



# OVIHUEC.DAT

Caracterización de la gestión forestal e impulso socioeconómico en zonas de montaña mediante un rebaño comunal en un entorno digital

## 2.2.1.1 Modelo 3D en Somiedo

Convocatoria de ayudas de la Fundación Biodiversidad, en régimen de concurrencia competitiva, para apoyo a proyectos transformadores para la promoción de la bioeconomía ligada al ámbito forestal y la contribución a la transición ecológica (regulada por la Orden TED/1014/2021, de 20 de septiembre, y por la Orden TED/408/2023, de 24 de abril, que modifica la anterior) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - Financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU para el ejercicio del 2023



## Información del documento

Número de informe	2.2.1.1
Nombre del informe	Modelo 3D en Somiedo
Descripción del informe	Este es un informe destinado a explicar como funciona el gemelo digital de Somiedo con integración de información satelital para educación y comunicación
Objetivo	Objetivo 2 - Tecnológico
Actividad	Actividad 2.2 - Testeo de un modelo 3D para diferentes agentes implicados
Entidad coordinadora de la actividad	Fundación CTIC
Entidades participantes de la actividad	IRTA, Conselh Generau d'Aran
Palabras clave	Ganadería, gemelo digital, gestión, comunicación
Autores	Irene Bouzón
Colaboradores	Juan Cañada, Jorge Álvarez, Emilio Tereñes
Aprobado por	Antoni Dalmau Bueno

### Advertencia:

Este documento es propiedad de los miembros que conforman el proyecto OVIHUEC.DAT. No está permitida su copia o distribución en ningún caso sin el consentimiento previo de los propietarios de este, quienes tienen los derechos de autor del presente escrito.

Parte de la convocatoria de la Fundación Biodiversidad y financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU. Sin embargo, las opiniones y visiones expresadas son de los autores del documento y no representan necesariamente las de los entes convocantes y financieros. Por lo tanto, ni la Unión Europea ni la entidad convocante pueden ser responsabilizadas por estas.



## Índice

1. Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivo	3
1.3. Estructura del informe	4
2. Contexto territorial y agentes implicados	5
3. Arquitectura técnica	7
3.1. Generación del modelo 3D	7
3.2. Herramienta de gestión y base de datos	8
Almacenamiento de datos	8
Interfaz de actualización de datos de collares	9
Volumen de datos almacenados	11
3.3. Análisis del terreno	11
Definición de clasificación de usos del suelo	12
GIS como herramienta de base de análisis del terreno	13
Geoetiquetado de los usos del suelo	14
Diseño e implementación del modelo	15
3.4. Integración de datos	17
Elementos 3D georreferenciados	17
Integración de datos de collares y vallado virtual	17
Capas adicionales: LULUCF, biomasa y carbono secuestrado	18
3.5. Plataforma de visualización	19
4. Interacción y casos de uso	24
4.1. Demostraciones reales para validación	25
5. Conclusiones	27
6. Referencias bibliográficas	29



# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes

El proyecto OVIHUEC.DAT tiene como objetivo general fomentar una ganadería extensiva sostenible basada en pequeños rumiantes, que contribuya simultáneamente a la gestión del territorio, la reducción del riesgo de incendios, el mantenimiento de la biodiversidad y el impulso socioeconómico de zonas rurales de montaña como la Val d'Aran y Somiedo. En este contexto, Somiedo se configura como una de las dos zonas piloto del proyecto, donde se viene trabajando desde 2022 con rebaños concejiles y tecnologías digitales aplicadas al manejo del ganado y a la caracterización del territorio.

Desde el inicio de estos trabajos, CTIC ha desarrollado un gemelo digital del Valle del Lago (Somiedo) que integra datos de collares de geolocalización y vallado virtual con información extraída a partir de fuentes satelitales, con el fin de visualizar y analizar el efecto de la actividad ganadera sobre el territorio. Este entorno 3D, construido sobre tecnologías WebXR, se ha consolidado como demostrador para explorar el potencial de los modelos digitales de territorio en procesos de gestión, comunicación y educación vinculados al pastoreo extensivo.

## 1.2. Objetivo

El presente informe tiene por objeto describir el modelo 3D desarrollado para Somiedo en el marco de la Acción 2.2 “Testeo de modelos 3D para diferentes usuarios”, y en particular el resultado 2.2.1.1 “Modelo 3D en Somiedo”. Se presenta el avance en la creación de un gemelo digital del territorio que integra y visualiza datos relacionados con la gestión de rebaños de ganado menor y su interacción con el suelo y el entorno forestal. Este sistema de visualización, implementado mediante tecnologías WebXR, es accesible desde cualquier dispositivo (móviles, ordenadores y entornos de Realidad Virtual), ofreciendo una representación 3D interactiva de la zona de estudio en Somiedo.

Se documenta la arquitectura general del gemelo digital, las fuentes de datos utilizadas (incluida la información satelital), los flujos de integración y los



principales casos de uso para educación, comunicación y apoyo a la toma de decisiones por parte de los agentes implicados.

De este modo, el informe contribuye al Objetivo 2 (Tecnológico) del proyecto, proporcionando una visión sistemática del funcionamiento del gemelo digital y sentando las bases para su replicabilidad en otros territorios de pastoreo extensivo, como es el caso de Vilamòs en Val d'Aran.

## 1.3. Estructura del informe

El apartado 2 [Contexto territorial y agentes implicados](#) presentará el contexto territorial y funcional del gemelo digital, incluyendo los requisitos derivados del uso por parte de ganaderos, gestores del territorio y otros agentes sociales.

Asimismo, se describirá en el apartado 3 [Arquitectura técnica](#) la arquitectura de datos y software del modelo 3D, detallando los procesos de generación del modelo geométrico, la integración de datos de collares y la incorporación de información satelital y capas GIS.

El apartado 4 [Interacción y casos de uso](#) se centrará en la interacción del usuario y los casos de uso de educación y comunicación, mientras que el 5 [Conclusiones](#) recogerá las conclusiones principales y líneas de mejora futuras; finalmente, el apartado 6 [Referencias bibliográficas](#) listará las referencias bibliográficas y documentales utilizadas.

## 2. Contexto territorial y agentes implicados

El modelo 3D de Somiedo se enmarca en el Parque Natural de Somiedo (Asturias), con foco en el Valle del Lago, zona piloto de rebaños concejiles desde 2022. Este parque presenta 6519 hectáreas pastoreables, estimándose el subconjunto de Valle del Lago en 1573 hectáreas, para las que se han integrado tecnologías para manejo ganadero y análisis ambiental en OVIHUEC.DAT.



*Figura 1 - Parque Natural de Somiedo (imagen de Wikimedia Commons)*

Somiedo representa un ecosistema montañoso con robledales acidófilos y prados de siega afectado por abandono ganadero, que incrementa riesgo de incendios y erosión. En el contexto de la acción 2.1, en el Valle del Lago se testean tecnologías como el vallado virtual Nofence y los collares geoposicionados Digitanimal, que desde su implantación generan un histórico de datos de interés de cara a su visualización y explotación en relación a la presencia del ganado en las zonas pastoreables. Asimismo, la información paisajística capturada a través de diferentes fuentes de acceso abierto (ej. observaciones satélite, ortofotos PNOA) también ofrecen datos de interés en cuanto a cuantificar los efectos silvopastorales sobre vegetación, suelo y biodiversidad.



En cuanto a la implicación de agentes locales, se cuenta con participación de diferentes roles, como son los ganaderos (rebaños concejiles), el Ayuntamiento de Somiedo y la Dirección del Parque Natural. La diversidad de perfiles multidisciplinares genera requisitos multifacéticos en los desarrollos tecnológicos, ya que cada agente demandará visualizaciones específicas de la información: los pastores se interesarán en el monitoreo diario del ganado; los gestores ambientales, en el análisis de cuestiones como el riesgo de incendios asociado a la biomasa del terreno; y el público general (turistas, escolares), en una herramienta de divulgación.

Esto hace necesario, a su vez, tener en cuenta requisitos de accesibilidad y usabilidad, garantizando que las herramientas tecnológicas ofrecidas sean multidispositivo para asegurar la adopción por perfiles no técnicos, favoreciendo el testeo con agentes sociales sujeto de esta Actividad 2.2.

### 3. Arquitectura técnica

La arquitectura integra GIS, bases de datos y WebXR para un gemelo digital interactivo, con énfasis en la visualización de datos satelitales y collares. En el marco de esta Acción 2.2, se ha avanzado en tres grandes líneas de trabajo: el desarrollo del gemelo digital, la implementación de una herramienta de gestión de datos y la creación de herramientas de Inteligencia Artificial para el análisis del terreno. Todas estas tareas están enfocadas en integrar información clave sobre los rebaños de ganado menor y su efecto medioambiental en el entorno de estudio.

#### 3.1. Generación del modelo 3D

La generación del modelo 3D inicia en el programa **QGIS**, software SIG libre en el que es posible integrar datos geoespaciales de acceso abierto del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG): **ortofotos PNOA** con resolución 0.25m para texturas detalladas, **Modelo Digital de Superficies MDS02** con resolución 25m para alturas, y límites administrativos/municipales (*shapefiles* ETRS89).



*Figura 2 - Representación 3D del valle de Somiedo*

Se combinan los rasters en QGIS, creando una base topográfica unificada, limitada a los polígonos de interés para optimizar el procesamiento. Gracias al plugin Qgis2threejs es posible exportar el modelo digital de elevación texturizado a formato glTF, preservando la georeferenciación.

Este archivo se postprocesa en la herramienta de modelado Blender aplicando diferentes modificadores para abordar la limpieza y optimización de la malla. Se



eliminan vértices duplicados, se mejora la topología y se reduce la cantidad de polígonos con *decimate* (manteniendo un 10-20% de los vértices originales). Se generan heightmaps sampleados para consulta eficiente de alturas en el posterior entorno web, (evitando raycast costosos en tiempo de ejecución).

Fuente de datos	Resolución y formato	Procesamiento clave	Uso en el modelo 3D
PNOA ortofotos	0.25m GeoTIFF	Combinar rasters, exportar PNG	Texturas base
MDS02 alturas	25m GeoTIFF	Clip polygon, heightmap Blender	Topografía eficiente
Límites CNIG	Vector shapefile	Selección para exportado de recintos	Delimitación áreas

Tabla 1 - Fuentes principales de información para generación del modelo 3D

## 3.2. Herramienta de gestión y base de datos

La herramienta de gestión supone un componente esencial para centralizar y procesar los datos que alimentan el gemelo digital, optimizando la integración de la información procedente de los collares inteligentes. Se trata de una plataforma web desarrollada para complementar el sistema 3D, abordando desde el almacenamiento hasta la entrada manual o automatizada de datos y facilitando un flujo de trabajo eficiente pese a las limitaciones iniciales (recepción manual de la información).

A continuación se describen los avances en cada aspecto clave de esta implementación.

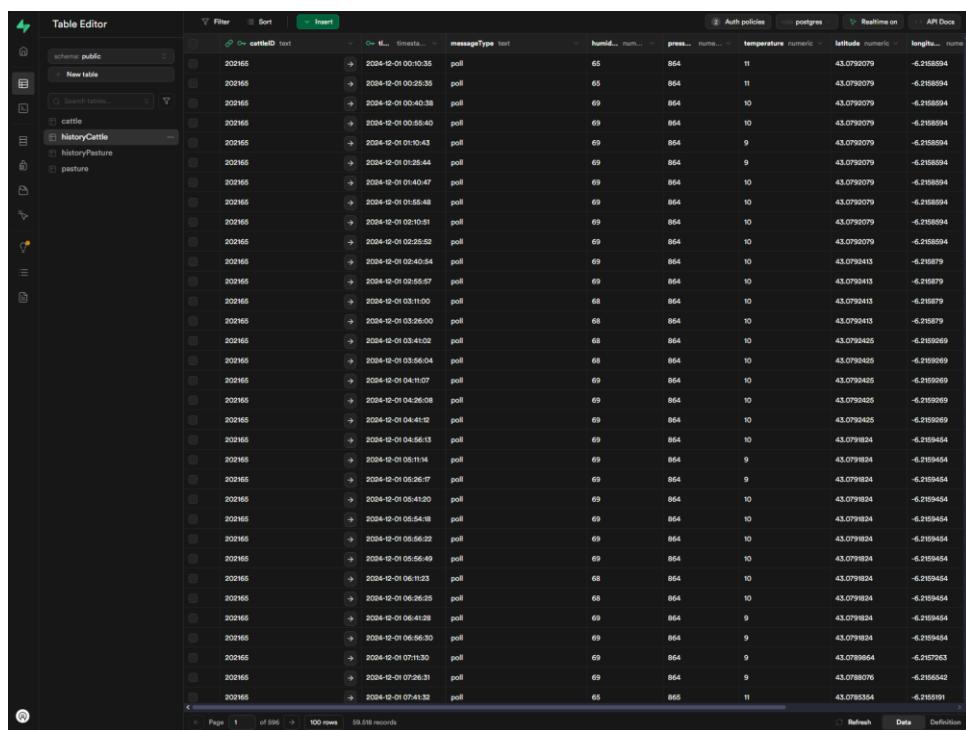
### Almacenamiento de datos

Para garantizar un manejo robusto y escalable de la información, se ha implementado una base de datos basada en Supabase, una plataforma de código abierto que ofrece almacenamiento en tiempo real y alta disponibilidad.

Esta solución permite alojar de manera estructurada los datos de los collares, incluyendo posiciones geográficas, parámetros fisiológicos como temperatura, humedad, presión y actividad, así como configuraciones de vallado virtual cuando

están disponibles. La elección de Supabase asegura una gestión segura y accesible de la información, permitiendo consultas rápidas y actualizaciones periódicas que soportan las necesidades del gemelo digital.

La recopilación de datos de los collares inteligentes ha requerido un enfoque adaptado a las particularidades de cada sistema. Se ha analizado la estructura y formatos de la información proporcionada por Nofence, Digitanimal, Ixorigue e Innogando, identificando datos clave como coordenadas, estados fisiológicos y características de los vallados virtuales asociados. Si bien solo se utilizan datos de los dos primeros proveedores en el caso piloto de Somiedo, el desarrollo debe ser compatible también con las tecnologías del caso de Val d'Aran.



messageID	messageType	humidity	pressure	temperature	latitude	longitude	timestamp
202165	poll	65	864	11	43.079079	-6.215894	2024-12-01 00:20:35
202165	poll	65	864	11	43.079079	-6.215894	2024-12-01 00:25:35
202165	poll	69	864	10	43.079079	-6.215894	2024-12-01 00:49:38
202165	poll	69	864	10	43.079079	-6.215894	2024-12-01 01:05:40
202165	poll	69	864	9	43.079079	-6.215894	2024-12-01 01:05:43
202165	poll	69	864	9	43.079079	-6.215894	2024-12-01 01:25:44
202165	poll	69	864	10	43.079079	-6.215894	2024-12-01 01:40:47
202165	poll	69	864	10	43.079079	-6.215894	2024-12-01 01:55:48
202165	poll	69	864	10	43.079079	-6.215894	2024-12-01 02:01:51
202165	poll	69	864	10	43.079079	-6.215894	2024-12-01 02:25:52
202165	poll	69	864	10	43.079079	-6.215894	2024-12-01 02:40:54
202165	poll	69	864	10	43.0790413	-6.215879	2024-12-01 02:55:57
202165	poll	68	864	10	43.0790413	-6.215879	2024-12-01 03:11:00
202165	poll	68	864	10	43.0790413	-6.215879	2024-12-01 03:26:00
202165	poll	68	864	10	43.0790413	-6.215879	2024-12-01 03:41:02
202165	poll	68	864	10	43.0790425	-6.2158969	2024-12-01 03:56:04
202165	poll	68	864	10	43.0790425	-6.2158969	2024-12-01 04:11:07
202165	poll	69	864	10	43.0790425	-6.2159069	2024-12-01 04:26:08
202165	poll	69	864	10	43.0790425	-6.2159069	2024-12-01 04:41:12
202165	poll	69	864	10	43.0790425	-6.2159069	2024-12-01 04:56:15
202165	poll	69	864	9	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:11:14
202165	poll	69	864	9	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:26:17
202165	poll	69	864	10	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:41:20
202165	poll	69	864	10	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:54:18
202165	poll	69	864	10	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:56:22
202165	poll	69	864	10	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:56:49
202165	poll	68	864	10	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:11:23
202165	poll	68	864	10	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 05:26:25
202165	poll	68	864	10	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 06:41:28
202165	poll	69	864	9	43.0791824	-6.2159454	2024-12-01 06:56:30
202165	poll	69	864	9	43.0798664	-6.2157763	2024-12-01 07:11:30
202165	poll	69	864	9	43.0798807	-6.2156542	2024-12-01 07:26:31
202165	poll	65	865	11	43.0795354	-6.2158191	2024-12-01 07:41:32

Figura 3 - Base de datos para el almacenamiento de información de los collares

### Interfaz de actualización de datos de collares

En Somiedo, la integración de Nofence se realiza manualmente, mientras que Digitanimal permite una automatización parcial gracias a su compatibilidad con APIs, lo que agiliza el proceso. Por otro lado, en el piloto de Val d'Aran, la integración con los proveedores Innogando e Ixorigue requiere de un proceso manual, debido a la ausencia de APIs u otros mecanismos que permitan la automatización. En este caso, parte de la información se recibe semanalmente por correo electrónico



mientras que otros conjuntos de datos, como los de Digitanimal, deben descargarse manualmente desde su plataforma web.

Para superar las limitaciones derivadas de la recopilación manual, se ha desarrollado una página web adicional de administración que simplifica la carga estructurada de los datos procedentes de los collares.

Esta interfaz, integrada dentro de la herramienta de gestión, permite a los usuarios técnicos o administradores subir la información recibida en formato CSV, procesándola automáticamente para adaptarla a la estructura de la base de datos y estandarizarla en un formato uniforme que facilita su tratamiento en el gemelo digital. Este sistema no solo reduce errores y agiliza la actualización periódica de datos, sino que también establece un flujo de trabajo eficiente al mitigar los retrasos y las inconsistencias que podrían surgir de un volcado manual, asegurando que la información esté lista para su uso en análisis y visualización con mayor rapidez y precisión. El sistema dispone, así, de una base de datos robusta para el seguimiento del ganado equipado con collares inteligentes.

Figura 4 - Página de administración para la subida de datos manual de collares

Esta arquitectura asegura que el sistema pueda escalar en volumen de datos y que la información esté disponible tanto para la visualización 3D como para análisis externos (consultas SQL, exportación a GeoJSON para uso en QGIS, etc.).

### Volumen de datos almacenados

Entre el 1 de abril y el 2 de diciembre de 2025, se han registrado 499.394 datos individuales, procedentes de distintos dispositivos y sistemas de monitorización. La magnitud de este conjunto de datos permite analizar dinámicas de pastoreo, uso del territorio, zonas de descanso y posibles interacciones con elementos del entorno. Además, este volumen de información posibilita la potencial aplicación de técnicas avanzadas de modelización, como la detección de patrones de comportamiento o estimaciones de carga ganadera sobre el terreno.

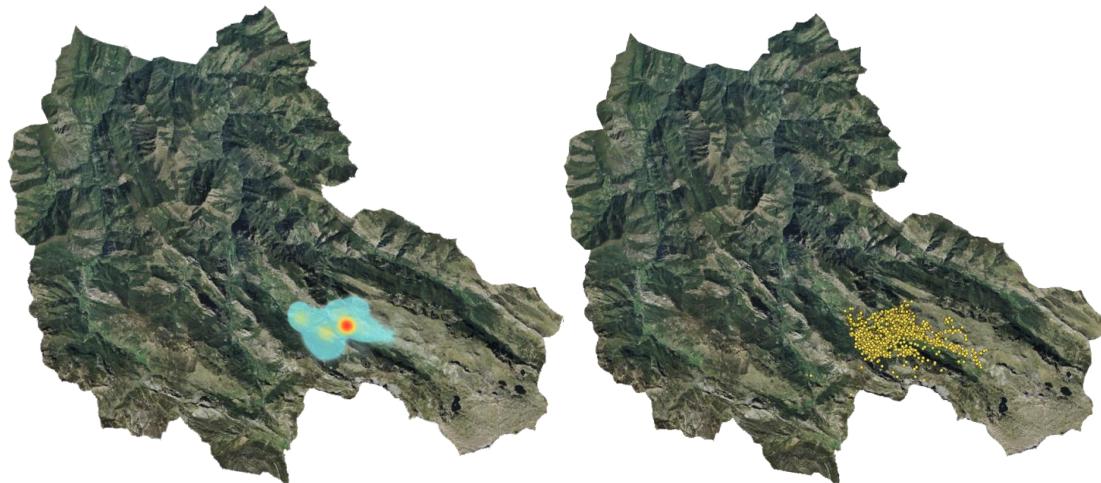


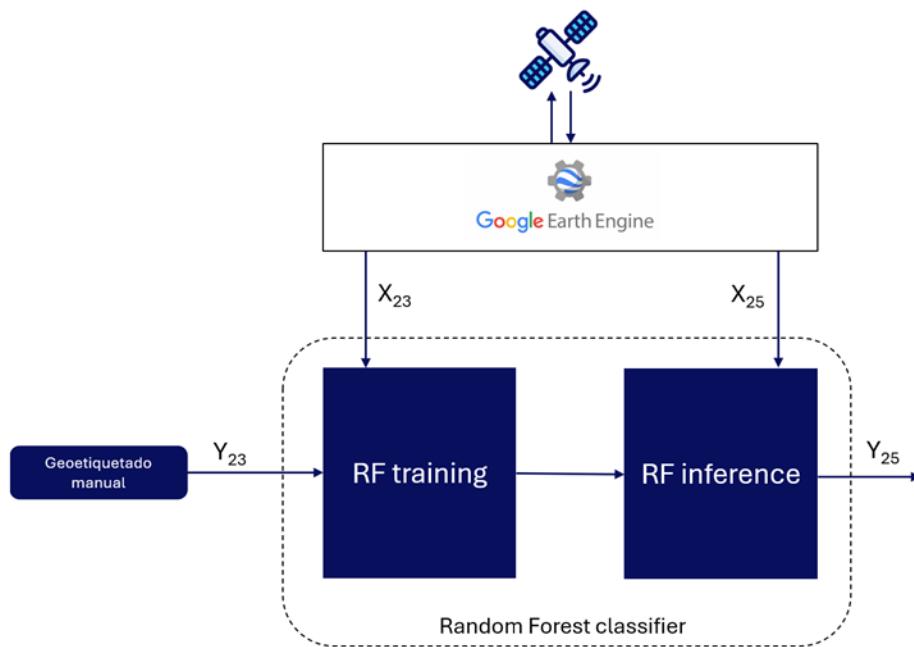
Figura 5 - Actividad registrada en Somiedo (1 de abril a 2 de diciembre de 2025)

En conjunto, los datos acumulados representan una base sólida para la toma de decisiones en gestión del ganado y del territorio.

## 3.3. Análisis del terreno

La extracción de capas de información adicionales se basa en imágenes multiespectrales Sentinel-2 del programa Copernicus (Comisión Europea), procesadas mediante una herramienta personalizada sobre Google Earth Engine que automatiza la adquisición de datos satelitales según parámetros configurables.

Se ha diseñado un **modelo de clasificación de los usos del suelo** sobre imágenes satelitales multiespectrales Sentinel. Para ello, se han seguido los siguientes pasos:



*Figura 6 - Diagrama de flujo simplificado del sistema de clasificación de usos del suelo*

El modelo Random Forest es entrenado con los datos de 2023 etiquetados para inferir sobre los valores multiespectrales de máxima actualidad.

#### Definición de clasificación de usos del suelo

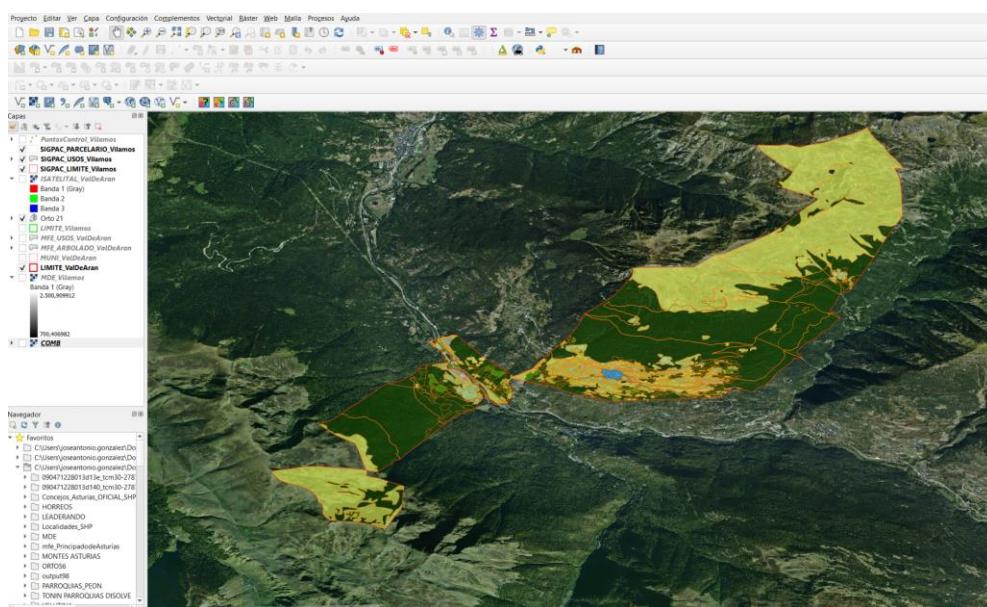
Se ha establecido una clasificación de los usos del suelo acorde con los objetivos de del proyecto siguiendo la metodología LULUCF (Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura), estableciendo un total de siete clases, cada una de ella con dinámicas e inercias paisajísticas propias:

1. Bosques mixtos
2. Bosques perennifolios
3. Bosques caducifolios
4. Matorrales
5. Prados
6. Construcciones
7. Roquedos
8. Humedales

## GIS como herramienta de base de análisis del terreno

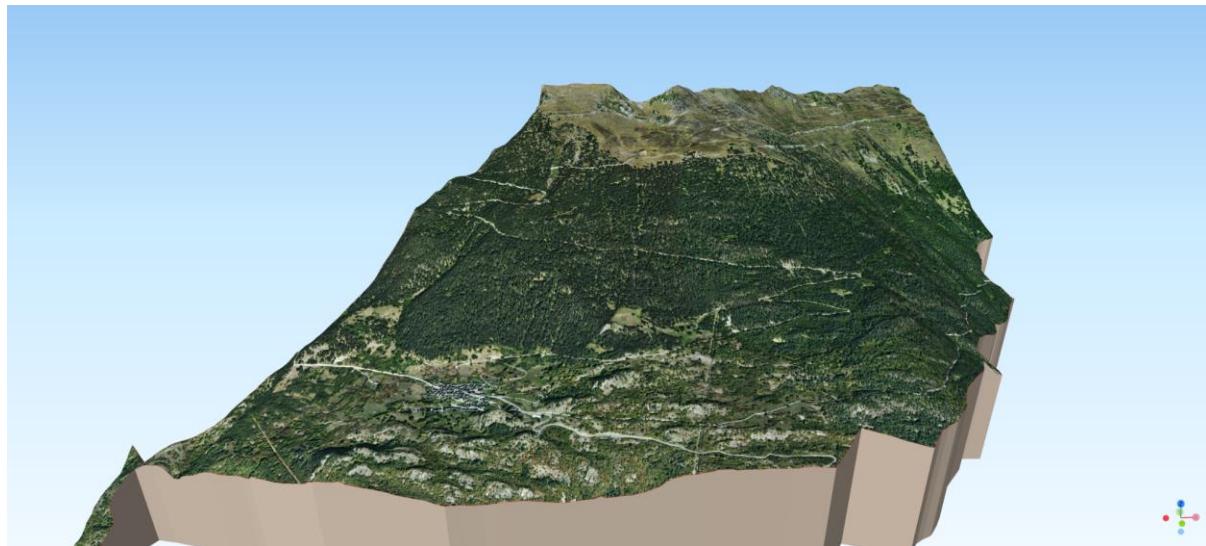
Para la generación del modelo de usos del suelo y los potenciales derivados se ha procedido a la descarga de toda la información georeferenciada libre y a su procesamiento a partir del software libre QGIS. Se ha trabajado tanto con cartografía en formato raster (geotiff) como vectorial (shapefile). El principal repositorio explotado ha sido el CNIG, así como el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC.CAT). La información tratada hasta la fecha ha sido la siguiente:

- Capa de límites administrativos municipales, provinciales y autonómicos
- Modelo Digital de Superficies (MDS02)
- Ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)
- Mosaicos de ortoimágenes Sentinel 2 del programa europeo Copernicus a 10 metros de resolución de píxel.
- Ortofotos del vuelo conocido como Vuelo Americano (serie B)
- Corine Land Cover a escala 1:100.000
- SIOSE AR (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España de alta resolución) a escala 1000 a 5000
- Mapa Forestal de España (MFE) a escala 1:50.000
- Cartografía de usos del suelo del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC).
- Cubiertas de usos del suelo 2019-2022 ICGC.CAT



*Figura 7 - Interfaz de QGIS con las capas de límite municipal, parcelario, usos SIGPAC y ortofoto del PNOA de máxima actualidad activas referenciadas a Vilamós*

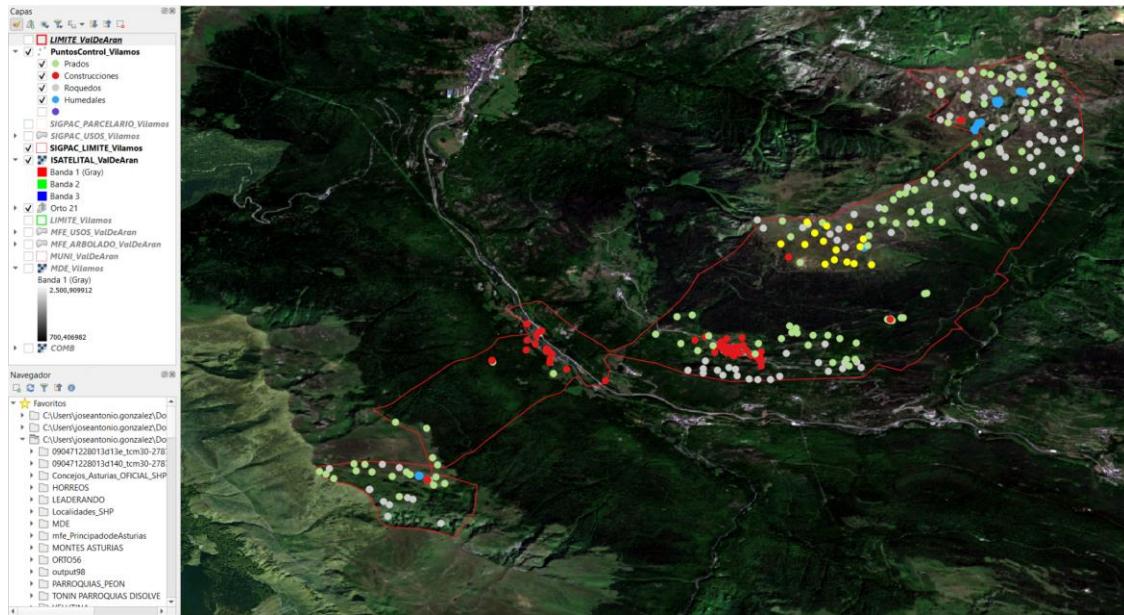
Con la finalidad de familiarizar el proceso de geoetiquetado de los datos se generó a partir de QGIS modelo en 3D a partir de las fuentes más atrás reseñadas. Se empleó para ello como capa de base para la generación de las alturas y de la “maqueta del terreno” el Modelo Digital de Superficies (MDS02). A continuación, sobre ella se proyectaron las distintas capas a emplear en el geoetiquetado de datos.



*Figura 8 - Modelo 3D a partir de QGIS con representación de Ortofoto del PNOA de M.A.*

#### Geoetiquetado de los usos del suelo

Partiendo de las fuentes abiertas más atrás reseñadas, y apoyándose en el modelo 3D y en el conocimiento experto de un fotointérprete especializado en paisajes de montaña, se procedió al geoetiquetado manual de los usos del suelo sobre la imagen Sentinel. Para ello se generó una capa de puntos en formato shapefile en la cual se integraron las categorías de usos del suelo previamente definidas para la clasificación de cada punto de control. En la elección de las geoetiquetas se procuró tanto la diversidad espacial de los usos del suelo (localización, orientación, pendientes...), así como la representación en la imagen Sentinel, de cara a facilitar el aprendizaje del modelo.



*Figura 9 - Geoetiquetas de los usos del suelo: construcciones, roquedo, prados y humedales sobre imagen Sentinel*

### Diseño e implementación del modelo

Para la descarga de las imágenes satelitales se ha diseñado una herramienta software de adquisición de información multiespectral mediante la librería de Google Earth Engine. Dicha herramienta está diseñada de forma que permite configurar multitud de parámetros de entrada según las necesidades del análisis. Entre estos parámetros destacan:

- Límites geográficos de búsqueda, definidos a través de archivos shapefile o coordenadas específicas.
- Rangos de fechas, lo que permite estudiar el terreno en las distintas estaciones del año.
- Selección de bandas espectrales, incluyendo diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético captadas por los sensores satelitales. Las diferentes bandas de Sentinel permiten captar información de los distintos colores, así como combinaciones de ellos.
- Filtros de calidad de imagen, tales como la cobertura de nubes.

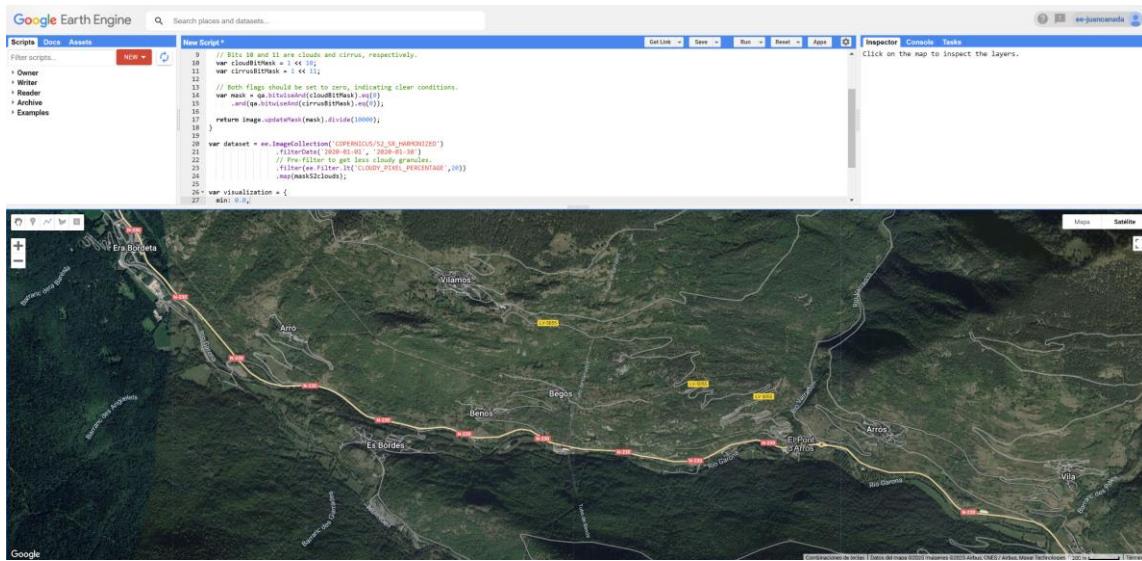


Figura 10 - Herramienta de Google Earth para la adquisición de imágenes Sentinel e información multiespectral

Una vez descargada, la información satelital es sometida a un post-procesado utilizando herramientas de análisis de datos, y a partir de ella se crean series temporales de índices radiométricos, como el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ampliamente utilizado para estudiar la cobertura vegetal y la salud de los suelos.

Con el objetivo de posibilitar una monitorización constante sobre el territorio, se ha diseñado un **modelo con arquitectura basada en Machine Learning**. Dicho modelo se entrena combinando el geoetiquetado del territorio como *ground truth*, y la información multiespectral post procesada.

De esta forma, adquiriendo periódicamente la información satelital, se es capaz de mantener una clasificación de los usos del suelo del territorio, cuya capacidad de acierto se tratará de optimizar mediante el diseño y modificaciones del modelo de clasificación.

En el caso particular de Somiedo, se utilizó información adicional obtenida de la misión GEDI norteamericana (NASA), que ofrece observaciones de cantidad de biomasa basándose en el estudio del dosel vegetal por datos LiDAR, para alimentar al modelo de Machine Learning de forma enfocada a la correspondiente información de Sentinel para una fecha determinada. De esta forma, es posible inferir la cantidad de biomasa presente en el terreno (y, por tanto, la cantidad de carbono secuestrado) a través de distintos índices multiespectrales, más repetibles por obtenerse gracias a observaciones de misiones como Sentinel.



### 3.4. Integración de datos

La integración de datos en el gemelo digital se organiza en dos niveles: por un lado, la georreferenciación precisa de todos los elementos 3D que se visualizan sobre el modelo de terreno y, por otro, la incorporación de fuentes dinámicas (datos de collares) y las capas derivadas de análisis de información del terreno mediante Inteligencia Artificial (clasificación de usos del suelo, biomasa, etc.).

#### Elementos 3D georreferenciados

Sobre el modelo 3D del valle de Somiedo se implementa un sistema de posicionamiento basado en coordenadas geográficas, que permite ubicar con precisión cada entidad virtual a partir de sus coordenadas reales. Esto incluye tanto elementos estáticos (infraestructuras, hitos del paisaje, zonas de interés) como dinámicos asociados al movimiento del ganado.

Las coordenadas procedentes de capas GIS y de los dispositivos de seguimiento se transforman al sistema de referencia del modelo 3D, garantizando que cada punto en el gemelo digital refleje fielmente su posición en el territorio.

Esta georreferenciación homogénea facilita que diferentes conjuntos de datos (trayectorias, vallados, usos del suelo, indicadores ambientales) se puedan superponer y analizar de forma conjunta, manteniendo coherencia espacial en todo el entorno virtual.

#### Integración de datos de collares y vallado virtual

La integración de los rebaños en el gemelo digital incluye tanto su localización como el estado de los animales, a partir de la información proporcionada por los diferentes proveedores de collares inteligentes implementados. En el caso de Somiedo, se integran datos de Nofence (geolocalización y vallado virtual) y Digitanimal (geolocalización y parámetros del animal).

Cada registro incluye posiciones GPS y, cuando están disponibles, parámetros como temperatura, humedad, presión y actividad, que se asocian a los individuos del rebaño y se representan sobre el modelo 3D como trayectorias y estados temporales.



*Figura 11 - Representación 3D del rebaño integrado en el gemelo digital de Somiedo*

Una línea de tiempo interactiva permite recorrer el histórico de posiciones, de manera que los usuarios pueden visualizar cómo se desplaza el ganado a lo largo del tiempo, qué zonas utilizan con mayor intensidad o cómo varía su comportamiento según el periodo analizado.

Capas adicionales: LULUCF, biomasa y carbono secuestrado

Además de los datos de los rebaños, el gemelo digital integra capas derivadas del análisis del terreno que permiten contextualizar el uso del espacio y los efectos silvopastorales.

A partir de imágenes multiespectrales Sentinel-2 se ha definido una clasificación de usos del suelo siguiendo metodología LULUCF, tal como se ha descrito en el correspondiente apartado. Además, particularmente en Somiedo, se ha experimentado con la estimación de cantidad de biomasa y carbono secuestrado en la vegetación a través de índices calculables a través de información satelital Sentinel. Estas capas se incorporan como overlays en el gemelo digital y pueden activarse o desactivarse desde la interfaz, permitiendo a los usuarios relacionar directamente y de forma visual la actividad de los rebaños con la estructura de la vegetación, la disponibilidad de recursos y el potencial riesgo de incendios.



Figura 12 - Capa de análisis del terreno integrada en el gemelo digital de Somiedo (secuestro de carbono)

### 3.5. Plataforma de visualización

La plataforma de visualización del gemelo digital está desplegada en versión de producción en los servidores de CTIC, construida sobre el estándar W3C WebXR y basada en la librería Three.js para renderizado 3D inmersivo en navegadores web estándar, sin dependencias de plugins o hardware específico.

★ <https://ovihuecdat.ctic.es/>

Se orquesta mediante Docker Compose con servicios separados (*frontend*, *backend* Supabase, volúmenes persistentes), configurados para entornos de desarrollo y producción, asegurando escalabilidad y persistencia de datos.

La aplicación es totalmente responsive y multidispositivo, compatible con:

- Escritorio: navegación precisa con ratón/teclado, zoom orbital y controles flotantes.
- Móvil: gestos táctiles intuitivos (pinch-zoom, swipe para rotación), optimizado para pantallas pequeñas.
- Realidad Virtual: soporte nativo WebXR (Oculus, HTC Vive, etc.), con controles inmersivos y teletransportación para exploración a escala humana.

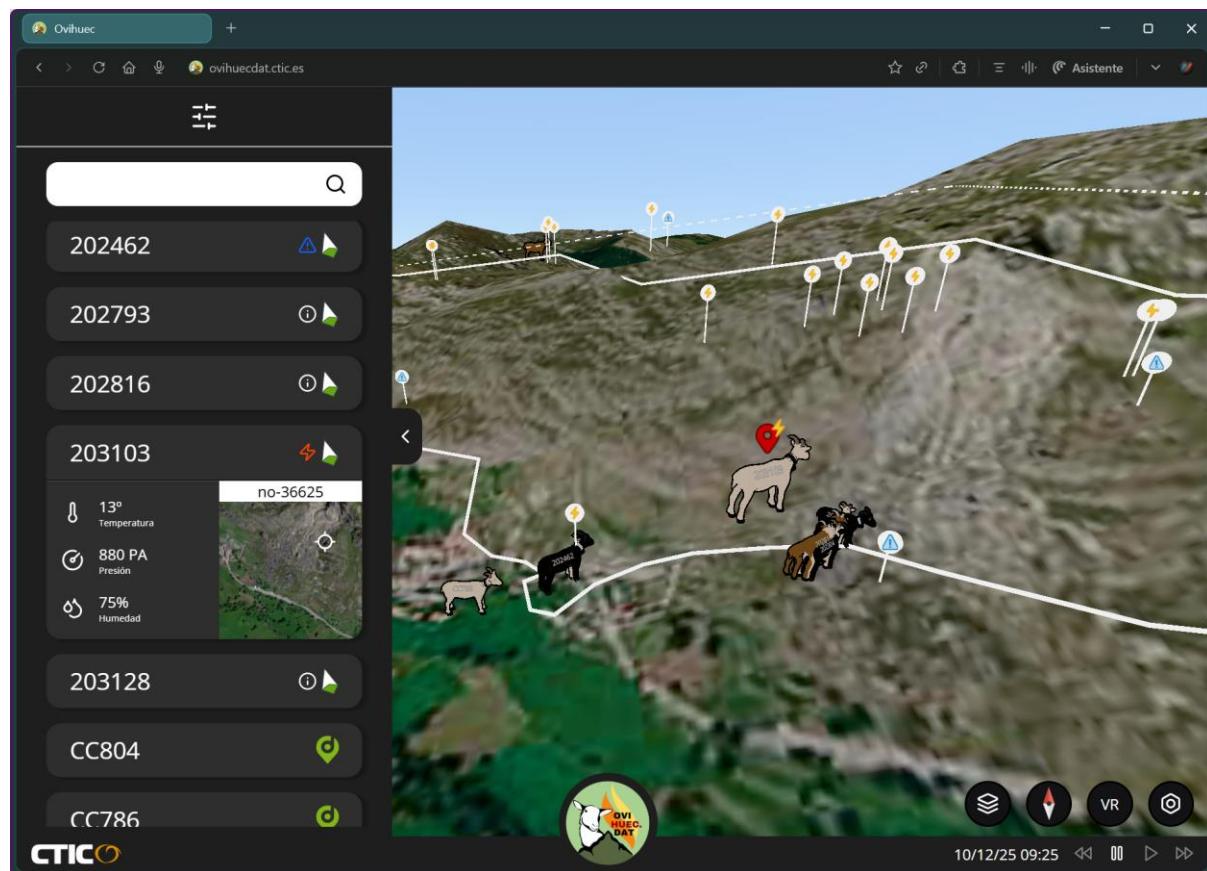


Figura 13 - Despliegue web del gemelo digital de Somiedo

Esta universalidad garantiza la accesibilidad y favorece la adopción por pastores (móvil en campo), gestores (escritorio para análisis) y público educativo (Realidad Virtual para divulgación). La interfaz prioriza una usabilidad intuitiva, con una navegación 3D basada en controles orbitales (paneo, zoom, rotación 360°), y paneles laterales colapsables y filtros para acceder fácilmente a la información deseada.

La textura de alturas obtenida durante la generación del modelo 3D permite situar las entidades dinámicas de forma coherente (ej. cabras pisando a la altura del terreno) sin comprometer el rendimiento con operaciones costosas como la traza de rayos en tiempo de ejecución.

Algunas de las funcionalidades más relevantes de la plataforma de visualización 3D se resumen a continuación:

- Línea temporal interactiva: permite rastrear los movimientos históricos del ganado mediante controles accesibles diseñados para usuarios de distintos niveles técnicos. Esta funcionalidad ofrece una perspectiva dinámica de la

actividad de los rebaños, mostrando cómo se desplazan a lo largo del tiempo en función de los datos disponibles.

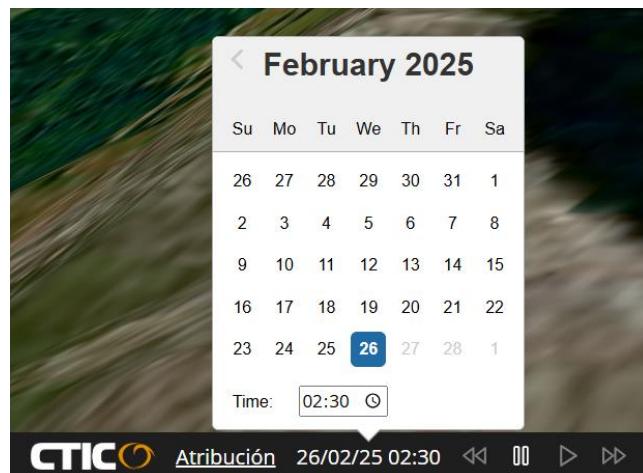


Figura 14 - Línea temporal interactiva para observación de la evolución de datos

- Superposición de capas: Se han añadido sistemas de visualización de las capas de análisis del terreno que enriquecen el sistema, permitiendo visualizar los vallados virtuales, mapas de calor de densidad de uso del territorio, cantidad de CO<sub>2</sub> secuestrado por la vegetación, niveles de biomasa, tipos de suelo y vistas satelitales.

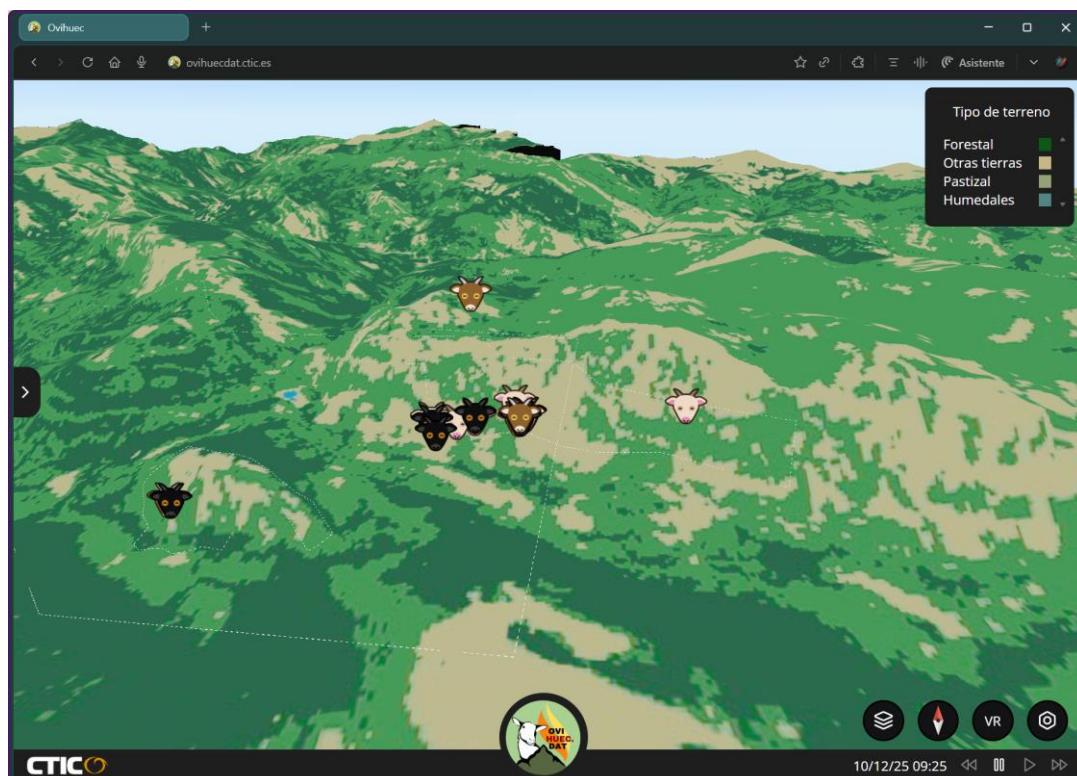


Figura 15 - Visualización de la capa de clasificación de tipo de terreno

- Accesibilidad multidispositivo: el gemelo digital está accesible y plenamente operativo desde dispositivos de escritorio y móviles, con interfaces adaptadas que aseguran una experiencia de usuario consistente. Esta accesibilidad garantiza que distintos públicos puedan interactuar con el modelo sin importar cuáles son sus recursos tecnológicos o preferencias de uso.

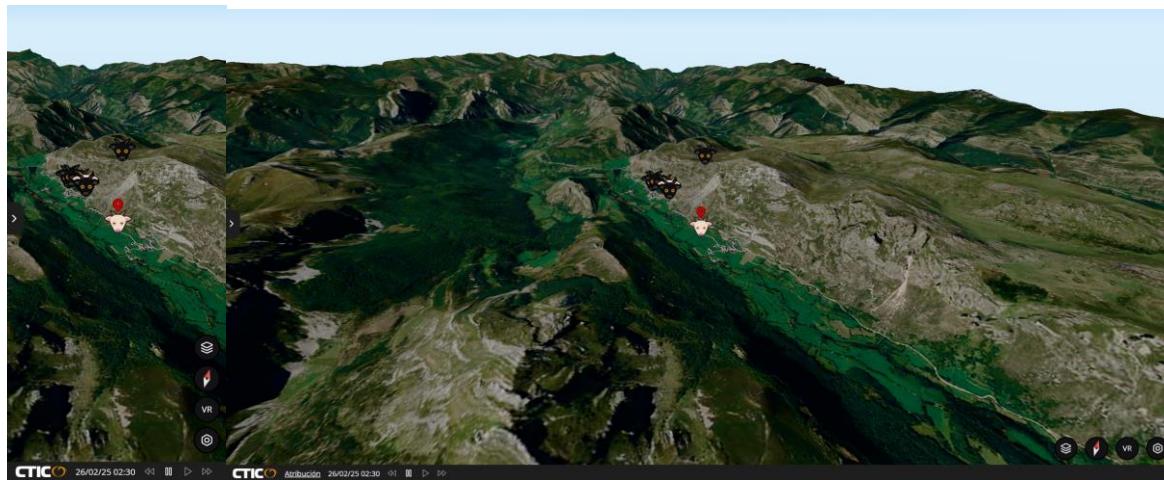


Figura 16 - Aplicación del gemelo digital desde móvil (izq.) y escritorio (dcha.)

- Visualización en Realidad Virtual: el sistema es compatible con entornos de Realidad Virtual, ofreciendo una experiencia inmersiva que permite a los usuarios interactuar de manera más cercana con el gemelo digital. La implementación de esta funcionalidad incluye la adaptación de todos los sistemas de control presentes en las demás visualizaciones, garantizando una interacción coherente y accesible desde cualquier dispositivo. La integración de tecnologías de visualización avanzadas busca acercar esta tecnología a las nuevas generaciones, fomentando su interés por la gestión sostenible del territorio y las prácticas ganaderas tradicionales, en línea con los objetivos del proyecto de revitalizar el atractivo de estas actividades.

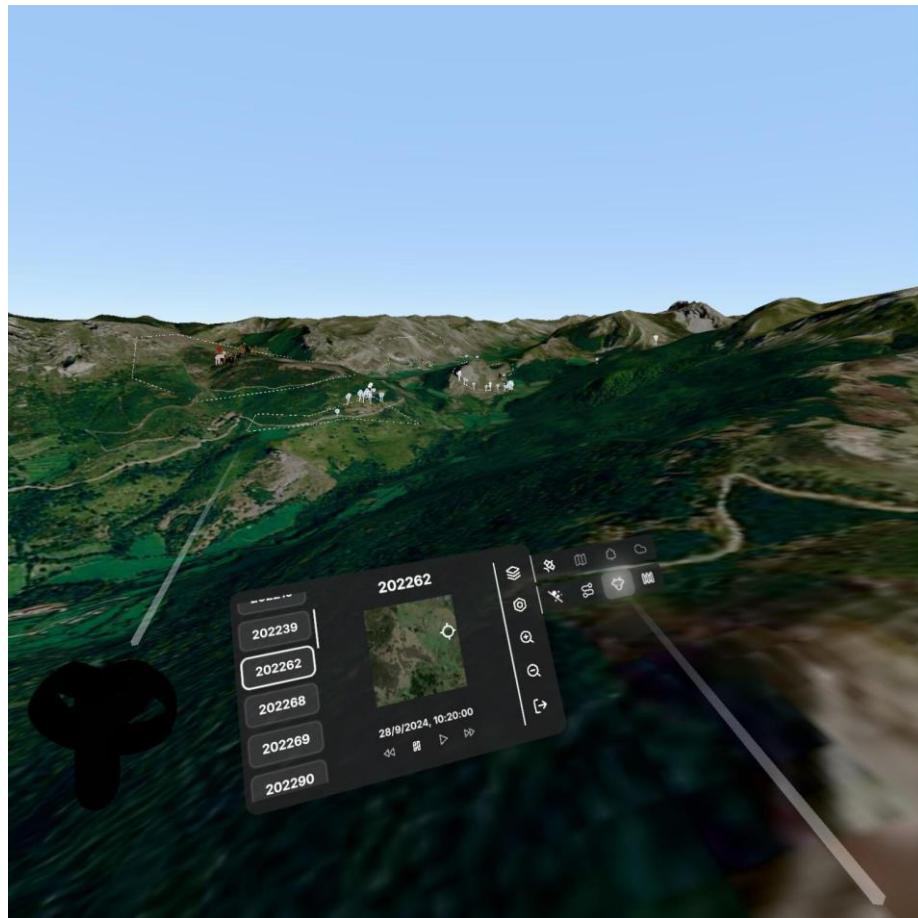


Figura 17 - Aplicación del gemelo digital desde dispositivo de Realidad Virtual

- Acceso a la plataforma de gestión de datos: el despliegue facilita el acceso autenticado a la plataforma de gestión de los datos por parte de los usuarios administradores para actualizar los datos de aquellos flujos que, por dependencias con proveedores externos, no es posible automatizar.

La plataforma de visualización 3D integra todos los flujos previos (modelos glTF, base de datos Supabase, capas de análisis resultado de los modelos de Machine Learning), convirtiendo datos crudos en visualizaciones accionables para gestión silvopastoral, con foco en el rendimiento, la usabilidad y extensibilidad.

## 4. Interacción y casos de uso

Se describen a continuación las interacciones principales de la plataforma y los casos de uso concretos para los agentes identificados en el apartado 2, demostrando la utilidad práctica del gemelo digital en la gestión silvopastoral de Somiedo.

Como interacciones principales, la interfaz ofrece los siguientes controles intuitivos adaptados a perfiles de usuario no técnicos:

- Exploración espacial: visualización completa del entorno representando la orografía precisa en modo inmersivo (Realidad Virtual) o en control orbital y selección de entidades de información dinámica (ganado, vallados virtuales).
- Análisis temporal: la línea de tiempo interactiva permite observar la evolución de los datos dinámicos, los vallados y las trayectorias seguidas por el ganado, con un histórico de datos disponible.
- Información correlacionada: al seleccionar un animal se muestran las métricas recogidas por los collares, mientras que las capas de información de análisis del terreno permiten observar superposiciones comparativas con potencial de análisis. La base de datos con el histórico de información permite el exportado para explotar los datos usando herramientas externas.

Agente	Caso de uso	Funcionalidades clave	Beneficio operativo
Pastores o ganaderos	Monitoreo diario del rebaño	Línea de tiempo y representación de ubicaciones en tiempo real. Alertas del vallado virtual. Mapas de calor de uso del hábitat.	Reducción de desplazamientos y del tiempo en campo. Mayor control sobre el rebaño. Detección de variables anómalas.
Gestores ambientales	Evaluación impacto silvopastoral	Capas de información de análisis del terreno. Correlación de trayectorias del ganado vs clasificación de usos del suelo.	Cuantificación de reducción de riesgo de incendios. Informes de biodiversidad.
Ayuntamiento y/o gestores de explotación	Planificación de rotación del pastoreo	Aplicación de filtros. Mapas de calor de uso del hábitat.	Sostenibilidad de rebaños concejiles.

Agente	Caso de uso	Funcionalidades clave	Beneficio operativo
Público educativo y/o turistas	Divulgación inmersiva	Realidad Virtual como mirador paisajístico.	Concienciación sobre ecosistemas y sobre los efectos de la tradición ganadera como mantenedora del territorio.

Tabla 2 - Casos de uso por tipo de agente

## 4.1. Demostraciones reales para validación

La aplicación se ha validado recibiendo feedback positivo en su usabilidad a través de demostraciones reales, como la desplegada en AGROPEC 2024; la 38 *Feria del Campo y de las Industrias Agrícolas, Ganaderas, Forestales y Pesqueras*, celebrada en Gijón entre el 27 y el 29 de septiembre. El stand, adscrito al de Caja Rural, contaba con tres espacios, uno de los cuales fue destinado a mostrar la iniciativa del vallado virtual y pastoreo inteligente. A través de una tablet, el público asistente pudo manejar la nueva versión del gemelo digital realizada en el Valle de Lago. Es importante tener en cuenta que el perfil de asistentes a este evento es del medio rural y agro-ganadero: agricultores, ganaderos y personas que de forma profesional o como segunda actividad, viven del campo.



Figura 18 - Demostración del gemelo digital de OVIHUEC.DAT en AGROPEC 2024

OVIHUEC.DAT y el modelo de Somiedo desarrollado se han presentado en diferentes jornadas y sesiones, entre las que destacan:

- 08/07/2025 Jornada “Collares de vallado virtual: su uso en montes comunales” (online), organizada por RURALTXA! Videoconferencia (asisten 80 personas).
- 20/02/2025 VIII Jornadas Orgullo Rural - IES Concejo de Tineo (asisten 45 personas; 15 hombres y 30 mujeres).
- 19/03/2025 Charla dirigida al alumnado 2º Curso Ciclos Formativos de la rama agraria IES Luces, Colunga (asisten 50 personas; 21 hombres y 29 mujeres).



*Figura 19 - Sesión realizada en el IES Luces de Colunga, con alumnado de la rama agraria*

Asimismo, se ha realizado difusión y demostración del proyecto en todas las visitas a CTIC RuralTech como ejemplo de innovación territorial. En las diferentes visitas realizada a esta sede dirigidas a estudiantes de enseñanza reglada de los diferentes niveles educativos y a participantes en iniciativas de formación y empleo, se ha difundido el proyecto OVIHUEC.DAT como una de las iniciativas de pastoreo digital en la que CTIC participa y en la que se mostró el gran valor de la transferencia de conocimiento entre territorios con problemáticas similares. Además de dar a conocer la iniciativa, se ha mostrado el gemelo digital visitando casos de uso de Somiedo y Valle de Arán desde la aplicación web. A lo largo de estos años se han realizado un total de 28 sesiones con una participación total de 597 personas, de las cuales un 41.71 % fueron mujeres.

## 5. Conclusiones

Se ha documentado exhaustivamente el desarrollo del gemelo digital del Valle del Lago en el Parque Natural de Somiedo, como resultado clave de la Acción 2.2 de OVIHUEC.DAT. Esta plataforma representa un avance significativo en la integración de tecnologías inmersivas para la gestión silvopastoral, combinando modelos 3D de alta fidelidad generados desde fuentes geoespaciales abiertas con análisis avanzados de datos ambientales y de seguimiento ganadero. Desplegada de forma accesible en <https://ovihuecdat.ctic.es/>, la herramienta no solo cumple los objetivos tecnológicos propuestos, sino que establece un referente replicable para la caracterización dinámica de territorios de montaña.

Desde la generación del modelo base en QGIS mediante la fusión de ortofotos PNOA y modelos digitales de elevación MDS02, pasando por la optimización en Blender y la integración en tiempo real de capas LULUCF derivadas de Sentinel-2, hasta la gestión escalable de medio millón de registros de distintos proveedores de collares geolocalizados en Supabase, la arquitectura técnica asegura una representación fiel y actualizable del ecosistema. La plataforma WebXR destaca por su accesibilidad universal: navegaciones intuitivas en escritorio y móvil, experiencias inmersivas en Realidad Virtual, y controles adaptados a usuarios sin necesidad de formación técnica especializada, como pastores y ganaderos locales.

Los casos de uso validados en entornos reales, desde el monitoreo diario de rebaños concejiles hasta la evaluación de impactos sobre biomasa y riesgo de incendios, demuestran su valor operativo. En demostraciones como las de CTIC RuralTech o la feria AGROPEC, ha facilitado la interacción de cientos de usuarios, fomentando la concienciación sobre el rol esencial de la ganadería extensiva en la prevención de incendios, el mantenimiento de la biodiversidad y la revitalización socioeconómica de zonas rurales despobladas.

Mirando hacia el futuro, el sistema se encuentra preparado para potenciales extensiones como la automatización completa de flujos de datos mediante workflows (ej. n8n), la incorporación de más proveedores de información y/o la generación de informes o actualizaciones automáticas para toma de decisiones. La publicación de guías detalladas de replicabilidad posibilitará su adopción en otros contextos similares, contribuyendo decisivamente a los pilares de la bioeconomía forestal: innovación tecnológica al servicio de la resiliencia territorial y el empleo verde.



En síntesis, el gemelo digital trasciende la mera visualización para convertirse en una herramienta estratégica que empodera a los agentes locales, cuantifica beneficios ecosistémicos invisibles y promueve modelos de gobernanza colaborativa. Su implementación exitosa en OVIHUEC.DAT para el caso piloto de Somiedo valida el enfoque holístico del proyecto, allanando el camino para una gestión forestal transformadora en el marco de la transición ecológica.



## 6. Referencias bibliográficas

Fuentes de datos geoespaciales:

- Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Portal de descargas:
  - <https://centrodedescargas.cnig.es>
  - Acceso a PNOA ortofotos, MDS02 alturas, límites administrativos/municipales.
- Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Ortoimágenes históricas:
  - <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/ortofotos-historicas-pnoa>
  - Resolución 0.25m.
- Sentinel-2 / Copernicus (Comisión Europea): <https://www.copernicus.eu/es>
  - Mosaicos multiespectrales: Copernicus Open Access Hub (procesado vía Google Earth Engine)
  - Bandas espectrales, NDVI.
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). Cubiertas de usos del suelo 2019-2022: <https://www.icgc.cat>
  - SIGPAC, Corine Land Cover.
- GEDI (NASA). Observaciones LiDAR biomasa dosel vegetal:
  - <https://gedi.umd.edu>
  - Estimación de secuestro de carbono.

Herramientas y software:

- QGIS. Software SIG libre:
  - <https://qgis.org>
  - Procesamiento rasters geoespaciales, geoetiquetado.
- Qgis2threejs. Plugin QGIS para exportar glTF:
  - <https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs>
  - Generación de modelos 3D de territorio.
- Blender. Modelado 3D:
  - <https://www.blender.org>
  - Optimización de mallas, extracción de heightmaps.
- Supabase. Base de datos en tiempo real:
  - <https://supabase.com>
  - Almacenamiento de registros de collares geolocalizados de ganado.
- Google Earth Engine. Plataforma análisis satelital:



- <https://earthengine.google.com>
- Adquisición de recursos Sentinel.
- WebXR. Estándar de renderizado inmersivo a través de la web:
  - <https://immersive-web.github.io/webxr-samples>
  - Presentación en Realidad Virtual de la plataforma de visualización.
- Three.js. Librería de renderizado 3D WebGL:
  - <https://threejs.org>
  - Motor gráfico de la plataforma de visualización.
- Docker Compose. Orquestación del despliegue:
  - <https://docs.docker.com/compose>
  - Servicios frontend/backend de la plataforma.

Proveedores de collares de ganado geolocalizados:

- Nofence. Vallado virtual.
  - <https://nofence.com>
- Digitanimal. Geolocalización.
  - <https://digitanimal.com/>