
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Gaete Cerda, Maria Jose; Gisbert Traveria, Meritxell, dir. Publicación y difusión de la base de datos de la infraestructura tramviaria de Barcelona mediante plataformas web. 2020. (1373 Màster Universitari en Geoinformació)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/231425>

under the terms of the  license

Proyecto de difusión de la base de datos de la infraestructura tranviaria de Barcelona mediante plataformas web

Proyecto Final de Máster
Máster en Geoinformación (2019-2020)
Departamento de Geografía
Universitat Autònoma de Barcelona
Autoritat del Transport Metropolità

Alumno: María José Gaete Cerda
Tutor Académico: Meritxell Gisbert
Tutor de Empresa: Jordi Martin



Resumen

Memoria del Proyecto Final de Máster en Geoinformación edición 2019/2020, que organiza el Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Barcelona juntamente con el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC). El proyecto se ha realizado en colaboración con la Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM), en base a su modelo de datos de la infraestructura del tranvía. Dicho proyecto ha consistido en la publicación y difusión del modelo de datos y sus componentes, a través de herramientas ESRI para crear plataformas web dentro del entorno de ArcGIS Online. Específicamente, se crean visores web para datos cartográficos y nubes de puntos LIDAR, y un Story Map explicativo del modelo. Además, en el contexto de este trabajo, se ha limpiado y transformado la base de datos existente de accidentes e inspecciones de la red del tranvía, para disponerse sobre un dashboard de ArcGIS Online, con el fin de visualizarla y analizarla. Finalmente, se unifica todo este contenido en un portal de la organización, y se proponen, en este documento, medidas específicas de integración y mejora a las aplicaciones para el óptimo desarrollo de éstas ante un futuro de digitalización y migración de los datos.

Palabras clave: SIG, bases de datos, visor web, LIDAR, dashboard, red tranviaria.

Resum

Memòria de el Projecte Final de Màster en Geoinformació edició 2019/2020, que organitza el Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona juntament amb l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). El projecte s'ha realitzat amb la col·laboració de l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM) en base al seu model de dades de la infraestructura del tramvia. Aquest projecte ha consistit en la publicació i difusió del model de dades i els seus components, a través d'eines ESRI per crear plataformes web dins de l'entorn d'ArcGIS Online. Específicament, es creen visors web per dades cartogràfiques i núvols de punts LIDAR, i un Story Map explicatiu del model. A més, en el context d'aquest treball, s'ha netejat i transformat la base de dades existent d'accidents i inspeccions de la xarxa de tramvia, per disposar-se sobre un dashboard d'ArcGIS Online, per tal de mostrar-la i analitzar-la. Finalment, s'unifica tot aquest contingut en un portal de l'organització, i es proposen, en aquest document, mesures específiques d'integració i millora a les aplicacions per a l'òptim desenvolupament d'aquestes davant un futur de digitalització i migració de les dades.

Paraules clau: SIG, bases de dades, visor web, LIDAR, dashboard, xarxa tramviària.

Abstract

Report for the Geoinformation Master's Final Project, 2019/2020 edition, organized by the Department of Geography from the Autonomous University of Barcelona together with the Cartographic and Geologic Institute of Catalonia (ICGC). This project was done in collaboration with the Authority of Metropolitan Transport of Catalonia (ATM), based on their tram infrastructure data model. The present work consisted in the publication and distribution of the model and its components, using ESRI tools to create web platforms inside the ArcGIS Online environment. Specifically, web viewers for cartographic information and LIDAR cloud points were created, along with a Story Map to support and describe the model. Also, in the context of this project, the accident and inspection data base were cleaned and transformed in order to be uploaded into ArcGIS Online and be visualized inside a dashboard. Finally, all these applications and contents are brought together inside an organization portal. Also, inside this document, different measures and upgrades are proposed in order to assure the maximum development of the tools upon a future digitalization and migration of the data.

Keywords: GIS, data bases, web viewer, LIDAR, dashboard, tram network.

Índice

1. Introducción	4
1.1. Antecedentes	5
1.2. Estado del arte	6
1.3. Marco Institucional	7
2. Objetivos	9
2.1. Objetivos generales	9
Parte I: Difusión	9
Parte II: Análisis de Datos	9
Parte III: Integración	9
2.2. Objetivos Específicos	10
Parte I: Difusión	10
Parte II: Análisis de Datos	10
Parte III: Integración	10
3. Planificación del proyecto	11
4. Metodología y resultados	12
4.1. Estudio Previo	12
4.1.1. Estudio Autoritat del Transport Metropolità	13
4.1.2. Estudio Proyecto de Digitalización Infraestructura del Tranvía y Modelo de Datos	13
4.1.3. Estudio ArcGIS Online y herramientas disponibles	16
4.2. Desarrollo aplicaciones web	19
4.2.1. Parte I: Difusión	19
4.2.2. Parte II: Análisis de Datos	33
4.2.3. Parte III: Integración	47
5. Conclusiones	51
6. Bibliografía	52
7. Anexos	53

1. Introducción

La Autoritat del Transport Metropolità, en adelante ATM, es un consorcio constituido en el año 1997 para coordinar y planificar el transporte público de la región metropolitana de Barcelona. La ATM es una entidad de derecho público que ejerce funciones de planificación, ordenación, construcción y gestión respecto a la red tranviaria del Área de Barcelona, por delegación de competencias de su titular, la Generalitat de Catalunya.

La red tranviaria de Barcelona, puesta en marcha el año 2004, está compuesta actualmente por dos redes: Trambaix y Trambesòs. Con una longitud conjunta de 29,1 kilómetros y un total aproximado de 30.000.000 viajes anuales, ambas redes unen los municipios de: Barcelona, l'Hospitalet de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Just Desvern y Sant Feliu de Llobregat para el caso de Trambaix; Barcelona, Sant Adrià de Besòs y Badalona para el caso del Trambesòs.

El año 2018 se llevan a cabo los trabajos de digitalización de la infraestructura de las redes del tranvía para el área de Barcelona por parte de la empresa consultora INFRAPLAN, con el objetivo de centralizar, consolidar y garantizar la información que genera y custodia la ATM para todos los diferentes agentes que intervienen en el funcionamiento del tranvía. Como resultado de esta homogeneización de la información, que hasta el momento se disponía en archivos As-Built en formato CAD, se obtiene un modelo de datos espacial y alfanumérico, funcional y explotable para ser consultado y analizado. Este modelo, denominado *Modelo de Datos de la Infraestructura del Tranvía*, contiene los dataset gráficos (información geolocalizada, cartografiada y mapificada) y la información alfanumérica que constituyen el inventario de los elementos y componentes de ambas redes del tranvía.

Como apoyo a la reciente digitalización, este proyecto de fin de máster cubre la necesidad de difundir el modelo de datos y generar las herramientas que permitan la visualización y navegación de éste. Mediante herramientas web de ESRI, el trabajo se centra en generar aplicaciones dinámicas y llamativas para los distintos tipos de usuarios. Cada aplicación desarrollada deberá adaptarse al tipo de información (capas vectoriales, nubes de puntos LIDAR¹ y bases de datos alfanuméricas) y a los instrumentos disponibles. Además de generar soluciones para cumplir con los objetivos específicos, también se especifican maneras de integración y actualización de este trabajo ante futuros escenarios de digitalización y migración de la información.

En el documento a continuación se detallan las distintas etapas del proyecto, compuesto básicamente por una primera parte introductoria y de contexto, una parte central y principal

¹ Laser Imaging Detection and Raging. Dispositivo emisor láser que permite medir distancias.

de exposición de metodología del trabajo realizado y resultados, y una parte final de conclusiones y propuestas de integración que busca brindar cohesión entre este proyecto y el futuro de la estructuración de la información de la ATM. En el apartado central de metodología, para cada aplicación individualmente, se describen simultáneamente el trabajo realizado y los resultados obtenidos. Se estructura de esta manera, a diferencia de separar metodología de resultados, debido a la naturaleza técnica y práctica de este proyecto de fin de máster que no sólo cuenta con un resultado final, si no que se alcanza de manera gradual a través de resultados parciales.

1.1. Antecedentes

El Máster en Geoinformación de la Universitat Autònoma de Barcelona, junto a la Autoritat del Transport Metropolità, realizan por primera vez un convenio de cooperación educativa para el desarrollo de este proyecto por parte del alumno.

En el marco de este programa educacional, se han desarrollado proyectos finales similares a éste en términos de herramientas utilizadas y finalidad del producto. Por ejemplo, el trabajo bajo el nombre de "Renovación del contenido cartográfico de la web del Parque Natural del Collserola a través de ArcGIS Online" del alumno Ignacio Miralles presentado el año 2018. Este, al igual que el trabajo expuesto en el presente documento, utiliza las herramientas y aplicaciones web de ArcGIS Online con el propósito de actualizar y difundir el contenido cartográfico de la institución. Sin embargo, el trabajo de Miralles se centra en el visor de los datos cartográficos y carece de productos relacionados con el análisis de las bases de datos, tales como los cuadros de mando (dashboards). Además, en este tampoco se trabaja con datos LIDAR. Se desconoce si estas diferencias radican en la inexistencia de tales datos o por limitaciones del proyecto.

En aspectos relacionados a la empresa y el proyecto específico de digitalización del modelo de datos de la infraestructura del tranvía, el año 2019 la alumna Ane García fue partícipe de del proceso de integración de esta información hacia un SIG, llevado a cabo por la consultora INFRAPLAN, en su trabajo titulado "Integración de la información de las redes de tranvía del Área Metropolitana de Barcelona en un Sistema de Información Geográfica". El flujo operacional de este trabajo parte del acceso a los distintos *As-builts*, su manipulación en un entorno FME² y su volcado a la base de datos SIG.

Se puede declarar que, a pesar de existir proyectos de fin de máster previos que se desarrollan dentro de ArcGIS Online, aquellos difieren del actual en términos de enfoque de

² Plataforma de integración y transformación de datos. Utilizado para la transformación de datos CAD a archivos espaciales.

funcionalidad de los productos resultantes, y también en cuanto a tipos de datos: hasta el momento no se habían tratado nubes de puntos en plataformas web de ESRI. En cuanto al trabajo realizado por Ane García, a pesar de utilizar los mismos archivos espaciales para visualizar, no se enfoca en el análisis de las bases de datos de accidentes e inspecciones. Además, las plataformas en las cuales se alojan y manejan estos datos no pertenecen a aquellas dispuestas por ESRI (ArcGIS Online).

1.2. Estado del arte

En un escenario donde las tecnologías SIG no sólo crecen a pasos agigantados, si no también se integran cada día más en distintos campos y empresas, es de esperar que una empresa pionera en el rubro tal como ESRI esté presente en proyectos como el de este trabajo, a lo largo de todo el mundo.

Debido a la versatilidad de sus aplicaciones, y su rápido despliegue, éstas están presentes en empresas ambientales, de logística, de transporte (como es el caso de la ATM), entre otras. La licencia completa de ArcGIS Pro ha permitido a estas instituciones no sólo crear aplicaciones web como visores, Story Maps y Dashboards, si no que también alojar la información alfanumérica y geográfica en sus servidores (ArcGIS Server) de manera privada para crear poderosas plataformas integradas dentro del entorno ESRI. Un ejemplo de esto es el Planning and Development Services (PDS)³, uno de los sistemas SIG pioneros de Estados Unidos, en el cual los condados de Kentucky planifican a largo plazo, mantienen el control de sus infraestructuras públicas, administran las normas de construcción, entre varios otros servicios. Esta herramienta logra alojar los cerca de 14 TB de información del territorio, visualizarla y analizarla desde servicios web como ArcGIS Online y la publicación de Story Maps mensuales.

En el caso puntual de este trabajo se maximiza la funcionalidad de las herramientas disponibles en ArcGIS Online, pero en base a información estática sin hacer uso de los servicios de alojamiento en servidores privados ni bases de datos oficiales. Esto es considerado una limitación al momento de buscar el máximo potencial de cada aplicación. Sin embargo, dentro de este documento se proponen medidas de integración y mejoras a las herramientas de difusión en modelo web creado, para así aprovechar fructuosamente el potencial de ESRI.

³ <https://www.pdskc.org/>

1.3. Marco Institucional

La Autoritat del Transport Metropolità (ATM) es un consorcio interadministrativo de carácter voluntario creado en 1997 con el fin de coordinar y planificar el transporte público de la región metropolitana de Barcelona. Las administraciones consorciadas son la Generalitat de Catalunya (51%) y administraciones locales (49%) que corresponden a: el Ayuntamiento de Barcelona, el Área Metropolitana de Barcelona (AMB) y la Asociación de Municipios para la Movilidad y el Transporte Urbano (AMTU). A la ATM se adhieren todas las administraciones titulares de servicio público de transporte colectivo que pertenezcan al ámbito formado por las comarcas del mapa: l'Alt Penedès, l'Anoia, el Bages, el Baix Llobregat, el Barcelonès, el Berguedà, el Garraf, el Maresme, el Moianès, Osona, el Vallès Occidental i el Vallès Oriental.

En cuanto a cifras, en la Tabla 1 se puede evidenciar cómo ha aumentado sustancialmente la demanda del tranvía en las últimas décadas, y que hoy en día realiza, en la totalidad de servicios, más de 29 millones de viajes al año (de acuerdo a cifras del año 2019).

Tabla 1. Viajes totales por año, para el servicio de Tranvía en Barcelona.

Año	Viajes Totales TRAM (MM)
2004	7,7
2010	23,8
2015	25,4
2019	29,8

La red tranviaria del área metropolitana de Barcelona está compuesta por 2 redes: Trambaix y Trambesòs. Trambaix entró en servicio el mes de abril del 2004, con 15,1 kilómetros de longitud, un ancho de vía de 1.435 milímetros, 29 estaciones y 3 líneas (T1, T2 y T3). La red de Trambaix transportó un total de 20.221.098 pasajeros en 2019 a lo largo de los municipios de Barcelona, l'Hospitalet del Llobregat, Esplugues de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Just Desvern i Sant Feliu de Llobregat. La Figura 2 muestra el esquema de la red de Trambaix.

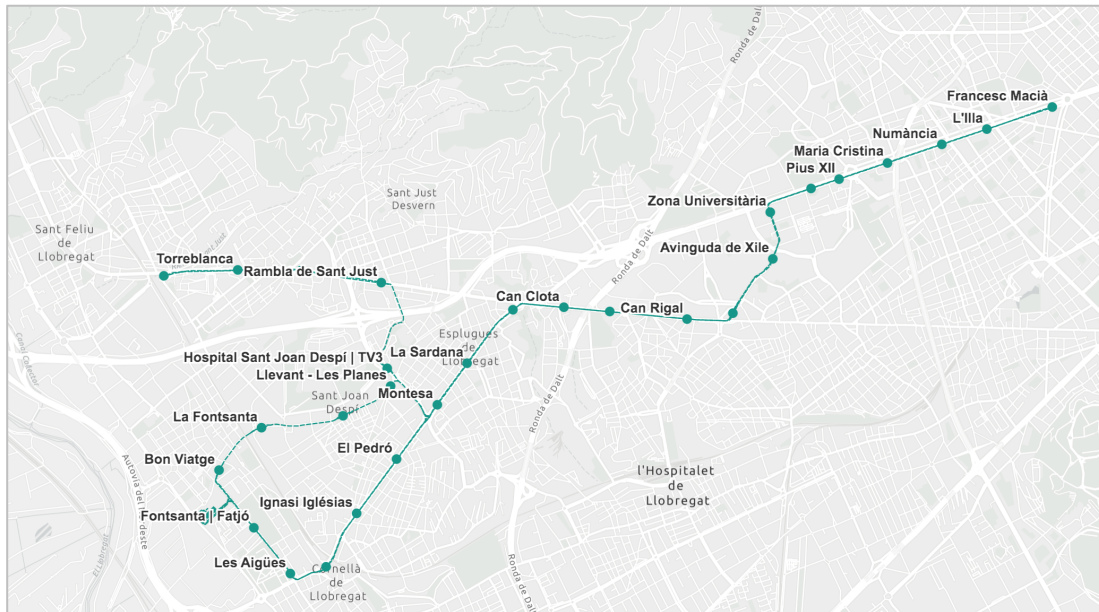


Figura 2. Esquema Red Trambaix.

Trambesòs entró en servicio el mes de mayo del 2004, con 14,0 kilómetros de longitud, un ancho de vía de 1.435 milímetros, 27 estaciones y 3 líneas (T4, T5 y T6). La red de Trambesòs transportó un total de 9.538.711 pasajeros en 2019 a lo largo de los municipios de Barcelona, Sant Adrià de Besòs y Badalona. La Figura 3 muestra el esquema de la red de Trambesòs.



Figura 3. Esquema Red Trambesòs.

2. Objetivos

2.1. Objetivos generales

Este proyecto, que consiste en la publicación y difusión de la base de datos de la infraestructura tranviaria de Barcelona mediante plataformas web, se divide en tres partes principales:

- Parte I: Difusión

Publicación de las capas del modelo de datos y las nubes de puntos LIDAR del tranvía en plataformas web ESRI y difusión de esta plataforma y modelo a través de un Story Map explicativo.

- Parte II: Análisis de Datos

Limpieza y transformación de las bases de datos de accidentes e inspecciones del tranvía para ser alojadas en ArcGIS Online, y la creación de dashboards para su análisis e inspección.

- Parte III: Integración

Parte final del proyecto, que busca brindar cohesión a las partes anteriores a través de un portal de acceso a las aplicaciones. En esta parte también se proponen medidas de integración de las aplicaciones con los datos en futuros escenarios de digitalización.

A continuación, se detallan los objetivos generales para cada una de estas partes.

Parte I: Difusión

1. Difusión de las distintas partes del proyecto de digitalización del tranvía, a través de un entorno web, para consultar y visualizar el modelo de datos. Acompañar el lanzamiento de esta plataforma con una publicación explicativa de la aplicación y del modelo.

Parte II: Análisis de Datos

1. Transformación y disposición de la base de datos de accidentalidad e inspecciones del tranvía en la web, para consulta y visualización.

2. Analizar e inspeccionar los registros de la base de datos de accidentes sobre el modelo digital del tranvía. Visualizar los resultados y métricas a través de un dashboard.

Parte III: Integración

1. Unificar las aplicaciones creadas en las partes anteriores en un solo entorno, para facilitar el acceso a ellas por parte de los usuarios.

2. Proponer posibles métodos de integración y actualización de estas plataformas para implementarse a futuro.

2.2. Objetivos Específicos

Cada una de las partes del proyecto expuestas en el apartado 2.1. tiene, además de objetivos generales, objetivos específicos a cumplir. Estos buscan adaptarse específicamente al propósito de cada herramienta y usuario, y se detallan a continuación:

Parte I: Difusión

1.1. Disponer todos los elementos del modelo de datos de la infraestructura del tranvía en un entorno web de ArcGIS Online, para visualizar y consultar.

1.2. Crear un Story Map (desde ArcGIS Online) para explicar y difundir didácticamente el modelo digitalizado del tranvía de una manera visualmente atractiva, pero clara. En este, se combinarán datos, texto, imágenes, gráficos y mapas.

1.3. En un entorno web ESRI integrar la nube de puntos LIDAR del tranvía, para visualizar y consultar.

Parte II: Análisis de Datos

2.1. Integrar la información de la base de datos de accidentabilidad e inspecciones con el modelo digital del tranvía en un dashboard ESRI, con el fin de obtener métricas y filtrar la visualización.

2.2. Generar cuadros de mando web para la consulta y visualización de la información mencionada en el punto 2.1.

Parte III: Integración

3.1. Proponer métodos de integración y actualización de plataforma ArcGIS Online (visor) y Dashboards de accidentalidad e inspecciones con datos en tiempo real o ante posibles migraciones de los datos de la ATM. Considerar los distintos escenarios posibles con respecto a empresas subcontratadas y registro de datos al momento de proponer las soluciones.

3. Planificación del proyecto

A continuación, en la Figura 4, se ilustra la planificación del proyecto a través de una Carta Gantt, la cual contempla las partes I, II y III definidas en el apartado anterior. Este proyecto tiene una duración aproximada de 2 meses, en un total de 9 semanas. Al finalizar cada una de éstas, como se puede ver en la Carta Gantt para cada viernes/lunes, se realizan reuniones en conjunto con el tutor de empresa para medir avances, redefinir estrategias (en caso de ser necesario) y planificar la semana siguiente.

La parte relacionada con el estudio previo (parte 0), como es de esperar al tratarse de un apoyo al cumplimiento de los objetivos específicos de todas las otras partes, se lleva a cabo de manera paralela a éstas a lo largo de todo el proyecto. Es por esto que su duración no se especifica dentro de la planificación.

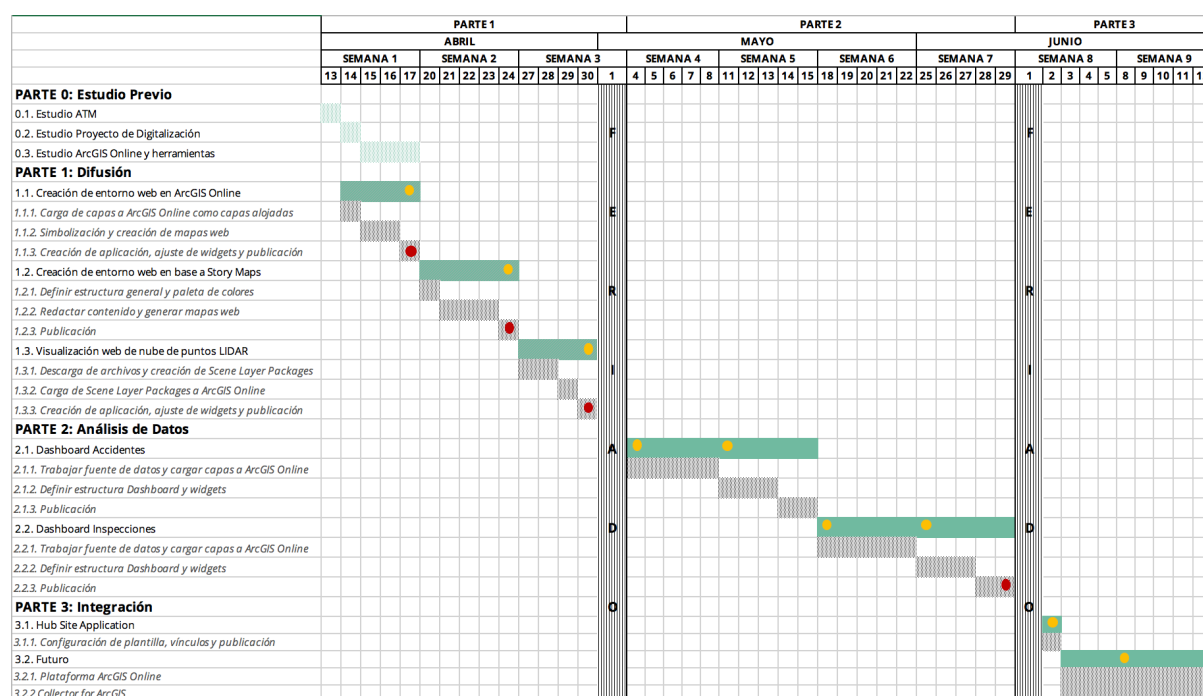


Figura 4. Carta Gantt del proyecto. En rojo, los hitos del proyecto.
En amarillo, las reuniones periódicas con el tutor de empresa.

Los hitos que marcan esta pauta de trabajo y definen el paso entre las distintas partes del proyecto, simbolizados con rojo dentro de la carta Gantt anterior, son:

- Hito 1 (17 de abril de 2020): Despliegue de Visor Cartográfico
- Hito 2 (24 de abril de 2020): Despliegue de Story Map
- Hito 2 (30 de abril de 2020): Despliegue de Visor LIDAR
- Hito 2 (29 de mayo de 2020): Despliegue de Dashboards integrados

Los puntos en amarillo de la Figura 4 representan las reuniones periódicas llevadas a cabo en conjunto con el tutor de empresa, Jordi Martin, para medir avances y reajustar metodologías.

4. Metodología y resultados

Esta es la sección central de este documento, y su rol es detallar el trabajo llevado a cabo para completar cada una de las tareas específicas ilustradas en la Carta Gantt del proyecto en la figura 4, de la sección anterior. Previo a esto, este apartado contempla además la descripción del estudio previo del modelo de datos de la infraestructura tranviaria sobre el cual se trabaja y de las herramientas ESRI a utilizar.

Para cada una de las tareas se detalla paso a paso la metodología y juntamente los resultados parciales y finales obtenidos. Se exponen las limitaciones presentes al momento de realizarlas (tecnológicas o administrativas) y los alcances de cada tarea. Se proponen posibles mejoras a los servicios.

En el orden de exposición dentro de esta sección, las tareas realizadas se dividen en:

- Estudio Previo
- Desarrollo aplicaciones web:
 - Parte I: Plataforma ArcGIS Online
 - Story Map
 - Visor LIDAR
 - Parte II: Dashboards
 - Parte III: Site for ArcGIS

4.1. Estudio Previo

En los próximos párrafos se busca exponer el trabajo de estudio previo que se llevó a cabo para el cumplimiento de los objetivos específicos. Contemplan tareas realizadas previa o paralelamente a las partes central del proyecto (definidas en los objetivos generales y específicos), pero que son de vital importancia para brindar contexto y perspectiva a las tareas. Además, permite comprender los requisitos y alcances del proyecto, y las herramientas disponibles para llevarlo a cabo de una manera óptima.

El estudio previo se divide en tres partes principales: el estudio del consorcio de la ATM (en cuanto a su imagen y plataformas actuales), el estudio del proyecto de digitalización de la infraestructura del tranvía (consideraciones tomadas, estructura de los datos y limitaciones

del modelo) y, por último, el estudio de las herramientas ESRI a disposición para el desarrollo de las aplicaciones y cumplimiento de los objetivos específicos.

4.1.1. Estudio Autoritat del Transport Metropolità

En el contexto de desarrollo de las aplicaciones, se definen previamente los logotipos oficiales de la ATM a utilizar, y la paleta de colores corporativa. A continuación, en las Figuras 5 y 6, se muestran éstos últimos, respectivamente.



Figura 5. Logo oficial de la ATM.



Figura 6. Paleta de colores de la ATM y del proyecto.

4.1.2. Estudio Proyecto de Digitalización Infraestructura del Tranvía y Modelo de Datos

La infraestructura tranviaria del Área de Barcelona, hasta el año 2018, aún no disponía de un modelo genuinamente digital capaz de gestionar y mantener el conjunto de activos más allá del conjunto de *As-Builts* que se entregaron después de la puesta en marcha en 2004. Es por esto que, el año 2019, se llevó a cabo el proceso de transformación digital de los planos CAD para generar el modelo de la infraestructura del Tranvía y mejorar la gestión de los activos por parte de la ATM.

El sistema de referencia de los datos es el llamado European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) y el sistema de representación planimétrica de los datos utiliza la Proyección Universal Transversa de Mercator UTM-31N.

Este modelo contempla todas las estructuras que forman parte de la red de tranvía, a las que a su vez se les asignan códigos y atributos de identificación y relación entre otros elementos del mismo grupo o subgrupo. Se organiza en 3 grupos: obra civil, sistemas tranviarios y sistemas auxiliares. La obra civil se organiza en 7 subgrupos que a su vez incluyen hasta un total de 44 elementos. Los sistemas tranviarios se organizan en 10

subgrupos que a su vez incluyen hasta un total de 38 elementos. Finalmente, los sistemas auxiliares se organizan en 2 subgrupos que a su vez incluyen hasta un total de 4 elementos. Para la representación total de la infraestructura tranviaria el modelo de datos utiliza un total de 3 grupos, 19 subgrupos y 86 elementos. De los 13.113 ficheros CAD que configuran la totalidad de As-builts, el proceso de migración a la base de datos ha generado una cifra total de 49.586 elementos geométricos que constituyen la totalidad de la infraestructura tranviaria. De estos, 39.088 elementos forman parte de la obra civil, 10.069 del sistema tranviario y, por último, 429 elementos son sistemas auxiliares.

A continuación, se lista a modo de catálogo y de ejemplo el inventario de los elementos que forman la base de datos de la infraestructura tranviaria, para el primer grupo de Obra Civil. El inventario de los elementos de los dos grupos restantes, Sistemas Tranviarios y Sistemas Auxiliares, se encuentran en Anexos.

Tabla 2. Elementos pertenecientes al grupo Obra Civil del modelo de datos, y su geometría.

Grupo	Subgrupo	Elemento	Geometría
Obra Civil	Dominio Público	Infraestructura Tranviaria	Polígono
		Franja de protección	Polígono
	Trazado	Eje de plataforma	Línea
		Eje de vía	Línea
		Carriles	Línea
		Gálibo libre de obstáculos (GLO)	Línea
		Geometría de los ejes de vía en planta	Línea
		Geometría de los ejes de vía en alzado	Línea
	Paradas	Andanes	Polígono
		Marquesinas	Polígono
		Mueble técnico	Polígono
		Cuadro eléctrico	Punto
		Armario de telecomunicaciones	Polígono
		Distribuidor automático de billetes	Punto
		Sistema de información al viajero	Punto
		Sistema de interfonía	Punto
		Sistema de megafonía	Punto

		Escaparate	Polígono
		Escalera mecánica	Polígono
		Ascensor	Polígono
		Barandilla	Línea
		Papelera	Punto
		Banco	Punto
		Nombre de parada	Punto
	Pavimentación	Pavimento	Polígono
	Sistema de riego	Arquetas	Punto
		Canalizaciones	Línea
		Acometidas	Punto
		Puntos de riego	Punto
		Armario de riego	Punto
		Elementos de medida y telegestión	Punto
		Programadores	Punto
	Sistema de drenaje	Arquetas	Punto
		Drenajes centrales y laterales	Línea
		Reja	Polígono
		Tubo de desagüe	Línea
		Imbornal de plataforma	Punto
		Drenaje vertical	Punto
		Punto de conexión	Punto
	Sistema de iluminación	Líneas	Línea
		Puntos de luz	Punto
		Columnas	Punto
		Elementos LED de parada	Punto
		Cuadros municipales	Punto

4.1.3. Estudio ArcGIS Online y herramientas disponibles

Se decide desarrollar las plataformas utilizando herramientas ESRI dada la robusta capacidad tecnológica de la empresa y la oferta de productos que se ajustan correctamente a los requisitos de este trabajo. Una segunda opción de llevar a cabo el proyecto es utilizando herramientas y bases de datos *open source*⁴, pero esto significa el uso de una gran variedad de tools distintos, sin contar con el respaldo y soporte técnico único de ArcGIS.

ArcGIS Online es una plataforma de mapas en la nube que permite crear, almacenar y compartir mapas web, escenas (para datos 3D) y aplicaciones. En el marco de este trabajo y considerando los objetivos a cumplir, se utilizan las herramientas/aplicaciones de esta plataforma disponibles a partir de una cuenta de tipo Organización, que a partir de plantillas permiten integrar las capas de información alojadas en el servidor de ESRI.

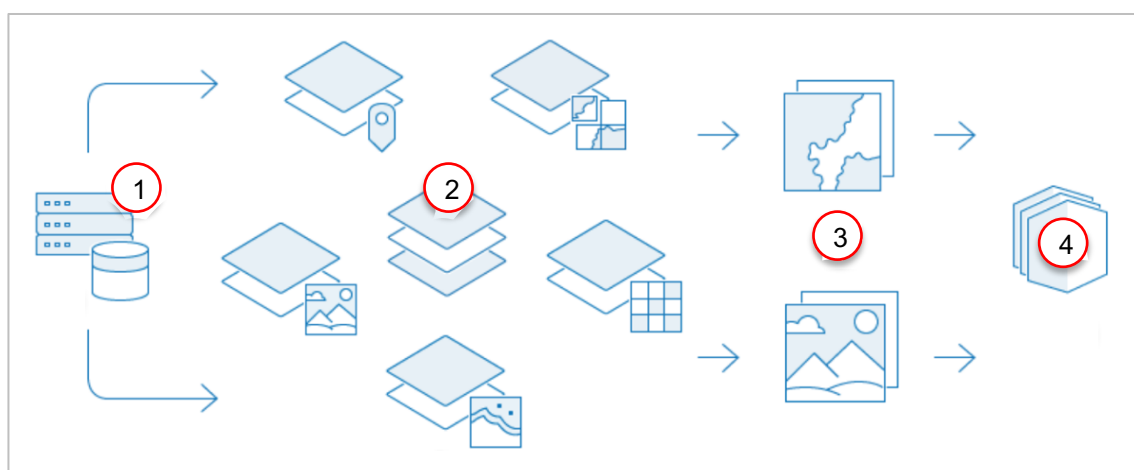


Figura 7. Esquema de estructura y jerarquía de elementos en ArcGIS Online. (1) Origen de los datos (local o desde servidores). (2) Capas de información alojadas en ArcGIS Online, en distintos formatos: vectorial, ráster, nube de puntos, etc. (3) Mapas web y escenas web generados a partir de una o más capas alojadas. (4) Generación de aplicaciones.

La secuencia necesaria para utilizar las capas de información dentro de la plataforma se ilustra en la Figura 7: a partir de datos (alojados localmente o en un servidor) éstos se publican como capas alojadas de distintos tipos en ArcGIS Online. Luego, de estas capas es posible crear mapas y/o escenas y finalmente, de éstas últimas, aplicaciones que contengan a estos mapas y escenas. En la siguiente tabla se describe en detalle cada una de estas herramientas y sus funcionalidades.

⁴ El software open source se desarrolla de manera descentralizada y colaborativa, accesible para todo público. Por ejemplo, el sistema de información geográfica de escritorio QGIS, o el sistema de gestión de bases de datos PostgreSQL.

Tabla 3. Tipos de elementos y aplicaciones dentro de ArcGIS Online.

	Nombre	Tipo	Descripción
	Feature Layer	Capa Alojada	Al cargar cada capa (archivo shapefile) del modelo de datos a ArcGIS Online, este último da la opción de alojarse como una Feature Layer en su servidor. Puede ser de tipo entidades (para datos vectoriales, como es este caso), WFS, capa de teselas y capa de escenas (datos 3D). También puede tener capas que hagan referencia a los datos de un servidor SIG. Por ejemplo, si registra su servicio de mapas de ArcGIS Server como un elemento, se crea una capa que contiene una referencia al servicio de mapas. Los datos siguen residiendo en el servicio de mapas y no se copian en ArcGIS Online.
	Web Map	Mapa	Mapa web que contiene un mapa base (ráster o vectorial) y una o más capas de información. Estos Web Maps son los que después son visualizados en las distintas herramientas/aplicaciones.
	Scene Layer	Escena	Visor 3D para datos geoespaciales. Lo componen el mapa base, las capas de información y el terreno con datos de elevación (que se puede activar y desactivar).
	Web App Builder	Creación de aplicaciones	Herramienta para construir aplicaciones a partir de plantillas y widgets predeterminados.
	Dashboards	Creación de aplicaciones	Herramienta para construir dashboards con la información alojada en ArcGIS Online, o datos externos. Combina mapas, gráficas y filtros.
	Experience Builder	Creación de aplicaciones	Similar a Web App Builder, pero permite crear aplicaciones web centradas o no centradas en mapas, y responsivas.
	Sites	Creación de aplicaciones	Herramienta para crear páginas web personalizadas para compartir el contenido/aplicaciones dentro de la organización de ArcGIS Online.
	Web Map Application	Aplicación	Aplicaciones configurables a partir de plantillas con distintas funcionalidades y diseños, basadas en mapas o escenas. Se crea desde Web App Builder.
	Story Map Cascade	Aplicación	Plantilla de aplicación que presenta una narración lineal con contenido complementario a un mapa web o escena 3D. Crea historias dinámicas e interactivas que el usuario puede recorrer en su navegador.
	Operations Dashboard	Aplicación	Cuadro de mando dinámico que integra web maps y visualizaciones para medir y reflejar el estado y rendimiento de la información de manera estática o en tiempo real. Se crea a partir de Dashboards.
	Web Experience	Aplicación	Plantilla para crear experiencias web responsivas a partir de aplicaciones y web maps. Se crea a partir de Experience Builder.
	Hub Site Application	Aplicación	Sitio web que actúa como portal organizacional para desplegar, publicar y compartir todo tipo de contenido dentro de ésta. Se crea desde Sites.

Para cualquier aplicación generada a partir de los distintos creadores de aplicaciones de ArcGIS Online (Web App Builder, Dashboards, Experience Builder o Sites), el procedimiento es similar:



Figura 8. Procedimiento para creación de aplicaciones en ArcGIS Online a partir de mapas o escenas.

Una vez seleccionado el tipo de aplicación, el tema y el mapa/escena base, prosigue agregar widgets que le den la funcionalidad deseada para la aplicación específica, configurar atributos y desplegar para uso público, dentro de la organización o privado.

ArcGIS Online Assistant

Una herramienta clave en el desarrollo de aplicaciones dentro de ArcGIS Online es ArcGIS Online Assistant. Esta no pertenece a ESRI, pero brinda un apoyo importante a los productos web. Esta herramienta es el acceso a la estructura más interna de la cuenta, y admite la configuración de aspectos más específicos que aquellos disponibles directamente desde el portal de ArcGIS Online.

En ella es posible copiar y duplicar contenido entre distintas cuentas de ArcGIS Online (o dentro de la misma), como capas alojadas, web maps, y algunas aplicaciones. Además, permite acceder y editar el código JSON de los elementos (para lo cual es recomendable respaldar los elementos a modificar, ya que los cambios pueden dañar el elemento original o ser irreversibles). Desde aquí se puede, por ejemplo, modelar el aspecto de las aplicaciones (diseño, colores, tipografía), mientras que desde ArcGIS Online esto es posible de manera bastante limitada.

4.2. Desarrollo aplicaciones web

4.2.1. Parte I: Difusión

4.2.1.1. Plataforma ArcGIS Online

La función principal de esta plataforma es de servir como un visor de información para todas las capas del modelo de datos de la infraestructura del tranvía. Estas capas corresponden las capas presentes en el archivo espacial del modelo de datos, generado de la digitalización del tranvía. De este archivo, además, es posible obtener la simbología de cada capa y las escalas de visibilidad para la plataforma sea fiel al modelo original.

En la Figura 9 se ilustra el proceso general, que está compuesto por 4 partes principales: copia de las capas a local, carga de las capas a ArcGIS Online como capas alojadas, edición de simbología y visibilidad y, por último, el despliegue de la aplicación a partir del web map.

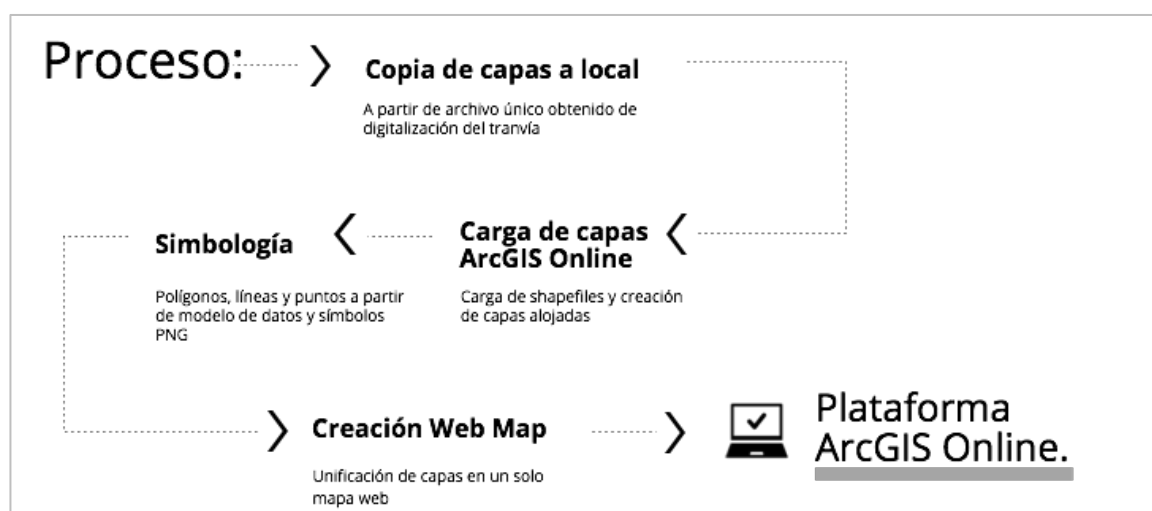


Figura 9. Esquema del proceso de desarrollo de la plataforma en ArcGIS Online.

Dado que todas las capas del modelo se encuentran dentro del mismo archivo espacial, el primer paso es exportar cada capa de manera individual en formato shapefile (esto es, cada elemento descrito en la Tabla 2). Se exporta en este formato ya que posteriormente, para cargarla como capa alojada en ArcGIS Online, esta debe estar en una carpeta comprimida que contenga sus archivos .shp, .shx, .dbf y .prj. Se obtienen en total, en concordancia con el modelo de datos detallado, 86 capas para los 3 grupos ("Obra Civil", "Sistemas Tranviarios" y "Sistemas Auxiliares").

El siguiente paso es cargar cada archivo shapefile a ArcGIS Online (comprimido, con los archivos .shp, .dbf, .shx y .prj) dentro de la opción "Agregar elemento" en la sección *Contenido* del portal. Al hacer esto, se activa la opción de crear una capa alojada (Feature Layer) con este shapefile y el mismo nombre, tal como se muestra en la Figura 10 a continuación. El nombre de la capa sigue la estructura del modelo de datos, y se le agrega como etiqueta el grupo principal al cual pertenece, para optimizar futuros procesos de búsqueda.

Figura 10. Ventana de carga de capas a ArcGIS Online. Activar la opción de publicar, además del shapefile, una capa alojada con el mismo nombre.

Por limitaciones de software, no se realiza esta carga de archivos directamente desde ArcGIS Pro vinculado a la cuenta de ArcGIS Online, pero cabe mencionar que esto último es posible. Además, para un trabajo aún más rápido, se puede automatizar este proceso de carga utilizando la API de Python para ArcGIS (ArcGIS API for Python).

Una vez que se tienen las capas como capas alojadas, se procede a ajustar la simbología individualmente. Esto se lleva a cabo dentro de la ventana de detalle del elemento, bajo la pestaña *Visualización*:

Figura 11. Pestaña de Información general, dentro de la ventana de detalle del elemento.

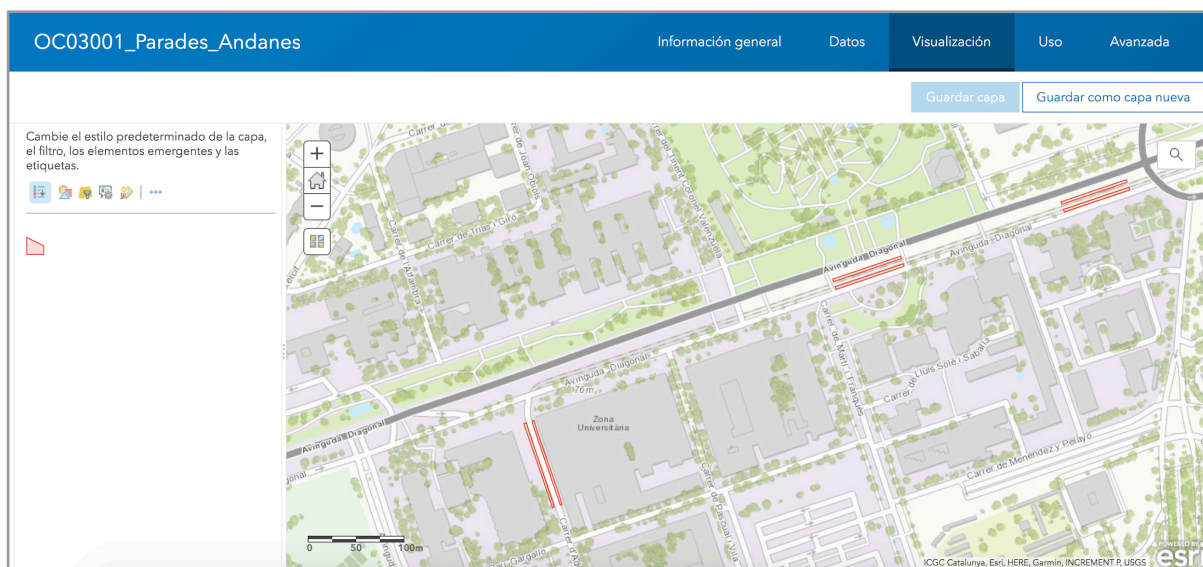


Figura 12. Pestaña de Visualización, dentro de la ventana de detalle del elemento.

La ventana de detalle del elemento es el nivel más intrínseco de los datos, es decir, aquí se ajustan los niveles básicos de toda la capa, lo que no significa que estos ajustes no puedan sobre escribirse posteriormente dentro de un web map. La implicancia es que estos ajustes, definidos directamente dentro de la capa, se distribuyen automáticamente en primera instancia (antes de ser sobrescritas) a todos los posteriores usos que se le dé a esa capa.

Para cada capa, se define a partir del modelo:

- Rango de visibilidad según escala
- Simbología (para polígonos, líneas y puntos)

Se distinguen dos formas de simbología: para elementos de tipo línea/polígono y para elementos de tipo punto. Para el primer tipo de elementos es posible configurarla directamente desde ArcGIS Online, siguiendo las especificaciones de grosor y color de línea/polígono descrito en el modelo de datos. Para el segundo tipo, es necesario cargar a ArcGIS Online los símbolos en formato .png, para alojarlos en el servidor y compartirlos mediante una URL a la herramienta de simbolización. Estos símbolos se cargan de la misma manera que se cargan las capas, y se configura dentro de la pestaña *Visualización*.

Como se menciona en el apartado 4.1.3., la base de toda aplicación dentro de ArcGIS Online será los web maps (o escenas web) que contengan una o más capas alojadas. Por lo tanto, el siguiente paso es crear un web map con todas las capas, para que este pueda visualizarse en la aplicación de visor de datos. Se utilizará un solo web map en este caso, en el que se incluirán las 86 capas y se ordenarán según el modelo de datos. A este web map se le llama "Web Map General".

Además de las capas de información, se debe definir el mapa base que se reflejará más adelante en las aplicaciones. Considerando la paleta de colores de la empresa, se utiliza uno de los mapas base de Living Atlas: Light Gray Canvas en formato Vector Tile. Living Atlas corresponde a la colección abierta de ArcGIS de información geoespacial mundial. Este es un mapa base vectorial que, a pesar de tener menor rapidez de carga en comparación al formato ráster, la calidad a cualquier escala es significativamente mejor.

Por último, la plataforma que servirá como visor de datos se crea a partir de la herramienta Web App Builder de ArcGIS Online. Desde una plantilla, como se menciona anteriormente, el usuario es capaz de agregar distintas funcionalidades a un web map y crear una aplicación online.

Los widgets seleccionados para la configuración del visor fueron:

- Mensaje inicial: Información relevante a la empresa, al modelo de datos, y a la herramienta
- Leyenda: Información sobre simbología de las capas activas en el visor.
- Lista de capas: Listado de capas disponible en el visor, con la opción de activar y desactivar.
- Añadir capas: Posibilidad de añadir capas desde Living Atlas, desde propia cuenta de ArcGIS Online o un archivo local al visor.
- Compartir: Posibilidad de compartir la aplicación a través de una URL, o en un iframe⁵.
- Buscador: Buscador de ubicaciones dentro del visor.

En las próximas páginas se ilustran las distintas funcionalidades dentro de la aplicación.

⁵ iframe: elemento HTML capaz de ser incrustado en otra página HTML.

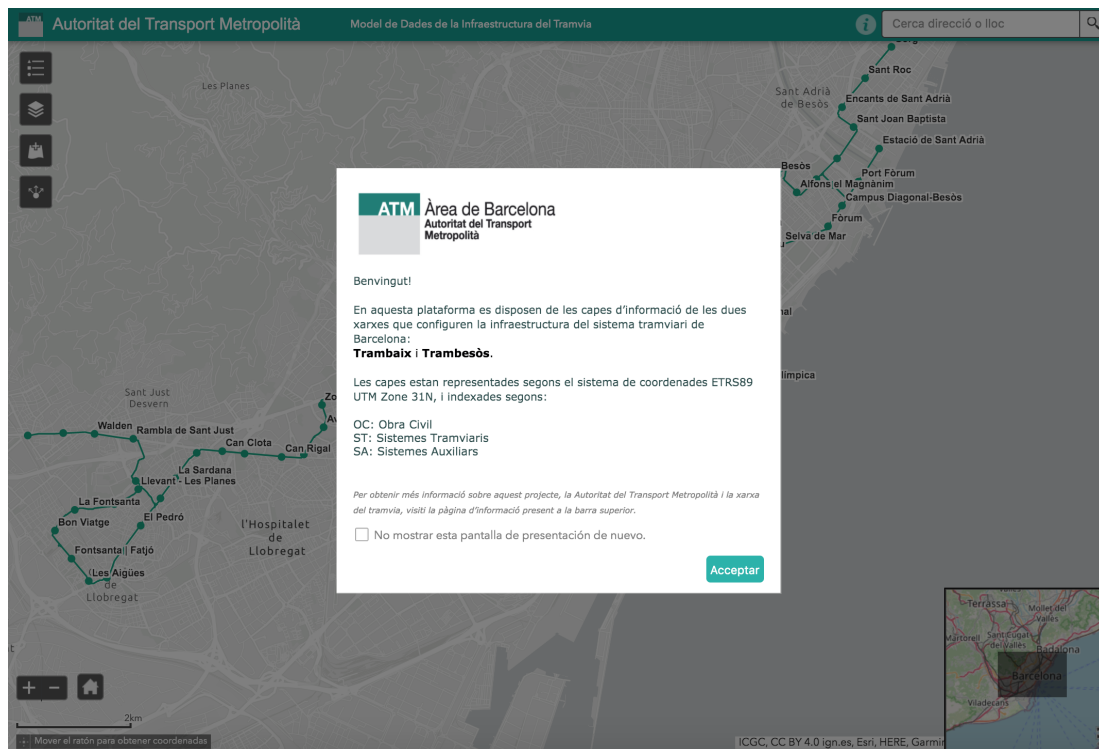


Figura 13. Mensaje inicial desplegado al abrir el visor.

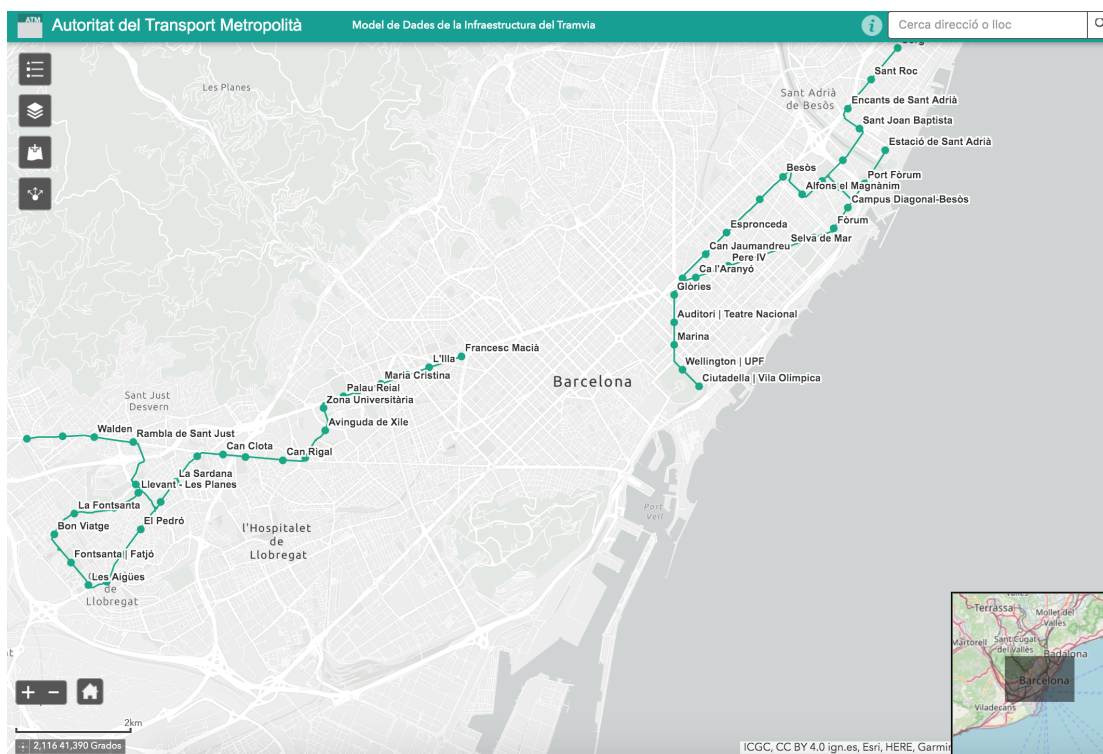


Figura 14. Pantalla de inicio del visor. En la esquina inferior derecha, el mapa de situación. En la esquina superior derecha, el buscador de direcciones.

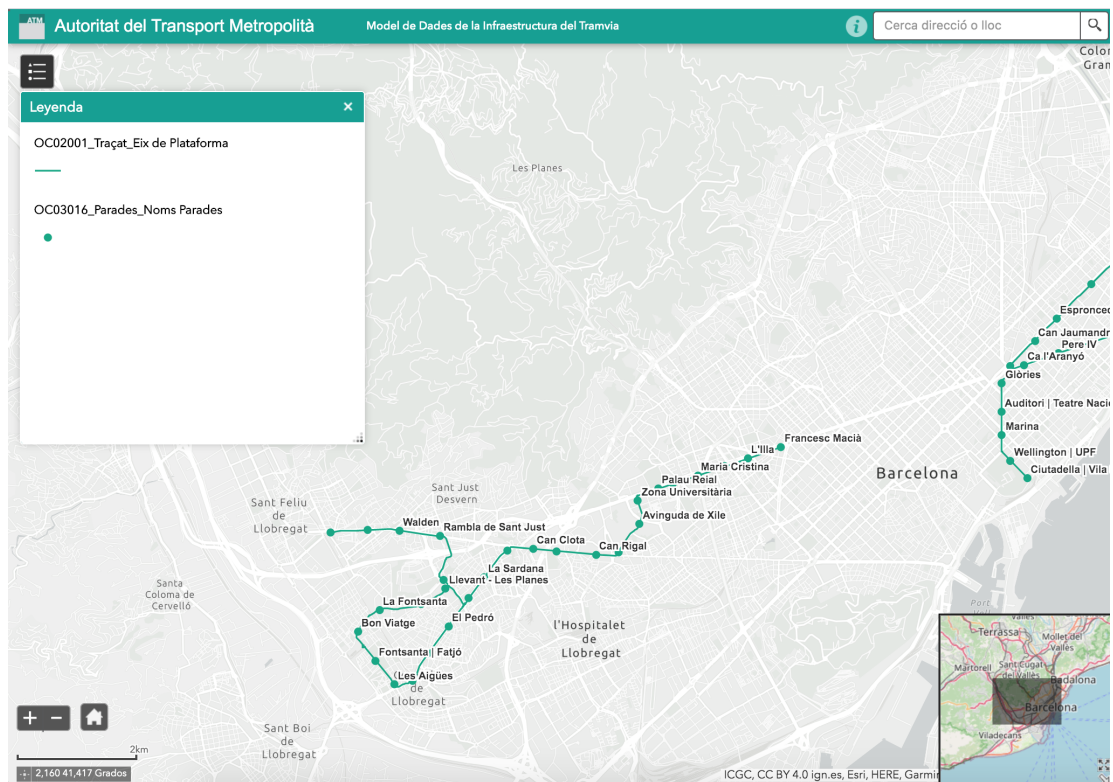


Figura 15. Leyenda a las capas activas dentro del visor.

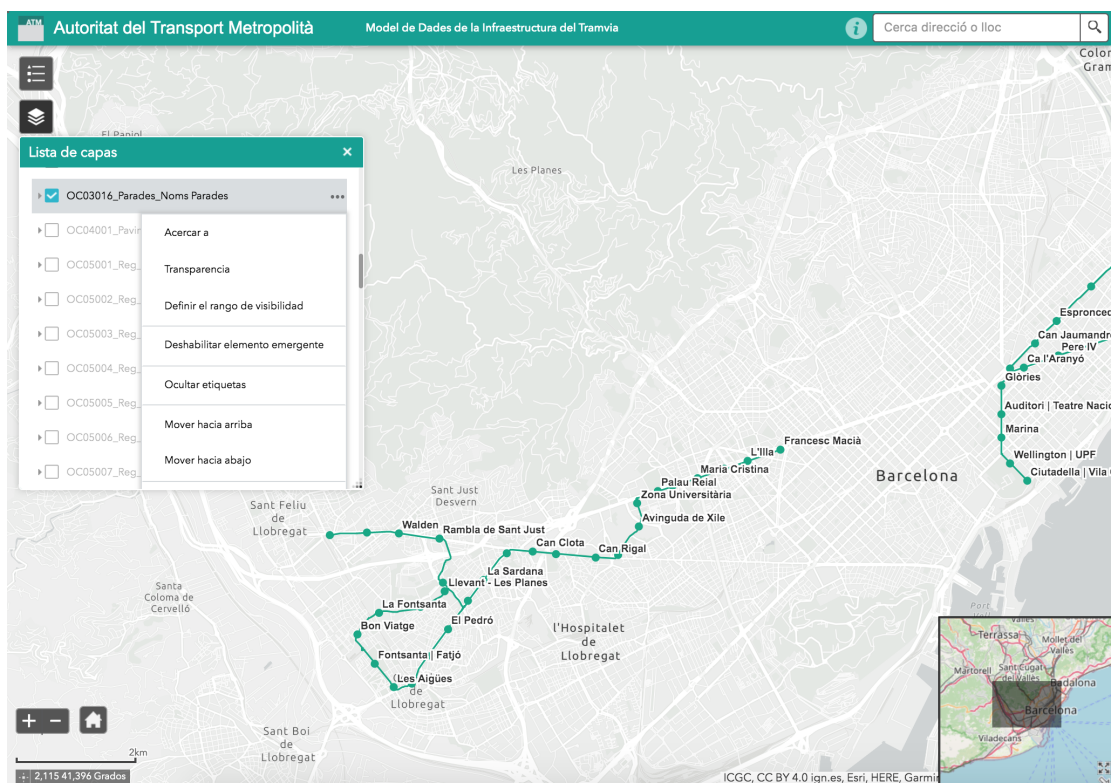


Figura 16. Listado de capas (con posibilidad de activar y desactivar), y distintas acciones como: zoom a la capa, ajuste de transparencia, ajuste de rango de visibilidad, entre otros.

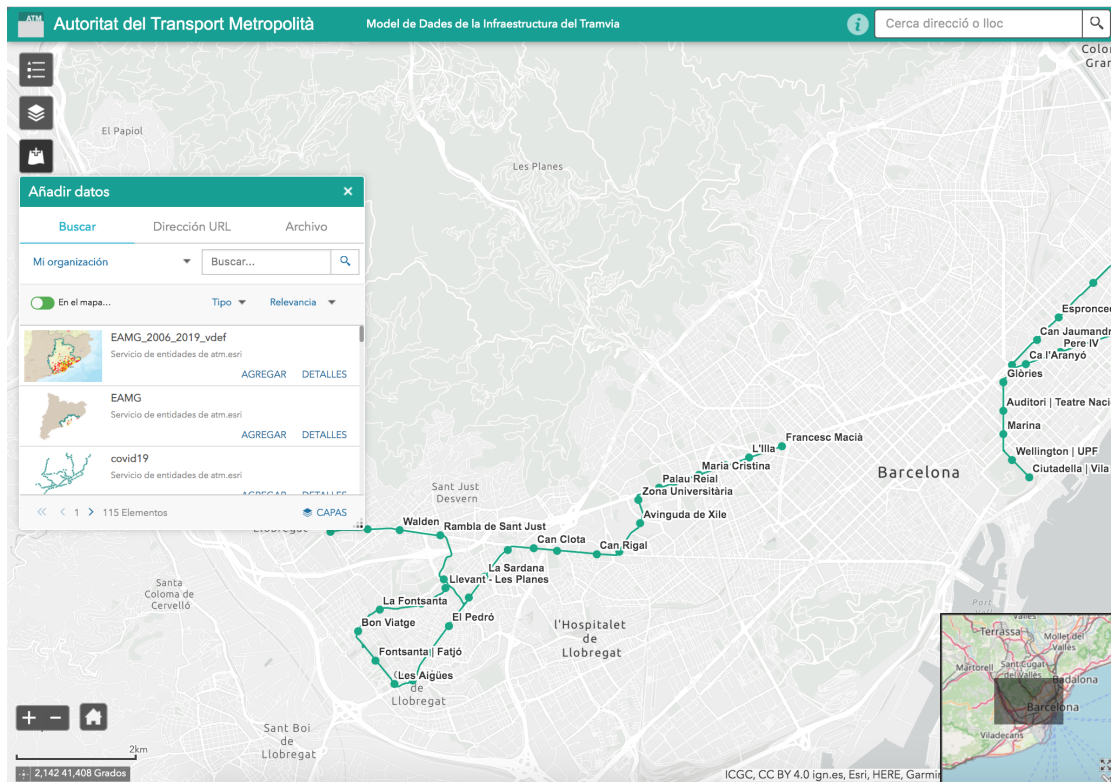


Figura 17. Añadir datos al visor: (1) desde propia organización de ArcGIS Online, (2) desde dirección URL o (3) desde archivo local.

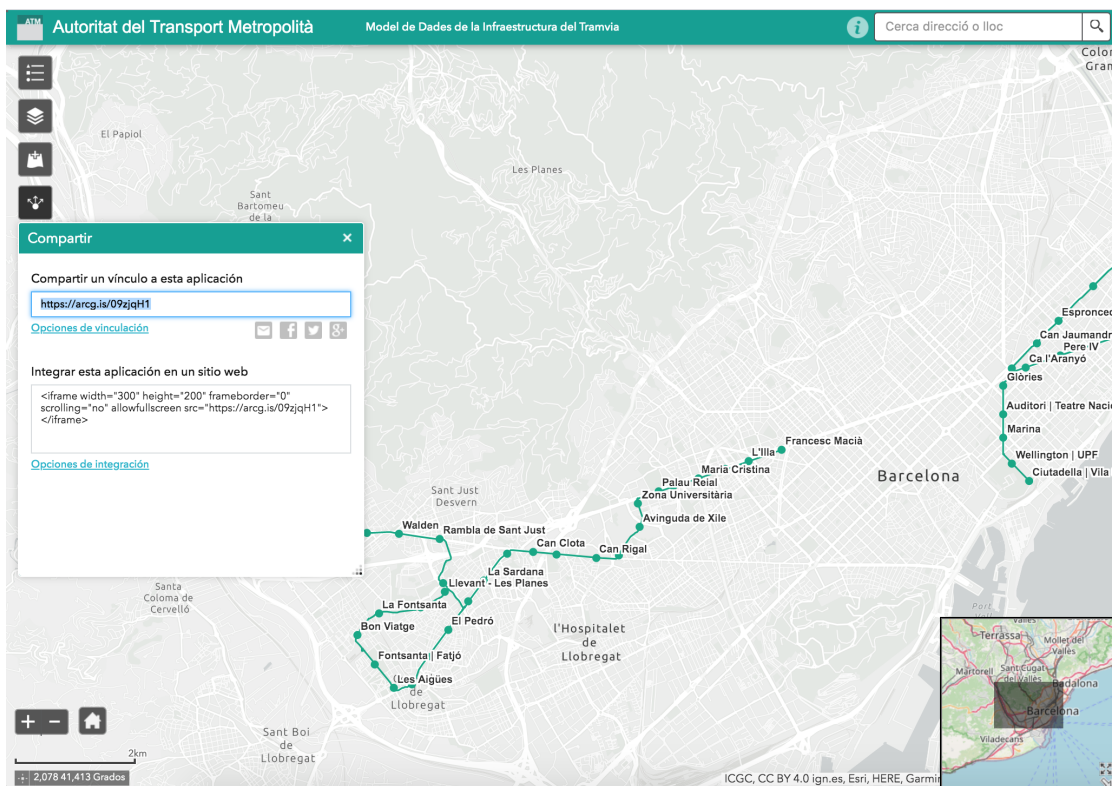


Figura 18. Compartir la aplicación a través de vínculo directo o de *iframes* integrados en sitios web de terceros.

A modo de contar con un respaldo de las capas alojadas en ArcGIS Online, se hace uso de la API de ArcGIS para Python para automatizar el proceso de copia de estas capas en local. En Anexos, se encuentra el código utilizado para el respaldo de las 84 capas.

4.2.1.2. Story Map ArcGIS Online

El objetivo principal del Story Map es actuar como soporte de difusión de la estructura del modelo de datos, dando un primer acercamiento a los atributos y simbolización de cada elemento, así como también brindar una perspectiva global del nivel de detalle del modelo. Se busca lograr esto de una forma dinámica y visualmente atractiva para el usuario, por lo que un Story Map es el candidato perfecto ya que brinda al lector la sensación de interacción con la historia.

El Story Map busca responder las siguientes preguntas: ¿qué es la ATM? ¿cómo son las redes del tranvía? ¿en qué consiste el modelo de datos? ¿qué tipo de información tiene? ¿qué aspecto tiene?

En la Figura 19 se ilustra el proceso general que se lleva a cabo en el desarrollo de la aplicación. Está compuesto por 5 partes principales: definición de la estructura de la historia, creación de web maps, redacción del texto que acompaña los mapas, la creación de los distintos Story Map Cascade y por último, el despliegue de la aplicación con pestañas que reúna todos los Story Maps individuales.

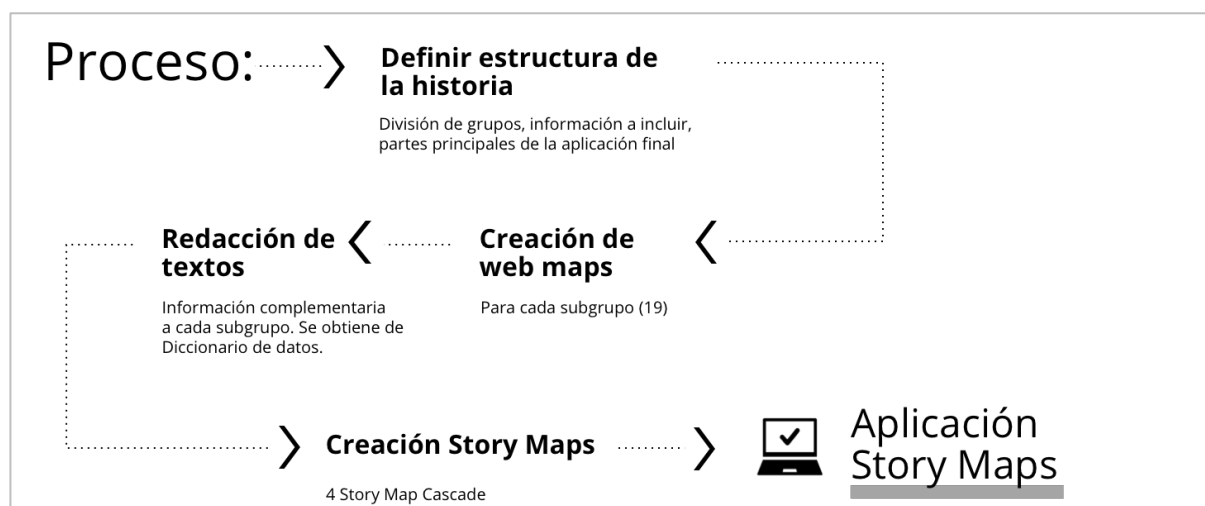


Figura 19. Esquema del proceso de desarrollo del Story Map.

Teniendo en consideración la gran cantidad de capas de información que contiene el modelo de datos, se estructura el Story Map de manera que los grupos principales estén claramente separados, pero sean de fácil navegación para el usuario dentro de la aplicación, y que la visibilidad de cada elemento se active de acuerdo a la interacción del usuario con la historia y los subgrupos. Para esto, se separa la historia en 4 grupos: el primero, de introducción al proyecto y al modelo (denominado “Home”); el segundo, para las capas del grupo Obra Civil; el tercero, para las capas del grupo Sistemas Tranviarios y el cuarto, para las capas del grupo Sistemas Auxiliares. Cada grupo de esta historia será, a su vez, un Story Map Cascade, el cual combina texto narrativo y web maps con un desplazamiento vertical (scroll), donde el lector puede navegar los distintos subgrupos.

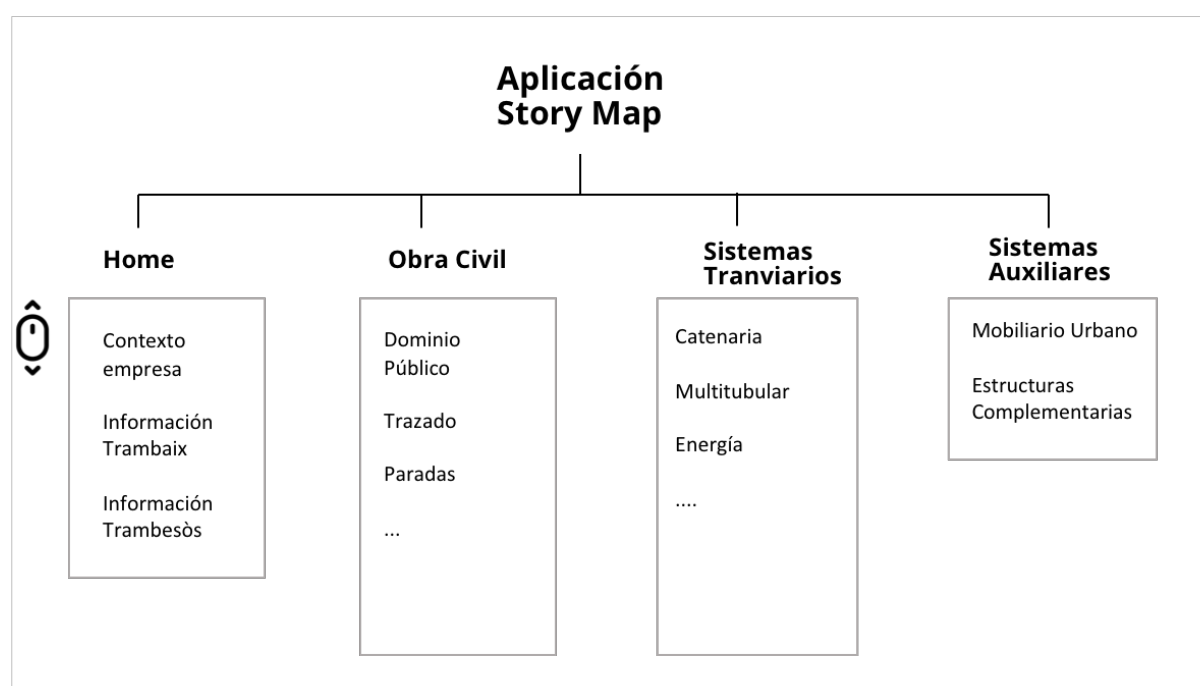


Figura 20. Estructura y división del Story Map, con sus 4 grupos principales: Home, Obra Civil, Sistemas Tranviarios y Sistemas Auxiliares.

Dado que la simbología de cada capa individual se definió en su nivel básico, al agregarlas a distintos web maps esta no se verá afectada. Por lo tanto, se crea un web map para cada subgrupo de la Figura 20, que definen el esqueleto de cada etapa de la historia.

Para el Story Map específico del grupo Home, se obtienen cifras de la página oficial de ATM⁶ y se brinda contexto al proceso de digitalización y modelo de datos.

En cuanto al texto narrativo que acompaña a los otros web maps, su función es exponer brevemente los componentes del modelo, sin ahondar en la descripción detallada ni

⁶ <http://www.atm.cat>

narrada, ya que se prioriza la rapidez y claridad de lectura para el lector. Además, se busca que el texto actúe como apoyo a los mapas web de la historia, más que atraer la atención del usuario. Así, estos textos recopilan información clave del diccionario, como se puede ver en la siguiente imagen:

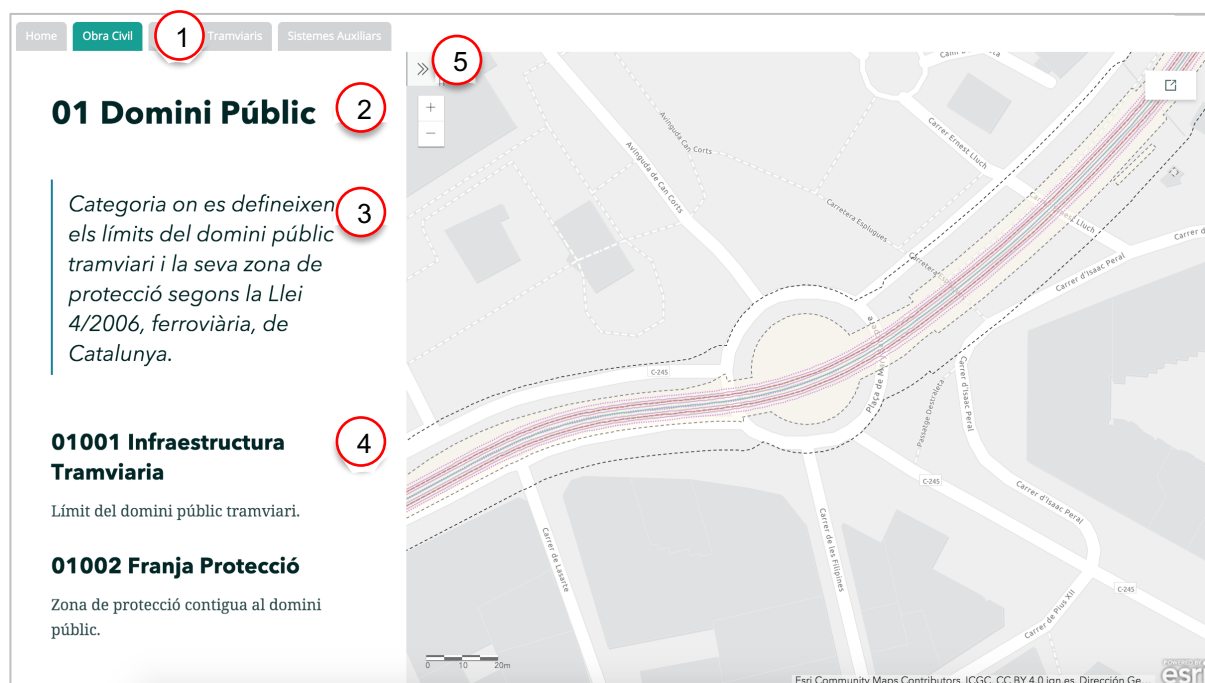


Figura 21. Aplicación Story Map web. (1) Pestañas de acceso a grupos del modelo de datos. (2) Título de sub-grupo. (3) Descripción de sub-grupo. (4) Elementos del sub-grupo. (5) Leyenda desplegable de elementos visibles.

Finalmente, los 4 Story Maps individuales son desplegados en la aplicación con el nombre *Model de Dades de la Infraestructura del Tramvia*, desde la cual se puede acceder a cada uno en sus pestañas respectivas (ver Figura 21). Para más imágenes del Story Map, ver Anexos.

Siguiendo la paleta de colores del proyecto, el color de los distintos componentes se ajusta de manera manual en el código JSON de la aplicación, alojado en ArcGIS Online Assistant.

4.2.1.3. Visor LIDAR

Esta herramienta se utilizará para visualizar los datos LIDAR de la infraestructura del tranvía. En ella, el usuario deberá ser capaz de navegar las nubes de puntos, ubicarse sobre el mapa base y medir distancias lineales o áreas. Cabe mencionar que, debido a limitaciones de tiempo y técnicas de almacenamiento, las nubes de puntos cargadas al visor LIDAR no son la totalidad de los datos recogidos por la empresa INFRAPLAN si no que sólo una muestra. Sin embargo, el procedimiento es completamente escalable.

En total, se cuenta con 29 archivos LAS, entre 1 y 5 GB de tamaño, que componen parte de la nube de puntos de la red Trambesòs.

En la Figura 22 se ilustra el proceso general, que está compuesto por 4 partes principales: creación de LAS Datasets, creación de Scene Layer Package, carga de los SLPK a ArcGIS Online, creación de escenas web, y por último, creación y despliegue de la aplicación.

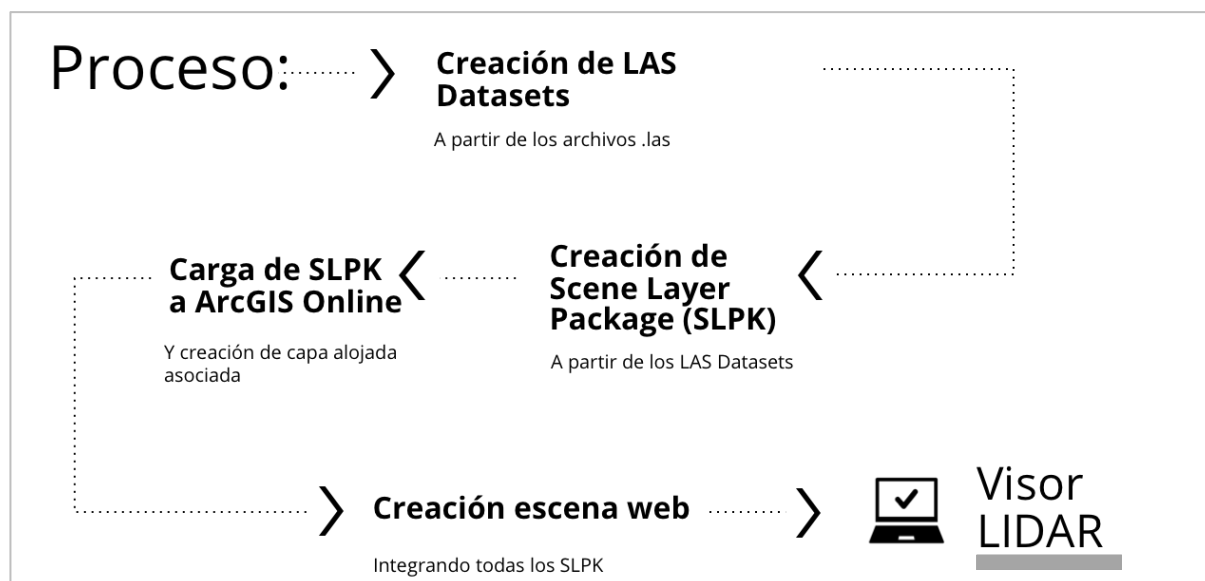


Figura 22. Esquema del proceso de desarrollo del visor de datos LIDAR.

Para un primer análisis exploratorio de estos datos, y de manera local, se utiliza la herramienta abierta LSTools: un procesador liviano de nubes de puntos en formato LAS, comprimidos en formato LAZ, entre otros. Este software es capaz de filtrar, convertir, recortar y triangular los datos LIDAR de una manera rápida y eficiente. Este análisis se lleva a cabo con el fin de chequear la integridad de los datos y de dimensionar las distintas categorías y ruido existente.

Los principales comandos utilizados fueron *lasview* para la visualización de las nubes de puntos, y *lasinfo* para obtener información detallada del archivo. A continuación, se muestra a modo de ejemplo la ventana de visualización de unos de los archivos, ejecutada mediante *lasview*:

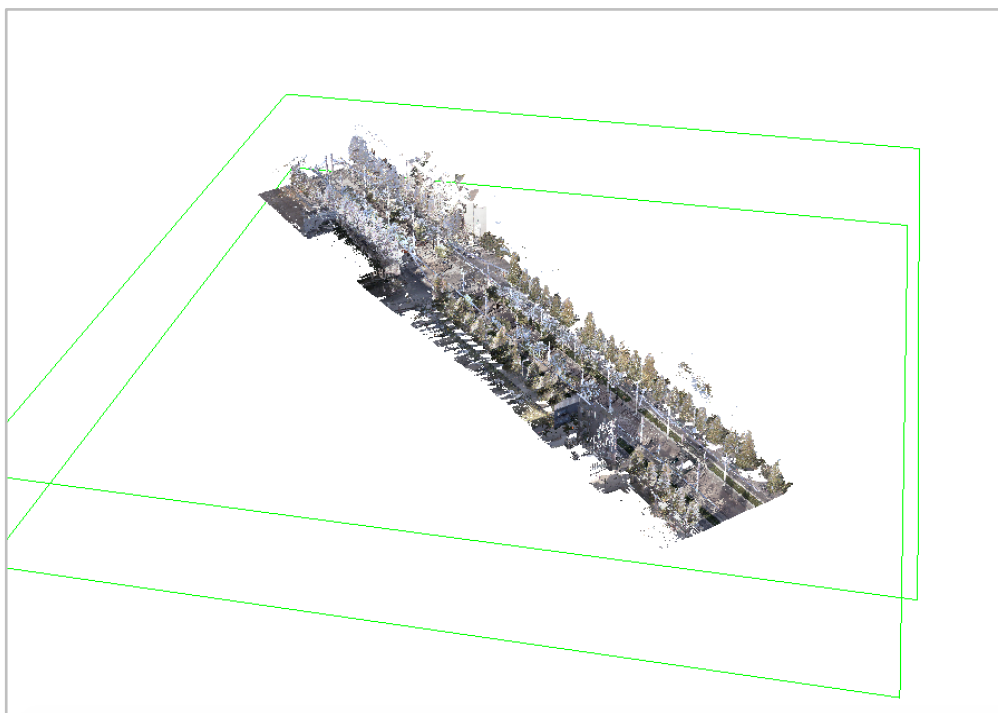


Figura 23. Vista de nube de puntos mediante el comando lasview de LASTools.

Del análisis exploratorio preliminar gracias a *lasinfo*, se verifica que todos los archivos LAS estén clasificados y no estén corrompidos.

Creación de LAS Datasets en ArcGIS Pro

Para la carga de los archivos LAS a ArcGIS Online, es necesario convertirlos a un formato compatible con la plataforma. Existen distintos formatos disponibles, pero para efectos de este trabajo los archivos LAS se transforman a LAS Dataset y posteriormente a Scene Layer Package, para poder alojarlos en ArcGIS Online y publicar una escena web.

Los LAS Dataset almacenan referencia a uno o más archivos LAS en el disco, y permiten visualizar rápidamente los datos LIDAR como nubes de puntos.

Estas transformaciones recién mencionadas se llevan a cabo desde ArcGIS Pro, bajo las herramientas "Create LAS Dataset" y "Create Point Cloud Scene Layer Package" (respectivamente) de la sección Data Management Tools de la caja de herramientas.

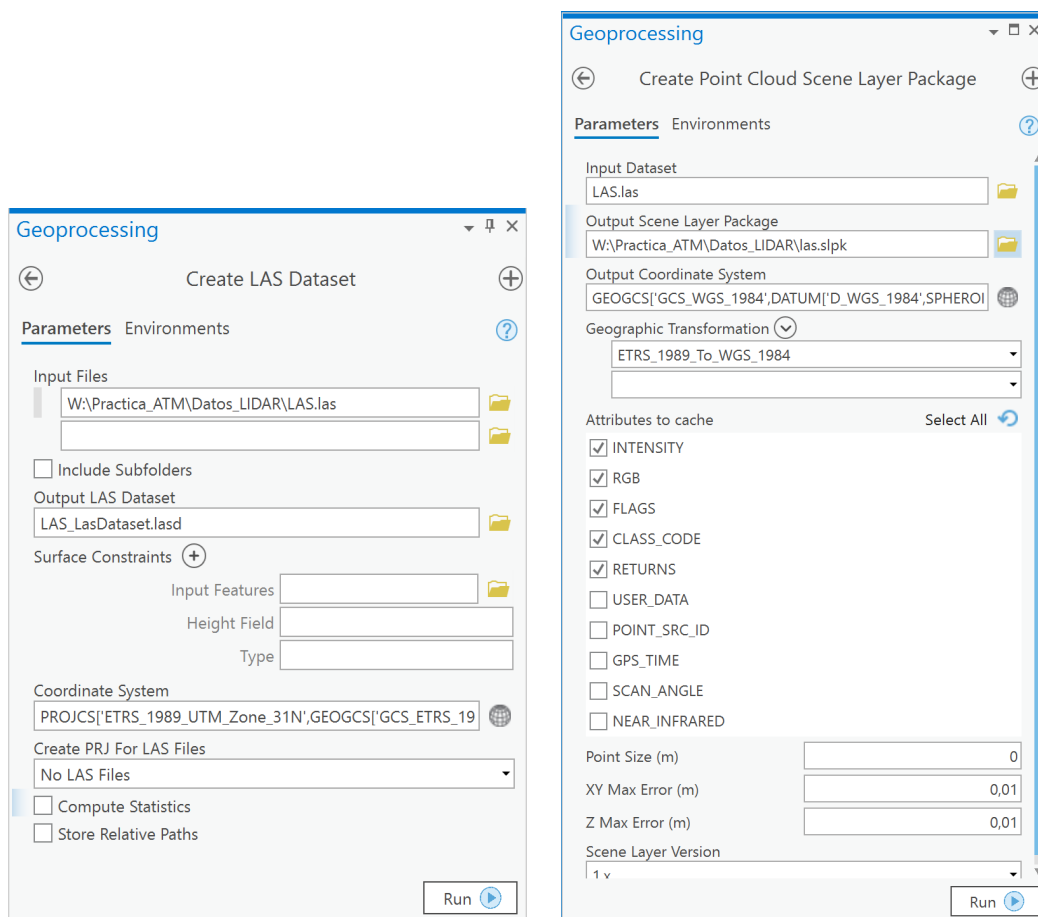


Figura 24. (Izquierda) Herramienta Create LAS Dataset en ArcGIS Pro.
(Derecha) Herramienta Create Point Cloud Scene Layer Package en ArcGIS Pro.

Cargar SLPK a ArcGIS Online

Una vez que se han generado los SLPK, se suben a la plataforma de ArcGIS Online de manera similar a la carga de los shapefiles de la sección 4.2.1.1. (ver Figura 25 a continuación), bajo la opción “Agregar elemento”.

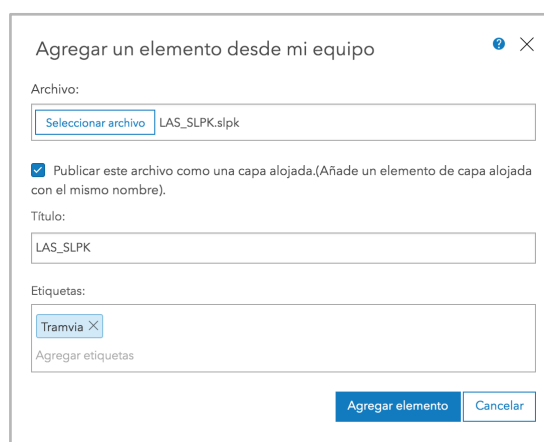


Figura 25. Carga de elementos dentro de ArcGIS Online.

Una vez que se cargan los 29 archivos SLPK, se agregan a un mismo Web Scene, que es el equivalente al web map para visualización 3D. Este Web Scene será el que posteriormente se utilice en las aplicaciones.

De manera similar al visor de capas detallado en el apartado 4.2.1.1., la aplicación para los datos LIDAR también se despliega desde Web App Builder. Aquí, se seleccionan la escena web que contiene las nubes de puntos del tranvía, y se agregan los widgets necesarios para asegurar la funcionalidad deseada: medidor de distancias y áreas. A continuación, se ilustran estas funciones dentro de la aplicación:



Figura 26. Visor web de datos LIDAR creado en ArcGIS Online.

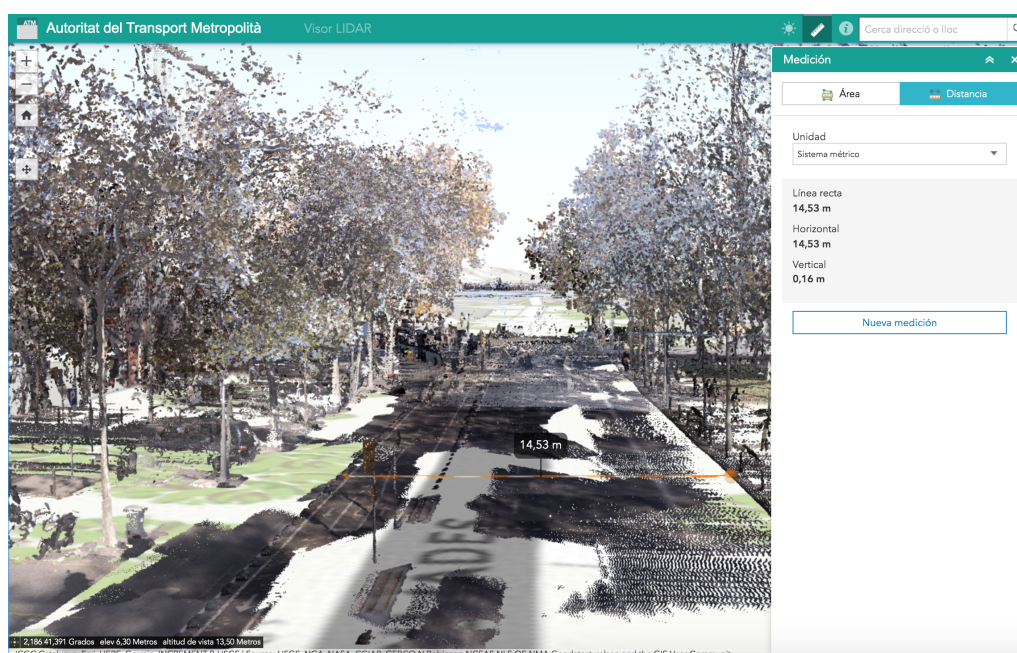


Figura 27. Herramienta de medición dentro de visor LIDAR.

Debido a la limitación técnica por parte de las herramientas disponibles en las aplicaciones de ESRI (en cuanto a visualización e interacción con los datos 3D), una alternativa a este visor LIDAR que entregaría mayor capacidad de análisis y exploración es Potree⁷. Este es un visor web de nubes de puntos, *open source* y que cuenta con una considerablemente mayor cantidad de funcionalidades en comparación con las aplicaciones ESRI. Por ejemplo, la visualización de la nube de puntos se hace a partir de octrees, tipo de partición de datos tridimensionales generalmente utilizado en la industria de los video juegos y animación, que permite una visualización más ágil y con mejor rendimiento ya que no es necesario cargar la totalidad de la nube de puntos - sólo las que son visibles desde el punto de vista definido. Además, dispone de una amplia biblioteca de herramientas de medición, tanto lineal como de área - bastante por sobre las herramientas de medición de ESRI actuales.

4.2.2. Parte II: Análisis de Datos

Desde la puesta en marcha de ambas redes del tranvía en 2004, hasta la actualidad, se ha mantenido registro de todos los accidentes que han tomado lugar en ellas y también de las inspecciones realizadas a la infraestructura por parte de empresas. Sin embargo, estos registros son ingresados de manera manual a un archivo local, el que periódicamente se entrega a la ATM para revisión.

La oportunidad de crear estos dashboards nace de la necesidad de permitir al usuario visualizar la base de datos de accidentalidad y de inspecciones, actualizadas, y obtener métricas básicas para identificar y medir patrones, zonas críticas u otros aspectos. Así, la parte central de los dashboards serán los mapas con los elementos georeferenciados de las bases de datos, la cual se apoyará con gráficas, cifras y listados.

Los datos a desplegar se dividen en 2: registros de accidentes relacionados con el tranvía, y por otro lado los registros de las inspecciones llevadas a cabo al tranvía. Como se mencionó, hasta el momento se disponía de esta información en archivos Excel, que debido a la falta de estandarización de la información no permitía su visualización geográfica y, aún menos, la obtención de métricas representativas.

En la Figura 28 se ilustra el proceso general de creación del dashboard de accidentes, que está compuesto por 4 partes principales: limpieza y preparación de los datos, geocodificación de los datos (en ArcGIS), unión de datos con modelo de datos de infraestructura del tranvía (en ArcGIS) y, por último, el despliegue en ArcGIS Online.

⁷ Potree: <http://www.github.com/potree/potree>

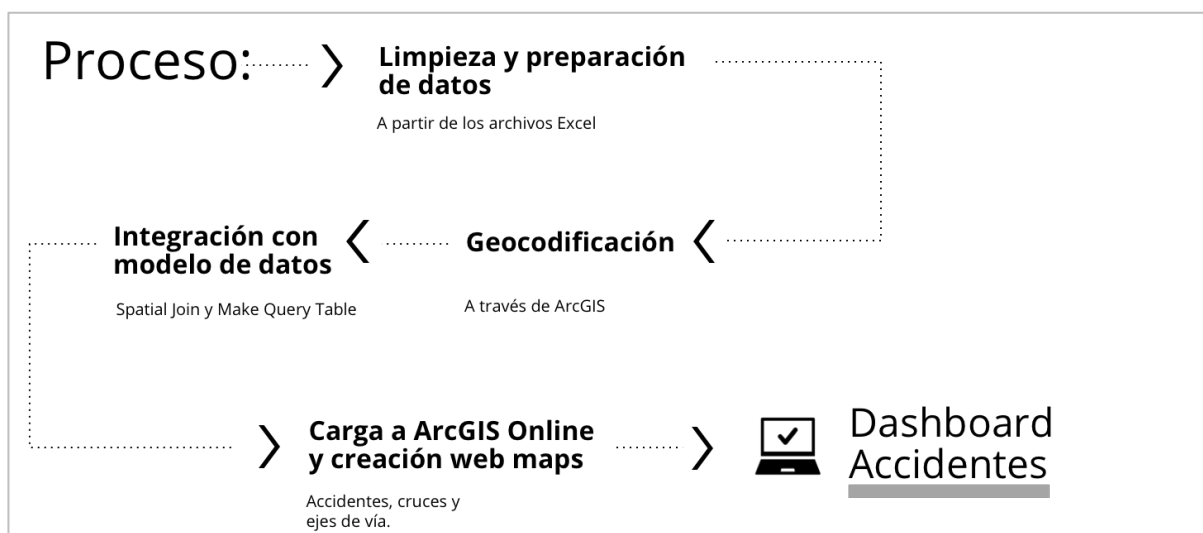


Figura 28. Esquema del proceso de desarrollo del dashboard de accidentes del tranvía.

En el caso del dashboard de inspecciones, el origen de los datos era distinto y, por lo tanto, el proceso de transformación y preparación fue distinto. Los registros de inspecciones se obtienen de un archivo espacial no proyectado por lo cual la geocodificación no es necesaria (pero sí la correcta proyección de los datos). El proceso general, ilustrado en la Figura 29, es: proyección de los datos, preparación de los datos, integración con el modelo de datos, carga de las capas a ArcGIS Online y, por último, el despliegue del dashboard y los web maps.



Figura 29. Esquema del proceso de desarrollo del dashboard de inspecciones en el tranvía.

A continuación, en los puntos 4.2.2.1 y 4.2.2.2, se detalla individual y respectivamente para cada dashboard el procedimiento ilustrado en los esquemas anteriores.

4.2.2.1. Base de datos de accidentalidad

En el caso de los accidentes, la información se encuentra separada en un fichero respectivo para cada red: Trambaix y Trambesòs. En ficheros Excel, se tiene un total de 1.326 registros: 803 para Trambaix, y 523 para Trambesòs. La estructura de los ficheros contiene la siguiente información para cada registro:

Tabla 4. Atributos de los registros de accidentes. En total, 12 atributos iniciales.

Atributo	Definición
Fecha	Fecha del accidente en formato dd-mm-yy
Hora	Hora registrada del accidente en formato hh:mm
Lugar	Ubicación (dirección) del accidente. En general lleva el formato de intersección entre dos calles, pero puede también hacer referencia a un lugar emblemático o a una rotonda, carretera, etc.
Municipio	Municipio del accidente
Causa de los hechos	Error humano, cruce fuera de paso de peatones, etc.
Daños personales	Sí/No
Estado accidentado	Leve, grave, muy grave, muerte.
Ubicación accidente	Vehículo contrario, cabina tranvía, etc.
Tipo daños materiales	Inapreciable, leve, medio, grave, muy grave.
Tipo de colisión	Colisión, caída, atropello.
Agente involucrado	Turista, moto, bicicleta, peatón, no determinado, etc.
Servicios parciales	Sí/No

El primer paso previo al análisis de datos, aunque sea un análisis exploratorio, es la limpieza y transformación de estos. Con limpieza se refiere a asegurar que no exista duplicidad de información ni datos corrompidos que puedan perjudicar el análisis general. En cuanto a la transformación, consiste en ajustes que se realizan a los datos con el fin de optimizar los posteriores análisis, como, por ejemplo: asegurar cierto formato para datos de tipo fecha.

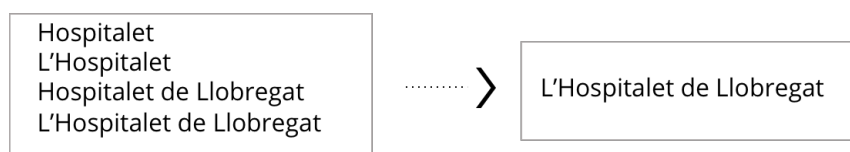
Al tratarse de un archivo Excel completado de manera manual, los atributos categóricos están expuestos a categorías duplicadas, por lo que es necesario unificar estas categorías.

La transformación de los datos consistió principalmente en:

- Formateo de fecha en formato ESRI
- Unificación de nombres de municipios y barrios
- Añadir información geográfica para geocodificador de ArcGIS

El proceso de modificar el atributo de “fecha” para separarla en día-mes-año tiene el objetivo de transformarlo al formato de ESRI y optimizar los filtros dentro del dashboard. El formato final es YYYY-mm-dd.

Luego, se unifican los nombres de municipios y barrios, para evitar duplicados en la información. Por ejemplo, en la base de datos inicial se contaba con las siguientes versiones que hacían referencia al mismo municipio (Hospitalet de Llobregat):



Por último, para una correcta geocodificación en ArcGIS, se necesita añadir la siguiente información para cada registro (de manera de asegurar una mayor exactitud en el proceso): Municipio, Provincia, País. Todos estos atributos se agregan a la tabla de registros como columnas nuevas de tipo texto.

Para manejar esta base de datos dentro de ArcGIS se debe tener en consideración la codificación de los datos, para evitar símbolos inesperados que entorpezcan el trabajo. En este caso, los datos deben codificarse en UTF-8 al momento de exportarse como un archivo CSV.

Una vez que los registros son importados a ArcGIS como un archivo dbf desde Catálogo, es posible geocodificarlos utilizando la herramienta de geocodificación desde ArcGIS. Esta herramienta se basará en los inputs descriptivos de la ubicación de cada elemento (como los atributos ubicación, municipio, barrio, ciudad, etc) para corresponderlo con el localizador de direcciones y generar una capa de puntos con estas ubicaciones. En las figuras a continuación se ilustra el cuadro de la herramienta:

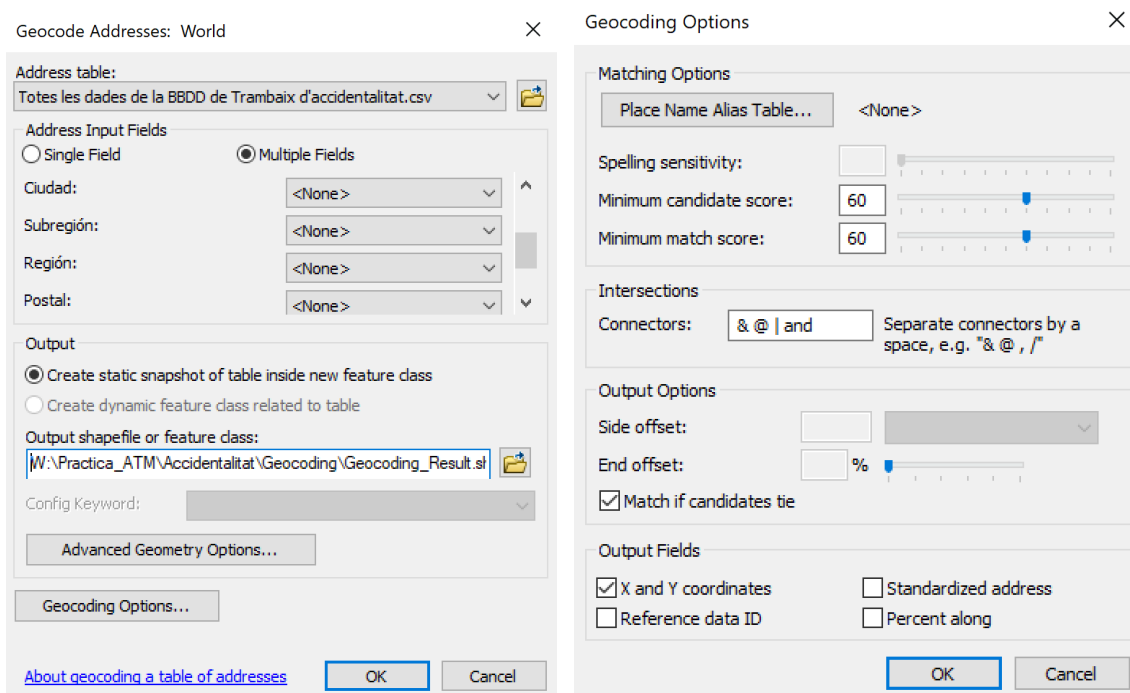


Figura 30. A la izquierda: Indicando el archivo .csv correspondiente a los accidentes, se añade la columna correspondiente a calle, barrio, municipio, ciudad, región, etc. También se indica la ubicación de la capa resultante. A la derecha: Se especifica los conectores para caso de intersecciones (&, @, | y 'and').

Este método presenta un margen de error por razones de calidad de los datos: las direcciones iniciales de los registros no presentan el formato necesario y carecen de precisión, por lo que la herramienta podría requerir mayor información para localizarlas y resulte en una ubicación final muy aproximada al lugar de los hechos. Por otro lado, por esta misma razón, al no entregar detalle de la ubicación exacta se podría confundir por otra ubicación de características parecidas dentro del mismo municipio, o incluso dentro de otro. Una primera aproximación de la escala de este error se obtiene del porcentaje de exactitud⁸ de la georeferenciación entregada por la herramienta. En general, este porcentaje varía entre el 40% y 70%. Este número evidencia el error presente en la asignación de ubicaciones debido a la baja calidad de los datos iniciales.

La corrección de los errores de geolocalización se compone principalmente de dos pasos: el primero de ellos un análisis visual inicial para detectar los casos más evidentes (fuera de los municipios del tranvía, por ejemplo) y el segundo una comparación, también visual, entre la capa de accidentes y la capa de municipios. Al identificar aquellos puntos geocodificados erróneamente, es posible reubicarlos manualmente dentro de ArcGIS.

⁸ Exactitud de georeferenciación: (cantidad de direcciones emparejadas/total de direcciones) *100

Una vez que los registros están en su ubicación definitiva, se procede a asignarlos a la intersección más cercana. Esto se hace asumiendo “la ventana de posibilidades” que proviene de la baja calidad del dato registrado y falta de detalle de la ubicación. Se asocian a intersecciones, en vez de paradas de la red, ya que entre paradas consecutivas pueden haber más de 1 intersección y, además, los accidentes están mayoritariamente relacionados con cruces de peatones y otros vehículos (no en aquellas ubicaciones donde el tranvía está detenido).

Utilizando la herramienta *Spatial Join*, desde ArcGIS, es posible unir espacialmente la capa de puntos de accidentes con la capa de puntos de intersecciones del modelo de datos, bajo el criterio de *closest* (más cercana). Como resultado, se asocia cada uno de los accidentes a una (y sólo una) intersección, añadiendo el atributo que hace referencia a este. En la Figura 31 a continuación se ilustra el resultado de los accidentes geolocalizados (rojo) y las intersecciones más cercanas.

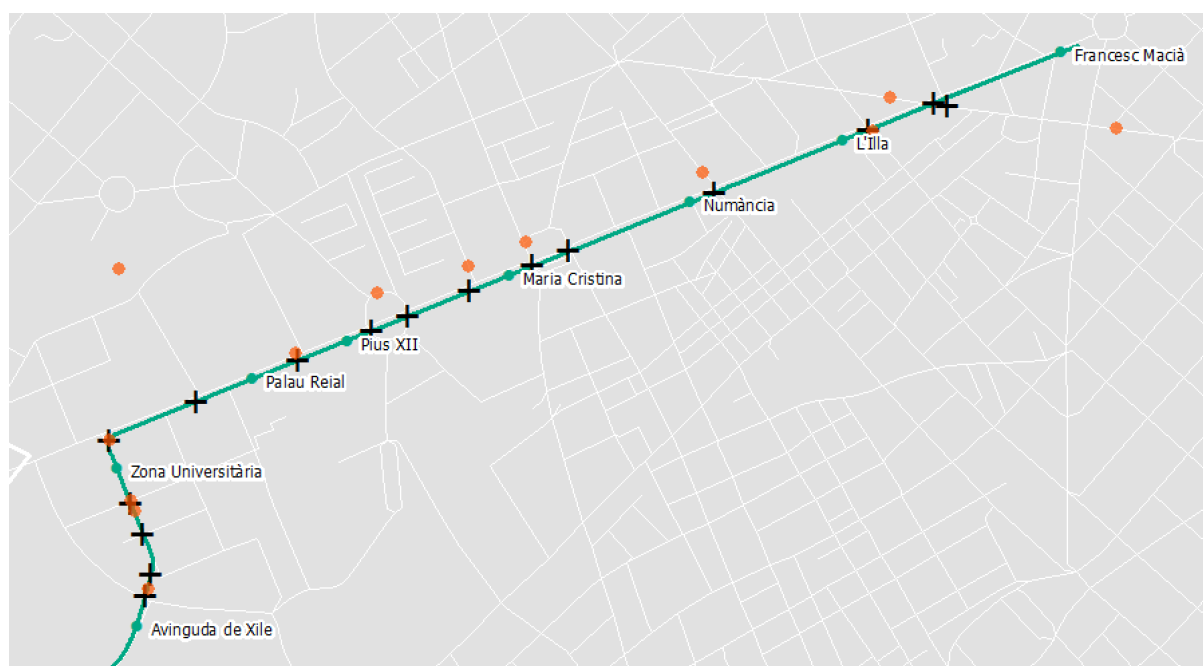


Figura 31. En rojo, registros de accidentes unidos a intersección más cercana.

Dado que se desea ubicar a los accidentes en la misma ubicación geográfica que la intersección asociada, es necesario utilizar la herramienta *Make Query Table*, para manejar relaciones 1:N. Esta herramienta atribuye a la tabla de atributos del lado N, la ubicación del elemento del lado 1. Así, como se observa en la Figura 32, los N accidentes asociados a la misma intersección se “apilan” sobre ella, pero dentro de una misma capa vectorial. De esto se obtiene una capa vectorial de 803 puntos (correspondiente a los accidentes de la red Trambaix) y una segunda capa vectorial de 523 puntos (correspondiente a la red Trambesòs).

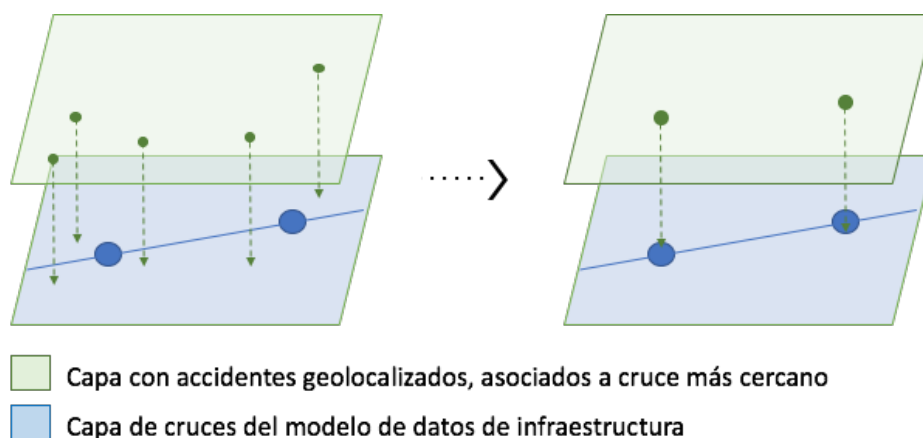


Figura 32. Esquema de proceso llevado a cabo por Make Query Table para resolver el problema de relaciones 1:N. La capa final de accidentes (derecha) posiciona a los N accidentes en la misma ubicación que el cruce asociado.

Para unificar estas capas de puntos (para ambas redes del tranvía) se utiliza la herramienta *Merge* de la caja de herramientas *Data Management*. Como resultado, lo que se obtiene es una única capa vectorial de puntos con los 1.326 accidentes para toda la red del tranvía. La tabla de atributos de esta capa final es similar a la inicial (ver Tabla 4), pero se añade a esta la información relacionada a la intersección asociada a cada registro y a la dirección obtenida de la georeferenciación. Los atributos agregados a la tabla final se muestran a continuación, en la Tabla 5:

Tabla 5. Atributos de intersección del modelo de datos, agregados a la capa de accidentes.

Atributo	Descripción	Tipo
Codi_Actiu	Código identificador de la intersección, obtenido del modelo de datos.	Texto
Xarxa	Red del tranvía a la cual pertenece la intersección (Trambaix o Trambesòs). Obtenido del modelo de datos.	Texto
Direcció	Dirección obtenida del proceso de georeferenciación en ArcGIS.	Texto

De manera similar a la carga de capas en la sección 4.2.1.1, esta capa de accidentes se carga a ArcGIS Online en formato shapefile comprimido y se añade como capa alojada. De esta forma, es posible añadirla a un web map el cual luego servirá como base para el dashboard y sus aplicaciones. Además de los accidentes, se agrega la capa de eje de plataforma y de paradas, a modo de contexto para el usuario.

Desde la pestaña +Crear, en ArcGIS Online, se abre una plantilla de Operations Dashboards. Luego de agregar el mapa base que contiene la capa de accidentes, se configuran los

widgets. En la Figura 33, se muestra la estructura final del dashboard y, a continuación, el detalle y funcionalidad de cada una de las partes:

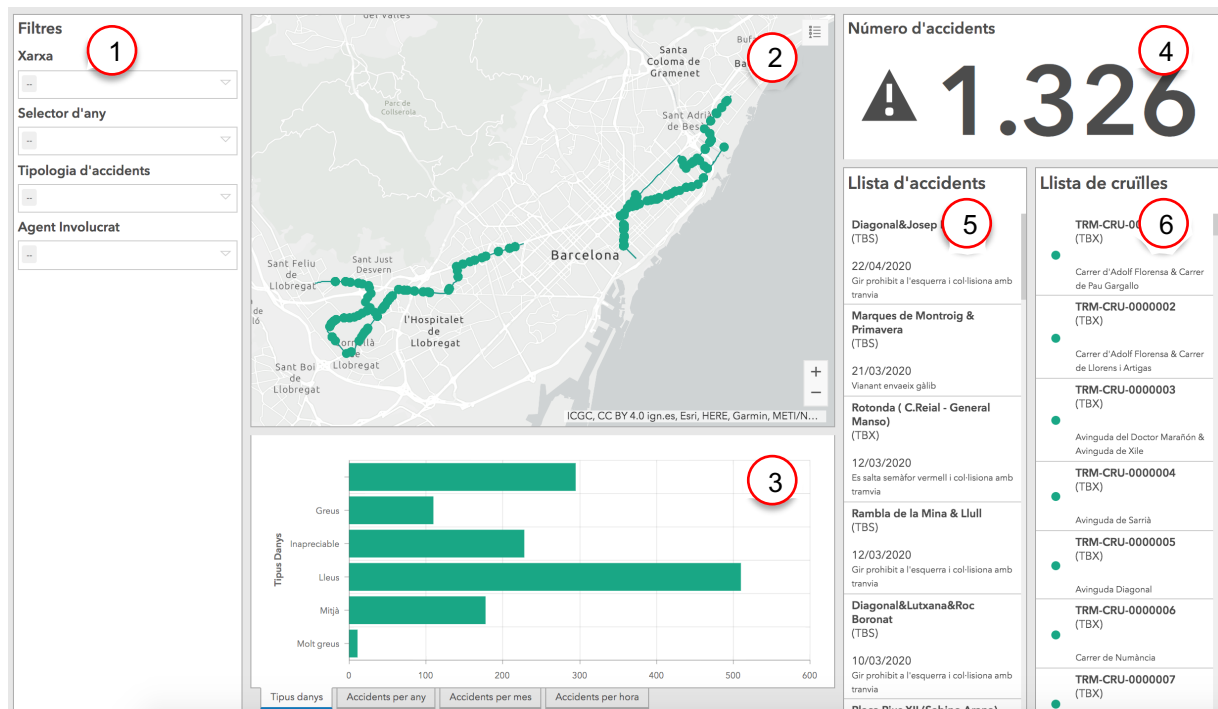


Figura 33. Dashboard accidentes. (1) Contador de accidentes. (2) Lista de accidentes. (3) Lista de cruces. (4) Gráficas. (5) Filtros.

1. Filtros varios

Los filtros dentro del dashboard permiten al usuario seleccionar datos dentro de la capa de accidente, de acuerdo a atributos como red, año, tipología de accidente y agente involucrado. Cualquiera de estos filtros, al ser accionado, actualiza el resto de las partes del dashboard de manera automática: el mapa y la capa de accidente, el contador de accidentes, la lista de accidentes, la lista de intersecciones y las gráficas. Por ejemplo, al seleccionar Xarxa Trambaix y año 2019, se ve que el contador de accidentes disminuye a 15, y que el resto de los componentes se ajustan:

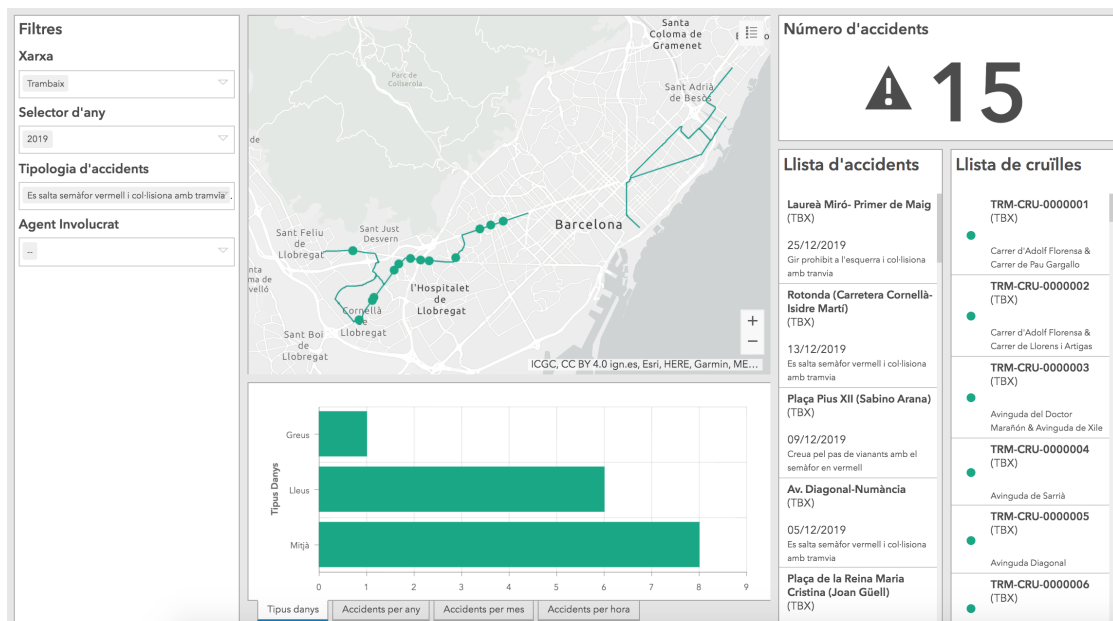


Figura 34. Filtros aplicados dentro del dashboard de accidentes: Red Trambaix, dentro del año 2019, con una tipología de accidente específica.

2. Mapa

Mapa que contiene las capas de accidentes, intersecciones y eje de vía. se actualiza al interactuar con los filtros, gráficas y listas del dashboard. Además, los elementos emergentes en él brindan toda la información del registro proveniente de la base de datos.

3. Gráficas

Las gráficas cumplen la función de entregar al usuario métricas clave que describan el comportamiento de los datos y permitan extraer información de forma visual. Las 4 gráficas escogidas son:

- Tipos de daños
- Accidentes por año
- Accidentes por mes
- Accidentes por hora

4. Contador de accidentes

Contador de accidentes desplegados en el dashboard, ajustable por aplicación de filtros y también por selección directa dentro de listas y gráficas (widgets número 2, 3, 4 y 5). El usuario, al interactuar con cualquiera de estas funcionalidades dentro del dashboard, es capaz de actualizar el número visible en este contador.

5. Lista de accidentes

Listado de accidentes en el mapa, junto con información relacionada: ubicación, red, fecha y causa. Los elementos de esta lista, al ser seleccionados, interactúan con el resto de partes del dashboard, actualizando el mapa, la lista de intersecciones y las gráficas.

6. Lista de intersecciones

Listado de intersecciones en el mapa, junto con información relacionada: ubicación y red. Los elementos de esta lista, al ser seleccionados, interactúan con el resto de partes del dashboard, actualizando el mapa, la lista de intersecciones y las gráficas.

Para aprovechar al máximo la funcionalidad de este dashboard, se desarrolla una versión móvil de él, responsivo para pantallas pequeñas y pensado para usuarios que deseen ingresar en terreno o fuera del escritorio. Esto se hace a través de una plantilla de la herramienta Experience Builder de ArcGIS. Así, con un mismo vínculo de ingreso, el cuadro de mando se adaptará automáticamente a la pantalla del usuario.

4.2.2.2. Base de datos de inspecciones

Los datos de inspecciones entregados por la empresa provienen, al igual que los datos de accidentes, de un origen estático. La diferencia, en este caso, es que los registros ya están geolocalizados y se encuentran dentro de un archivo espacial en formato shapefile. Sin embargo, estos se encuentran sin coordenadas geográficas ni proyección, por lo que se debe llevar a cabo un procedimiento de transformación de datos antes de poder utilizarlos dentro de ArcGIS Online. La estructura de los ficheros contiene la siguiente información para cada registro:

Tabla 6. Atributos de los registros de inspecciones. En total, 12 atributos iniciales.

Atributo	Definición
Código	Código identificador de la inspección
Ubicación	Dirección de la inspección
Pal_catenaria	Identificador de palo de catenaria asociado
Elemento	Carril/Plataforma
Incidencia	Descripción de la incidencia

Cualificación	Leve/Moderada
Estado	Pendiente/Resuelta
Última inspección	Fecha de la última inspección
F_archivo	Imagen relacionada a la inspección
Observación	Descripción de las observaciones de la inspección
Tipo	Tipo de inspección. Por ejemplo: mantenimiento.
Responsable	Trambaix/Trambesòs

La primera etapa de transformación y preparación de datos, como se mencionó, tiene el objetivo de ajustar la proyección al modelo de datos y asegurar una correcta representación geográfica de ellos. Esto se hace desde ArcGIS, siguiendo dos pasos principales:

1. Definir sistema de coordenadas geográficas WGS84
2. Definir proyección a coordenadas UTM ETRS89 31N

La segunda etapa de preparación, similar a los datos de accidentes, consiste en configurar el atributo de fecha para convertirlo a formato ESRI y facilitar la visualización filtrada por fechas dentro del dashboard. El formato final es YYYY-mm-dd.

La capa resultante de inspecciones se carga a ArcGIS Online en formato shapefile comprimido y se añade como capa alojada. De esta forma, es posible añadirla a un web map el cual luego servirá como base para el dashboard y sus aplicaciones. Además de las inspecciones, se agrega la capa de eje de plataforma para brindar contexto al usuario.

Desde la pestaña +Crear, en ArcGIS Online, se abre una plantilla de Operations Dashboards. Luego de agregar el mapa base que contiene la capa de accidentes, se configuran los widgets. En la Figura 35, se muestra la estructura final del dashboard y, a continuación, el detalle y funcionalidad de cada una de las partes:

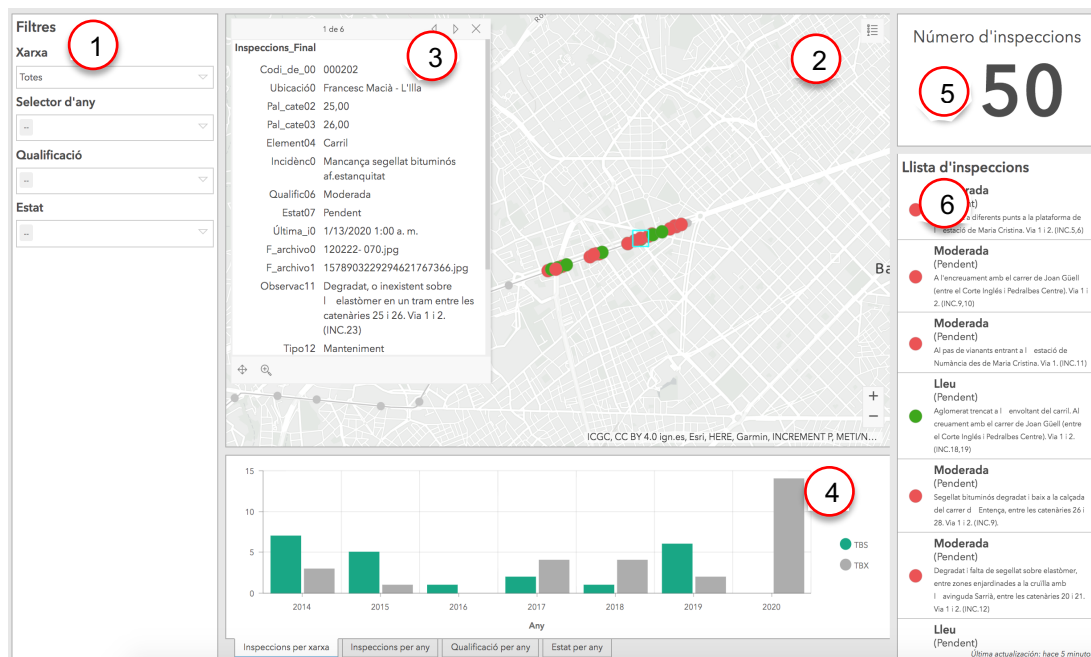


Figura 35. (1) Filtros. (2) Mapa. (3) Elemento emergente. (4) Gráficas. (5) Contador de inspecciones. (6) Lista de inspecciones.

1. Filtros varios

Similar a los filtros del dashboard de accidentes: filtra por red, fecha, cualificación de la inspección y el estado de ésta. Interactúa con el resto de elementos del cuadro.

2. Mapa

Mapa que contiene las capas de inspecciones y eje de vía. se actualiza al interactuar con los filtros, gráficas y listas del dashboard.

3. Elemento emergente

Ventana emergente con toda la información del elemento, proveniente de la base de datos.

4. Gráficas

Las gráficas cumplen la función de entregar al usuario métricas clave que describan el comportamiento de los datos y permitan extraer información de forma visual. Las 4 gráficas escogidas son:

- Inspecciones por red
- Inspecciones por año
- Cualificación por año

d. Estado por año

5. Contador de inspecciones

Contador de accidentes desplegados en el dashboard, ajustable por aplicación de filtros y también por selección directa dentro de listas y gráficas (widgets número 2, 3, 4 y 5). El usuario, al interactuar con cualquiera de estas funcionalidades dentro del dashboard, es capaz de actualizar el número visible en este contador.

6. Lista de inspecciones

Listado de accidentes en el mapa, junto con información relacionada: ubicación, red, fecha y causa. Los elementos de esta lista, al ser seleccionados, interactúan con el resto de partes del dashboard, actualizando el mapa, la lista de intersecciones y las gráficas.

Como es posible ver a partir de las aplicaciones resultantes, se busca mantener la estructura entre ambos dashboards, para mejorar la experiencia del usuario y mantener una coherencia en las aplicaciones destinadas al análisis y visualización de datos.

En el mismo eje de brindar cohesión a estas aplicaciones, se utiliza la herramienta de ArcGIS Online Experience Builder para crear una única aplicación y permitir:

1. Que el usuario sea capaz de ingresar a ambos dashboards desde un único link (similar a la aplicación de Story Maps dividido en pestañas).
2. Que la aplicación final sea responsiva y se adapte al entorno desde el cual se accede. Cabe mencionar que la versión móvil de la aplicación debe disminuir sus funcionalidades para conservar la integridad y usabilidad (considerando, además, que el usuario objetivo de esta versión no hará uso de toda la información del dashboard y, por lo tanto, sólo se debe mantener la más importante).

La versión final de la aplicación, en versión de escritorio, se ilustra en la Figura 36. La versión móvil, en la Figura 37.

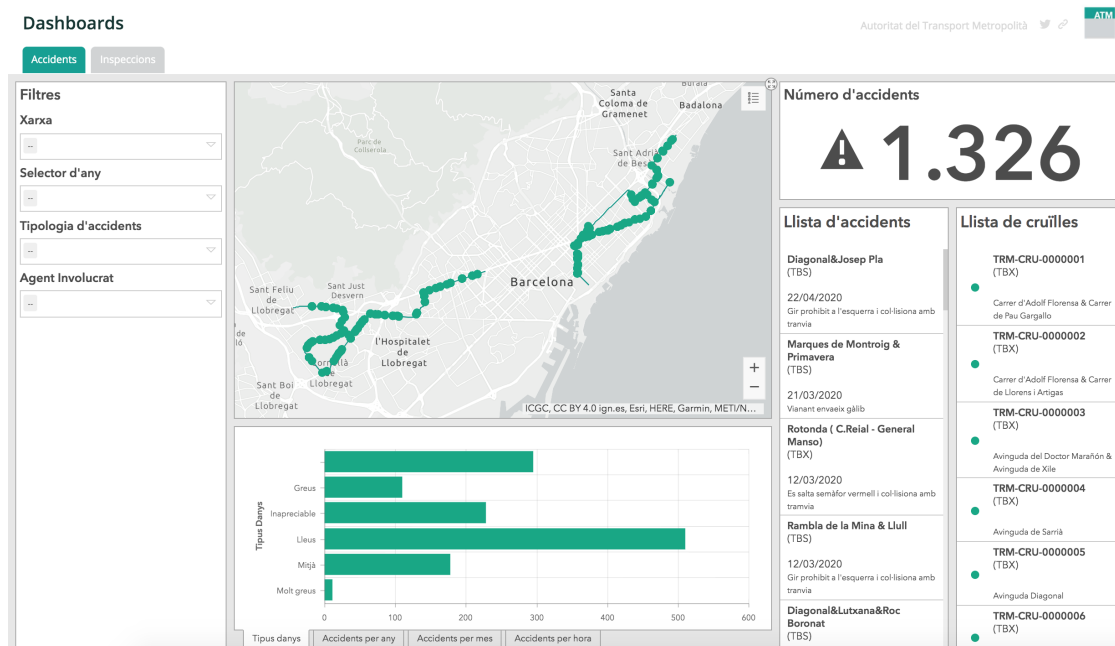


Figura 36. Versión escritorio. Integración de ambos dashboards en una misma aplicación. En la esquina izquierda superior, las pestañas de navegación.

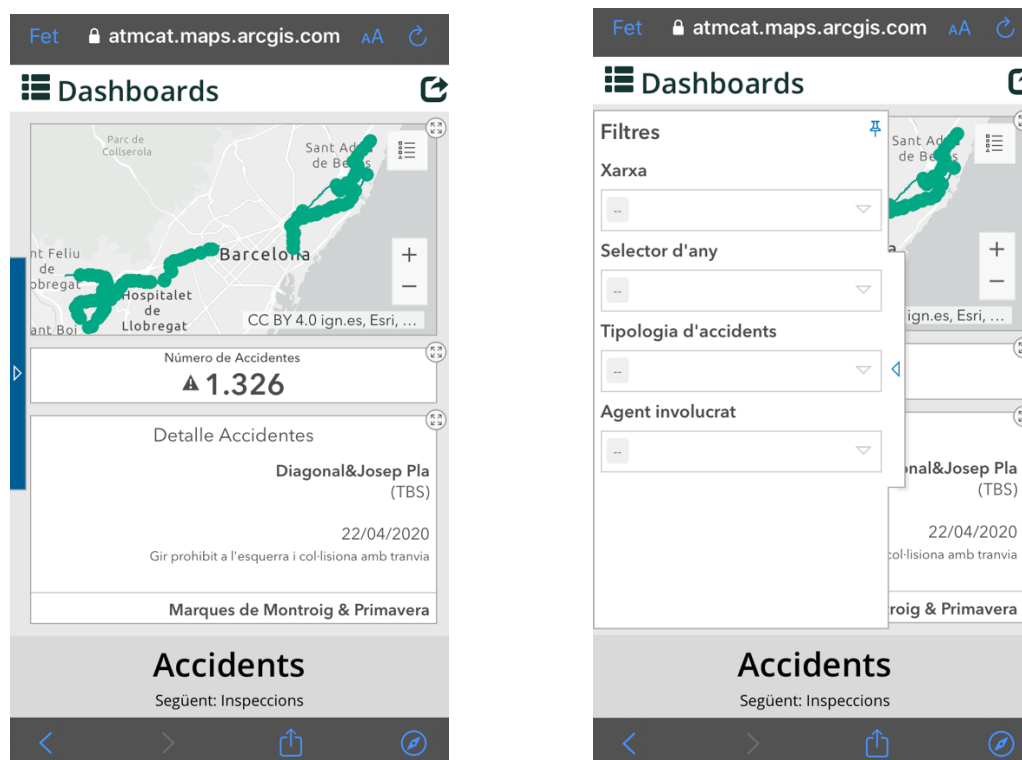


Figura 37. Versión móvil de aplicación de dashboards, creada en Experience Builder. A la derecha, menú desplegable de filtros.

4.2.3. Parte III: Integración

La tercera y última parte del proyecto de fin de máster se enfoca en brindar cohesión a éste, y proponer medidas futuras para la integración de los productos generados dentro de distintos escenarios de la empresa. Esto, para asegurar la utilidad y capacidad de adaptación de las aplicaciones.

Por un lado, se detalla la plataforma creada para unificar todas las aplicaciones creadas. Luego, se mencionan mejoras alternativas al trabajo capaces de garantizar la usabilidad de estas aplicaciones con datos en tiempo real y alojada en la nube (cabe recordar que la información sobre la cual se fundan estas herramientas es estática).

4.2.3.1. Hub Site for ArcGIS

Para unificar todas las partes de este proyecto y crear una herramienta final cohesiva, se despliegan todas las aplicaciones desde una única página: un Site Hub de ArcGIS. Esta última consiste en un portal configurable desde el cual se pueden publicar los accesos directos a cada aplicación y todo tipo de información relacionada con la organización. El objetivo principal de esta página sería facilitar la difusión del proyecto de digitalización del tranvía y el acceso del usuario a cada una de las aplicaciones (un único link).

A continuación, se muestra la estructura de la página principal de la página, y el acceso a cada aplicación:

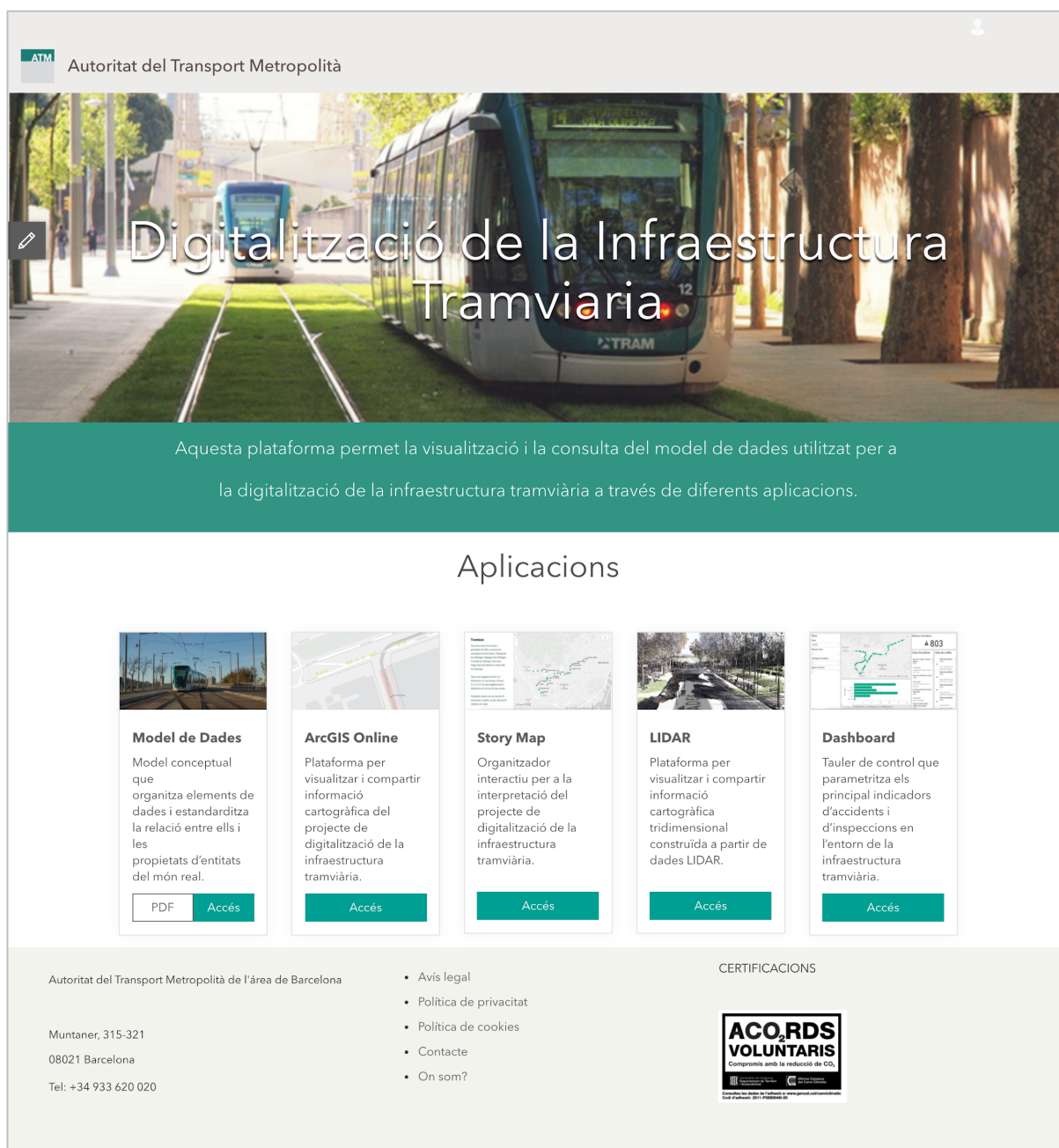


Figura 38. Siguiendo los colores institucionales, el portal muestra el acceso directo a las aplicaciones creadas: modelo de datos (versión web y PDF descargable), plataforma ArcGIS Online, Story Map, Visro LIDAR y Dashboards.

Para el modelo de datos en versión digital, fue necesario recrear el documento original dentro de una página web estática alojada en Github Pages. Al tratarse de una página web estática, es posible incluir todo el modelo de datos, tablas, imágenes y referencias dentro de ella. El código de la página, que contiene la misma estructura y grupos que el modelo de datos, fue escrito y publicado utilizando Mkdocs⁹ (Ver Anexos).

⁹ Generador de sitios web estáticos, enfocado en la publicación de documentación de softwares y proyectos. (<https://www.mkdocs.org/>)

4.3.3.2. Integración con datos reales

4.3.3.2.1. Plataforma ArcGIS Online

La plataforma ArcGIS Online desarrollada en este proyecto se basa en capas de un archivo espacial estático, es decir, este archivo no se encuentra en un servidor de la empresa. La manera de adaptar esta plataforma sería actualizar las capas alojadas, por su equivalente en la base de datos del servidor de ATM.

4.3.3.2.2. Dashboards

De manera análoga a la integración de la plataforma ArcGIS Online, descrita en la sección 5.1, los dashboards generados están vinculados a capas alojadas obtenidas de archivos estáticos y, por lo tanto, deben actualizarse estas capas para conectarse en tiempo real a los datos.

Actualmente, para ambos dashboards, la información proviene de datos dentro una plantilla Excel, la cual se actualiza periódicamente de manera manual por parte de las empresas colaboradoras. Esto, además de significar bastante esfuerzo para mantener correctamente actualizada la base de datos, es una fuente de error que permite duplicación de atributos y entorpecen la eventual geocodificación.

En ambos casos, sólo algunos de los elementos presentes en la base de datos se encuentran correctamente vinculados a algún elemento existente del modelo de datos (como paradas, intersecciones o palos de catenaria, por ejemplo). La principal dificultad para representar geográficamente estos registros radica en el error vinculado a la geolocalización por parte de ArcGIS, y la incapacidad de asignar una ubicación correcta.

Como solución, se deben resolver estas dos problemáticas: el ingreso manual de los registros, y la estandarización de los atributos. A continuación, se detallan dos posibles medidas de integración a implementar en el futuro: la aplicación móvil de ESRI para captura de datos Collector for ArcGIS, y estandarizar las plantillas Excel de registros para ambas bases de datos.

4.3.3.2.2.1. Collector for ArcGIS

Collector for ArcGIS, como ya se mencionó, es una aplicación móvil para captación de datos que se conecta al servidor de ArcGIS Online e incluso permite la captura de datos offline. Mediante una interfaz simple y didáctica, la aplicación permite al usuario ingresar datos exactos en tiempo real, ya sea en el campo o en la oficina.

Esta aplicación, diseñada especialmente para la captura de datos en terreno, cuenta con diversas modalidades, entre ellas las de ingreso de nuevos datos (en el caso de los registros de accidentes) y control de datos existentes (en el caso de los registros de inspecciones).

El funcionamiento de la aplicación se basa en la conexión a un web map, al cual el usuario tenga acceso, y una capa alojada editable. Esta capa alojada puede contener atributos categóricos que faciliten el ingreso de datos por parte del usuario, y se sincroniza automáticamente en todas las plataformas.

3.2.2.2. Ingreso Manual

La principal etapa, si no la más importante, al momento de trabajar con grandes cantidades de datos es la transformación y limpieza de ellos. Se deja en evidencia en este documento que la falta de estandarización de las bases de datos de accidentes e inspecciones genera un problema al momento de geocodificarlos y visualizarlos, ya que conlleva un margen de error considerable debido a las decisiones que se toman al momento de tratar los datos originales.

Lo que se propone es continuar con el ingreso de datos de manera manual, en el mismo formato de plantilla Excel, pero bajo una estructura estandarizada enfocada en la futura geolocalización de los datos y la importación a ArcGIS Online (u otras bases de datos). Al definir previamente los atributos categóricos y el estándar mínimo de ubicación del registro (por ejemplo, exigiendo el ingreso del código de intersección asociado), disminuye considerablemente este error y agiliza el proceso de carga de datos al dashboard.

5. Conclusiones

El proyecto de fin de máster ayudará de una manera eficiente a la empresa colaboradora, ya que cumple exitosamente con los objetivos definidos, tanto generales como específicos. Mediante las aplicaciones desarrolladas a partir del modelo alojado en ArcGIS Online, la empresa será capaz de compartir el contenido de la base de datos de infraestructura del tranvía de una manera rápida y de fácil acceso para cualquier tipo de usuario. La base de datos de accidentes e inspecciones se ha estandarizado para su manejo dentro de ArcGIS Online, y la empresa cuenta con dashboards que le permitirán su análisis y la obtención de métricas clave a partir de esta.

En un futuro cercano, se espera que la información del modelo de datos y las bases de datos de accidentes e inspecciones se alojen en un entorno privado de la ATM, desde el cual se puedan importar hacia las aplicaciones ya creadas, sin comprometer la estructura de ellas. Las aplicaciones creadas son completamente escalables y adaptables a migraciones de datos. Además, se proponen mejoras para el sistema de ingreso de datos de accidentes e inspecciones, considerando que los métodos actuales son poco eficientes y promueve los errores relacionados con la geolocalización de los datos. Por un lado, y siguiendo en el marco de herramientas ESRI, se propone el uso de Collector for ArcGIS: una aplicación móvil integrada con la plataforma ArcGIS Online que permite el registro de datos en terreno. Como alternativa, se propone estandarizar los formularios de ingreso a la base de datos para asegurar un nivel mínimo de precisión en su localización.

Las limitaciones presentes en el desarrollo de este proyecto fueron principalmente técnicas: por un lado, ante la situación mundial pandémica el acceso a ciertos archivos se vio dificultado debido a tamaño y capacidad de envío; por otro lado, en pie de desarrollar las aplicaciones dentro del entorno ESRI, sus propias limitaciones de herramientas y software afectaban directamente este trabajo. Por ejemplo, la incapacidad de aplicar simbologías dinámicas en base a filtros dentro del dashboard limita una de las funcionalidades esperadas de esta aplicación. Las fuentes de error de este trabajo provienen principalmente de la geolocalización de las ubicaciones de la base de datos de accidentes e inspecciones. Para obtener una visión macro de la red del tranvía este error se podría considerar nimio, pero para el estudio de zonas o barrios específicos, este error puede producir ruido en el análisis.

Este proyecto pone en valor cómo una infraestructura física, así como el sistema de tranvía del área de Barcelona, puede y debe contar con un modelo digital de su infraestructura al cual se pueda acceder desde la web. Contar con aplicaciones de visualización de los datos cartográficos y LIDAR permite "examinar su diseño, testear cambios potenciales, así como detectar errores no identificables en la vida real" (Martin, 2020).

6. Bibliografia

1. ATM (2019): *Evolució de la demanda del tramvia Metropolità*. Autoritat del Transport Metropolità. Barcelona.
2. Infraplan (2018): *Integración de la información de las redes del tranvía del área metropolitana de Barcelona en un Sistema de Información Geográfica (Propuesta Técnica)*. Infraplan. Barcelona.
3. García, Ane (2019): *Integración de la información de las redes del tranvía del Área Metropolitana de Barcelona en un Sistema de Información Geográfica*. Universitat Autònoma de Barcelona.
4. Miralles, Ignacio (2018): *Renovación del contenido cartográfico de la web Parque Natural de Collserola mediante ArcGIS Online*. Universitat Autònoma de Barcelona.
5. Martin, Jordi y Cabrera, Eduard (2020): *La digitalización de la infraestructura tranviaria del área metropolitana de Barcelona*. Autoritat del Transport Metropolità. Barcelona.
6. "ArcGIS API for Python", ArcGIS for Developers. [Online]: <https://developers.arcgis.com/python/>
7. "Configure your first dashboard", Esri Community. [Online]: <https://community.esri.com/community/gis/applications/arcgis-dashboards/blog/2017/12/07/configure-your-first-dashboard>
8. "Some Example Operations Dashboard for ArcGIS Apps & Resources", ArcGIS Blog. [Online]: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/ops-dashboard/decision-support/some-example-operations-dashboard-for-arcgis-apps-resources/>
9. "¿Qué es un dataset LAS?", ArcGIS Pro. [Online]: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/las-dataset/what-is-a-las-dataset-.htm>
10. "LASTools lasview", LASTools. [Online] Available: http://lastools.org/download/lasview_README.txt
11. "LASTools lasinfo", LASTools. [Online] Available: http://lastools.org/download/lasinfo_README.txt

7. Anexos

1. Inventario Modelo de Datos de la Infraestructura del Tranvía, con grupos y subgrupos (en paréntesis, la cantidad de elementos respectivos).

I. Obra Civil (39.088)

1. Dominio Público (195)
 - i. Infraestructura tranviaria (193)
 - ii. Franja de protección (2)
2. Trazado (2.784)
 - i. Eje de plataforma (23)
 - ii. Eje de vía (82)
 - iii. Carriles (526)
 - iv. Gálibo libre de obstáculos (64)
 - v. Geometría de los ejes de vía en planta (1.123)
 - vi. Geometría de los ejes de vía en alzado (966)
3. Paradas (1.926)
 - i. Andana (95)
 - ii. Marquesina (93)
 - iii. Mueble técnico (95)
 - iv. Cuadro eléctrico (58)
 - v. Armario de telecomunicaciones (56)
 - vi. Distribuidor automático de billetes (111)
 - vii. Sistema de información al viajero (122)
 - viii. Sistema de interfonía (116)
 - ix. Sistema de megafonía (56)
 - x. Escaparate (241)
 - xi. Escalera mecánica (2)
 - xii. Ascensor (3)
 - xiii. Barandilla (142)
 - xiv. Papelera (206)
 - xv. Banco (474)
 - xvi. Nombre de parada (56)
4. Pavimentación (2.687)
 - i. Pavimento (2.687)
5. Sistema de riego (15.910)
 - i. Arquetas (338)
 - ii. Canalizaciones (8.710)
 - iii. Acometidas (44)
 - iv. Punto de riego (6.604)
 - v. Armario de riego (16)
 - vi. Elementos de medida y telegestión (157)

- vii. Programadores (41)
- 6. Sistema de drenaje (10.176)
 - i. Arquetas (1.390)
 - ii. Drenajes centrales y laterales (3.880)
 - iii. Reja (841)
 - iv. Tubo de desguace (1.454)
 - v. Imbornal de plataforma (271)
 - vi. Drenaje vertical (1.697)
 - vii. Punto de conexión (643)
- 7. Sistema de iluminación (5.410)
 - i. Líneas (1.696)
 - ii. Puntos de luz (2.502)
 - iii. Columnas (1.060)
 - iv. Elementos LED de parada (110)
 - v. Cuadros municipales (42)

II. Sistemas Tranviarios (10.069)

- 1. Catenaria (2.481)
 - i. Seccionadores (21)
 - ii. Línea aérea de contacto (173)
 - iii. Palo de catenaria (1.527)
 - iv. Sujeciones (269)
 - v. Pórticos (155)
 - vi. Tensores (336)
- 2. Multitubular (2.906)
 - i. Arquetas (1.264)
 - ii. Prisma (1.642)
- 3. Energía (236)
 - i. Feeder (30)
 - ii. Indicadores de tensión (48)
 - iii. Armarios (110)
 - iv. Cableado de distribución (48)
- 4. Subestaciones (170)
 - i. Obra civil (13)
 - ii. Transformadores (31)
 - iii. Celdas de media tensión (15)
 - iv. Rectificadores de corriente eléctrica (18)
 - v. Cargadores y baterías (15)
 - vi. Cuadro de baja tensión (13)
 - vii. Cuadro de control (14)
 - viii. Cuadro de seccionadores (12)
 - ix. Disyuntores de la subestación (21)
 - x. Seccionador de aislamiento automático (18)
- 5. Sistema de ayuda a la explotación (185)
 - i. Etiqueta (185)
- 6. Señalización ferroviaria (1.101)
 - i. Accionamiento (122)

- ii. Armario (43)
 - iii. Elementos de detección (340)
 - iv. Señales fijas (486)
 - v. Señales luminosas (110)
 - 7. Semaforización (1.384)
 - i. Detectores (703)
 - ii. Reguladores (163)
 - iii. Semáforos tranvía (366)
 - iv. Cruces (152)
 - 8. Señalización viaria (1.183)
 - i. Señalización viaria vertical (477)
 - ii. Señalización viaria horizontal (706)
 - 9. Videovigilancia (414)
 - i. Cámaras (237)
 - ii. Armarios (177)
 - 10. Talleres y cocheras (9)
 - i. Ubicación (2)
 - ii. Edificios (7)
- III. Sistemas Auxiliares (429)
- 1. Mobiliario urbano (413)
 - i. Árbol (399)
 - ii. Andenes de parada de bus (7)
 - iii. Marquesina de parada de bus (7)
 - 2. Estructuras complementarias (16)
 - i. Estructura (16)

2. Código en Python para el respaldo de capas alojadas en ArcGIS Online, mediante el uso de la API para ArcGIS

```

backup.py
1  from arcgis.gis import GIS
2  import re
3  import time
4  from pathlib import Path
5
6  gis = GIS("https://modeldadesatm.maps.arcgis.com", "mariajosegaetec", "teyvv322")
7
8  items_OC = gis.content.search("OC03006", item_type="Feature Layer")
9
10 check = "(?<=<Item title:\")(.*)(?=\" type:)"
11
12 data_path = Path('./data')
13
14 for item in items_OC:
15     item_title = re.findall(check, str(item))[0]
16     exportable = gis.content.get(item.id)
17     exportable.export(f"{item_title}", 'File Geodatabase', parameters=None, wait='True')
18     time.sleep(120)
19
20     downloadable = gis.content.search(f"{item_title}", item_type="File Geodatabase")
21     file_gdb = gis.content.get(downloadable[0].id)
22     file_gdb.download(save_path=data_path)
23

```

3. Story Map.



Figura 39. Pestaña inicial "Home" del Story Map. Contenido introductorio.

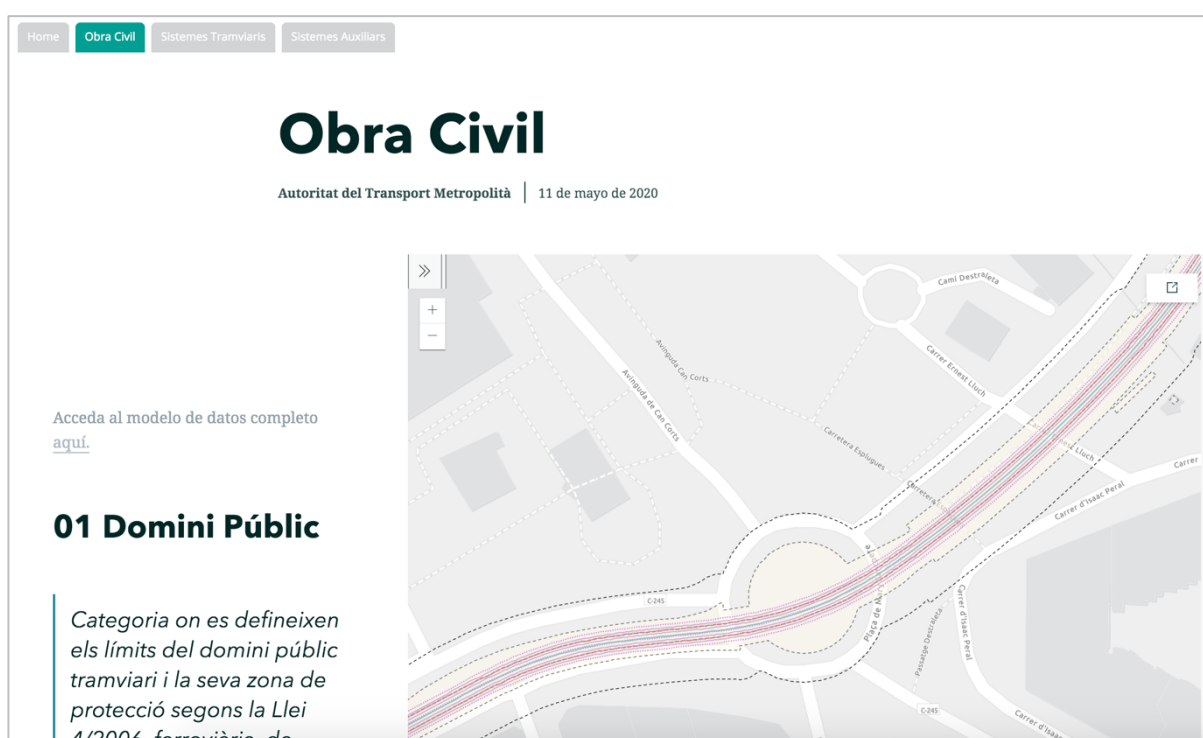


Figura 40. Pestaña "Obra Civil" del Story Map. Contenido de elementos del grupo "Obra Civil" del modelo de datos.

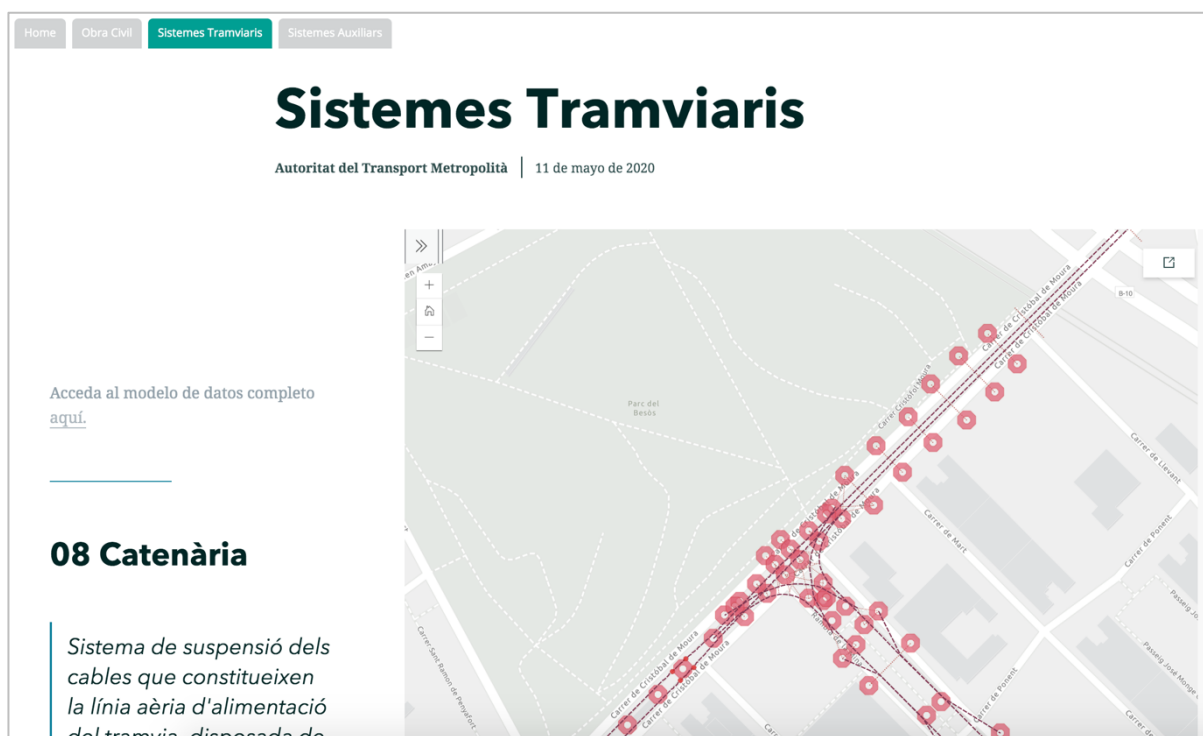


Figura 41. Pestaña "Sistemas Tranviarios" del Story Map. Contenido de elementos del grupo "Sistemas Tranviarios" del modelo de datos.



Figura 42. Pestaña "Sistemas Auxiliares" del Story Map. Contenido de elementos del grupo "Sistemas Auxiliares" del modelo de datos.

4. Versión web de Modelo de la Infraestructura del Tranvía, desarrollado con MkDocs.

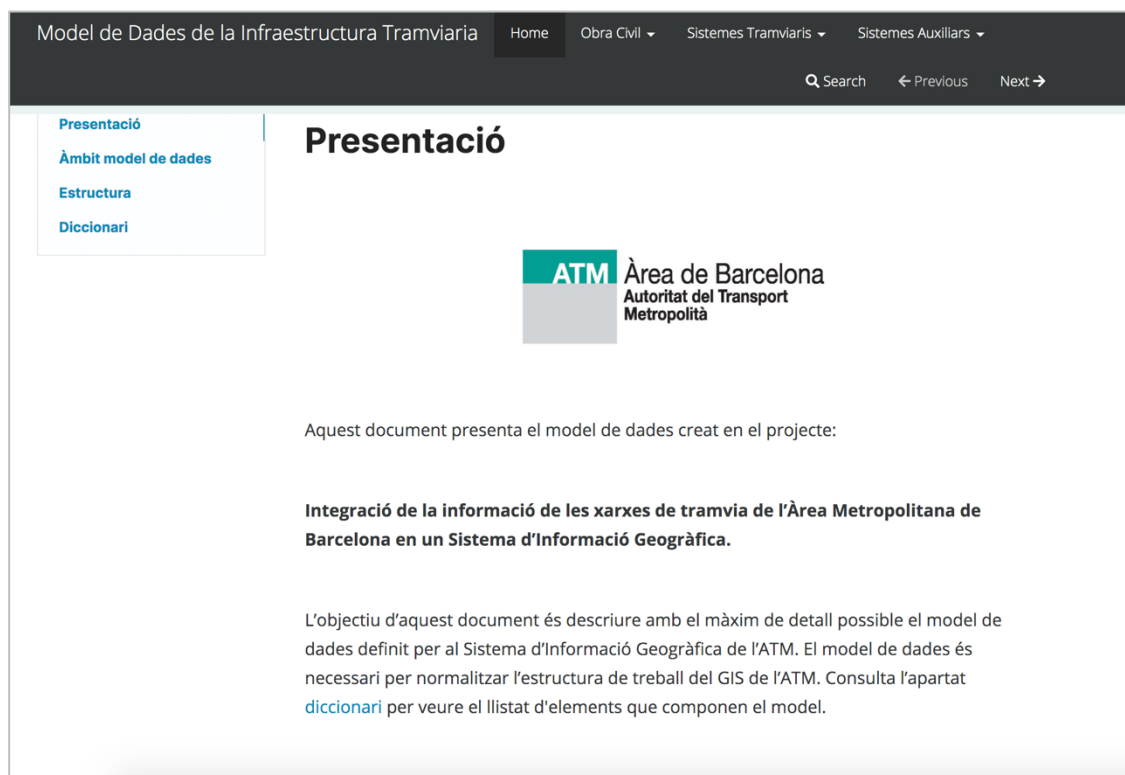


Figura 43. Ventana inicial del modelo de datos. Contenido introductorio al proyecto y modelo.

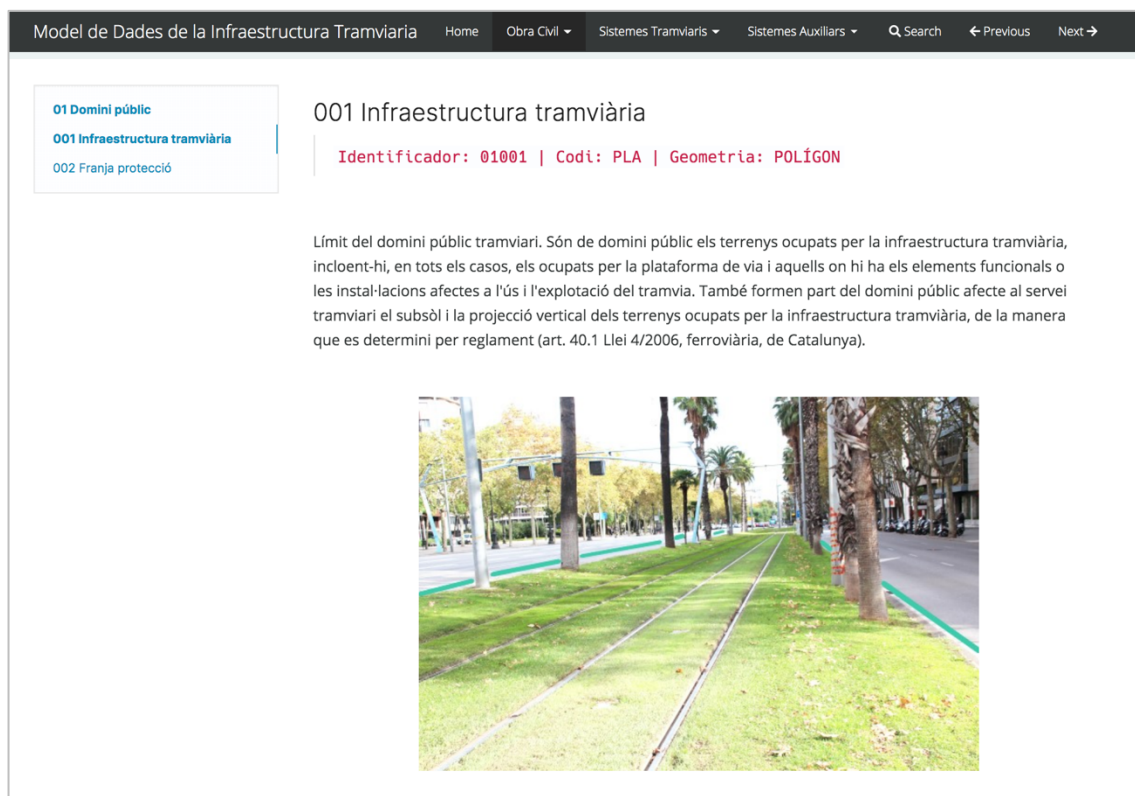


Figura 44. Pestaña de contenido del grupo "Obra Civil", subgrupo "Dominio Público".

Model de Dades de la Infraestructura Tramviària
Home
Obra Civil
Sistemes Tramviaris
Sistemes Auxiliars
Search
Previous
Next

01 Domini públic
001 Infraestructura tramviària
002 Franja protecció

Atributs

Atribut	Tipus	Descripció
XARXA	Indica a la xarxa a la qual pertany la infraestructura tramviària. Actualment Trambaix (TBX) o bé Trambesòs (TBS). En un futur es podran incloure altres xarxes encara no definides.	[String (20)]
CODI_ACTIU	Codi que identifica un element en el GIS de forma unívoca. Està format per 4 parts separades per un guió. Comença amb el prefix TRM, després el codi de l'element segons el model de dades, un número de dos dígits que indica l'operador o creador i un número de 5 dígits que identifica l'element al GIS de forma única.	[String (20)]

Representació GIS:

Figura 44. Pestaña de contenido del grupo "Obra Civil", subgrupo "Dominio Público".