaraino zuntz optikoa iristea da. Baztertze honen ondorioz, gero eta eten digital nabarmenagoa sortzen ari da landa eremu eta hiritarren artean. QGIS software librea eta PostgreSQL eta Python bezalako beste baliabide batzuk erabiliz, zuntz optikoa hedatzeko trazadura alternatiboak eraikitzen dituen erraminta bat garatu da. Sistema honek proiektuaren kostu totala izango litzatekeena kalkulatu du.

Hitz gakoak: Zuntz optikoa, eten digitala, software librea, landa eremuak, sare publikoak, telekomunikazio azpiegitura, software librea, GIS, datu baseak.

Resum

La banda ampla ha demostrat ser una eina cada cop mes indispensable per a la societat, que avança cap a la digitalització a passos agegantats. El present estudi analitza la situació actual en que es troba el territori de Catalunya en quant a infraestructures de fibra òptica, y proposa una metodologia d'actuació per ampliar la Xarxa Pública de Telecomunicacions. L'anàlisi s'enfoca a fer arribar aquest servei fins les zones rurals, que queden descartades pels grans operadors per la baixa densitat d'habitants y l'alt cost que suposes aquest tipus d'infraestructures, generant una bretxa digital cada cop més evident. Mitjançant la utilització de software lliure, gestionat des d'un ambient QGIS, y enllaçat amb altres elements com PostgreSQL y Python, s'elabora una eina que permet construir traçats alternatius per on poder desplegar fibra òptica, obtenint el cost total del que podria suposar el projecte.

Paraules clau: Fibra òptica, bretxa digital, software lliure, xarxes publiques, infraestructures de telecomunicacions, zones rurals, software lliure, SIG, bases de dades.

Lista de abreviaturas, siglas y símbolos

En la lista de abreviaturas, siglas y símbolos se define el significado de cada término a modo de glosario para que el lector del documento pueda comprender a que se hace referencia en cada momento.

FTTx	Fiber To The x (engloba las diferentes tipologías)
FTTH	Fiber To The Home
FTTB	Fiber To The Building
FTTN	Fiber To The Node (hub)
MPoP	Punto de interconexión entre las redes troncal y de acceso
Mbps	Megabits por segundo
XOC	Xarxa Oberta de Catalunya (Red de Telecomunicaciones Pública)
SGBD	Sistema Gestor de Bases de Datos
SIG	Sistema de Información Geográfica
CCAA	Comunidad Autónoma

1. Introducción

Las sociedades avanzan imparablemente hacia la digitalización, transformando la realidad pasada donde el papel era el protagonista, a otra situación muy distinta en donde la mayor parte de gestiones y empleos requieren del uso de tecnologías de la información. La banda ancha es un servicio que surge en medio de esta revolución, y que pasa a ser un elemento indispensable para particulares, empresas y administraciones. Una herramienta en constante evolución que permite conectarse con cualquier persona del mundo e interactuar o compartir información. No obstante, su implantación no llega a todas las zonas por igual, ni entre países ni entre regiones, con lo que no todo el mundo puede beneficiarse de las ventajas que proporciona.

Actualmente en la mayor parte de países occidentales, las zonas urbanas ya cuentan con infraestructuras capaces de proporcionar servicios de banda ancha, lo que significa que gran parte de la población de estos países ya disfruta de este servicio. Las zonas rurales en cambio sufren otra realidad distinta y en su gran mayoría no cuentan con este tipo de instalaciones, debido al alto coste que supone su despliegue en zonas dispersas y con una baja densidad de población. La problemática surge cuando este servicio se convierte en una herramienta tan indispensable para la sociedad, lo que genera una gran brecha digital entre zonas rurales y urbanas. Este hecho condena a los entornos rurales, limitando las posibilidades socioeconómicas de los municipios y por tanto su desarrollo. Ante esta realidad, las organizaciones gubernamentales empiezan a buscar formas de hacer viables este tipo de proyectos en zonas poco pobladas, con inyecciones de fondos, incentivando a las empresas privadas, o desplegando ellas mismas redes públicas que vertebran el territorio y den servicio a un mayor volumen de habitantes.

Este estudio propone una metodología para gestionar las redes públicas de telecomunicaciones de Catalunya, con un enfoque centrado en el despliegue de nuevos trazados que permitan estimar los costes que podrían suponer. Una herramienta que pueda ser útil para administraciones a la hora de planificar como se destina el presupuesto asignado para este tipo de inversiones.

Para el desempeño del proyecto se han utilizado herramientas **SIG**, **SGBD** y compilación mediante lenguaje **Python**, permitiendo obtener un sistema con la información organizada, relacionada y preparada para ser explotada. Es importante remarcar que los productos de software libre han mejorado mucho, y su disponibilidad permite que usuarios y organizaciones con recursos limitados puedan disponer de este tipo de herramientas.

En cuanto a la estructura del documento, primero se detallan los aspectos técnicos y teóricos que explican las características y tecnologías de banda ancha, así como los impactos socioeconómicos demostrados que proporciona su implantación. Seguidamente se habla de los requerimientos, funcionales y no funcionales, que debe tener el sistema, para condicionar su desarrollo y sus funcionalidades y que este sea útil para el propósito que se ha pensado. El siguiente apartado explica la procedencia y tratamiento de los datos que se han utilizado, y a continuación se habla del diseño, donde se explica el modelo de base de datos y su arquitectura. En la implementación se detallan todos los procesos que se han llevado a cabo para construir el modelo final, como se relacionan los distintos softwares, y como hay que interpretar los resultados que se obtienen. También se

comentan los problemas que han surgido a lo largo del proceso de elaboración, así como las tecnologías que se han empleado. Finalmente se adjunta un manual de usuario donde se detallan los pasos que hay que dar para utilizar el sistema correctamente, y en un apartado final se incluyen las valoraciones y conclusiones que se han sacado al respecto.

1.1. Objeto de estudio

El estudio analiza los diferentes aspectos que explican la situación actual de las infraestructuras de fibra óptica en Catalunya, con el objetivo de proponer una metodología concreta de actuación para la gestión de dichas redes, elaborando un sistema que se centre en administrar la información referente al despliegue y ampliación de la Red Pública de Telecomunicaciones de Catalunya (**XOC**) hasta cualquier municipio del territorio.

1.2. Objetivos del proyecto

Para este proyecto se definen un conjunto de objetivos que van encaminados a conocer, analizar y explicar que se entiende por banda ancha, centrando la atención en la tecnología de fibra óptica, y cuál es la realidad actual de este tipo de instalación en el territorio catalán.

- Analizar la cobertura **FTTx** en Catalunya, diferenciando entre las realidades urbana y rural.
- Explicar las distintas tecnologías que proporcionan banda ancha.
- Estudiar el efecto que provoca la disponibilidad de este servicio, enfocando el análisis en los entornos rurales.
- Analizar los factores que condicionan la instalación de este tipo de infraestructura.

Y otro conjunto de objetivos que van dirigidos al uso de software específico para la gestión y manejo de datos.

- Utilizar software libre para el análisis de datos con componente espacial, integrando distintos programas para aprovechar las prestaciones que ofrece cada uno.
- Definir una metodología de actuación para calcular las rutas óptimas por donde desplegar red pública de fibra óptica hasta cualquier punto.
- Elaborar un sistema que permita gestionar este tipo de datos y sea útil para la proposición de nuevos trazados de red.
- Aprovechar las posibilidades que ofrecen estos programas para automatizar procesos y así reducir el riesgo de cometer errores por parte del usuario.

1.3. Antecedentes

Para conocer la situación actual en que se encuentra la investigación relacionada con el despliegue de infraestructuras que proporcionan banda ancha, es necesario realizar un análisis de la bibliografía existente.

Son muchos los autores que abordan esta temática, sobre todo des de la expansión de la digitalización a todos los niveles (empresarial, administración...). Pero se pueden diferenciar perfectamente dos bloques, uno de estudios más teóricos y otro de más metodológicos.

El primero estaría compuesto por análisis sobre los impactos que genera el despliegue de redes de banda ancha, centrados en analizar la evolución de las variables socioeconómicas una vez implantado este servicio (desarrollado en el apartado “La fibra óptica como herramienta de desarrollo en las zonas rurales”). El segundo bloque lo formarían aquellos estudios que se centran en proponer metodologías de análisis para calcular la viabilidad (económica y física) del despliegue de este tipo de infraestructuras. Estos son mucho más escasos que los anteriores, ya que son muchas las variables que influyen y que hay que tener en cuenta, y resulta complicado integrarlas todas para obtener resultados realistas.

A principios de la década de 1980 se constata la liberalización del mercado, transformando la estructura de los mercados y el papel del sector público. Parte de los servicios e industrias se privatizaron, y los mercados se abrieron a la competencia (Gerli et al, 2018; 727-728). Como consecuencia, hay un conjunto de servicios que solo se encuentran disponibles en aquellas zonas donde su rentabilidad está asegurada, dejando de lado las necesidades de la población que reside en zonas rurales. Este hecho, queda constatado actualmente con el ejemplo del acceso a las redes fijas de banda ancha, entre otros.

La mayoría de los autores coinciden en la importancia de realizar una política pública fuerte para facilitar el despliegue de infraestructuras de banda ancha de alta velocidad en zonas rurales, por ejemplo, mediante incentivos basados en el mercado, subvenciones estatales, o condiciones favorables específicas (Rendon Schneir & Xiong, 2016; 756-758). También se apuesta por una combinación entre inversiones públicas y privadas, con la participación de operadores tradicionales y otros alternativos, como opción para mejorar la competitividad y la viabilidad de estos proyectos (Feijóo et al., 2018; 693).

Otra posibilidad interesante es la de las redes comunitarias, con una participación activa de ciudadanos y consistorios para lograr hacer viable el despliegue de redes físicas de banda ancha (Maccari et al., 2019; 2). Un buen ejemplo de esta práctica se encuentra en organizaciones como la Fundación Guifi.net, que trabaja, entre otras cosas, para hacer viable el despliegue de redes fijas de fibra óptica en entornos rurales, generalmente con mecanismos de participación mancomunada entre los diferentes ayuntamientos de una determinada zona.

El presente estudio estaría más enfocado al segundo bloque, ya que el objetivo principal del proyecto es construir un modelo que permita definir y calcular trazados para el despliegue de redes fijas de fibra óptica, pero centrando la atención en las zonas rurales, por lo que también se incluye información sobre los impactos que derivan de la implantación de este tipo de servicio en dichas áreas.

1.4. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio que se contempla en este análisis abarca el conjunto del territorio de Catalunya. Se ha centrado la atención en esta zona geográfica concreta porque había que acotar un área determinada para obtener los respectivos datos, y porque el autor del estudio tiene un mayor conocimiento sobre la realidad territorial de esta zona. Dicho esto, el modelo es extrapolable a cualquier zona geográfica definida, adaptando los datos necesarios y modificando cuestiones puntuales.

2. Marco teórico

El marco teórico recoge todos los aspectos teóricos que hay que tener en cuenta a lo largo de este trabajo. Se explica y define que es la banda ancha, diferenciando entre las tecnologías que pueden proporcionarla, y comentando la estructura que estas presentan. Seguidamente se comenta la situación actual de la cobertura de fibra óptica en Catalunya, diferenciando entre la realidad urbana y la rural. Posteriormente se argumenta y explica el impacto que genera la implantación de este servicio en las zonas rurales, actuando como motor de desarrollo, y permitiendo dinamizar la economía local de los municipios que las conforman.

2.1. Definición y aspectos técnicos

Con el objetivo de contextualizar al lector, a continuación se explica qué se entiende actualmente por banda ancha, ya que es un término que ha ido evolucionando a lo largo de los años, y cuáles son las distintas tecnologías existentes que pueden proporcionar este servicio, centrando el foco en las redes fijas de fibra óptica.

2.1.1. La banda ancha

La banda ancha es el término que hace referencia a cualquier tipo de red con capacidad para transportar información a velocidades más rápidas, permitiendo acceder a nuevos productos y funcionalidades. Es un concepto que ha ido evolucionando con los años y que no tiene un significado técnico específico, pero que hace referencia a toda infraestructura de acceso a internet de alta velocidad que está disponible en todo momento y es más rápida que el acceso tradicional mediante marcado. (Tribunal de Cuentas Europeo, 2018; 7-11).

Cuando se evalúa la velocidad de internet, existe una diferencia importante entre velocidades de carga y descarga. La de descarga explica el tiempo que tarda la información en llegar al usuario desde Internet, mientras que la velocidad de carga se entiende como la velocidad a la que se envían los datos a un sistema remoto, por ejemplo, al realizar videoconferencias.

En el documento “La banda ancha en los Estados miembros de la UE: pese a los avances, no se cumplirán todos los objetivos de la Estrategia Europa”, se definen tres categorías de velocidades de descarga, que son las que se van a tomar como baremos de referencia:

- Banda ancha básica: para velocidades entre 144 Kbps y 30 **Mbps**.
- Banda ancha rápida: para velocidades entre 30 Kbps y 100 Mbps.
- Banda ancha ultrarrápida: para velocidades superiores a 100 Mbps.

El tipo de infraestructura utilizada también es un factor que hay tener muy en cuenta, ya que determina el límite máximo de velocidad de conexión. Por lo tanto, dependiendo de las necesidades de conexión de cada tipo de usuario pueden ser válidas unas opciones u otras.

Existen cinco tipos de infraestructura que pueden prestar servicios de banda ancha: las líneas de fibra óptica, el cable coaxial, las líneas telefónicas de cobre, la infraestructura terrestre inalámbrica (zonas de antena/torres) y mediante satélite.

Tabla 1. Tipo de infraestructura de banda ancha y velocidades de funcionamiento

Alámbrica e inalámbrica	Infraestructura	Velocidad de descarga indicativa	Velocidad de carga indicativa
Alámbrica	Fibra	Hasta 2,5 Gbps	Hasta 1,2 Gbps
	Cable coaxial	300 Mbps hasta 2 Gbps	Hasta 50 Mbps
	Línea de cobre telefónica	5 Mbps hasta 100 Mbps	Hasta 10 Mbps
Inalámbrica	Inalámbrica terrestre	60 Mbps	Hasta 10 Mbps
	Satélite	Hasta 20 Mbps	Hasta 8 Mbps

Fuente: Elaboración propia con datos del Tribunal de Cuentas Europeo, 2018; 11

2.1.2. La fibra óptica (FTTx)

La infraestructura de fibra óptica es la tecnología de acceso que proporciona un mayor número de prestaciones y ventajas, superior a las demás desde el punto de vista técnico.

Algunas características que lo justifican son: una capacidad casi ilimitada, con bajas pérdidas de señal y con una gran fiabilidad, lo que permite dividir su potencia e implica un gran alcance; un diámetro y peso pequeño, lo que facilita su despliegue; y resistencia a elementos como el agua o las interferencias electromagnéticas. (Álvarez, et al., 2009; 76)

En 2010, la Comisión Europea introduce el término de redes de acceso de nueva generación, que define como *“las redes de acceso alámbricas integradas total o parcialmente por elementos ópticos y que son capaces de entregar servicios de acceso de banda ancha con características mejoradas (como un caudal superior) en comparación con los prestados a través de las redes de cobre ya existentes.”* (Comisión Europea, 2010; 40)

En la definición se especifica de forma clara *“redes alámbricas”* (físicas), lo que deja fuera del concepto las distintas tecnologías que proporcionan acceso a la banda ancha de forma inalámbrica. (Ganuza et al., 2010; 4)

En las redes fijas existen distintos tipos de despliegue, dependiendo de hasta donde llegue la canalización de la fibra óptica. De manera genérica se conocen como FTTx, y se diferencian tres tipos:

- **FTTH** o fibra hasta el hogar. La red de fibra óptica conecta directamente a los clientes (viviendas) con el **MPoP** (punto de interconexión entre las redes troncal y de acceso de un operador), lo que permite alcanzar velocidades de 100 Mbps o más.

- **FTTB** o fibra hasta el edificio. La fibra óptica llega hasta el exterior del edificio y luego se utiliza cobre para llegar hasta cada domicilio particular. Las velocidades que se pueden alcanzar con este tipo de acceso se sitúan en torno a los 100 Mbps.
- **FTTN** o fibra hasta el nodo. La fibra llega hasta un nodo cercano al usuario final y a partir de allí la red continúa a través de cobre. Debido a que el último tramo es de cobre, con estos accesos no se pueden alcanzar velocidades tan altas como con FTTH o el FTTB.

Teniendo en cuenta las características técnicas que se han comentado con relación a las diferentes infraestructuras que proporcionan banda ancha, y a las indicaciones que realiza la Comisión Europea, este estudio centra su atención en el desarrollo de redes físicas de fibra óptica (FTTH y FTTB), ya que ha demostrado ser la tecnología con un mayor número de prestaciones, proporcionando velocidades por encima de los 100 Mbps (banda ancha ultra rápida).

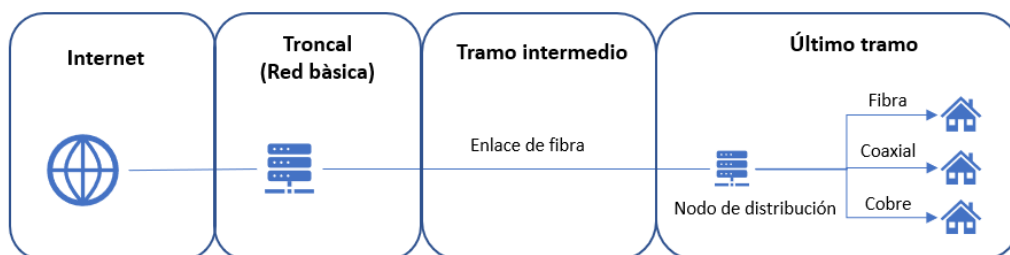
2.1.3. Estructura de la red fija de fibra óptica

Una red de acceso a banda ancha se compone de tres partes:

- La red troncal, utilizada para interconectar otras redes. Son de alta capacidad y permiten un mayor rendimiento de las conexiones.
- La conexión del tramo intermedio, que se alimenta de la red troncal y llega hasta los núcleos de población.
- La conexión del último tramo hasta los usuarios finales. (Tribunal de Cuentas Europeo, 2018; 10).

Por lo tanto, se puede diferenciar entre una parte interurbana, que sería todo el despliegue de la red troncal y las ramificaciones por el territorio, y una parte urbana, que corresponde al tramo desplegado en núcleos de población, y que suministra el servicio a los usuarios finales.

Ilustración 1. Estructura de una red fija de fibra óptica



Fuente: Elaboración propia con datos del Tribunal de Cuentas Europeo, 2018; 10

Conociendo estas premisas, se va a tener en cuenta esta distinción, es decir, infraestructura de fibra óptica interurbana, que es en lo que se centra este análisis, e infraestructura de fibra óptica urbana.

2.2. Situación de la fibra óptica en Catalunya

Para poder realizar un análisis adecuado de la situación de la FTTx en Catalunya, es necesario analizar los distintos datos que ofrecen los organismos oficiales sobre este tema, haciendo una pequeña retrospectiva para ver la evolución que se está siguiendo en los últimos años.

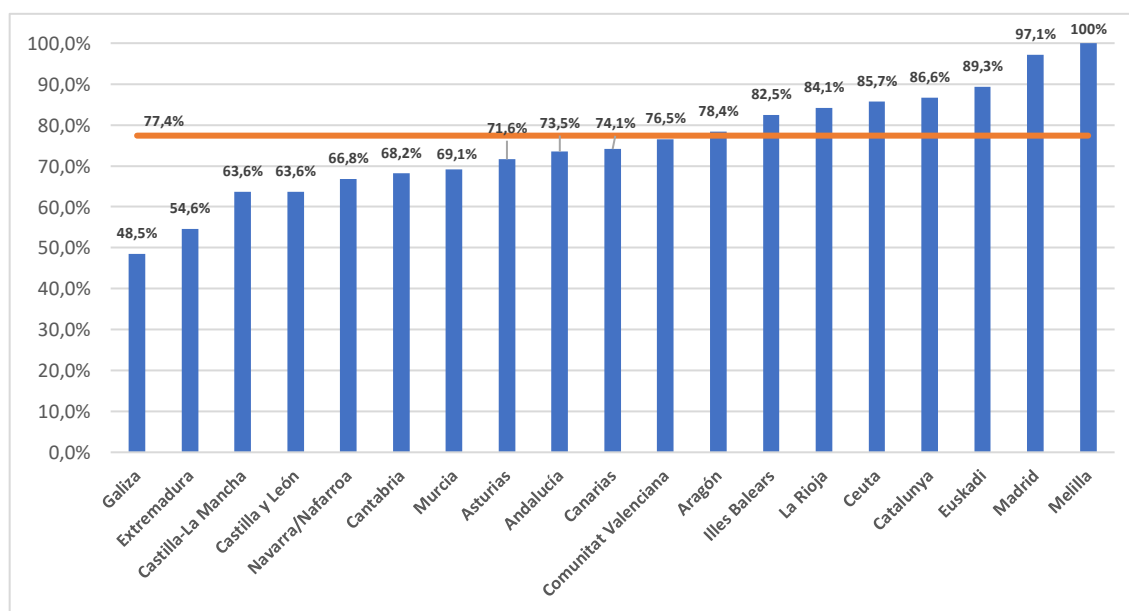
En este apartado, se especifican las cifras concretas que permiten conocer la situación actual de este tipo de infraestructura en el territorio catalán, distinguiendo entre las cuatro provincias que lo forman, y comparándolos con los datos globales del estado y de las distintas **CCAA**.

También se considera de especial interés diferenciar entre la cobertura que existe en ciudades y municipios según el tamaño de sus censos de habitantes. De esta forma se puede conocer la situación real e

n cada contexto particular, ya que los datos globales no muestran la realidad territorial de toda la región.

En el año 2018 Catalunya fue la cuarta región del estado en porcentaje de hogares con cobertura de FTTH con un 86,6%, solamente por detrás de Euskadi, Madrid y Melilla, siendo la media estatal de un 77,4%. La diferencia que existe entre territorios es muy grande, lo que indica un desequilibrio territorial significativo, y una desventaja competitiva que hay que tener muy presente.

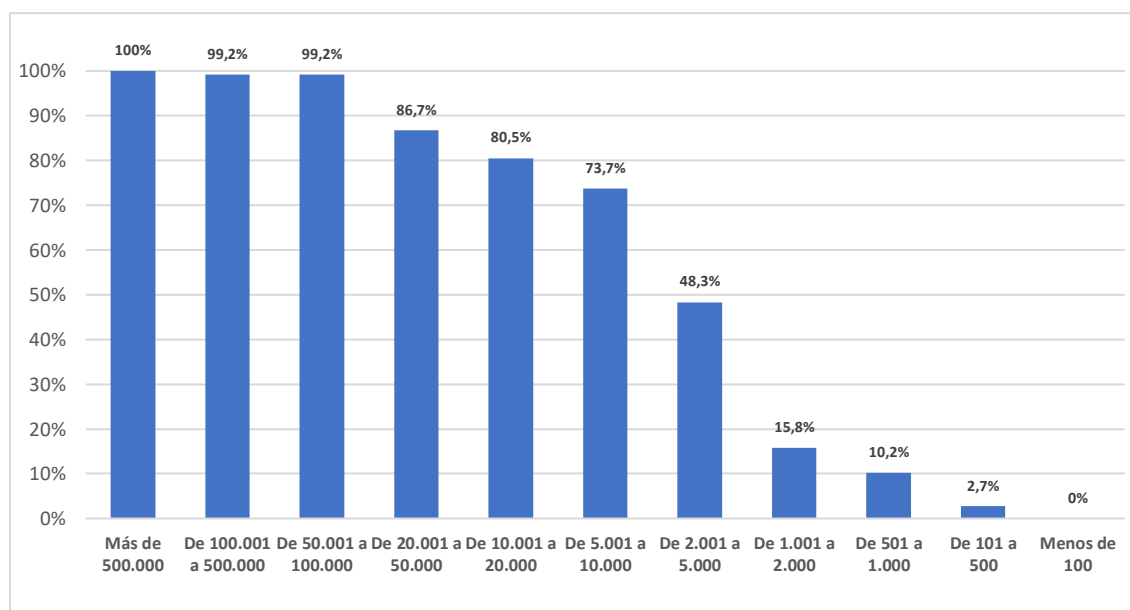
Gráfico 1. Cobertura FTTH por CCAA en 2018



Fuente: (1) Ministerio de Economía y Empresa, 2019; 39

Esta situación, en la que regiones más desarrolladas económicamente que otras (así lo muestran los datos de PIB per cápita de 2018 publicados por el INE) tienen acceso a este tipo de servicio, se reproduce exactamente igual dentro de las mismas CCAA. Las zonas rurales o menos cercanas a las grandes áreas metropolitanas quedan descartadas, tanto por parte de operadores privados como por parte de la administración pública, a la hora de implantar este tipo de infraestructura.

Gráfico 2. Cobertura FTTH en hogares de Catalunya según el tamaño del municipio (2018)

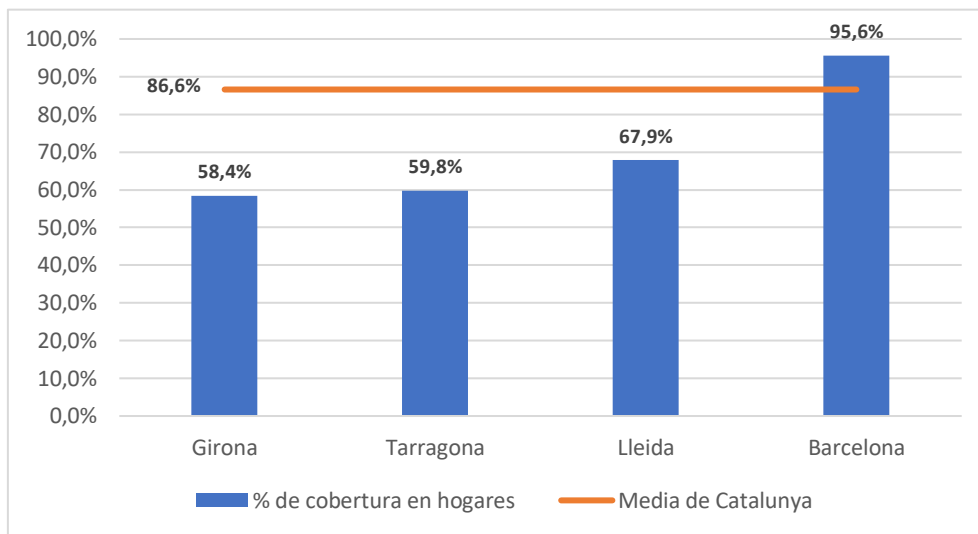


Fuente: (1) Ministerio de Economía y Empresa, 2019; 40

Los datos representados en el gráfico 2 muestran como las ciudades catalanas con una población superior a los 50.000 habitantes tienen una cobertura FTTH en hogares de casi el 100%; las que se encuentran entre los 10.000 y 50.000 por encima del 80%; y los municipios grandes, de entre 5.000 y 10.000 habitantes, se sitúan por encima del 73%. A partir de aquí se observa la otra realidad territorial, en que las poblaciones con menos de 5.000 habitantes ya registran una cobertura inferior al 50%, con menos de 2.000 habitantes entorno al 15%, con menos de 1.000 sobre el 10%, y por debajo de 500 habitantes inferior al 3%.

Si se analizan los datos en el ámbito de las cuatro provincias catalanas, también se aprecia un desequilibrio significativo. Mientras la provincia de Barcelona, que acumula el 74% de la población total de Catalunya, tiene una cobertura FTTH en hogares superior al 95%, las otras tres provincias se sitúan entre el 58% y el 68%, por debajo de la media de Catalunya (86,6%) y por debajo de la media del Estado español (77,4%).

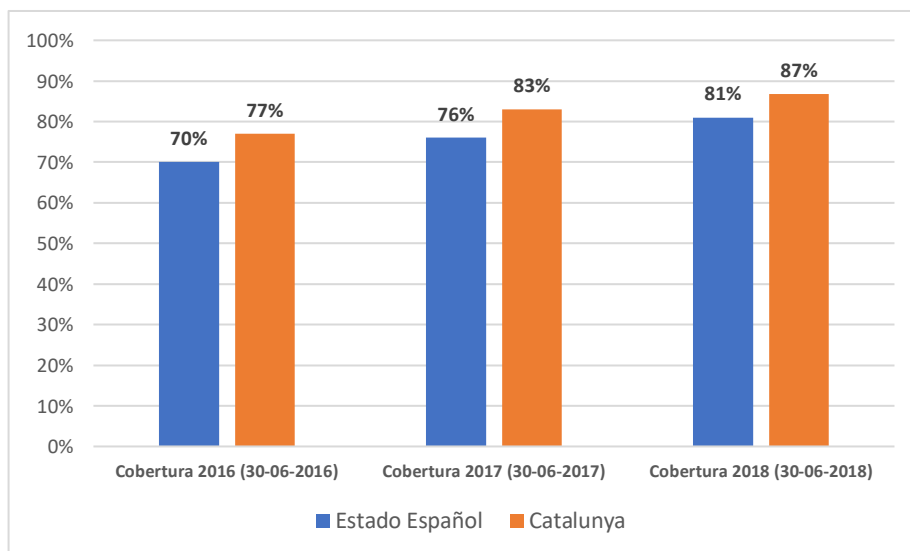
Gráfico 3. Cobertura FTTH por provincias en Catalunya (2018)



Fuente: (2) Ministerio de Economía y Empresa, 2019; 20

La evolución que ha seguido la cobertura ≥ 100 Mbps de banda ancha en los últimos tres años (2016, 2017 y 2018) ha sido continua, tanto en Catalunya como en el estado, aumentando 9 y 11 puntos porcentuales respectivamente durante el período analizado.

Gráfico 4. Evolución de la cobertura ≥ 100 Mbps. Período 2016-2018



Fuente: Elaboración propia con datos del (1), (2) Ministerio de Economía y Empresa, 2019.

Este hecho, sobre todo puede atribuirse a que primero se ha desarrollado la infraestructura de fibra en aquellas áreas con más población, de manera que la mayoría de las ciudades y zonas urbanas ya están preparadas para poder proporcionar este servicio. Las zonas rurales

en cambio aún están lejos de optar a una banda ancha con una velocidad igual o superior a los 100 Mbps. Es fácil intuir que el porcentaje de población que queda sin tener acceso a este servicio, entorno al 13% en Catalunya, va a ser el más difícil y costoso de abastecer.

2.3. La fibra óptica como herramienta de desarrollo en las zonas rurales

Son muchos los estudios que analizan el impacto económico que genera la implantación de una red de suministro de banda ancha en una zona determinada, sobre todo evaluando distintos indicadores de ámbito económico, como el crecimiento del empleo o del PIB. La mayor parte de los análisis relacionados con la banda ancha y los resultados económicos que derivan se centran en áreas urbanas, relevando a un segundo plano las investigaciones específicas de las zonas rurales. Des de hace unos años algunos autores enfocan sus estudios en las áreas rurales, ya que actualmente existen municipios de baja densidad con servicio de banda ancha, de manera que se puede medir su evolución y comparar los resultados con otras zonas de características similares sin este servicio.

A medida que las sociedades avanzan hacia la digitalización, se evidencian las diferencias en la calidad y cantidad de cobertura de banda ancha entre áreas urbanas y rurales (Park et al, 2009; 139). Esto genera una 'brecha digital', cada vez mayor, entre estas áreas (Dickes et al., 2010; 1-2), que se traduce en una desventaja competitiva y en un desarrollo económico limitado por el componente digital. El Tribunal de cuentas europeo también remarca la importancia de tener una buena cobertura de banda ancha para no perder las ventajas económicas y sociales que pueden obtenerse (Tribunal de Cuentas Europeo, 2015; 21).

La existencia de poblaciones más pequeñas y dispersas, los problemas geográficos físicos, como la distancia a los puntos de acceso de la red troncal de transporte o el relieve, y el menor número de hogares por calle, son los principales factores que explican el déficit de este tipo de redes en los entornos rurales (Ashmore et al., 2017; 411). Por estos motivos, el coste del despliegue de una red de fibra óptica fuera de una ciudad, en una zona rural es, por término medio, un 80% superior al coste del despliegue de la red en la ciudad. (Rendon Schneir & Xiong, 2016; 755).

Los retos socioeconómicos a los que se enfrentan las zonas rurales son muchos, como el acceso limitado a los servicios de salud y educación, así como las limitaciones que puede sufrir el sector empresarial en zonas aisladas. Internet se ha convertido en un requisito indispensable para seguir compitiendo, debido a la mejora del rendimiento y el acceso a nuevas oportunidades, y las empresas de entornos rurales que no puedan participar de forma activa en la economía digital se pueden ver muy desfavorecidas. (Townsend et al., 2013; 71-73).

Algunos de los análisis que se han realizado sobre el impacto económico que pueden generar este tipo de infraestructuras destacan aspectos como: el vínculo entre la infraestructura de banda ancha y el crecimiento del PIB, más fuerte como mayor es la penetración de la banda ancha en el territorio (Koutroumpis, 2009; 479); un crecimiento más rápido de los ingresos familiares medios y un menor crecimiento de las tasas de desempleo (Whitacre et al., 2014; 1012); niveles más altos de crecimiento en empleos

asalariados, propietarios no agrícolas e ingresos privados (Stenberg et al., 2009; 7); aumento de la productividad empresarial y de capital humano cualificado (Park et al., 2019; 140); mejora de la prestación de servicios como la salud y la educación, aumento de la participación de la comunidad, y ampliación de las perspectivas de ingresos de los hogares a través de actividades como el teletrabajo (Stenberg et al., 2009; 23).

3. Análisis de requisitos

En el análisis de requisitos se detallan los servicios que el sistema debe proporcionar, y todos aquellos requerimientos que debe cumplir. Se explican las condiciones que se ponen para que el desarrollo del producto sea adecuado para el usuario, de manera que su funcionalidad responda a las necesidades del cliente. Se distingue entre requisitos funcionales y no funcionales. Los primeros van enfocados a la funcionalidad del sistema, y los segundos al desarrollo.

También se explica la normativa existente en materia de fibra óptica, ya que muchas de las indicaciones que se detallan en ella se toman como requisitos para la elaboración del sistema.

3.1. Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales se componen de las características de las que se pretende dotar al sistema, es decir, como va a ser su funcionalidad, que servicios va a ser capaz de prestar, y como va a reaccionar en frente de distintas situaciones.

El modelo diseñado tiene que ser capaz de almacenar de forma ordenada el conjunto de datos de referencia y los nuevos datos que aporte el usuario al utilizarla, relacionando toda la información y permitiendo la explotación de esta para su posterior uso.

Es necesario que el usuario pueda interactuar de forma directa con el sistema, introduciendo información en las tablas y corrigiéndola si es necesario, pero los procesos que se puedan serán automatizados para reducir el riesgo de error por parte del usuario.

Tiene que poder almacenar información espacial y tiene que ser visible en el monitor del ordenador, ya que puede haber aspectos sobre la viabilidad de algunos trazados que no se contemplan en el sistema, y el usuario puede necesitar observar los datos. También tiene que existir la posibilidad de incorporar información vectorial en el ambiente de trabajo para complementar la información del sistema.

Debe existir algún mecanismo de control que ayude al usuario a detectar errores en la elaboración de los trazados y alguna alternativa para corregirlos.

3.2. Requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales están formados por los aspectos que restringen su diseño o implementación, cualidades que el producto tiene que tener. Son indicaciones que condicionan el desempeño del producto para que tenga unas características mínimas requeridas por el cliente.

La condición principal es que el software que requiera el sistema diseñado tiene que ser libre, ya que está dirigido a un uso administrativo, por lo que es una condición indispensable.

El modelo tiene que poder ser extrapolable a otros territorios o zonas adaptando los datos que sean necesarios. También es necesario que sea personalizable por si se requiere algún ajuste posterior que ayude a mejorar su funcionamiento.

El sistema tiene que ser eficiente en el almacenamiento y procesamiento de la información, y tiene que permitir el multiusuario, con la base de datos centralizada en un ordenador o en un servidor.

3.3. Normativa

Hoy en día, con la tecnología existente, se puede afirmar que es posible desplegar infraestructura fija de fibra óptica en cualquier lugar donde llegue agua y luz. El problema es que con el precio que supone este tipo de obra, se hace muy complicado (insostenible económicamente) llegar a todos los lados.

Con el objetivo de reducir los costes derivados del despliegue de las redes de comunicaciones electrónicas de alta velocidad, el Parlamento Europeo aprueba la Directiva 2014/61/UE, donde se cita textualmente: *“La Agenda Digital también ha indicado la necesidad de medidas que abaraten el despliegue de la banda ancha en todo el territorio de la Unión, incluidas una planificación y coordinación adecuadas y la reducción de las cargas administrativas”* (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2014; 2).

El Real Decreto 330/2016 se elabora posteriormente por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Estado español. En este documento se recogen las medidas concretas para reducir el coste del despliegue de las redes de comunicaciones electrónicas, de manera que quedan incorporadas al ordenamiento jurídico español (RD 330/2016, de 30 de septiembre; 2-5). En el artículo 3 de este Real Decreto se definen diversos aspectos que se tratan a lo largo del documento. Hay que destacar la definición de sujetos obligados, refiriéndose a aquellos propietarios o titulares de derechos de utilización de infraestructuras físicas que pueden alojar redes públicas de comunicaciones electrónicas de alta velocidad. Estas infraestructuras son:

- Infraestructuras físicas destinada a prestar un servicio de producción, transporte o distribución de:
 - Gas.
 - Electricidad.
 - Calefacción.
 - Agua, incluidos los sistemas de saneamiento.
- Infraestructuras físicas destinadas a prestar servicios de transporte:
 - Ferrocarriles.
 - Carreteras.
 - Puertos.
 - Aeropuertos.

En el artículo 4 del mismo documento, se establece que: *“los sujetos obligados deberán atender y negociar las solicitudes de acceso a su infraestructura física al objeto de facilitar el despliegue de redes de comunicaciones electrónicas de alta velocidad”*. Es sabido y publicado por distintos medios de comunicación que pueden surgir problemas a la hora de negociar el acceso a estas infraestructuras, y que no es tan fácil como parece, lo que obliga en muchas ocasiones a realizar obra civil. En este estudio, se van a considerar las diferentes infraestructuras aptas para acoger esta tecnología disponible en Catalunya, suponiendo que los “sujetos obligados” encargados de gestionar dichas infraestructuras accedan a cederlas.

La obra civil es la última opción que debe contemplarse, y solo tendría que realizarse cuando no queda otra alternativa para poder prestar el servicio en alguna zona que quede aislada.

4. Datos de partida

Teniendo en cuenta la legislación existente en materia de aprovechamiento de infraestructuras aptas para albergar redes fijas de fibra óptica de la UE, en este punto se van a explicar los distintos datos necesarios para que el modelo pueda funcionar correctamente. Esta información, tanto vectorial como alfanumérica, es la base de la que se alimenta el sistema.

La proyección utilizada es la 'EPSG:25831 - ETRS89 / UTM zone 31N', debido a que Catalunya se encuentra dentro de la zona UTM 31N, que afecta a los territorios del este de la Península Ibérica.

4.1. Obtención de los datos

Cuando se planteó el proyecto la intención era incorporar un mayor volumen de datos, especialmente el conjunto de redes de infraestructuras aptas para albergar red fija de fibra óptica (definidas en el apartado de normativa). Esto no ha sido posible, ya que parte de estos datos no son públicos y no se ha podido tener acceso a ellos. Debido a estas limitaciones, se han utilizado los datos públicos, obtenidos todos de organismos oficiales del estado, y los datos que han proporcionado otras instituciones públicas u organizaciones bajo petición.

Red de carreteras: la red de carreteras está disponible en la web del Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional dividido por provincias, pero en este caso se ha utilizado una red de carreteras facilitada por la Universidad Rovira y Virgili (URV), ya que contiene un mayor número de atributos y aporta más información. Este archivo, de formato vectorial, está compuesto por el conjunto de tramos de carretera que vertebran Catalunya, con información asociada como el tipo de vía, el código, la descripción, la comarca a la que pertenecen, el titular, la jerarquía, la longitud total, el número de carriles y la geometría. Está compuesto por un total de 2.276, con una longitud de 13.932 kilómetros.

Red de vías de ferrocarril: la situación es la misma que la de la red de carreteras, está disponible en el Centro de Descargas, pero se ha utilizado una red de vías facilitada por la URV, porque el nivel de información aportada es mayor. Es un archivo vectorial, con información referente el código de la vía, la tipología, la descripción, el número de vías, la longitud total de cada tramo, y la geometría. La red se compone de 218 tramos que suman más de 2.077 kilómetros.

Red Pública de Telecomunicaciones (XOC): la XOC está formada por el conjunto de tramos que forman la red troncal de suministro de fibra óptica de Catalunya. Actualmente da suministro a 306 municipios catalanes, y a 745 sedes de la Generalitat, y tienen una longitud total de 2.803 kilómetros. Incluye información sobre su longitud real y su geometría. Estos datos los ha proporcionado la Fundación Guifi.net bajo petición.

Municipios: la información vectorial sobre el conjunto de municipios de Catalunya se ha extraído de la web del Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC), de la base topográfica 1:5.000. Se incluyen los nombres de las poblaciones, el código municipal, el código de la comarca a la que pertenecen y el código de su provincia.

4.2. Tratamiento previo de los datos

Para mejorar el funcionamiento del sistema y aprovechar mejor los datos disponibles, se han modificado algunos aspectos concretos de los ficheros iniciales, y se han complementado con otras informaciones obtenidas de organismo oficiales. También se ha realizado algún proceso para obtener información derivada de los datos iniciales.

Las redes de carreteras y ferrocarriles se han fraccionado con el objetivo de obtener tramos más pequeños (inferiores a 10 km), de manera que al construir las rutas por donde puede desplegarse la red de fibra óptica, la selección de tramos puede realizarse con una mayor precisión.

- Utilizando QGIS, primero se han extraído los nodos de las diferentes vías mediante la herramienta “Extraer Nodos”, localizada en herramientas de geometría (vectorial), y seguidamente con el proceso “Split lines at points”, localizada en herramientas de línea vectorial.

La información vectorial sobre los municipios se ha completado añadiendo datos de IDESCAT (Instituto de Estudios Estadísticos de Catalunya) sobre superficie del municipio, número de habitantes, y densidad de población. A esto, hay que sumarle la información sobre si el municipio tiene cobertura de la XOC o no, obtenida mediante un análisis espacial sobre los municipios que se encuentran situados a menos de 1.700 metros de esta red.

- Para realizar este proceso se ha utilizado la herramienta “Union” de QGIS (propiedades de la capa), donde se ha adjuntado la información por el campo del código del municipio.

Las geometrías de las capas de ferrocarril y carreteras, una vez exportadas a PostgreSQL presentaban una geometría de tipo MultiLineString. Como algunas funciones utilizadas en las consultas realizadas solo podían aplicarse sobre geometrías LineString, se transformaron a estas últimas.

- Utilizando PostgreSQL, primero se crea una nueva columna de geometría y a continuación se aplica una consulta SQL utilizando la función ST_Force_2D (definida en el apartado de consultas). Después se elimina la antigua geometría.

Por último, se ha generado información geométrica a partir de un buffer de un kilómetro alrededor de cada municipio, con la finalidad de utilizar esta superficie como referencia de hasta donde tiene que llegar el trazado propuesto. Se ha incluido como geometría en la capa de municipios, substituyendo el punto que tenía hasta el momento.

- El proceso ha consistido en crear el buffer de 1.700 metros mediante la herramienta “Buffer”, localizada en herramientas de geoprocésamiento, y después realizando una selección por localización a la capa vectorial de municipios. Posteriormente se puede generar el campo ‘cobertura’ de esta capa, asignando un ‘si’ a aquellos municipios que han resultado seleccionados.

5. Diseño

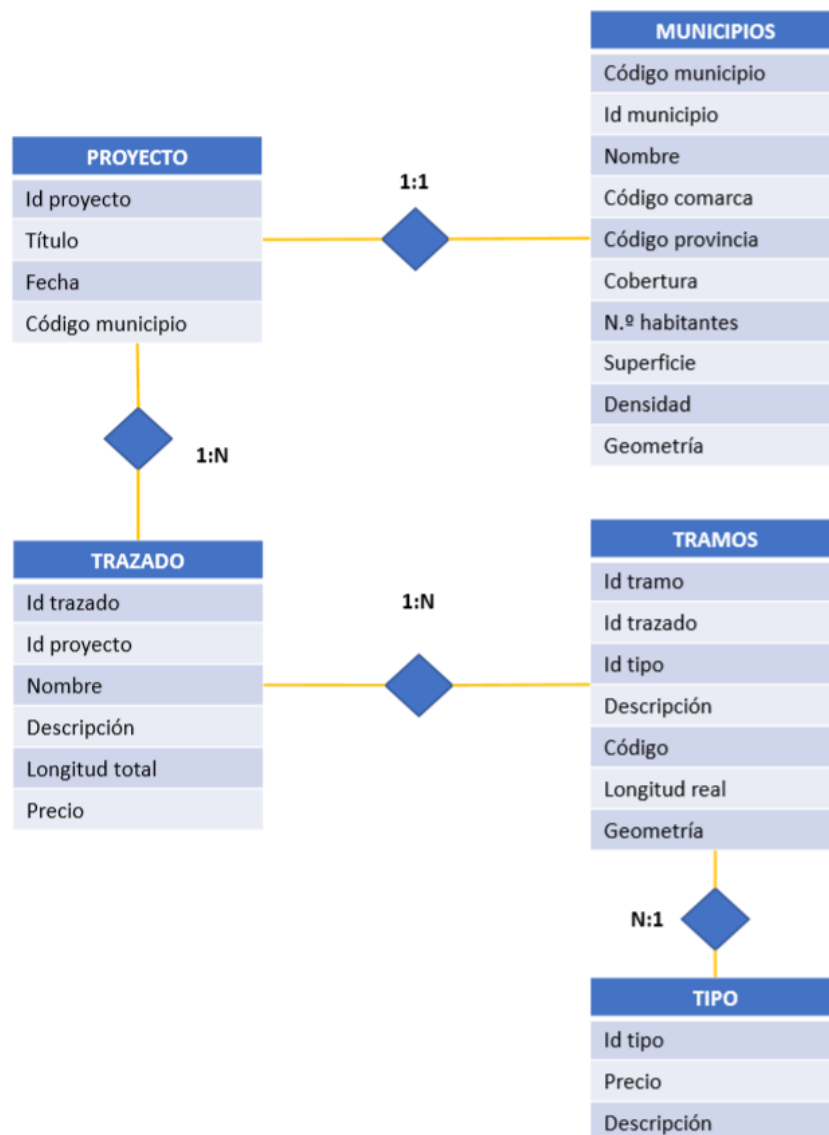
5.1. Modelo de datos

En este apartado se explica de forma detallada la estructura que presenta la base de datos diseñada para este sistema. Con el objetivo de hacer comprensible la información utilizada, esta se expone de forma esquemática y organizada, explicando las relaciones que se establecen, y concretando las funcionalidades que admite cada tipo de dato.

5.1.1. Diagrama Entidad-Relación

El diagrama entidad-relación está formado por el conjunto de tablas que presenta el modelo y sus respectivas columnas, de manera que se pueden mostrar de forma clara las relaciones existentes entre estas tablas y las cardinalidades que explican estas relaciones.

Ilustración 2. Diagrama entidad-relación del modelo de datos del proyecto



CARRETERAS							
Id carretera							
Código							
Descripción		FERROCARRIL					
Comarca		Id ferrocarril					
Titular		Código eje					
Funcional		Tipología		RED_XOC		BUFFER_TRAZADO	
Tipología		Descripción		Id XOC		Id buffer	
Longitud real		Número vías		Longitud real		Descripción	
Número carriles		Longitud real		Geometría		Geometria	
Geometría		Geometría					

EXTREMOS_TRAMOS		CONTROL_CALIDAD		CÁLCULOS_TRAZADO	
Id extremo		Id control		Id trazado	
Id tramo		Id trazado		Id proyecto	
Id trazado		Geometría		Descripción	
Geometría				Longitud total trazado	
Geometría 2				Precio total trazado	

Hay que puntualizar que los nombres de los campos no son exactamente iguales que en el modelo construido en PostgreSQL. Se han escrito de forma correcta para que se entienda mejor que representa cada campo, pero en el modelo están escritos con palabras más compactas y sin espacios.

La tabla padre es la de "Proyecto" y es por donde se empiezan a introducir los datos cada vez que se quiera proponer un nuevo análisis. De ella cuelgan dos tablas hijo: "Municipios" con una cardinalidad 1:1, que indica que un proyecto solo puede afectar a un municipio, y la tabla "Trazado" con una cardinalidad 1:N, que indica que un proyecto puede tener varias propuestas de trazado.

En la tabla "Trazado" se especifica el proyecto al que hace referencia ese trazado y se inserta automáticamente el "idtrazado" para que se distingan, mientras que en la descripción se puede concretar el número de trazado que supone dentro del mismo proyecto (un proyecto puede tener varias propuestas de trazado). Está relacionada con la tabla "Tramo" con una cardinalidad 1:N, lo que indica que un trazado puede estar compuesto por muchos tramos.

La tabla "Tramos" es la que alberga los distintos tramos seleccionados para cada trazado, y en cada uno se indica el número de trazado al que hace referencia. Está relacionada con la tabla "Tipo" con una cardinalidad N:1, hecho que indica que muchos tramos pueden pertenecer a un mismo tipo. La tabla "Tipo" contiene las diferentes tipologías contempladas como tipos de tramos y el precio que tienen asignado por metro.

Las siete tablas restantes son de apoyo, y se utilizan para proporcionar la información de partida para el análisis, o para almacenar información útil para otros procesos. “Carreteras” y “Ferrocarril” proporcionan los tramos necesarios para elaborar las propuestas de trazados, “Red_XOC” aporta la información de referencia sobre la red pública de fibra óptica existente en la actualidad, mientras que la tabla “Buffer_trazado” se utiliza para dibujar las áreas de influencia que se utilizan para seleccionar automáticamente los tramos de vías que contienen. Las tablas “Extremo_tramos” y “Control_calidad” se utilizan para almacenar y representar información sobre los extremos de los tramos para ver si estos conectan. La tabla “Cálculos_trazado” se utiliza como soporte para almacenar información de los cálculos de cada trazado, antes de asignar los valores de la longitud y el precio en la tabla “Trazado”.

5.1.2. Modelo Relacional

Seguidamente se desglosa la información que contienen las tablas, indicando las diferentes restricciones existentes en cada una de ellas. En color rojo y subrayadas se identifican las claves primarias (PK), y en color azul las claves foráneas (FK).

- **Proyecto** (id_proyecto, código_municipio, título, fecha).
- **Municipio** (código_municipio, id_municipio, nombre, código_comarca, código_provincia, superficie, número_habitantes, densidad, cobertura, geometría).
- **Trazado** (id_trazado, id_proyecto, nombre, descripción, longitud_total, precio).
- **Tramos** (id_tramo, id_trazado, id_tipo, código, descripción, longitud_real, geometría).
- **Tipo** (id_tipo, precio, descripción).
- **Carreteras** (id_carretera, código, descripción, comarca, titular, funcional, tipología, longitud_real, número_carriles, geometría).
- **Ferrocarril** (id_ferrocarril, código, tipología, descripción, número_vías, longitud_real, geometría).
- **Red_XOC** (id_xoc, longitud_real, geometría).
- **Buffer_trazado** (id_buffer, descripción, geometría).
- **Extremos_tramo** (id_extremos, id_tramo, id_trazado, geometría, geometría_2)
- **Control_calidad** (id_control, id_trazado, geometría)
- **Cálculos_trazado** (id_trazado, id_proyecto, descripción, long_total_trazado, precio_total_trazado)

La clave primaria de la tabla “Proyecto” corresponde al campo “id_proyecto”. El campo “código_municipio” representa la clave foránea, y está relacionada con el campo que tiene el mismo nombre de la tabla “Municipios”, del cual es la clave primaria.

La tabla “Trazado” presenta una clave primaria formada por el campo “id_trazado”. Este está relacionado con el campo que tiene el mismo nombre de la tabla “Tramos”, del cual representa su clave foránea.

La columna “id_tramo” es la clave primaria de la tabla “Tramos”, y la columna “id_tipo” es su segunda clave foránea, relacionada con la columna que tiene el mismo nombre de la tabla “Tipo”, de la cual es clave primaria.

Las siete tablas restantes, “Carreteras”, “Ferrocarril”, “Red_XOC”, “Buffer_trazado”, “Extremos_tramo”, “Control_calidad” y “Cálculos_trazado” también tienen sus respectivas claves primarias: “id_carretera”, “id_ferrocarril”, “id_xoc”, “id_buffer”, “id_extremo”, “id_control” y “idtrazado + idproyecto”, pero no presentan ninguna clave foránea porque no están relacionadas con ninguna otra tabla del modelo.

5.1.3. Tipos de datos de cada columna

Al definir las tablas y las columnas, se les asigna un tipo de dato específico teniendo en cuenta la información que van a almacenar. Existen muchos tipos de datos, y es importante asignar el adecuado en cada caso ya que condicionan el tipo de información que pueden guardar.

Hay que puntualizar que en este punto los nombres de las columnas de las tablas tienen el mismo aspecto que en la base de datos, ya que esta información se ha extraído directamente del gestor de bases de datos PostgreSQL.

Tabla 2. Tipos de datos de la tabla “Proyecto”

Nombre	Tipo dato	Longitud	Nulo
<u>idproyecto</u>	smallint	3	N
codimuni	character varying	6	N
titulo	character varying	50	N
fecha	date	4	Y

Tabla 3. Tipos de datos de la tabla “Municipios”

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>codimuni</u>	character varying	6	N
idmunicipio	serial	4	N
nombre	character varying	30	Y
codicomar	smallint	2	Y
codiprov	smallint	2	Y
superficie	numeric	10, 2	Y
num_habitantes	numeric	15	Y
densidad	numeric	10, 2	Y
cobertura	character varying	2	Y
geom	geometry (MultiPolygon,25831)		Y

Tabla 4. Tipos de datos de la tabla "Trazado"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idtrazado</u>	serial		N
idproyecto	smallint	3	N
nombre	character varying	100	Y
descripcion	character varying	256	Y
longtotal	numeric	10,2	Y
precio	numeric	10,2	Y

Tabla 5. Tipos de datos de la tabla "Tramos"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idtramo</u>	serial		N
idtrazado	smallint		N
idtipo	character varying	3	N
longreal	numeric	10,2	Y
descripcion	character varying	100	Y
codigo	character varying	20	Y
geom	geometry (LineString, 25831)		Y

Tabla 6. Tipos de datos de la tabla "Tipo"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idtipo</u>	character varying	3	N
precio	numeric	10,2	Y
descripcion	character varying	100	Y

Tabla 7. Tipos de datos de la tabla "Ferrocarriil"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idferrocarril</u>	serial	4	N
codigo	character varying	32	Y
tipologia	character varying	32	Y
descripcion	character varying	100	Y
numvies	numeric	3	Y
longreal	numeric	10,2	Y
geom	geometry (LineString,25831)		Y

Tabla 8. Tipos de datos de la tabla "Carreteras"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idcarretera</u>	serial	4	N
codigo	character varying	32	Y
descripcion	character varying	100	Y
comarca	character varying	32	Y
titular	character varying	32	Y
funcional	character varying	32	Y
tipologia	character varying	32	Y
longreal	numeric	10, 2	Y
numcarrils	numeric	3	Y
geom	geometry (LineString,25831)		Y

Tabla 9. Tipos de datos de la tabla "Red_XOC"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idxoc</u>	serial		N
longreal	numeric	10, 2	Y
geom	geometry (MultiLineStringZM,25831)		Y

Tabla 10. Tipos de datos de la tabla "Buffer_trazado"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idbuffer</u>	smallint	3	N
descripcion	character varying	100	Y
geom	geometry (MultiPolygon,25831)		Y

Tabla 11. Tipos de datos de la tabla "Extremos_tramo"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idextremo</u>	serial		N
idtrazado	smallint	3	N
idtramo	smallint	3	N
geom	geometry (Point,25831)		Y
geom_2	geometry (Point,25831)		Y

Tabla 12. Tipos de datos de la tabla "Control_calidad"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idcontrol</u>	serial		N
idtrazado	smallint		N
geom	geometry (Point,25831)		Y

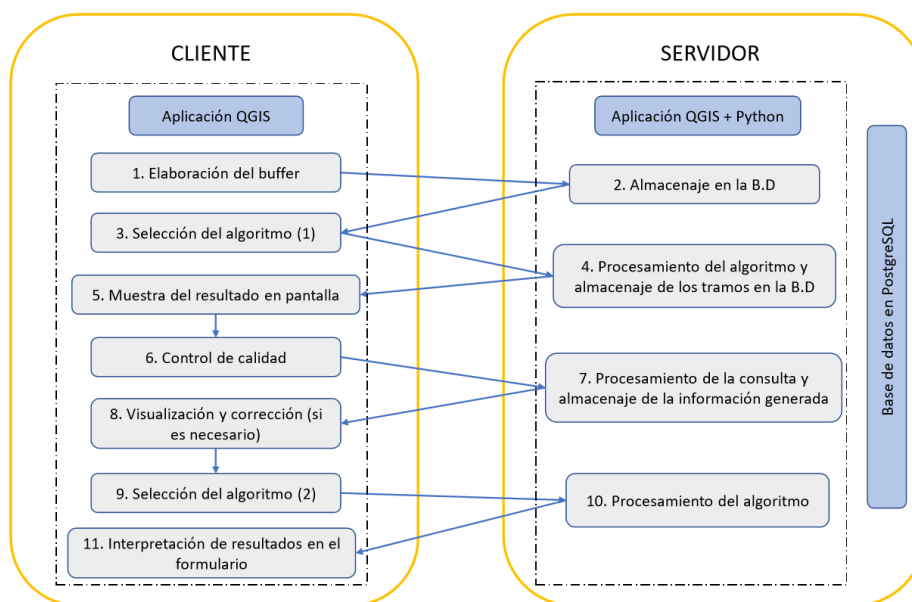
Tabla 13. Tipos de datos de la tabla "Cálculos_trazado"

Nombre	Tipo	Longitud	Nulo
<u>idtrazado</u>	smallint	3	N
<u>idproyecto</u>	smallint	3	N
descripcion	character varying	100	Y
long_total_trazado	numeric	10, 2	Y
precio_total_trazado	numeric	10, 2	Y

5.2. Arquitectura de la solución

Para explicar la arquitectura que presenta el sistema se ha elaborado un diagrama donde se relacionan los procesos que intervienen en su uso. En él se distinguen dos bloques, el de la izquierda contiene los procesos o acciones que tiene que realizar el cliente, y el de la derecha indica las operaciones que realiza el servidor como respuesta a las interacciones del usuario.

Diagrama sobre la arquitectura de la solución



El diagrama explica el flujo de acciones y procesos que intervienen al utilizar el sistema. El cliente es el encargado de ir alimentando al servidor, mientras que este realiza los procesos que se le indican y devuelve una respuesta, generalmente en forma de nuevos datos que se van almacenando en las tablas.

El flujo lo inicia el cliente introduciendo la información inicial sobre proyectos y trazados, y dibujando el buffer encargado de seleccionar los tramos de cada propuesta. Cuando el usuario lanza los algoritmos, el servidor se encarga de ejecutarlos, procesando los datos indicados y devolviendo una respuesta adecuada. Al final, toda la información generada queda almacenada en las tablas, por lo que la interpretación de los resultados resulta relativamente sencilla desde el formulario que relaciona el conjunto de tablas y datos.

5.3. Análisis de costes

En el análisis de costes se detalla cómo se han realizado las estimaciones de costes que podría suponer el despliegue de la fibra óptica en las tres situaciones contempladas (carretera, vía de tren, obra civil). Remarcar que este cálculo representa el precio de la infraestructura interurbana, por lo que no se contempla el despliegue de la fibra en los núcleos urbanos, que tiene una realidad totalmente distinta y no es el objetivo de este proyecto.

5.3.1. Infraestructura interurbana

Los costes que puede suponer el despliegue de este tipo de redes, como se ha comentado, varían mucho en función de si se aprovecha una infraestructura existente, o si hay que realizar obra civil.

Según datos de la Comisión Europea, los trabajos de obra civil encarecen de media un 80% el coste total del despliegue de redes de comunicaciones electrónicas (RD 330/2016, de 30 de septiembre; 1). Este hecho, pone de relevancia la importancia que tiene aprovechar las instalaciones existentes aptas para albergar redes fijas de fibra óptica, ya que la inversión que requieren es mucho menor, y de esta forma se hace viable el despliegue en muchas más zonas del territorio.

Como referencia para calcular los precios que puede suponer el despliegue de la red fija de fibra óptica, se va a utilizar la “ORDRE PDA/86/2019, de 2 de mayo, por la cual se fijan los precios públicos para el alquiler del espacio de las canalizaciones y las arquetas gestionados por el Centro de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información” (ORDRE PDA/86/2019, de 2 de mayo; 3-34). En este documento se especifican los distintos aspectos relativos a los costes que contempla la Generalitat de Catalunya para la instalación de este tipo de infraestructuras, como el alquiler de canalizaciones y arquetas, los diferentes costes que puede suponer una obra civil (si la hay), así como los precios del material básico que compone la red de fibra óptica, o lo que supone el despliegue físico del cableado en cada una de las alternativas.

Se va a suponer que las diferentes carreteras y vías de ferrocarril están preparadas con canalizaciones aptas para acoger cableado de fibra óptica, ya que no se dispone de los datos que indiquen cuáles están preparadas y cuáles no. Por lo tanto, la obra civil solo se

va a contemplar en aquellos trazados donde sea necesario para unir dos tramos que no conectan, y para el despliegue en los núcleos urbanos.

Obviamente las estimaciones de precios que se hacen en este apartado no son realistas, puesto que hay que tener en cuenta muchas variables, y hay que estudiar a fondo cada caso particular para hacer un presupuesto adecuado. Además, existe una gran cantidad de material de diferentes tipos, dependiendo de si es para suministrar a áreas más pobladas o menos, diferentes tipos de arquetas, y muchos elementos que no puede saberse donde se localizarían, además la mano de obra (cuadros con precios en el anexo 1). Simplemente se quiere estimar un precio por metro en cada una de las tres situaciones para calcular los precios finales de los trazados, sabiendo que el despliegue por vía de ferrocarril es el más económico, seguido por el despliegue por carretera, y el más caro con diferencia es el caso en que haya que realizar obra civil.

En la tabla 14 se concretan algunos de los elementos básicos que se necesitan para la instalación de esta infraestructura. Las tres primeras filas muestran los costes del alquiler de las canalizaciones, que serían propiedad de la Generalitat, el despliegue del cable en conducto, y el cable. Con esto se calcula el precio por metro que supondría el despliegue por vía férrea. La siguiente fila establece un precio por ajustes que se puedan hacer para desplegar el cable por la carretera. Esta cifra es una estimación que no se contempla en los cuadros de precios de PDA/86/2019, pero se ha incluido sabiendo que el despliegue por carretera siempre tiene un precio mayor que por ferrocarril. Por último, se incluyen dos filas más donde se especifican costes de la canalización y del conducto, ambos necesarios en una hipotética obra civil.

Tabla 14. Estimación del precio por metro de infraestructura de fibra óptica en las distintas situaciones contempladas

Descripción	Unidades	Precio anual
Alquiler de espacio en las canalizaciones para el despliegue de cable de fibra óptica	m	0,53€
Despliegue tradicional en conducto de 125 mm o 40 mm, hasta 48 FO	m	1,48€
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 16 FO	m	1,34€
Precio total ferrocarril	m	3,35€
Ajustes para desplegar el cable por carretera	m	1,00€
Precio total carretera	m	4,35€
Canalización de 2 conductos de 125 mm en acera	m	71,5€
Conducto de 40 mm en canalización	m	1,82€
Precio total obra civil	m	76,67€

Fuente: elaboración propia con datos de PDA/86/2019

Los precios que aquí se detallan son los que se incluyen en la tabla 'Tipos' de la base de datos, de forma que los tramos que se asignen a cada trazado tendrán asociada una de estas tres tipologías, cada una con su precio particular.

6. Implementación

El apartado de implementación recoge todos los procesos que se han llevado a cabo para construir el sistema y hacer que este funcione de forma adecuada. Primero se explica cómo se ha elaborado la base de datos, utilizando tanto PostgreSQL como QGIS, tanto consultas SQL como exportando capas vectoriales con herramientas de QGIS.

Seguidamente se describe el proceso que se ha realizado para elaborar el ambiente relacionado en QGIS, así como los scripts que se han elaborado y el conjunto de sentencias SQL necesarias para realizar análisis.

6.1. Base de datos

La base de datos se ha elaborado utilizando principalmente PostgreSQL mediante sentencias SQL, y con el apoyo de QGIS para generar tablas a partir de capas vectoriales de datos como carreteras o municipios.

Lo primero es crear la base de datos, que en este caso se ha llamado “FIBRA”. Dentro de la BD se encuentran los esquemas, que son una especie de contenedores para agrupar tablas y funciones. Se ha utilizado el mismo esquema “públic” (viene por defecto), ya que facilita el trabajo a la hora de hacer las consultas, y en esta situación tampoco era necesario generar un esquema para dividir las tablas. También se necesita crear una extensión PostGIS dentro de la misma BD, para que las tablas puedan tener elementos geométricos y estos puedan ser visibilizados en QGIS.

Después se realiza la conexión entre PostgreSQL y QGIS (explicado en el apartado de manual de usuario – instalación de QGIS y conexiones con PostgreSQL), para tener acceso a la BD desde el gestor de bases de datos de QGIS, lo que facilita la visualización e interacción de los datos de las tablas.

El siguiente paso consiste en abrir en QGIS las capas vectoriales que se necesitan como información base (municipios, carreteras, vías de ferrocarril y red XOC), y una vez realizados los procesos previos explicados en el apartado de “Tratamiento previo de los datos”, se exportan a la BD para que formen parte de ella. Este proceso se puede realizar de diversas formas, pero en este caso se ha utilizado el gestor de bases de datos de QGIS, que tiene una opción de importar de QGIS a PostgreSQL, seleccionando la BD donde se quiere meter la tabla, el esquema, y otras características como la clave primaria, columnas, etc. Una vez exportadas, se puede observar como estas ya aparecen en la BD administrada desde PostgreSQL, dentro del esquema indicado, y con las columnas que se han indicado.

Ulteriormente se generan el resto de las tablas necesarias para completar el modelo, utilizando la ventana SQL del mismo programa para lanzar las consultas que construyan estas tablas, concretadas a continuación. En ellas se especifican las sentencias con las características de cada columna (tipo de dato y restricciones). Las relaciones que se dan entre las tablas están concretadas en el apartado del “Modelo de datos”, donde se explican detalladamente.

- Tabla “Proyecto”

```
CREATE TABLE public.proyecto
(
  idproyecto smallint NOT NULL DEFAULT
nextval('proyecto_id_proyecto_seq'::regclass),
  codimuni character varying(6) NOT NULL,
  titulo character varying(50) NOT NULL,
  fecha date,
  CONSTRAINT "PK_proyecto_idproyecto" PRIMARY KEY (idproyecto)
)
```

- Tabla “Trazado”

```
CREATE TABLE public.trazado
(
  idproyecto smallint NOT NULL,
  nombre character varying(100),
  descripcion character varying(256),
  precio numeric(10,2),
  longtotal numeric(10,2),
  idtrazado integer NOT NULL DEFAULT
nextval('trazado_idtrazado_seq'::regclass),
  CONSTRAINT "PK_idtrazado" PRIMARY KEY (idtrazado),
  CONSTRAINT "FK_proyecto" FOREIGN KEY (idproyecto)
REFERENCES public.proyecto (idproyecto) MATCH SIMPLE
ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION
)
```

- Tabla “Tipo”

```
CREATE TABLE public.tipo
(
  idtipo character varying(3) NOT NULL,
  precio numeric(10,2),
  descripcion character varying(100),
  CONSTRAINT "PK_tipo_idtipo" PRIMARY KEY (idtipo)
)
```

- Tabla “Tramos”

```
CREATE TABLE public.tramos
(
  idtrazado smallint,
  idtipo character varying(3),
  idtramo smallint NOT NULL DEFAULT
nextval('tramo_idtramo_seq'::regclass),
  longreal numeric(10,2),
  descripcion character varying(100),
  codigo character varying(20),
  geom geometry(LineString,25831),
  CONSTRAINT "PK-tramo_idtramo" PRIMARY KEY (idtramo),
  CONSTRAINT "FK_tipo" FOREIGN KEY (idtipo)
REFERENCES public.tipo (idtipo) MATCH SIMPLE
ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION
)
```

- Tabla “Buffer_trazado”

```
CREATE TABLE public.buffer_trazado
(
  idbuffer smallint NOT NULL,
  "descripción" character varying(100),
  geom geometry(MultiPolygon,25831),
  CONSTRAINT "PK_idbuffer" PRIMARY KEY (idbuffer)
)
```

- Tabla “Calculos_trazado”

```
CREATE TABLE public.calculos_trazado
(
  idtrazado smallint NOT NULL,
  idproyecto smallint NOT NULL,
  descripcion character varying(100),
  long_total_trazado numeric(10,2),
  precio_total_trazado numeric(10,2),
  CONSTRAINT "PK_calculos" PRIMARY KEY (idtrazado, idproyecto)
)
```

- Tabla “Control_calidad”

```
CREATE TABLE public.control_calidad
(
  geom geometry(Point,25831),
  idtrazado smallint NOT NULL,
  idcontrol integer NOT NULL DEFAULT
nextval('control_calidad_idcontrol_seq'::regclass),
  CONSTRAINT "PK_idcontrol" PRIMARY KEY (idcontrol)
)
```

- Tabla “Extremos_tramo”

```
CREATE TABLE public.extremos_tramo
(
  geom geometry(Point,25831),
  idtramo smallint NOT NULL,
  idtrazado smallint NOT NULL,
  geom_2 geometry(Point,25831),
  idextremos integer NOT NULL DEFAULT
nextval('extremos_tramo_idextremos_seq'::regclass),
  CONSTRAINT "PK_idextremos" PRIMARY KEY (idextremos)
)
```

Con la creación de este conjunto de tablas y relaciones, la estructura interna de la base de datos relacional del modelo propuesto ya está completada. En este punto, la BD está formada por 12 tablas (sin contar la tabla de referencias espaciales generada al crear la extensión PostGIS): “Carreteras”, “Ferrocarril”, “Municipios”, “Red_XOC” y “Tipo” con la información de referencia para construir los trazados y calcular su precio; y “Proyecto”, “Trazado”, “Tramos”, “Buffer_trazado”, “Cálculos_trazado”, “Extremos_tramo” y “Control_calidad” para gestionar ordenadamente la información que se vaya seleccionando y generando.

6.2. Consulta y manejo de la información de la base de datos des de QGIS

Con la base de datos creada y vinculada con QGIS, el siguiente paso consiste en construir un ambiente de trabajo en QGIS con las tablas del modelo, aprovechando las posibilidades que este software ofrece para automatizarlo y que sea fácil de interpretar por parte del usuario.

Primero es necesario abrir las tablas con las que se va a interactuar en QGIS. Estas no son todas las tablas que se han generado en el modelo, ya que algunas solo se utilizan de apoyo para gestiones de datos intermedias. Hay que abrir, des del gestor de bases de datos de QGIS las tablas “Carreteras”, “Ferrocarril”, “Red_XOC”, Buffer_trazado, “Proyecto”, “Trazado”, “Tramos”, “Tipo” y “Control_Calidad”.

A continuación hay que definir en QGIS las relaciones que estas tablas tienen. Las relaciones ya están definidas des de que se generaron en PostgreSQL, pero este paso es necesario para poder relacionarlas en QGIS y construir un formulario que muestre los datos de forma lógica para su posterior interpretación. Las relaciones de definen en las propiedades del proyecto (no de la tabla “Proyecto”), seleccionando los pares de tablas e indicando los campos:

- Proyecto – Municipios relacionado por el campo “codmuni”.
- Proyecto – Trazados relacionado por el campo “idproyecto”.
- Trazado – Tramos relacionado por el campo “idtrazado”.
- Tramos – Tipo relacionado por el campo “idtipo”.

Una vez definidas estas relaciones se procede a elaborar el formulario para que la información aparezca relacionada desde una única ventana. Si se abren las propiedades de las tablas de las que se han establecido relaciones en QGIS, en la ventana "attributes form", se pueden modificar los campos que se quieren hacer aparecer en los formularios seleccionando la opción "drop and drop designer". Aquí hay que poner los campos y relaciones que se quiere que aparezcan en el formulario, y los datos que contengan estas tablas aparecerán relacionados. También es posible acotar rangos de valores, o insertar despletables para facilitar el trabajo al usuario.

- En la tabla "Proyecto" se introducen las relaciones definidas con municipios y con trazado, y se acotan los valores que puede mostrar el campo "codmuni" seleccionando la opción "mapa de valores", e indicando que cargue los datos desde la tabla "Municipios" con el valor "codimuni" y la descripción "nombre". De esta forma cuando se introduzcan los datos de un nuevo proyecto, en el apartado de "codimuni" habrá un desplegable con el nombre de los 948 municipios de Catalunya.
- En la tabla "Trazado" también hay que introducir la relación definida al inicio, después seleccionar el campo "idproyecto" e indicar "mapa de valores" seleccionando la tabla "Proyecto" y el campo "idproyecto" para que aparezca un desplegable con los números de proyectos introducidos.
- En la tabla "Tramos" se selecciona la relación definida con la tabla "Tipo" y no hay que relacionar ningún campo con ninguna columna, ya que toda la información que recibe esta tabla se hace de forma automatizada.

Con estas operaciones se elabora el formulario, que se abre desde la tabla de atributos de la tabla "Proyecto", y la información queda relacionada para su posterior interpretación una vez realizadas las operaciones de análisis.

Los procesos que se han podido automatizar mediante el uso de consultas SQL que pueden lanzarse desde el gestor de bases de datos del mismo QGIS. Algunas de estas consultas se han introducido en un script con lenguaje Python para que se pudiera interactuar con las tablas, de manera que se pudiera automatizar algún proceso relacionado con la introducción de datos. No todas las consultas han podido introducirse en los scripts, por lo que se ha utilizado una combinación de las dos herramientas.

El primer proceso automatizado que se lleva a cabo es la selección de los tramos de carreteras y ferrocarriles mediante el buffer definido previamente, y su introducción en la tabla "Tramos" junto con su información asociada. Para este proceso se ha generado un script en el que se accede a la base de datos, se ejecuta la consulta SQL definida, y se sale de ella. Para ejecutarlo correctamente es necesario introducir manualmente el "idtrazado" al que hace referencia, y seleccionar en la pantalla el buffer de la tabla "Buffer_trazado" para que coja los tramos que este contiene.


```

#Importar la libreria psycopg2 para trabajar con PostgreSQL
import psycopg2

#Establecer la conexión con la BD
Conexion = psycopg2.connect(user="postgres",
                             password="marcllurba",
                             host="localhost",
                             port="5432",
                             database="FIBRA")

#Seleccionar el idbuffer que se seleccione en la tabla buffer_trazado
layer = iface.activeLayer()
feature = layer.selectedFeatures()[0]
idbuf = feature['idbuffer']

#Importante convertir el resultado a string
idbuffer = str(idbuf)

#Crear el cursor
micursor = Conexion.cursor()

#Definir la consulta y guardarla en la vaeriable query
query= "INSERT INTO tramos (idtrazado, idtipo, geom, codigo, longreal,
descripcion)
SELECT 1, 'CAR', a.geom, a.codigo, a.longreal, a.descripcion
FROM carreteras a, buffer_trazado b WHERE ST_Contains(b.geom, a.geom)
AND b.idbuffer = "+idbuffer+"
UNION
SELECT 1, 'FER', a.geom, a.codigo, a.longreal, a.descripcion
FROM ferrocarril a, buffer_trazado b
WHERE ST_Contains(b.geom, a.geom)
AND b.idbuffer = "+idbuffer+";"

#Ejecutar la consulta
micursor.execute(query)

#Hacer un commit por si acaso
Conexion.commit()

print ('Consulta SQL realizada correctamente')

```

El segundo proceso automatizado mediante un script corresponde al cálculo de la longitud total de un trazado y su precio final, multiplicando la longitud de los diferentes tramos por el precio asociado según el tipo que sean. La estructura es similar a la del anterior, importando la librería requerida, estableciendo una conexión con la BD y ejecutando la consulta SQL definida. El script muestra el resultado en la pantalla de la consola Python en QGIS, e introduce los resultados en la tabla “Cálculos_trazado”.

```

#Importar la librería psycopg2 para trabajar con PostgreSQL
import psycopg2

#Establecer la conexión con la BD
try:
    connection = psycopg2.connect(user="postgres",
                                   password="marcllurba",
                                   host="localhost",
                                   port="5432",
                                   database="FIBRA")

#Definir la consulta y la guardamos en la variable query
    cursor = connection.cursor()
    postgresSQL_select_Query = "INSERT INTO calculos_trazado (idtrazado,
idproyecto, descripción, long_total_trazado, precio_total_trazado)
SELECT idtrazado, idproyecto, tz.descripcion, SUM(ST_Length(t.geom))
long_total_trazado, SUM(ST_Length(t.geom) * p.precio)
precio_total_trazado
FROM trazado tz INNER JOIN tramos t using (idtrazado) INNER JOIN tipo
p using (idtipo)
WHERE idtrazado = 1 GROUP BY idtrazado, tz.descripcion;"

    cursor.execute(postgresSQL_select_Query)

    postgre = cursor.fetchall()

#Mostrar el precio y la longitud
    print(postgre)

#Cerrar la conexión con la BD
finally:
    if(connection):
        cursor.close()
        connection.close()

print("Consulta realizada correctamente")

```

Para explotar la información que se calcula con esta operación es necesario utilizar la siguiente consulta SQL (almacenada en la misma consola SQL del gestor de bases de datos de QGIS con el nombre "ACTUALIZAR PRECIOS"). Con esta sentencia se asigna a la tabla "Trazado" la información sobre el precio final de cada trazado y su longitud total.

```

UPDATE trazado tz SET longtotal = ct.long_total_trazado, precio =
ct.precio_total_trazado
FROM calculos_trazado ct
WHERE tz.idtrazado = ct.idtrazado;

```

El último proceso que se contempla es el control de calidad, en el cual se analizan los tramos que se han asignado al trazado, y se comprueba si están todos conectados entre sí, es decir, si el trazado tiene continuidad. El resultado se almacena en la tabla "Control_calidad", y muestra aquellos puntos que no conectan. Esta consulta está almacenada en la consola SQL del gestor de bases de datos de QGIS con el nombre "CONTROL CALIDAD", con lo que solo es necesario seleccionarla, una vez definido el trazado, y ejecutarla teniendo en cuenta que hay que indicar el número del "idtrazado" al que hace referencia. Después solo es necesario visualizar la tabla "Control de calidad", y si alguno de los tramos intermedios no conecta, se puede dibujar un tramo en la misma tabla "Tramos", indicando las características del trazado y proyecto en el que se enmarca, y el "idtipo" = "OBR" referente a la tipología de obra civil.

```
--Se insertan los puntos (start y end) en una tabla de apoyo
(extremos_tramo)
INSERT INTO extremos_tramo (idtramo, idtrazado, geom, geom_2)
SELECT a.idtramo, a.idtrazado, a.geom, b.geom
FROM extremos_tramo_v a, extremos_tramo_v b -- Meto la vista dos veces
en la query, con los alias a y b ya que quiere cruzar puntos de todos
los tramos unos contra otros.
WHERE a.idtrazado = b.idtrazado -- del mismo trazado
AND a.idtrazado = 1 -- Podemos concretar el trazado que queremos
trabajar.
AND a.idtramo != b.idtramo -- Que no sean el mismo tramo
AND ST_Distance(a.geom, b.geom) < 1; --Que al distancia sea menor de X
metros

--Se insertan los puntos que interesan en la tabla control calidad
INSERT INTO control_calidad (geom, idtrazado)
SELECT a.geom, idtrazado FROM extremos_tramo_v a
WHERE idtrazado = 1
AND NOT EXISTS (SELECT * FROM extremos_tramo et
WHERE ST_EQUALS(a.geom, et.geom));
```

También se han elaborado otras consultas que pueden resultar útiles para consultar información, y que están almacenadas en la consola SQL del gestor de datos de QGIS, por lo que solo es necesario seleccionarlás y cambiar alguno de los atributos de referencia, si es necesario.

- Consulta sobre los precios de trazados (todos, de un trazado concreto, de un proyecto concreto). Nombre: Cálculos trazado (información de consulta).

```
--todos
SELECT * FROM calculos_trazado;
--uno
SELECT * FROM calculos_trazado WHERE idtrazado = 1
--todos los de 1 proyecto
SELECT * FROM calculos_trazado WHERE idproyecto = 1;
```

- Insertar los tramos que están en el buffer (esta operación se realiza con el script, pero también se incluye por si hubiera algún problema). En este caso no hay interacción con la tabla “Buffer_trazado”, por lo que habría que introducir manualmente el valor del idbuffer. Nombre: Buffer_tramos

```

INSERT INTO tramos (idtrazado, idtipo, geom, codigo, longreal,
descripcion)
SELECT 1, 'CAR', a.geom, a.codigo, a.longreal, a.descripcion
FROM carreteras a, buffer_trazado b
WHERE ST_Contains(b.geom, a.geom) AND b.idbuffer = 1
UNION
SELECT 1, 'FER', a.geom, a.codigo, a.longreal, a.descripcion
FROM ferrocarril a, buffer_trazado b
WHERE ST_Contains(b.geom, a.geom) AND b.idbuffer = 1;

```

Las posibilidades para explotar los datos del sistema mediante consultas SQL son infinitas, ya que pueden relacionarse una gran cantidad de datos para extraer conclusiones. Este proyecto se enfoca en el cálculo de los costes, pero también pueden elaborarse sentencias para explotar la resta de datos del sistema.

6.3. Análisis e interpretación de los resultados

Los resultados que se obtienen una vez utilizado el sistema, es una base de datos organizada, con los proyectos que se hayan definido y sus características; los trazados propuestos para cada proyecto, con información sobre su precio y longitud total, y los tramos que componen cada trazado.

Esto permite diseñar de una forma sencilla distintas alternativas para la implantación de infraestructuras fijas de fibra óptica para un mismo municipio, lo que da la opción de comparar precios y rutas, viendo cual puede ser la mejor opción en cada caso concreto.

Ilustración 3. Trazados propuestos para dos municipios

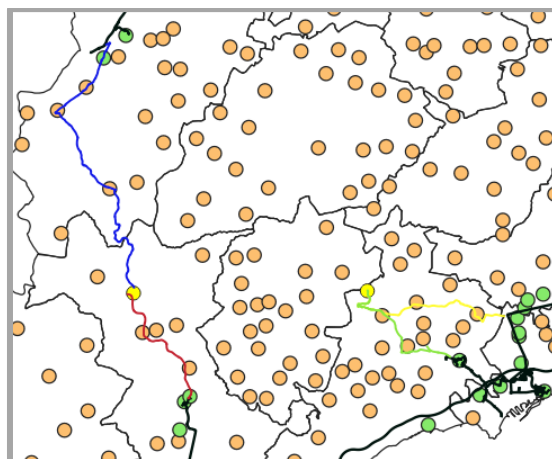


Ilustración 4. Imagen del formulario con los resultados de algunos análisis

The screenshot shows a web application interface for managing project trazo (routes). It is divided into several sections:

- PROYECTO - MUNICIPIOS:** Contains fields for 'idproyecto' (2), 'codimuni' (Flix), 'titulo' (FIBRA_FLIX), and 'fecha' (2019-08-03).
- PROYECTO - TRAZADO:** This section is expanded and contains:
 - A list of 'Expressió' items: FIBRA_ARBOLÍ, FIBRA_AVINYÓ, FIBRA_FLIX, FIBRA_GALLIFA.
 - Fields for 'idproyecto' (2), 'nombre' (TRAZADO_1), 'descripcion' (Primer trazado Flix), 'precio' (103671,16), 'longtotal' (20856,62), and 'idtrazado' (3).
 - TRAZADO - TRAMOS:** This sub-section is also expanded and contains:
 - A list of 'Expressió' items: ADIF210 (multiple instances), N-420a (multiple instances).
 - Fields for 'idtrazado' (TRAZADO_1), 'idtipo' (FER), 'idtramo' (2948), 'longreal' (2826,29), 'descripcion' (Miraflores-Tarragona), and 'codigo' (ADIF210).

Con este ejemplo, se pueden observar dos propuestas de trazado para cada uno de los dos municipios analizados (Flix y Arbolí). En la primera imagen se muestra el aspecto que tiene su visualización en el visor QGIS, con la tabla de municipios (verde cobertura, naranja no) y la red XOC como punto de partida para desplegar estos trazados. En la imagen del formulario se puede observar cómo se relaciona la información y como queda organizada, teniendo todos los atributos de las tablas a mano para aprovechar los datos disponibles.

Tabla 15. Resultados de los trazados utilizados como ejemplo

Municipio	Número de trazado	Longitud total trazado	Precio total trazado
Flix	1	20.856,62 km	103.671,16 €
Flix	2	48.420,76 km	210.630,31 €
Arbolí	1	24.454,75 km	102.682,26 €
Arbolí	2	30.771,84 km	146.341,56 €

Esta tabla muestra los resultados de los dos trazados que se han propuesto para cada municipio. Se aprecia como tienen longitudes y precios distintos, por lo que puede ser útil para un proceso de toma de decisiones.

7. Problemas

A lo largo de la elaboración del proyecto han ido surgiendo problemas o contratiempos que han hecho variar un poco las pretensiones iniciales que se habían fijado. Estas tienen que ver con la disponibilidad de los datos y la interoperabilidad de los programas utilizados.

7.1. Disponibilidad de datos

La disponibilidad de datos es uno de los principales factores que influyen a la hora de plantear un estudio, debido a que generalmente se usan como información de referencia para realizar el conjunto de procesos y análisis.

En este caso, ha sido muy complicado acceder a todos los datos que se querían incorporar en el modelo, siendo imposible obtener la información vectorial de algunas de las infraestructuras aptas para albergar redes fijas de fibra óptica (red eléctrica, canalizaciones de gas y suministro de agua) especificadas en el documento del Real Decreto 330/2016, explicado en el apartado de “Normativa”.

En relación con los datos sobre la cobertura que proporciona la XOC, en su página web se especifica el número de municipios y de sedes de la Generalitat a los que da suministro, pero no se indican específicamente que municipios son, por lo que se ha estimado utilizando herramientas de análisis espacial (explicado en el apartado de tratamiento previo de los datos).

Tampoco se ha podido obtener la información sobre las carreteras concretas que están adaptadas con canalizaciones aptas para acoger cableado de fibra, lo que habría permitido estimar con más precisión los precios finales de las propuestas de trazado realizadas.

7.2. Limitaciones de PostgreSQL al manejarlo con QGIS

Las limitaciones entre los programas utilizados hacen referencia a las funcionalidades de PostgreSQL que varían ligeramente al utilizarse o gestionarse desde QGIS. No son muchas, y en cada nueva versión de estos programas se mejoran las interacciones y herramientas que estos poseen. Algunas de estas restricciones pueden solucionarse utilizando complementos que incorpora el mismo QGIS en su repositorio.

Algunos ejemplos pueden verse al exportar capas vectoriales de QGIS a PostgreSQL desde el gestor de bases de datos, ya que no permite indicar el tipo concreto de dato o la longitud que van a tener las columnas de las tablas, por lo que a veces es necesario modificarlos posteriormente mediante consultas SQL y funciones.

Otro ejemplo detectado se da cuando se modifica alguna de las columnas de las tablas en PostgreSQL, y estas están abiertas en el ambiente QGIS. En este caso, las columnas de la tabla del ambiente QGIS no se actualizan, por lo que es necesario eliminar la tabla, perdiendo las relaciones indicadas en QGIS, y volverla a abrir desde el gestor de bases de datos de QGIS e indicar las relaciones nuevamente.

8. Tecnologías

Se han utilizado diferentes herramientas de software para crear el modelo de BD y gestionarlo de forma que la información quede correctamente organizada. En este apartado se detallan los programas utilizados, y se explica el uso que se les ha dado en la elaboración de este proyecto.

Comentar de forma general que son de código abierto, lo que significa que su desarrollo no lo realiza una persona o empresa, sino una comunidad de desarrolladores apoyados por organizaciones comerciales. Su acceso es totalmente libre.

8.1. PostgreSQL y PostGIS



PostgreSQL es un SGBD relacional de objetos. Es de código abierto y hace más de 30 años que se va desarrollando, lo que le otorga una reputación a nivel mundial, por su solidez, su rendimiento y su fiabilidad.

Con él se ha elaborada la BD con la que se gestiona toda la información necesaria para calcular las rutas óptimas por donde desplegar las redes fijas de fibra óptica. Con la extensión PostGIS, su versatilidad es aún mayor, permitiendo almacenar geometrías referenciadas en las tablas, y aplicar funciones de análisis espacial sobre ellas.

8.2. QGIS

QGIS es un SIG que permite la visualización, edición y análisis de datos. Se empezó a desarrollar en el año 2002, y actualmente es el SIG de código abierto de referencia.

Su principal uso en este proyecto está relacionado con la gestión del modelo de datos que se ha generado, ya que permite visualizar los datos con componente espacial, y su interfaz de usuario es relativamente sencilla de utilizar. Además, incluye complementos de serie que permiten controlar parte de las funciones de las otras herramientas utilizadas, lo que supone una gran comodidad para el usuario que explote el sistema.

8.3. Python



Python es un lenguaje de programación interpretado (no se necesita compilar el código fuente para poder ejecutarlo) orientado a objetos, administrado por la Python Software Foundation. Fue creado a finales de los ochenta, y en los últimos años se ha hecho muy popular por su sencillez y velocidad, la cantidad de librerías que contiene, o en la cantidad de plataformas en las que se puede desarrollar.

Como se ha dicho, es un lenguaje de programación, no un software concreto, por lo que hay muchos programas que incorporan aplicaciones que son capaces de leer y ejecutar el código, como es el caso de QGIS. Su uso para este proyecto se ha centrado en la elaboración de scripts de procesos concretos que pudieran automatizarse, y así facilitar el trabajo al usuario.

9. Instalación del software

Para que el usuario tenga claro cómo proceder para poder utilizar el sistema de forma correcta, en este apartado se especifican los pasos que se tienen que dar para instalar correctamente el software requerido.

9.1. Instalación de PostgreSQL y de PostGIS

- Descargar el instalador del programa de la página de EnterpriseDB. <http://www.enterprisedb.com/products-services-training/pgdownload>
- Ejecutar el archivo descargado, dejando las opciones por defecto del directorio de instalación y del almacenamiento de los datos.
- Insertar una contraseña. Se va a requerir cada vez que se quiera acceder a la BD como usuario.
- Dejar por defecto el puerto de conexión de PostgreSQL (5432).

La instalación de PostGIS también es necesaria, ya que es una extensión del sistema de base de datos relacional PostgreSQL que permite almacenar objetos SIG.

- Al finalizar la instalación de PostgreSQL, lanza la instalación de este programa.
- Activar la casilla de PostGIS 2.1 “Bundle for PostgreSQL”.
- Dejar la ruta por defecto para la descarga del archivo.
- Instalar el software PostGIS 2.1.3 y aceptar la licencia.
- Seleccionar la opción “Create spatial database”, para que ya cree en tu SGBD de postgres una BD con referencia espacial.
- Introducir la contraseña definida anteriormente, para que acceda al SGBD y cree la BD.
- Terminar el proceso con “finish”.

Si se quiere obtener información de más detalle, se puede consultar el siguiente enlace: http://sit.usc.es/sites/default/files/Instalacion_postgreSQL.pdf

9.2. Instalación de QGIS y conexiones con PostgreSQL

- Descargar el instalador QGIS de su página oficial. Lo mejor es seleccionar la última versión estable que esté disponible. <https://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- Seleccionar el sistema operativo que tiene nuestro ordenador, e indicar la opción “Instalador autónomo de QGIS”.
- Ejecutar el archivo que se ha descargado.
- Aceptar todas las opciones que vienen por defecto, y finalizar la instalación seleccionando “finish”.

Se puede consultar información más detallada en el siguiente enlace:

<http://uniandesinvestigacion.edu.ec/ide/wp-content/uploads/2017/03/Instalaci%C3%B3n-QGIS.pdf>

Como se trabaja con QGIS y PostgreSQL de forma conjunta, es necesario conectar el ambiente de trabajo de QGIS con la base de datos generada en el SGBD. A continuación, se detallan los pasos a seguir para realizar este vínculo:

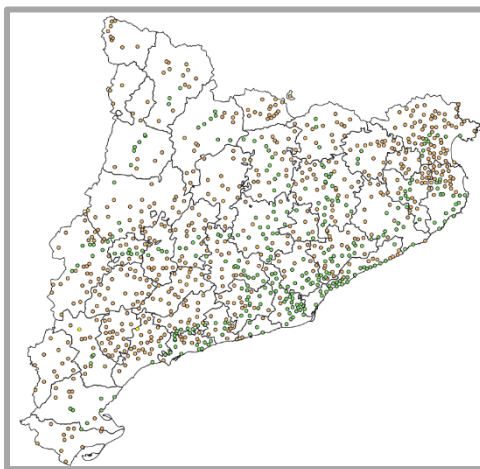
- Des de QGIS, seleccionar el icono de PostGIS (elefante azul), y con el botón derecho, abrir “nueva conexión”.
- En la ventana que se abre, especificar la contraseña dada anteriormente, el host (localhost), el puerto (5432) y el nombre de la BD, que se habrá generado previamente.
- Seleccionar el botón “test connection” para verificar que la conexión ha sido satisfactoria.
- Una vez verificada la conexión, se puede gestionar la BD des de la pestaña de QGIS “Base de datos” – “Gestor de bases de datos”. Es posible realizar consultas SQL, abrir las tablas en el ambiente QGIS, representar los objetos de las tablas que tienen geometrías, realizar análisis espacial utilizando las herramientas del propio QGIS...

10. Manual de usuario

El manual de usuario contiene la rutina de funcionamiento con los pasos que tendría que dar el usuario para utilizar el sistema de forma correcta. Se especifica punto por punto que hay que hacer, acompañado las explicaciones de imágenes para que quede claro el procedimiento.

- Primero habría que decidir el municipio hasta el que se quiere diseñar el trazado. Lo normal es escoger poblaciones que no cuentan con cobertura, ya que el resto ya tiene acceso al servicio. Esto se puede hacer de forma visual en el mismo ambiente QGIS, ya que la simbología de las localidades las diferencia según este atributo.

Ilustración 5. Imagen del ambiente de trabajo con los municipios según si tienen cobertura



- Una vez seleccionado el municipio, habría que introducir un nuevo proyecto des del formulario de la tabla de atributos de la tabla “Proyecto”, indicando las características que lo definen. Hay que tener en cuenta que cada vez que se pongan nuevos datos hay que poner la tabla en modo edición.

Ilustración 6. Imagen del ambiente de trabajo con los municipios según si tienen cobertura

proyecto - Atributs d'objecte	
Accions	
idproyecto	2
codimuni	Flix
titulo	FIBRA_FLIX
fecha	2019-09-08

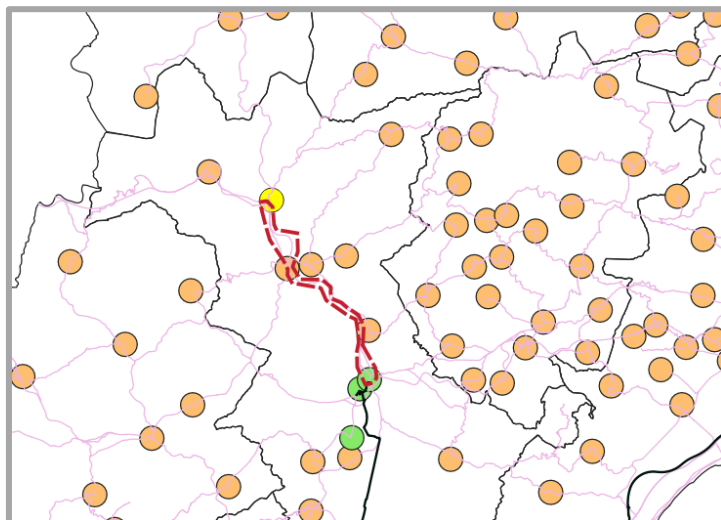
- A continuación, y des de el mismo formulario, hay que introducir al menos un nuevo trazado (los que se deseen proponer) en la sección de trazados, con la información que se requiere. Al terminar de introducir estos datos salid del modo edición.

Ilustración 7. Formulario de introducción de un nuevo trazado

The screenshot shows a software interface for adding a new route. On the left, there is a list of fiber types: FIBRA_ARBOLÍ, FIBRA_AVINYÓ, FIBRA_BORRÁS, FIBRA_FLIX (highlighted in red), and FIBRA_GALLIFA. On the right, there is a form for adding a new route. The form fields are: idproyecto (2), nombre (TRAZADO_3), descripcion (Tercer trazado propuesto), precio (NULL), longtotal (NULL), and idtrazado (6). The form is titled 'trazado - Atributs d'objecte' and has a 'cod' field set to 'Accions'.

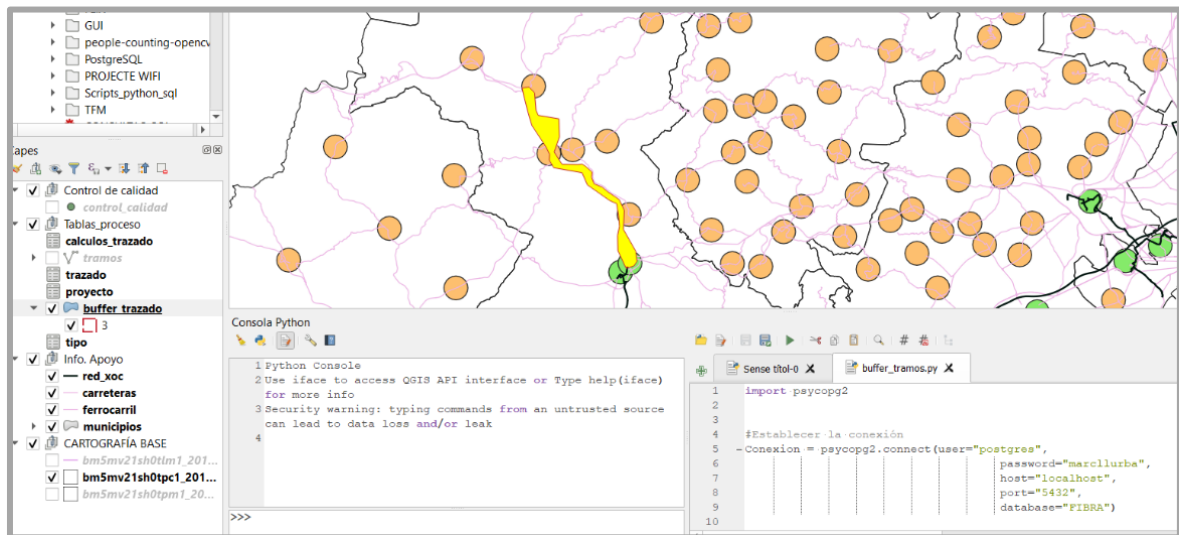
- Ahora toca dibujar el buffer que contenga las carreteras y vías que se requieran para elaborar el trazado. Para esto es necesario dejar en edición la tabla de "Buffer_trazado", añadir un nuevo objeto en la zona deseada y al terminar con el botón de la derecha, introducir el municipio al que hace referencia en el campo descripción (seleccionar el pueblo en el desplegable).

Ilustración 8. Digitalización del buffer para la selección de los tramos



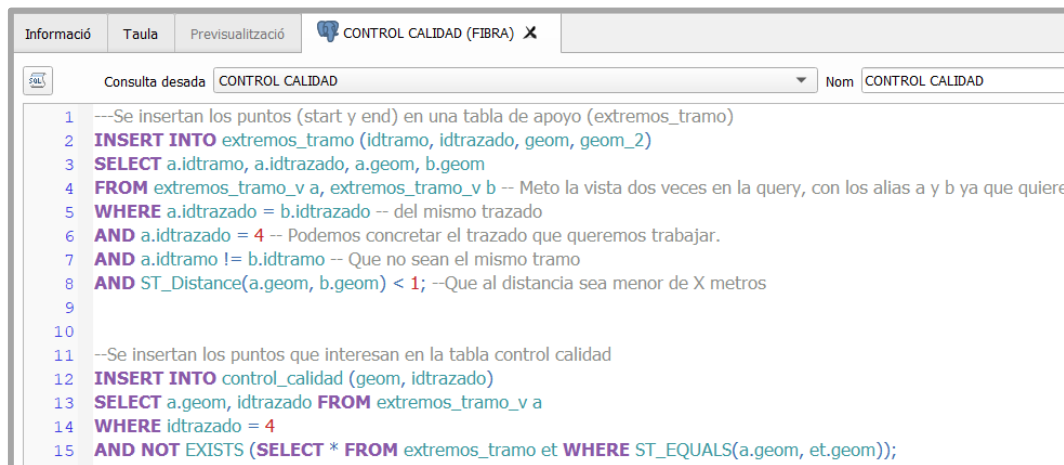
- Cuando el buffer está definido, hay que lanzar el script 1 (buffer_tramos) para que se introduzcan automáticamente los tramos seleccionados en la tabla “Tramos”. Para que el resultado sea el esperado, es importante seleccionar el buffer para que coja la información que requiere el código compilado, e indicar manualmente en el propio script el número de trazado al que se vincula.

Ilustración 9. Selección de los tramos mediante el buffer digitalizado



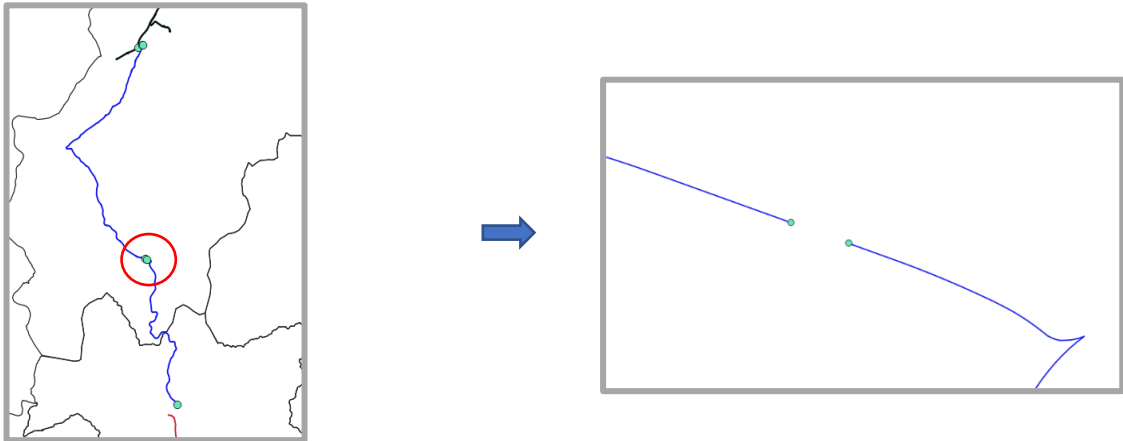
- En el siguiente paso se realiza el control de calidad, con el objetivo de detectar discontinuidades en el trazado seleccionado, y solucionarlo añadiendo nuevos tramos clasificados con el “idtipo” = “OBR”, haciendo referencia a obra civil. Como la consulta que proporciona esta información está almacenada en la pestaña del gestor de BD de QGIS, solo hay que seleccionarla (control calidad) y especificar el trazado que se está analizando.

Ilustración 10. Selección de la consulta SQL “Control de calidad”



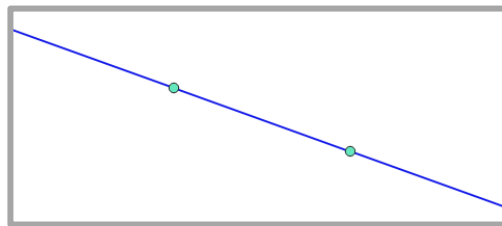
- El resultado de la consulta se adjunta en la tabla “Control_calidad”, con lo que solo hace falta visualizarla y observar donde se localizan estos puntos. Si hay alguno que no sea en los extremos del trayecto, hay que digitalizar un nuevo tramo en la tabla “Tramos” e introducirle las características requeridas.

Ilustración 11. Resultados de la aplicación del control de calidad



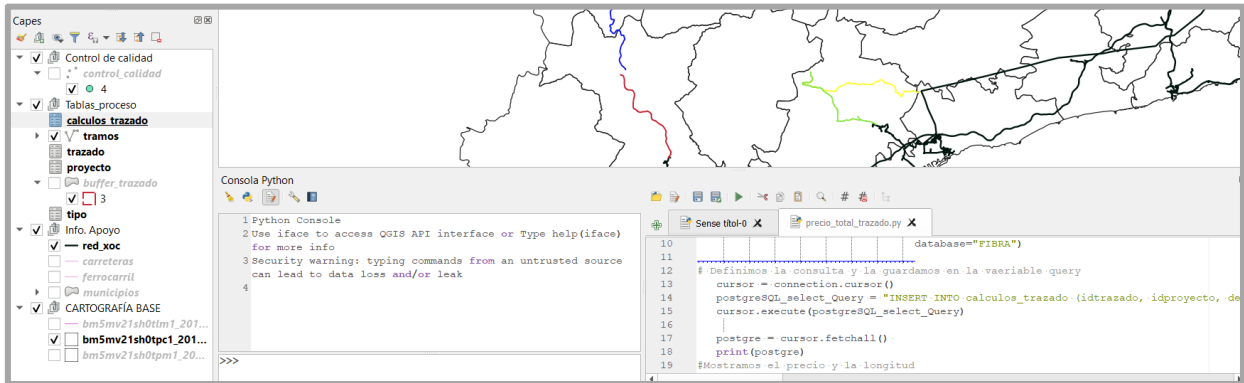
- En este caso habría que digitalizar un nuevo tramo, por lo que es necesario ir a la tabla “Tramos”, ponerla en modo edición y añadir un tramo que una los dos puntos. En la información requerida hay que especificar el “idtrazado” al que pertenece i el “idtipo”, que sería OBR (obra) porque es un tramo que habría que construir.

Ilustración 12. Digitalización de un tramo para dar continuidad al trayecto



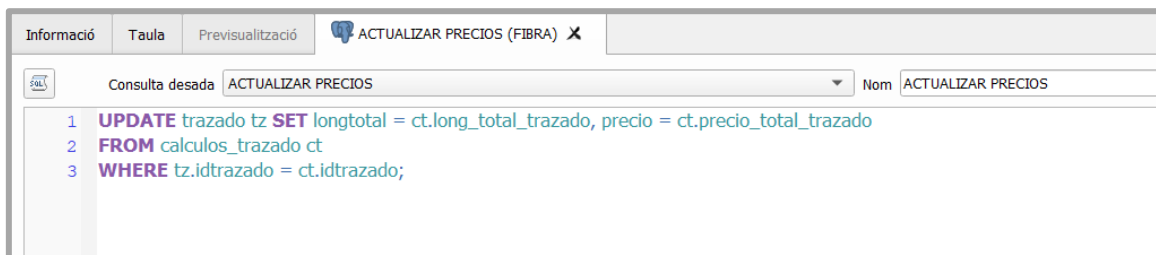
- Una vez el trayecto tiene continuidad, toca calcular su longitud total y el precio que supondría la infraestructura teniendo en cuenta los distintos tipos de tramos que componen el trazado. Con la calculadora Python de QGIS, se selecciona el script “precio_total_trazado” y se indica el “idtrazado” al que se hace referencia. El resultado se adjunta en la tabla “Cálculos_Trazado”.

Ilustración 13. Cálculo de la longitud total del trazado y de su precio final



- Como es más útil tener la longitud total y el precio final del trazado en la misma tabla "Trazado", posteriormente hay que ir a la consola SQL de QGIS y seleccionar la consulta "Actualizar precios". Con esta acción se adjuntan a la tabla "Trazados" todos los precios y longitudes que haya en la tabla "Cálculos_trazado", introduciendo cada valor en su respectivo trazado.

Ilustración 14. Selección de la consulta SQL "Actualizar precios"



- Finalmente solo queda observar los resultados obtenidos en el formulario diseñado. Se puede apreciar cada proyecto, con sus respectivos trazados, que tienen la información final del precio y la longitud, y los tramos que componen cada uno, con su tipología asociada. También pueden compararse resultados de distintos trazados mediante la utilización de consultas SQL.

Ilustración 15. Interpretación de los resultados que surgen del análisis

The screenshot displays a software interface with a sidebar on the left containing a tree view of project components: FIBRA_ARBOLÍ, FIBRA_AVINYÓ, FIBRA_BORRÀS, FIBRA_FLIX, and FIBRA_GALLIFA. The main area is titled 'PROYECTO - MUNICIPIOS' and 'PROYECTO - TRAZADO'. The 'PROYECTO - TRAZADO' section is expanded, showing a list of tracing items: TRAZADO_1, TRAZADO_2 (highlighted), and TRAZADO_3. To the right of this list, a data table provides details for the selected item:

idproyecto	2
nombre	TRAZADO_2
descripcion	Segundo trazado Flix
precio	210630,31
longtotal	48420,76
idtrazado	4

Below this, the 'TRAZADO - TRAMOS' section is expanded, showing a list of segments: LP-7041, LP-7041a, N-II, and Obra. To the right, a data table provides details for the selected segment:

idtrazado	TRAZADO_2
idtipo	CAR
idtramo	3044
longreal	2066,59
descripcion	Eix Ebre - Segre
codigo	C-12

11. Valoraciones y conclusiones

En el apartado de valoraciones y conclusiones se recogen algunas reflexiones que evalúan y analizan los resultados obtenidos de la elaboración de este proyecto, de forma que el autor expresa su visión sobre los aspectos tratados en el estudio, valorando si se han cumplido los objetivos planteados en un inicio.

Primero se hacen una serie de valoraciones en términos generales, después se explican las conclusiones tomando como referencia los objetivos planteados al inicio del proyecto, y finalmente se explican algunos aspectos de mejora que podrían introducirse en un futuro, como continuidad con lo que se ha realizado hasta el momento.

11.1. Valoraciones

Como valoración general hay que remarcar la importancia que tienen los estudios enfocados al análisis de la situación actual sobre una temática concreta, ya que hacen una radiografía sobre la situación actual del tema tratado, lo que sirve para saber en qué punto se encuentra y hacia donde hay que seguir avanzando.

Es importante que quede claro la relevancia que ha adquirido disponer de servicios de banda ancha, y el uso que se le prevé para un futuro muy próximo. Si las sociedades avanzan hacia la digitalización hay que proveer a los ciudadanos de este servicio, y hay que buscar mecanismo para que este esté disponible en la mayoría de las zonas del territorio, igual que el agua corriente o la electricidad. Si esto no se consigue, se limita el desarrollo de las zonas rurales, ampliando la brecha digital que existe con las zonas urbanas, y contribuyendo al despoblamiento y abandono de las primeras. Se trata de adoptar medidas que busquen caminar hacia un equilibrio territorial.

11.2. Conclusiones

Las conclusiones suelen basarse en hacer una valoración sobre el grado de cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del proyecto. De este modo, se puede valorar de forma objetiva si se han cumplido los planteamientos iniciales que motivaron la elaboración de este estudio.

En términos generales, en mayor o menor medida, los objetivos planteados al inicio se han cumplido. El primer bloque de objetivos se enfocaba en analizar, explicar y estudiar los distintos aspectos teóricos que definen los conceptos principales que se han tratado, como ¿qué se entiende por banda ancha?, ¿qué tecnologías la proporcionan?, ¿qué normativa existe?, ¿qué impactos puede generar?, y ¿cuál es la situación actual de este servicio en el ámbito de estudio definido? La disponibilidad de información sobre estos aspectos es muy amplia, por lo que el principal escollo en este sentido es escoger bien que explicaciones detallan mejor lo que se quiere expresar.

El segundo bloque de objetivos se centraba en los aspectos metodológicos y técnicos sobre la elaboración del sistema mediante el uso de herramientas especializadas para el tratamiento y la gestión de datos.

El uso de software libre ha sido uno de los planteamientos principales, ya que el acceso a él es universal y puede ser aprovechado por cualquier persona. Se ha intentado mostrar como estos proporcionan herramientas que poco tienen que envidiar a los programas de carácter privado, reconociendo algunas limitaciones, más por parte del autor que no del propio software.

El objeto principal de estudio planteaba la elaboración de una metodología concreta para el despliegue de redes fijas públicas de FTTx. El proyecto se basaba en este hecho principalmente, y se ha conseguido definir un proceso claro de actuación. Dicho esto, también hay que reconocer que los resultados que se obtienen en el uso del sistema no son realistas, ya que la disponibilidad de datos a condicionado los mecanismos de propuesta y cálculo de estos trazados.

En cuanto al aprovechamiento de las posibilidades que ofrecen los programas y herramientas utilizadas, remarcar su utilidad y la interoperabilidad que presentan, permitiendo al usuario combinar las características que define a cada uno para sacar el máximo rendimiento de su uso. Los procesos que se han podido/sabido se han automatizado con el objetivo de reducir el nivel de riesgo de cometer errores por parte del usuario, pero también es cierto que aun así, con el sistema actual, el cliente que lo utilice tiene una participación principal en el uso del sistema para la realización de los análisis deseados, lo que puede hacer que se cometan errores si no se tiene perfectamente clara la metodología propuesta.

11.3. Posibles aspectos de mejora

Para terminar, también se ha querido introducir un pequeño apartado señalando aspectos que mejorarían el sistema pero que no se han introducido por limitaciones técnicas, disponibilidad de algunas informaciones o por tiempo.

El primer elemento de mejora iría dirigido a la disponibilidad de datos, ya que simplemente con disponer de la información sobre la red eléctrica, red de gas, y red de suministro de agua en boca, sin alterar prácticamente nada del sistema actual, el diseño de trazados podría realizarse teniendo en cuenta todas la infraestructuras que la legislación contempla para reducir los costes en el despliegue de redes fijas FTTx.

Otro aspecto de mejora iría encaminado a una mejor predicción/estimación de los precios por metro de despliegue de infraestructura, incorporando la obra dentro de los núcleos urbanos. Aquí ha influido la falta de conocimiento sobre todos los elementos que hay que tener en cuenta en estas instalaciones.

También hay margen de mejora en la automatización de algunos de los procesos planteados, limitando más la intervención directa del usuario en la introducción manual de algunos de los datos requeridos en ellos.

12. Bibliografía

En el apartado de bibliografía se referencian todos los documentos que se han utilizado en la elaboración del proyecto y que aparecen citados en él. Primero se citan libros, a continuación estudios publicados en revistas científicas, después documentos de organismos oficiales, y por último documentos sobre legislación. Las citas aparecen ordenadas alfabéticamente teniendo en cuenta el tipo de documento que son.

- Álvarez-Campana, M., Berrocal Colmenarejo, J., González Vidal, F., Pérez Leal, R., Román Martínez, I., & Vázquez Gallo, E. (2009). *“Tecnologías de Banda Ancha y Convergencia de Redes”*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (España).
- Ashmore, F. H., Farrington, J. H., & Skerratt, S. (2017). “Community-led broadband in rural digital infrastructure development: Implications for resilience”. *Journal of Rural Studies*, 54, 408-425.
- Feijóo, C., Ramos, S., Armuña, C., Arenal, A., Gómez-Barroso, J. L. (2018). “A study on the deployment of high-speed broadband networks in NUTS3 regions within the framework of digital agenda for Europe”. *Telecommunications Policy*. 42, 682-699.
- Ganuza, J. J., Perca, K., & Vicens Trocello, M. F. 2010. "Las Redes de Nueva Generación en España. Situación actual y retos para el futuro". *Economic Reports 02-2010*, FEDEA.
- Gerli, P., Van der Wee, M., Verbrugge, S., & Whalley, J. 2018. “The involvement of utilities in the development of broadband infrastructure: A comparison of EU case studies”. *Telecommunications Policy*. 42, 726-743.
- Koutroumpis, P. (2009). “The economic impact of broadband on growth: A simultaneous approach”. *Telecommunications Policy*, 33, 471-485.
- Maccrì, L., Gemmi, G., Lo Cigno, R., Karalipoulos, M., & Navarro, L. 2019. “Towards scalable Community Networks topologies”. *Ad Hoc Networks*. 94, 1-14.
- Park, S., Freeman, J., & Middleton, C. (2019). “Intersections between connectivity and digital inclusion in rural communities”. *Communication Research and Practice*, 5:2, 139-155.
- Rendon Schneir, J., & Xiong, Y. 2016. "A cost study of fixed broadband access networks for rural areas". *Telecommunications Policy*. 40, 755-773.
- Stenberg, P., Morehart, M., Vogel, S., Cromartie, J., Breneman, V., & Brown, D. (2009). “Broadband Internet's value for rural America”. *Economic research report*, 78, 1-70.
- Townsend, L., Wallace, C., & Fairhurst, G. (2015). “‘Stuck out here’: The critical role of broadband for remote rural places”. *Scottish Geographical Journal*, 131(3-4), 171-180.

- Whitacre, B., Gallardo, R., & Strover, S. (2014). "Broadband's contribution to economic growth in rural areas: moving towards a causal relationship". *Telecommunications Policy*, 38 (11), 1011-1023.
- Dickes, L., Lamie, D., & Whitacre, B. (2010). "The struggle for broadband in rural America". *Choices*, 25(4). Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/f3e9/83aab649bc00944f5f5c97adafa5cd075b47.pdf>
- (1) Ministerio de Economía y Empresa. (2019). "Cobertura de banda ancha en España en el año 2018". Recuperado de: <https://avancedigital.gob.es/banda-ancha/cobertura/Documents/Cobertura-BA-2018.pdf>
- (2) Ministerio de Economía y Empresa. (2019). "Datos particularizados de cobertura de banda ancha en Cataluña a 30 de junio de 2018". Recuperado de: https://avancedigital.gob.es/banda-ancha/cobertura/Datos%202018/Catalu%C3%B1a_2018.pdf
- Tribunal de cuentas europeo. (2018). "La banda ancha en los Estados miembros de la UE: pese a los avances, no se cumplirán todos los objetivos de la Estrategia Europa 2020". Recuperado de: <http://publications.europa.eu/webpub/eca/special-reports/broadband-12-2018/es/>
- Catalunya. ORDRE PDA/86/2019, de 2 de mayo por la cual se fijan los precios públicos para el alquiler del espacio de las canalizaciones y las arquetas gestionados por el Centro de telecomunicaciones i tecnologías de la Información. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 8 de mayo de 2019, núm. 7870, pp. 1-34. Recuperado de: <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/7870/1741977.pdf>
- Comisión europea. (2010). "Recomendación de la Comisión de 20 de septiembre de 2010 relativa al acceso regulado a las redes de acceso de nueva generación (NGA)". Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:251:0035:0048:ES:PDF>
- España. Real Decreto 330/2016, de 9 de septiembre relativo a medidas para reducir el coste del despliegue de las redes de comunicaciones electrónicas de alta velocidad. Boletín Oficial del Estado, 15 de septiembre de 2016, núm. 223, pp. 1-13. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2016/BOE-A-2016-8429-consolidado.pdf>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2014). "DIRECTIVA 2014/61/UE del 15 de mayo de 2014 relativa a medidas para reducir el coste del despliegue de las redes de comunicaciones electrónicas de alta velocidad". Recuperado de: <https://www.boe.es/doue/2014/155/L00001-00014.pdf>

Anexo 1: Precios públicos de alquiler (FTTx)

El anexo 1 está compuesto por el conjunto de tablas con las referencias de los precios públicos que establece la Generalitat de Catalunya sobre todos los elementos que hay que tener en cuenta en la instalación de una infraestructura de fibra óptica.

Tabla 16. Precios únicos de alquiler

Descripción	Unidades	Precio anual (sin IVA)
Alquiler de espacio en las canalizaciones para el despliegue de cable de fibra óptica	m	0,53 €
Alquiler de espacio en las arquetas tipo A para el paso de cable de fibra óptica y la instalación de cajas	u.	3,08 €
Alquiler de espacio en las arquetas tipo B para el paso de cable de fibra óptica y la instalación de cajas	u.	8,87 €
Alquiler de espacio en las arquetas tipo C para el paso de cable de fibra óptica y la instalación de cajas	u.	14,07 €

Tabla 17. Precios sobre canalizaciones enterradas

Descripción	Unidades	Precio base (sin IVA)
Canalización de 2 conductos de 125 mm en acera	m	71,50 €
Canalización de 2 conductos de 125 mm en calzada	m	107,25 €
Canalización de 2 conductos de 125 mm en tierras	m	42,90 €
Canalización de 4 conductos de 125 mm en acera	m	92,95 €
Canalización de 4 conductos de 125 mm en calzada	m	128,70 €
Canalización de 4 conductos de 125 mm en tierras	m	57,20 €
Canalización de 6 conductos de 125 mm en acera	m	107,25 €
Canalización de 6 conductos de 125 mm en calzada	m	143,00 €
Canalización de 6 conductos de 125 mm en tierras	m	71,50 €
Canalización en minirasa de 1 tritubo de 40 mm en acera	m	65,88 €
Canalización en minirasa de 1 tritubo de 40 mm en calzada	m	56,24 €
Canalización en minirasa de 1 tritubo de 40 mm en tierras	m	30,56 €

Canalización en minirasa de 2 tritubo de 40 mm en acera	m	74,67 €
Canalización en minirasa de 2 tritubo de 40 mm en calzada	m	66,14 €
Canalización en minirasa de 2 tritubo de 40 mm en tierras	m	35,95 €
Canalización en minirasa de 3 tritubo de 40 mm en acera	m	82,84 €
Canalización en minirasa de 3 tritubo de 40 mm en calzada	m	73,91 €
Canalización en minirasa de 3 tritubo de 40 mm en tierras	m	46,22 €
Canalización en minirasa de 4 tritubo de 40 mm en acera	m	89,84 €
Canalización en minirasa de 4 tritubo de 40 mm en calzada	m	79,53 €
Canalización en minirasa de 4 tritubo de 40 mm en tierras	m	52,85 €
Cala de localización y/o reparación de servicio	u.	286,00 €
Limpieza y desbroze del terreno	m ²	1,89 €
Mandrinado y limpieza de canalización existente	m	1,12 €
Mandrinado de canalización existente	m	0,49 €
Subministramiento e instalación de canal de hormigón	m	28,60 €
Suplemento por obra de menor cuantía	u.	520,00 €

Tabla 18. Precios sobre los elementos de registro

Descripción	Unidades	Precio base (sin Iva)
Arqueta tipo A	u.	247,00 €
Arqueta tipo B	u.	455,00 €
Arqueta tipo C	u.	682,50 €
Ampliación y/o reforma de arqueta existente	u.	291,20 €
Construcción de un muro de protección de bloques de hormigón	m ²	80,60 €

Tabla 19. Precios sobre perforaciones y taladros

Descripción	Unidades	Precio base (sin IVA)
Perforación manual o mecánica	u.	38,35 €
Taladro mecánico	u.	169,00 €
Perforación horizontal dirigida de 160 mm para 6 conductos 40 mm PEAD	m	383,50 €

Tabla 20. Precios sobre la infraestructura de paso de cable

Descripción	Unidades	Precio base (sin IVA)
Subconducto de 40 mm en canalización	m	1,82 €
Subconducto geotéxtil en canalización 21 mm	m	6,79 €
Subconducto geotéxtil en canalización 16 mm	m	6,05 €
Subconducto geotéxtil en canalización 14 mm	m	5,92 €
Tubo galvanizado PG-48/63	m	11,70 €
Tubo corrugado de 48/63 mm por unión de tubo metálico	m	8,32 €
Bandeja metálica de dimensiones 300x100	m	33,87 €
Bandeja metálica de dimensiones 300x100 con tapa	m	52,65 €
Bandeja metálica de dimensiones 200x100	m	25,61 €
Bandeja metálica de dimensiones 200x100 con tapa	m	37,96 €
Bandeja metálica de dimensiones 100x60	m	14,56 €
Bandeja metálica de dimensiones 100x60 con tapa	m	22,75 €
Suplemento por instalación con medios elevadores	m	9,75 €

Tabla 21. Precios sobre despliegue de cable

Descripción	Unidades	Precio base (sin IVA)
Despliegue tradicional en conducto de 125 mm o 40 mm, hasta 48 FO	m	1,48 €
Despliegue tradicional en conducto de 125 mm o 40 mm, entre 49 y 128 FO	m	1,64 €
Despliegue tradicional en conducto de 125 mm o 40 mm, a partir de 129 FO	m	2,22 €
Despliegue por soplamiento (blowing) o despliegue hidráulico (floating), en conducto de 40 mm hasta 48 FO	m	1,89 €
Despliegue por soplamiento (blowing) o despliegue hidráulico (floating), en conducto de 40 mm a partir de 49 FO	m	1,91 €
Desinstalación y retirada de cable en cualquier tipo de conductos, sin reaprovechamiento	m	1,50 €
Desinstalación y retirada de cable en cualquier tipo de conductos, con reaprovechamiento	m	2,20 €

Tabla 22. Precios sobre los elementos de registro

Descripción	Unidades	Precio base (sin IVA)
Suministro de tapa y marco tipo A en acera	u.	75,40 €
Suministro de tapa y marco tipo B en acera	u.	247,00 €
Suministro de tapa y marco tipo B en calzada	u.	143,00 €
Suministro de tapa y marco tipo C	u.	455,00 €
Suministro de tapa y marco de hormigón de 800x800 mm	u.	136,50 €

Tabla 23. Precios sobre el cable de fibra óptica

Descripción	Unidades	Precio base (sin IVA)
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 16 FO	m	1,34 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 24 FO	m	1,50 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 32 FO	m	1,65 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 48 FO	m	1,96 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 64 FO	m	2,57 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 96 FO mixto	m	3,34 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 96 FO	m	3,19 €

Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 128 FO mixto	m	4,52 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 128 FO	m	4,25 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 144 FO	m	5,24 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 192 FO	m	6,16 €
Suministro cable fibra óptica tipo 1 de 256 FO	m	7,87 €
Suministro cable fibra óptica tipo 2 de 96 FO	m	3,93 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 16 FO	m	1,64 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 24 FO	m	1,81 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 32 FO	m	2,03 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 48 FO	m	2,31 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 64 FO	m	2,98 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 96 FO mixto	m	3,87 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 96 FO	m	3,58 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 128 FO	m	5,03 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 144 FO	m	5,50 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 192 FO	m	6,60 €
Suministro cable fibra óptica tipo 3 de 256 FO	m	8,26 €
Suministro cable fibra óptica tipo 4 de 96 FO	m	6,55 €
Suministro cable fibra óptica tipo 5 de 96 FO	m	6,84 €

Tabla 24. Precios únicos sobre mano de obra

Descripción	Unidades	Precio base (sin IVA)
Hora del encargado	h	52,75 €
Hora del técnico	h	48,79 €
Hora del operario	h	39,57 €
Acompañamiento dentro del Área Metropolitana en horario laboral (4 horas)	u.	156,00 €
Acompañamiento fuera del Área Metropolitana en horario laboral (8 horas)	u.	312,00 €
Acompañamiento dentro del Área Metropolitana en horario no laboral (4 horas)	u.	208,00 €
Acompañamiento fuera del Área Metropolitana en horario no laboral (8 horas)	u.	416,00 €