

Junta de Andalucía

Consejería de Fomento,
Articulación del Territorio y Vivienda

Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía

**ASISTENCIA TÉCNICA
TRANSVERSAL, IMPLANTACIÓN
BIM Y CAPACITACIÓN PARA
GENERACIÓN DE GEMELO DIGITAL
DEL METROPOLITANO DE
GRANADA Y TRAMBAHÍA
CONECTADO CON OTRAS
PLATAFORMAS EXPLOTACIÓN**



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia

UTE GEMELO DIGITAL

wise**build.**

ingreen

civile

I	XXXXX
II	XXXXX
III	XXXXX
IV	XXXXX

APERTURA

**«POR QUÉ UN GEMELO DIGITAL
ES CRÍTICO PARA LA MOVILIDAD
DEL MAÑANA»**



Enrique González

Gemelo digital: del concepto al valor

Gemelos digitales: de la maqueta virtual al motor de valor real

¿Qué descubrirás en los próximos 45 minutos?

1. Qué es —y qué no es— un gemelo digital

Una representación virtual **conectada** que sincroniza en tiempo real obra civil y operación.

2. De dónde se nutre

- Modelos **BIM/GIS** que ubican cada tornillo en su contexto
- Sensores **IoT** que aportan el pulso segundo a segundo
- Herramientas de **analítica e IA** que convierten datos en decisiones

3. Por qué merece la pena

Reducciones medias de **-20 % en inactividad** y **-18 % en costes de mantenimiento** cuando se ap

4. Benchmark y Aopja

El **Øresund Bridge** ya planifica su mantenimiento en remoto gracias a su gemelo digital.
Primeros pasos y como representar el Gemelo Digital Bim

5. La clave del valor

Simulación, predicción y sostenibilidad reunidas en un mismo “lienzo” operativo.

Pregunta para arrancar

“¿Y si pudiéramos ver el fallo antes de que ocurra... y evitarlo?”

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3

4

No es solo un 3D, requiere de un hilo de datos continuo

- Digital Thread vivo → flujo continuo de datos IoT que sincroniza modelo y realidad
- Contexto geoespacial: fusión BIM + GIS para situar cada activo en su entorno real
- Analítica y ciencia de datos: de lo descriptivo a lo predictivo/prescriptivo sobre series temporales y espaciales
- Bucle cerrado de simulación-control-acción: el gemelo no solo informa, también actúa en tiempo real
- Diferencia clave respecto a BIM: BIM describe lo construido; el gemelo digital describe lo que **está pasando** y lo que **pasará**, gracias a su hilo de datos

BIM + GIS + IoT + Analytics = Gemelo Digital

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3

Gemelo Entorno conectado: lenguaje común y estándares

Definición ISO/IEC 30173 (2023) ⇒ “representación digital de un elemento con conexiones de datos que hacen converger los estados físico y digital”

La interoperabilidad depende de **interfaces y vocabulario comunes** entre plataformas OT/IT/IoT/BIM-GIS.

- La nueva **ISO/IEC 30173 — Digital Twin: Concepts & Terminology** cimienta ese lenguaje global. Sus puntos clave:
 - **Modelo de ciclos de vida:** cómo varían datos y modelos desde diseño hasta operación ([iso.org](https://www.iso.org))
 - **Tipos de gemelo:** descriptivo, analítico, predictivo, prescriptivo, autónomo (cdn.standards.iteh.ai)
 - **Vista funcional:** capas de comunicación, integración, persistencia y analítica (sesko.fi)
 - **Roles y partes interesadas:** propietario, operador, proveedor de datos, consumidor de servicios (cdn.standards.iteh.ai)
- Establece requisitos de **identidad única** para cada activo físico/digital y de **conexión segura** (API abiertas, Pub/Sub, OPC UA, OGC API).
- Sirve de paraguas para otras normas (ISO 19650, ISO 23247, OGC 3D Tiles) facilitando un **ecosistema conectado**.

6

«Sin un lenguaje estándar, los datos viajan... pero no se entienden»

Gemelo Entorno conectado: lenguaje común y estándares

Tipos de gemelo digital (ISO/IEC 30173)

- **Gemelo descriptivo** – refleja el estado actual con datos históricos y en tiempo real
- **Gemelo analítico** – enlaza modelos y analítica para diagnóstico de causa-raíz
- **Gemelo predictivo** – estima futuros estados mediante simulación o ML
- **Gemelo prescriptivo** – recomienda la acción óptima antes de que ocurra un evento
- **Gemelo autónomo** – ejecuta acciones automáticamente y se auto-reconfigura

Todos se construyen sobre el anterior, la madurez crece paso a paso pero se multiplica el valor sobre el anterior

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3

Y como se construye

- 1. Propósito y KPI claros** – ¿qué decisiones o riesgos quiero mejorar?
- 2. Cartografía/modelo de datos** – inventariar BIM, GIS, IoT, OT, ERP/GMAO y calidad disponible
- 3. Normalización y estándares** – aplicar **ISO 19650**, ISO 30173, **OGC**, OPC UA, NGSII-LD
- 4. Modelo base consolidado** – fusionar BIM + GIS como ‘single source of truth’ geoespacial
- 5. Conectar el Digital Thread** – integrar sensores y sistemas vía API seguras y mensajería
- 6. Analítica incremental** – comenzar con dashboards descriptivos → ML predictivo → IA prescriptiva
- 7. Cerrar el bucle** – pasar de alertas manuales a optimización y automatización de decisiones
- 8. Gobernanza y escalado** – roles, ciberseguridad, versiones y pruebas de valor continuo

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3

Objetivos de valor (OPEX → CAPEX)

Visibilidad absoluta – monitorización 360° de activos, entorno y operaciones en tiempo real

- **Trazabilidad de uso** – registro histórico de cargas, flujo de usuarios y condiciones ambientales
- **Mantenimiento optimizado** – de correctivo a predictivo, priorización basada en riesgo y coste
- **Predictibilidad operativa** – modelos que anticipan fallos, congestión o impactos climáticos
- **Seguridad reforzada** – detección precoz de condiciones peligrosas y guía de respuesta
- **Reducción del riesgo** – simulaciones “what-if” para planificar contingencias y resiliencia
- **Retroalimentación al CAPEX** – datos OPEX alimentan el rediseño y la inversión, recortando sobrecostes y mejorando sostenibilidad (menor huella de carbono y vida útil extendida) menos hormigón, menos acero, mas vida util

El gemelo digital convierte la operación diaria en conocimiento para diseñar la infraestructura del mañana.

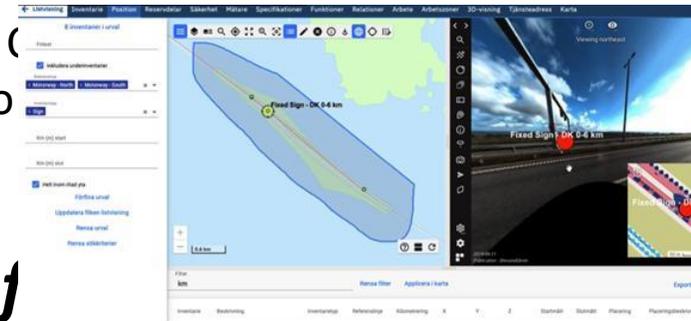
❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3

Benchmark: Øresund Bridge – gemelo digital para inversión sostenible

- **Activo icónico** – puente y túnel de 16 km que une Dinamarca y Suecia (autopista + ferrocarril)
- **Reto** – mantenimiento costoso bajo clima marino agresivo; CAPEX de refuerzo previsto a medio plazo
- **Gemelo digital 2018-2023** – fusión BIM/GIS, >20 000 sensores de fatiga y corrosión, modelos climáticos y de tráfico
- **Visibilidad y trazabilidad** – inspecciones virtuales 3D ↓55 % de visitas en altura y buceo
- **Mantenimiento predictivo** – algoritmos que adelantan intervenciones 24 meses antes → diferido CAPEX ≈ 30 M €
- **Huella de carbono** – menos desplazamientos y obras urgentes → -45 t CO₂e
- **Retroalimentación** – datos de uso y clima alimentan el plan de refuerzo optimizando diseño sostenible



Lección: el gemelo digital paga hoy el OPEX y mañana un CAPEX más preciso, seguro y bajo en carbono.

EL GEMELO DE LA AOPJA

LICITACIÓN PIONERA EN ESPAÑA

GEMELO DIGITAL BIM

DIGITALIZACIÓN MG Y TBC

MIDDLEWARE IOT, SCADA, IA

BIM → GIS: fusionando modelos y entorno

- **BIM como fuente de verdad (ISO 19650)** – estados *as-built*, *en construcción* y *planificado* alimentan el gemelo.
- **ETL IFC → Geo** – conversión de IFC a formatos geoespaciales (3D Tiles) para integrarse en GIS.
- **GIS/OGC como contexto** – topografía, redes, zoning y capas ambientales enriquecen el modelo con su realidad territorial.
- **Transformación 2.5D / 3D** – sistemas locales → EPSG global, niveles de detalle LOD 0-4 para web y móvil.
- **BuildingSMART ↔ OGC** – interoperabilidad entre IFC, BCF y OGC API / 3D Tiles v1.1 garantiza flujo bidireccional de datos.
- **Resultado** – un gemelo que vive en el espacio geográfico, accesible en web, móvil y realidad aumentada, listo para análisis y simulación.

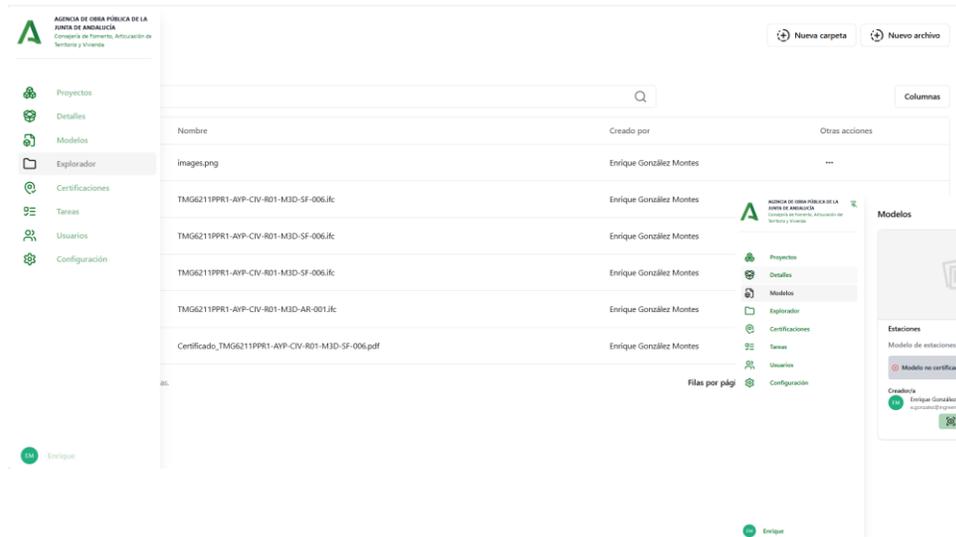
Del modelo de edificio al modelo digital del territorio: el gemelo digital hereda lo mejor de BIM y GIS.

12

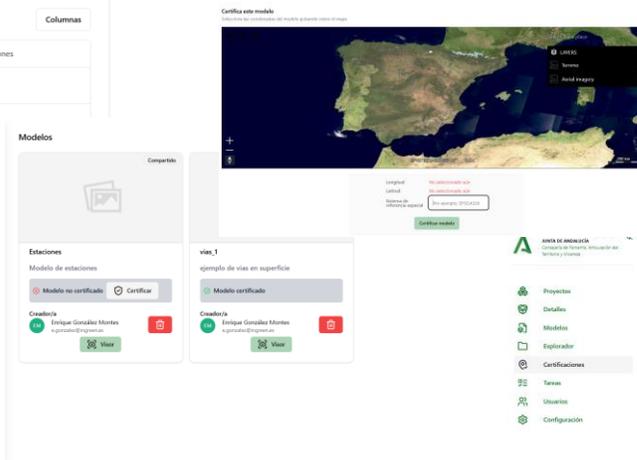
BIM → GIS: fusionando modelos y entorno

En resumen, el gemelo digital se construye sobre el common data environment de la aopja para modelos archivados

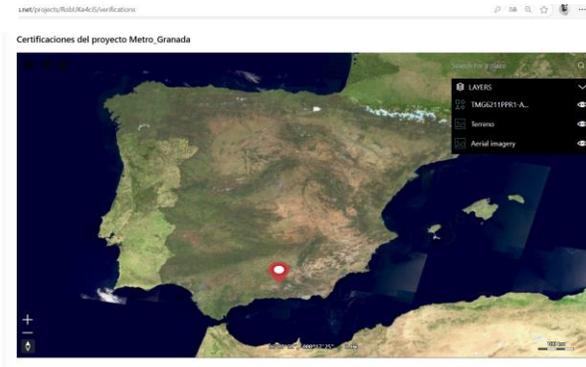
Punto 1



Punto 2



Punto 3

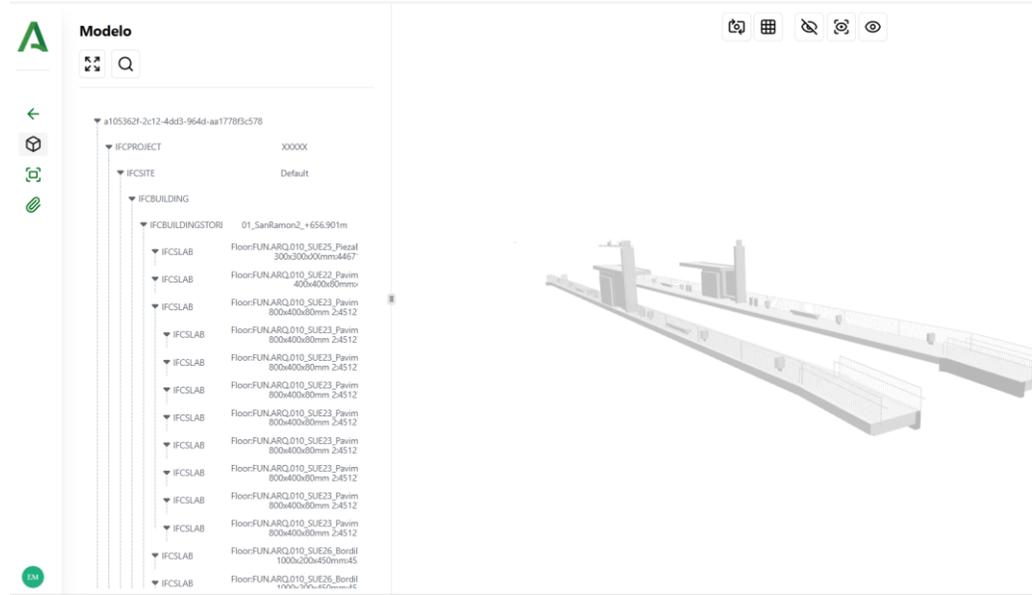


Los modelos bim se transforman dándole contexto geoespacial

ÍNDICE

GEMELO DIGITAL

BIM → GIS: fusionando modelos y entorno



Modelo

- IFCPROJECT XXXXX
- IFCSITE Default
- IFCBUILDING
 - IFCBUILDINGSTORI 01_SanRamon2_+656.901m
 - IFCSLAB FloorFUNARQ.010_SUE25_Piezal 300x300x00mm4467
 - IFCSLAB FloorFUNARQ.010_SUE23_Pavim 400x400x80mmv
 - IFCSLAB FloorFUNARQ.010_SUE23_Pavim 800x400x80mm 2-4512
 - IFCSLAB FloorFUNARQ.010_SUE26_Bordil 1000x200x450mm45
 - IFCSLAB FloorFUNARQ.010_SUE26_Bordil 1000x200x450mm45

Punto 1

Punto 2

Punto 3

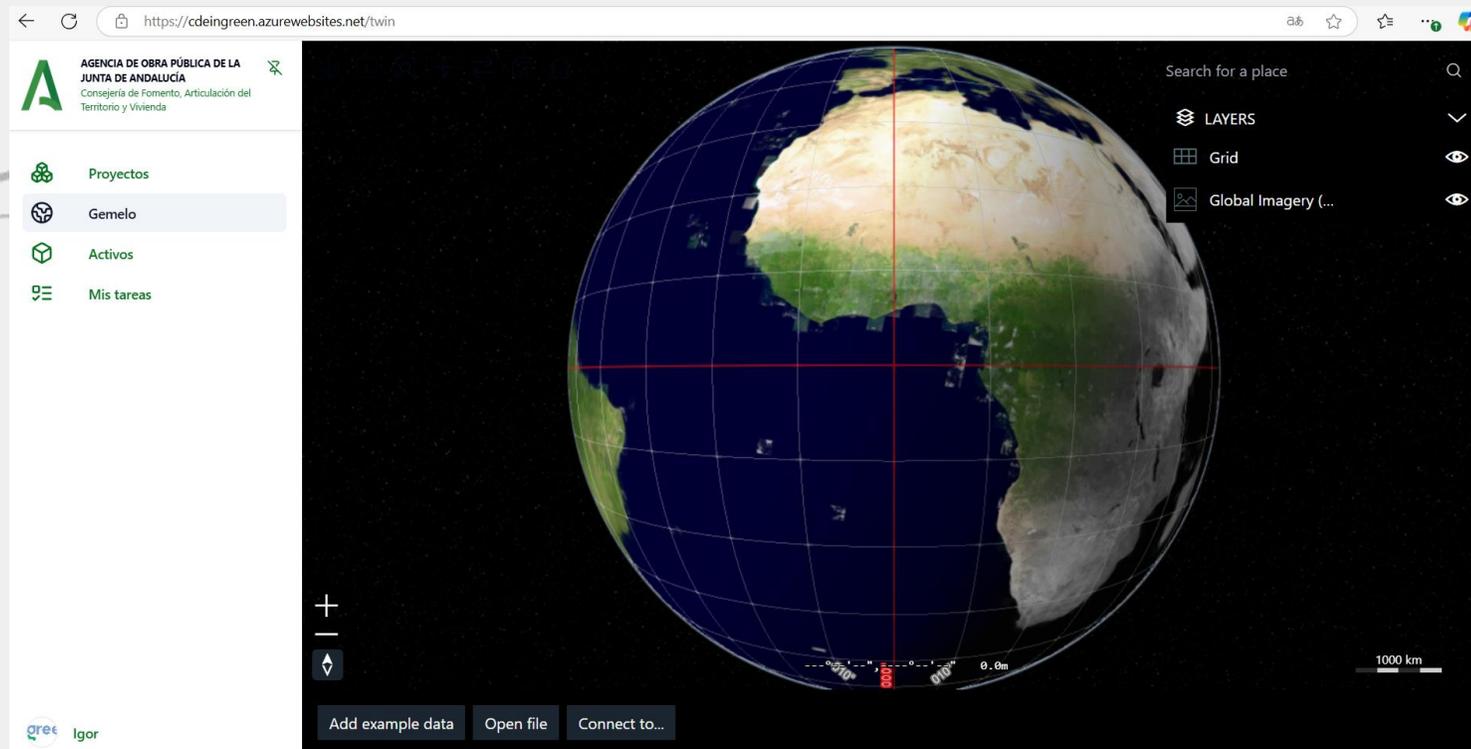
Modos de visualización geoespacial

- **OGC WMS** – mapas ráster base y superposiciones temáticas (ortofotos, cartografía histórica).
- **OGC WFS / OGC API Features** – capas vectoriales editables en vivo: señales, sensores, incidencias.
- **OGC WMTS / OGC API Tiles** – teselas 2D/2.5D para rendimiento web y móvil.
- **OGC 3D Tiles v1.1** – streaming de escenas 3D: edificios, infraestructuras, terrain.
- **OGC LTS (Lidar Tile Service)** – nubes de puntos y malla de terreno a nivel de centímetro.
- **Visor multicanal** – combina mapa 2D, globo 3D y secciones longitudinales para análisis integral.

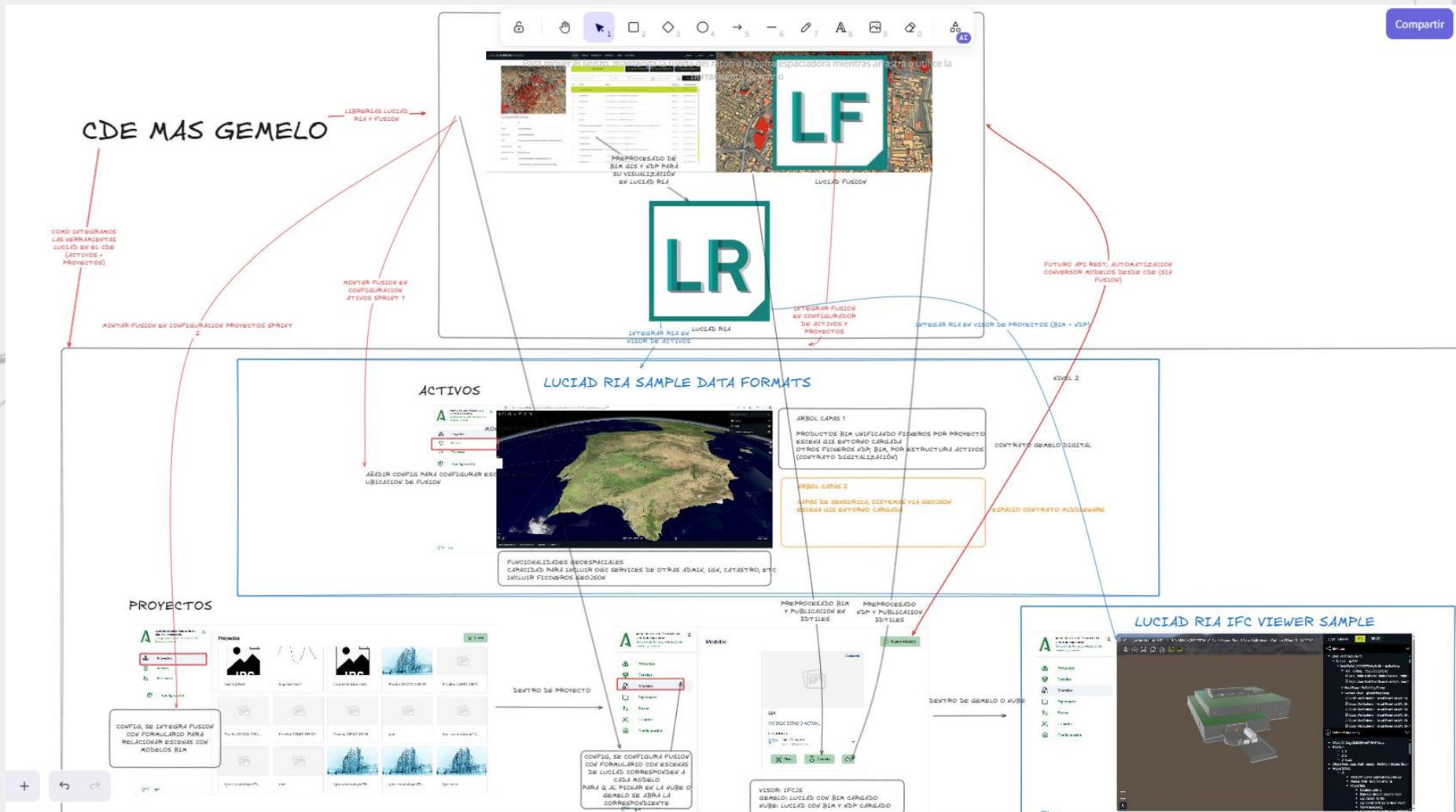
Un solo gemelo, múltiples ventanas: de la vista satelital al bulón de un viaducto en tres clics.

CDE + GEMELO DIGITAL

DEL CONCEPTO A LA REALIDAD



ESQUEMA



VISOR GEMELO GENERAL

ACTIVOS

LUCIAD RIA SAMPLE DATA FORMATS

NIVEL 2



AÑADIR CONFIG PARA CONFIGURAR ESCENA ACTIVO UBICACION DE FUSION

FUNCIONALIDADES GEOESPACIALES
CAPACIDAD PARA INCLUIR OGC SERVICES DE OTRAS ADMIN, IGN, CATASTRO, ETC
INCLUIR FICHEROS GEOJSON

ARBOL CAPAS 1

PRODUCTOS BIM UNIFICANDO FICHEROS POR PROYECTO
ESCENA GIS ENTORNO CARGADA
OTROS FICHEROS NDP, BIM, POR ESTRUCTURA ACTIVOS
(CONTRATO DIGITALIZACIÓN)

CONTRATO GEMELO DIGITAL

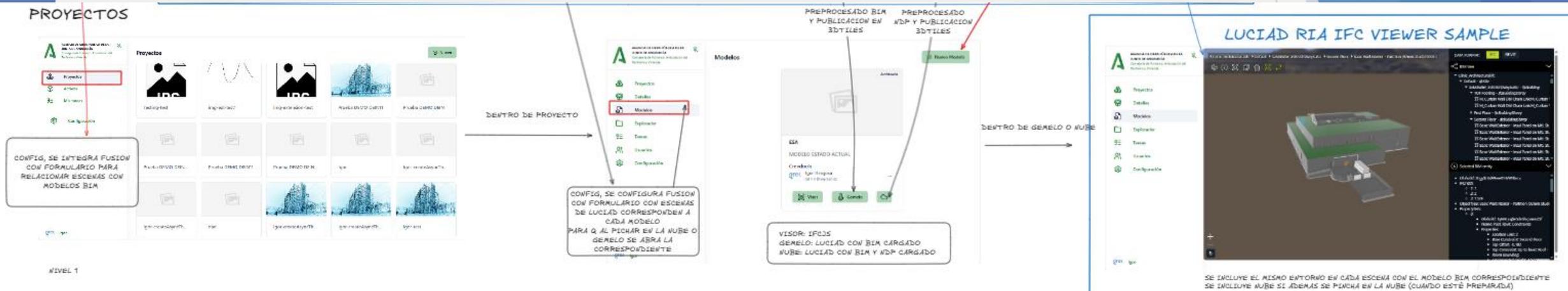
ARBOL CAPAS 2

CAPAS DE SENSORICA, SISTEMAS VIA GEOJSON
ESCENA GIS ENTORNO CARGADA

ESPACIO CONTRATO MIDDLEWARE

cdeingreen.azurewebsites.net/projects

VISOR GEMELO PROYECTO



[IFC / Revit Viewer sample](#)

NUESTRA APLICACIÓN BIM GIS

FUSION STUDIO

The screenshot displays the LuciadFusion Studio web application interface. At the top, there is a navigation bar with the application logo and name 'LuciadFusion Studio' on the left, and a menu with 'DATA', 'STYLES', 'PRODUCTS', 'SERVICES' (highlighted), 'JOBS', and 'SETTINGS' in the center. On the far right of the navigation bar are 'admin' and 'Help' links.

The main content area is divided into two columns. The left column features a map viewer with a red bounding box and a message: 'Showing bounds only. The data can't be previewed.' Below the map, the details for a selected service are shown:

- Service ID:** 3D-TMG6211PPR1-AYP-CIV-R01-M3D-UR-005 [GEOMETRY]
- TYPE:** OGC3DTILES
- STATUS:** Running
- URL:** https://luciadfusionfd-fjggaygbcybtbbs.a03.azurefd.net/ogc/3dtiles/3d-tmg6211ppr1-ayp-civ-r01-m3d-ur-005_geometry/tileset.json

The right column contains a '+ CREATE SERVICE' button and a search bar with filters for 'Any', 'Enter start date', and 'Enter end date', followed by a 'SEARCH' button. Below the search bar is a table listing various services:

TITLE	TYPE	STATUS	CREATED BY	DATE CREATED	START/STOP	REMOVE
Metro granada wms	WMS	Running	admin	4/6/2025 21:00		✕
Metro granada wfs	WFS	Running	admin	4/6/2025 20:57		✕
3D-TMG6211PPR1-AYP-CIV-R01-M3D-UR-005 [GEOMETRY]	OGC3D...	Running	admin	3/6/2025 12:16	 	✕
LTS-2505.MDT MAYO2025	LTS	Running	admin	28/5/2025 15:13		✕
Service name	OGC3D...	Pending	admin	28/5/2025 15:10		✕
Servicio creado por Igor desde Postman	OGC3D...	Stopped	admin	28/5/2025 10:29	▶	✕
3NoxPJ5Zmu [GEOMETRY]	OGC3D...	Pending	admin	28/5/2025 10:20		✕
LTS MDT25-ETRS89-H30-0320-3-COB2	LTS	Running	fusion_guest_us...	27/5/2025 15:33		✕
NDP-Prueba2 [POINT CLOUD]	OGC3D...	Running	fusion_guest_us...	27/5/2025 15:11		✕
NDP-Prueba1 [POINT CLOUD]	OGC3D...	Running	fusion_guest_us...	27/5/2025 15:05		✕
NBP-TMG6129OAT0-GEN-PAR ALB-P01 parte4 [POINT CLOUD]	OGC3D...	Running	fusion_guest_us...	26/5/2025 20:14		✕

EJEMPLO PRACTICO

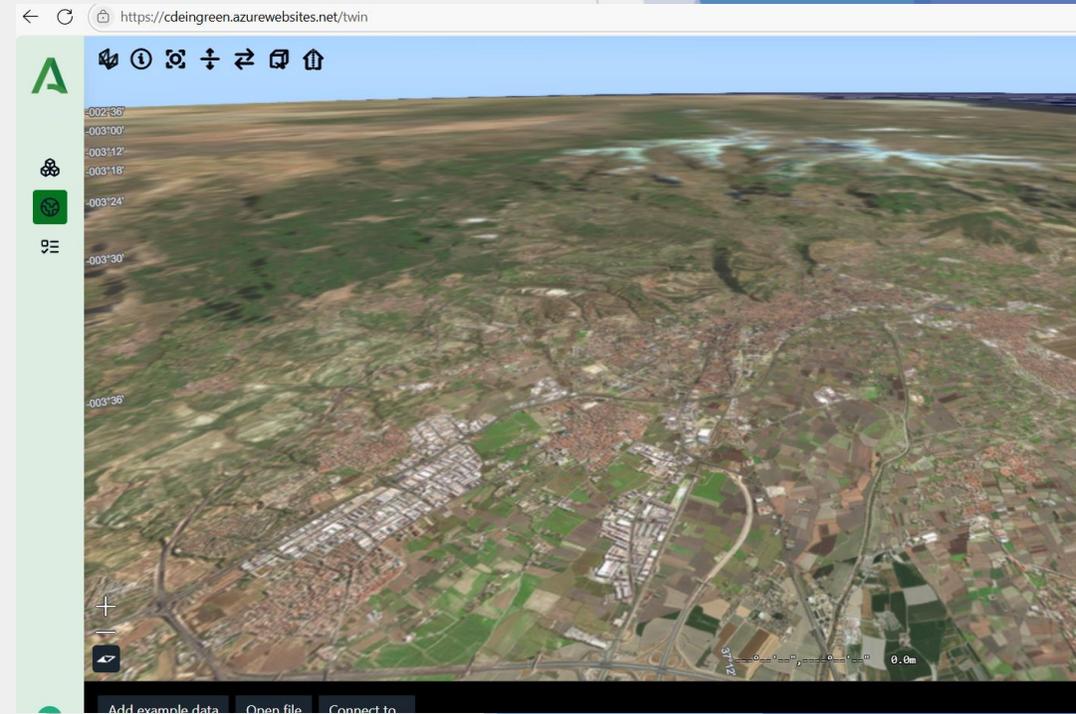
COMO CONSTRUIR UN GEMELO DIGITAL CONSTRUIDO BIM GIS



EJEMPLO PRACTICO

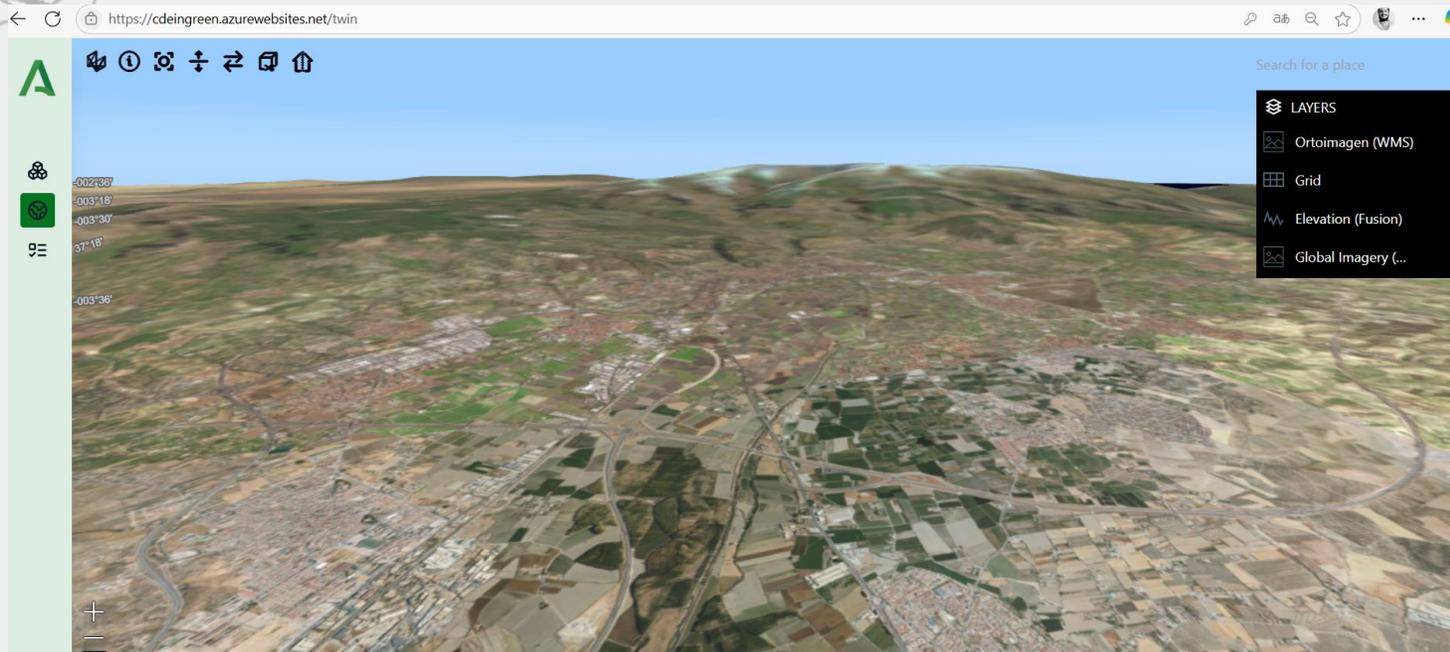
IMÁGENES SATELITALES ENTORNO WMS IGN

<https://www.ign.es/wms-inspire/pnoa-ma?SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities&VERSION=1.3.0>



EJEMPLO PRACTICO

MODELO DIGITAL TERRENO LTS FUSION



EJEMPLO PRACTICO

ENTIDADES 2,5D



EJEMPLO PRACTICO

ENTIDADES 3D BIM

3DTILES FUSION

https://luciadfusiofd-fjggaygbcybtbbcs.a03.azurefd.net:/ogc/3dtiles/3d-tmg6211ppr1-ayp-civ-r01-m3d-ur-005_geometry/tileset.json

https://luciadfusiofd-fjggaygbcybtbbcs.a03.azurefd.net:/ogc/3dtiles/tiles-tmg6211ppr1-ayp-civ-r01-m3d-ar-001_geometry/tileset.json

https://luciadfusiofd-fjggaygbcybtbbcs.a03.azurefd.net:/ogc/3dtiles/tiles-tmg6211ppr1-ayp-civ-r01-m3d-ea-001_geometry/tileset.json

EJEMPLO PRACTICO

ENTIDADES 3D LIDAR

3DTILES FUSION

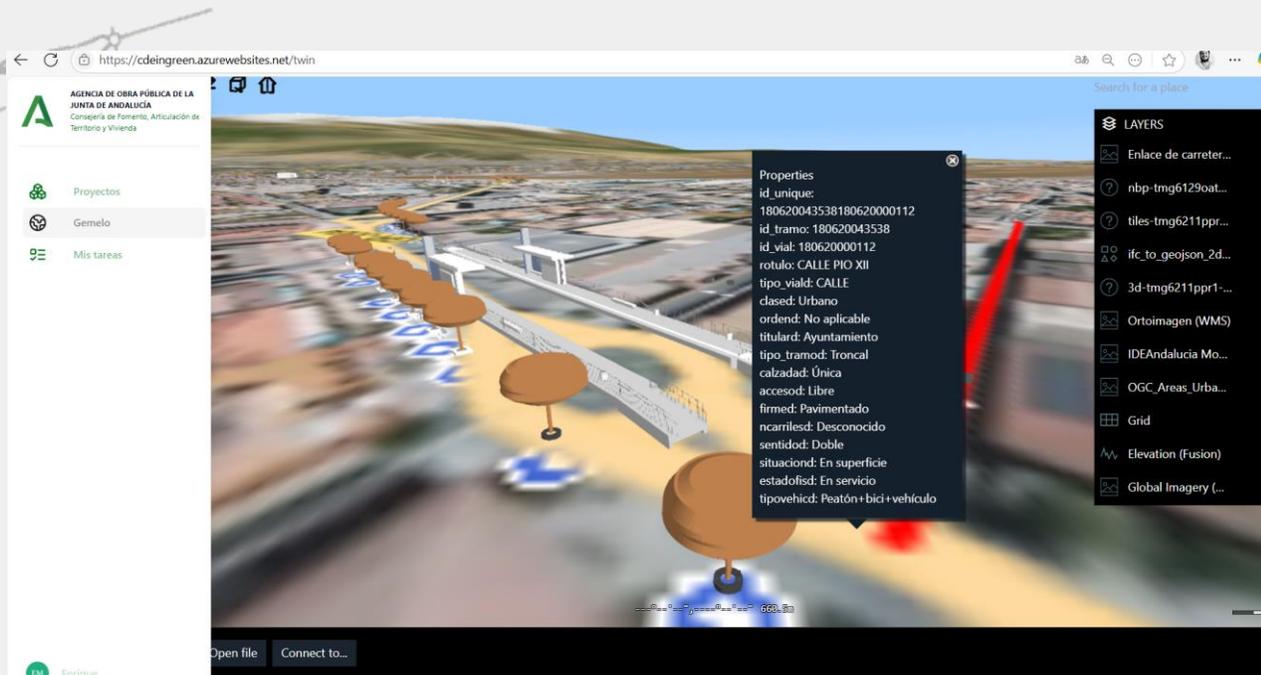
https://luciadfusionfd-fjggaygbcybtbbcs.a03.azurefd.net:/ogc/3dtiles/nbp-tmg6129oat0-gen-par_alb-p01_parte4_point_cloud/tileset.json



EJEMPLO PRACTICO

INFORMACIÓN PUBLICA

WMS WFS



EJEMPLO PRACTICO

SENSORES GEOJSON



GEMELO DIGITAL + MIDDLEWARE

DE CONSTRUIDO A OPERATIVO



CONSTRUIDO A OPERATIVO, LA IMPORTANCIA DEL MIDDLEWARE

- **Estado construido** – geometría y metadatos BIM ‘as-built’ procedentes del CDE (ISO 19650, IFC, BCF).
- **Estado operativo** – lecturas IoT/OT de sensores (vibración, clima, tráfico) en tiempo real.
- **Integración en el CDE** – el Common Data Environment vincula cada sensor a un punto en el espacio y se vincula con parámetros a elementos bim.
- **OGC API Features** – expone los datos operativos como **GeoJSON**; cada “feature” hereda ID y ubicación del activo.
- **Canal único middleware** – flujos en tiempo real vía WebSocket y acceso histórico/analítico mediante OGC API Processes al data-lake Bronze/Silver/Gold, todo desde un endpoint estándar del gemelo.
- **Beneficio** – un único canal API abierta; facilita analítica predictiva, auditorías y trazabilidad completa.

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3

31

ÍNDICE

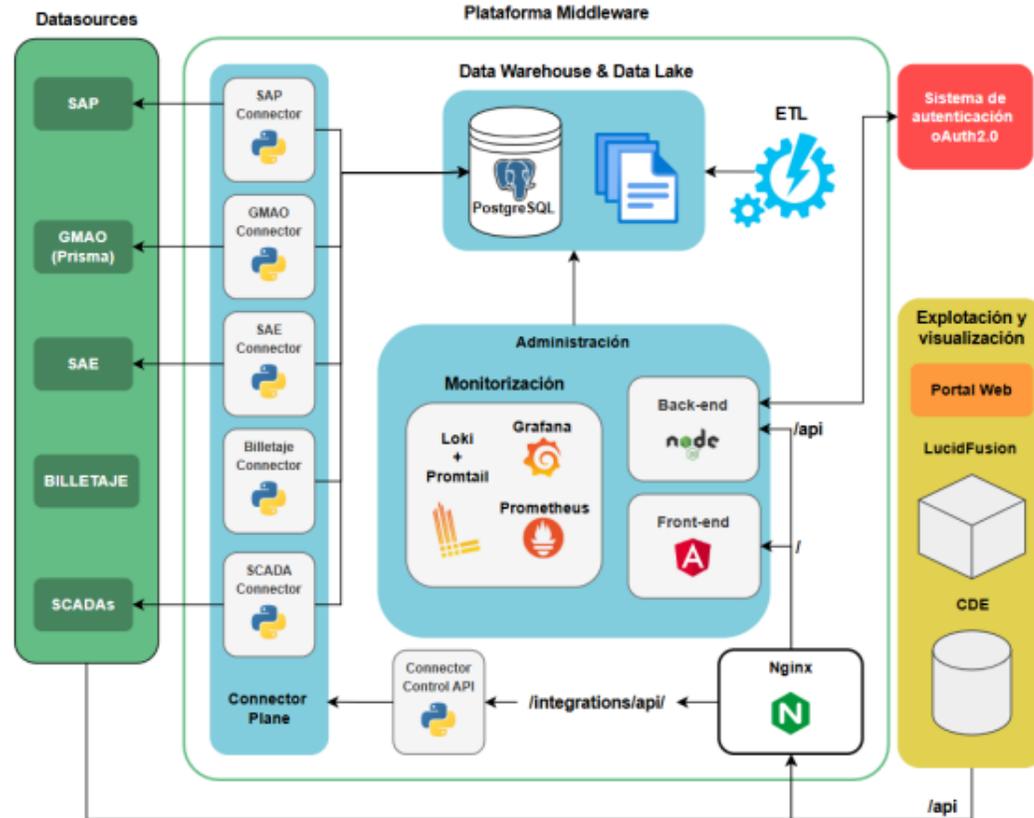
GEMELO DIGITAL

CONSTRUIDO A OPERATIVO, LA IMPORTANCIA DEL MIDDLEWARE

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3



GEOJSON

Arquitectura lakehouse – capas Bronze (crudo), Silver (depurado) y Gold (curado) almacenan telemetría, BIM, GIS y registros GMAO.

- **ETL ↔ ELT** – ingestión en tiempo real con Kafka/Delta Lake y batch nocturno para históricos pesados.
- **ML clásico** – regresión, clasificación y forecasting sobre series temporales de carga y clima.
- **IA generativa** – LLMs & diffusion generan escenarios sintéticos, rellenan huecos de datos y proponen rutas de mantenimiento optimizadas.
- **Publicación OGC Style & Metadata** – resultados se exponen como estilos con luciad ria y fusiono atributos extras en 3D Tiles; **el gemelo colorea activos según riesgo, salud o eficiencia, según los resultados del análisis.**

- **Valor** – insights reproducibles, visuales y accionables que transforman datos crudos en decisiones de alto impacto.

Del dato al información: el data-lake inspira a la IA, y la IA pinta la verdad en el gemelo digital.

ÍNDICE

ESENCIA DEL GEMELO DIGITAL DE LA AOPJA

- **Entorno virtual como lienzo** – fusiona datos ‘as-built’, operativos y modelos IA en tiempo real.
- **Analítica proyectada** – resultados predictivos/prescriptivos se muestran como estilos dinámicos, KPIs y simulaciones.
- **Centro de decisiones** – del gemelo descriptivo al prescriptivo, el operador ve el futuro antes de actuar.
- **Hacia el gemelo autónomo** – próximo paso: cerrar el bucle para que el sistema ejecute acciones seguras por sí mismo.
- **Beneficio integral** – OPEX eficiente, CAPEX optimizado, más seguridad y sostenibilidad.

Del dato a la acción: hoy decide con nosotros, mañana decide por sí mismo.

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3

ÍNDICE

ESENCIA DEL GEMELO DIGITAL DE LA AOPJA

Nuestro lienzo tridimensional: nos comunica que está pasando

❑ Punto 1

❑ Punto 2

❑ Punto 3



35

Del dato a la acción: hoy decide con nosotros, mañana decide por sí mismo.



Consejería de Fomento,
Articulación del Territorio y Vivienda

Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia