

ENFOQUE DATA-DRIVEN PARA LA GENERACIÓN DE MODELOS BIM BAJO DEMANDA EN PLANTAS SOLARES

Evelio Sánchez¹

¹ IfcAddict, Friol (Lugo), España, evelio@ifcaddict.com

Resumen

La aplicación de la metodología BIM en proyectos de plantas solares fotovoltaicas pone de manifiesto las limitaciones de un enfoque centrado en el archivo y en el modelo geométrico como origen principal de la información. La dependencia del modelado manual, de los formatos propietarios y del software autor dificulta la escalabilidad de los procesos, el control del dato y la reutilización efectiva de la información entre disciplinas y fases del ciclo de vida del activo.

Este trabajo presenta un enfoque data-driven que invierte el flujo tradicional de generación de proyectos BIM. El modelo geométrico deja de ser el origen de la información para convertirse en un producto derivado, temporal y regenerable a partir de los datos. Toda la información del proyecto, incluida la definición geométrica, se gestiona de forma estructurada en una base de datos relacional PostgreSQL con extensión espacial PostGIS, que actúa como fuente única de verdad del sistema.

La geometría no se almacena como un modelo estático, sino que se genera bajo demanda, en tiempo de ejecución, mediante una API capaz de construir modelos BIM específicos según las necesidades de cada proceso o agente. Este enfoque permite desacoplar la gestión de datos de las herramientas de modelado y visualización, facilitando la interoperabilidad, la automatización y la generación determinista de documentación y modelos.

El sistema elimina el modelado manual como punto de partida, rompe con el paradigma del archivo y reduce la dependencia tecnológica de plataformas concretas. Aunque actualmente se encuentra en fase piloto, los resultados iniciales muestran el potencial de esta arquitectura para redefinir la forma en que se generan, consumen y mantienen los modelos BIM en proyectos de infraestructuras energéticas de gran escala, especialmente en entornos donde la complejidad y volumen de datos superan las capacidades de los flujos BIM convencionales.

Palabras Clave: bim, data-driven, plantas solares, openbim

1 Introducción

La adopción de metodologías BIM se ha consolidado en el sector AECO como instrumento para estructurar, coordinar y reutilizar información a lo largo del ciclo de vida de los activos. En el contexto europeo y global, la serie ISO 19650 establece un marco para la gestión colaborativa de la información, enfatizando responsabilidades, flujos y contenedores verificables [1]. Sin embargo, su implementación sigue condicionada por herramientas centradas en el modelado geométrico, donde el archivo BIM actúa como contenedor principal.

Diversos estudios señalan que el reto no es solo generar el modelo, sino asegurar la calidad, consistencia y gobernanza de la información [2]. La integración BIM-GIS se ha planteado para

mejorar la interoperabilidad en infraestructuras a gran escala [3][4][2], aunque generalmente mantiene el modelo BIM como origen del dato, relegando las bases de datos.

En paralelo, la digitalización industrial destaca la necesidad de estructuras de datos centralizadas y trazables como fuente única de verdad [5]. En el ámbito geoespacial, bases como PostgreSQL/PostGIS han demostrado eficacia en la gestión de información vectorial [6], pero su uso como núcleo en arquitecturas BIM orientadas a proceso sigue poco explorado en infraestructuras energéticas.

Las plantas solares fotovoltaicas representan un entorno exigente por la gran cantidad de elementos repetitivos y su evolución continua [7][8]. El flujo habitual parte de CAD y topografía hacia modelos BIM, pero al crecer la escala y las necesidades de distintos agentes, el modelo geométrico deja de ser eficiente como contenedor integral.

Se propone una arquitectura data-driven aplicada a plantas solares, donde una base de datos relacional espacial actúa como núcleo. La geometría y los modelos BIM se generan bajo demanda mediante una API que garantiza trazabilidad. Esta propuesta formaliza un cambio metodológico: el modelo pasa a ser una representación derivada dentro de una arquitectura de gobernanza del dato orientada a proceso [9].

2 Marco conceptual y estado de la cuestión

2.1 El modelo BIM como contenedor geométrico vs. arquitectura de datos orientada a proceso

La consolidación de la metodología BIM ha supuesto un avance en la integración de información geométrica y semántica en un entorno coordinado. Los modelos BIM funcionan como contenedores digitales que integran datos a lo largo del ciclo de vida del activo, facilitando la coordinación interdisciplinar y la toma de decisiones.

No obstante, su implementación sigue ligada a herramientas de autoría y a estructuras basadas en archivos, donde el modelo geométrico actúa como repositorio principal. En infraestructuras extensivas y repetitivas, esto genera modelos masivos con información heterogénea, provocando problemas de escalabilidad, rendimiento y trazabilidad, y desplazando la interoperabilidad hacia la compatibilidad de formatos más que hacia la coherencia estructural.

Estudios sobre integración BIM–GIS señalan que el reto no es solo la transformación de formatos, sino la alineación semántica y estructural entre dominios [10], lo que apunta a la necesidad de arquitecturas donde la geometría sea una dimensión del dato y no su núcleo.

Desde una perspectiva estructural, se distinguen arquitecturas centradas en el artefacto y orientadas a proceso. Esta diferencia es clave cuando el volumen y dinamismo de la información superan la capacidad del archivo como unidad estructural.

2.2 Gobernanza del dato y single source of truth

La gestión de la información en entornos colaborativos exige procesos definidos, responsabilidades claras y estructuras verificables.

En numerosos contextos profesionales, la información del proyecto se distribuye entre modelos BIM, hojas de cálculo y diversas plataformas, generando un entorno fragmentado con repositorios parcialmente sincronizados. Esta dispersión favorece duplicidades, inconsistencias y pérdida de trazabilidad cuando no existe una fuente única de verdad [1][5]. La fragmentación dificulta además el control de versiones y la reconstrucción histórica de estados, especialmente en fases de ejecución y certificación [11].

Diversos estudios sobre digitalización en construcción coinciden en que la mejora de la productividad y el control operativo depende de estructuras de datos integradas y trazables, capaces de actuar como fuente única de verdad en entornos colaborativos complejos [5][1][11].

La gobernanza del dato exige definir mecanismos explícitos de validación, versionado, control de acceso y trazabilidad, así como separar el núcleo estructural de información de las herramientas que lo consumen o representan.

2.3 Integración BIM–GIS y bases de datos espaciales

La integración BIM–GIS ha sido ampliamente estudiada para abordar proyectos de gran escala territorial o infraestructura, demostrando el valor de las capacidades espaciales para la gestión de implantaciones y análisis topológicos. Sin embargo, en la mayoría de desarrollos documentados, la base de datos espacial desempeña un papel auxiliar, mientras el modelo BIM continúa actuando como fuente primaria del dato.

Tradicionalmente, las investigaciones se ha centrado en la interoperabilidad entre formatos más que en el desplazamiento del núcleo informacional hacia arquitecturas capaces de generar modelos bajo demanda. Esta brecha resulta especialmente relevante en infraestructuras energéticas extensivas, donde la repetitividad, la dependencia topográfica y la diversidad de consumidores de información exigen un enfoque estructural distinto.

3 Problema y contexto industrial

3.1 Características informacionales de una planta fotovoltaica

Las plantas solares fotovoltaicas son infraestructuras caracterizadas por alta repetitividad y fuerte dependencia topográfica. A diferencia de la ingeniería y arquitectura más convencionales, se organizan mediante jerarquías técnicas parametrizadas y replicadas a gran escala.

Una planta media puede incorporar decenas de miles de módulos, cientos de trackers, strings, inversores, múltiples centros de transformación y redes eléctricas y de datos, cada elemento con atributos geométricos, eléctricos, económicos, datos de producto, etc. que evolucionan a lo largo del ciclo de vida.

Desde el punto de vista informacional, presentan:

- Gran volumen de entidades repetitivas con alto contenido alfanumérico.
- Dependencia espacial crítica.
- Jerarquías funcionales (módulo-string-inversor-grupo de potencia).
- Evolución continua del dato durante la ejecución.
- Múltiples consumidores con necesidades heterogéneas.

La información, por tanto, no responde a una única lógica de representación, sino a diferentes formas de consulta, agregación y explotación que trascienden la mera visualización tridimensional.

3.2 Limitaciones del enfoque de gestión de información con metodología BIM centrado en herramienta de autoría

En el caso objeto de estudio, la organización se encontraba en un proceso de implementación de procesos con metodología BIM basado en herramientas de autoría orientadas al modelado paramétrico. Este enfoque permitía generar representaciones geométricas coherentes, pero comenzaba a mostrar limitaciones significativas en la gestión integral del volumen de datos asociado a una planta fotovoltaica de gran escala.

3.2.1 Escalabilidad del modelo BIM como contenedor de datos

La limitación de escalabilidad en modelos BIM no responde a su arquitectura conceptual, sino a su implementación habitual como archivos monolíticos vinculados a herramientas de autoría.

Aunque desde el punto de vista teórico los modelos BIM pueden contener grandes volúmenes de datos, la centralización de la información en sistemas basados en archivos introduce dependencias que dificultan la gestión eficiente, especialmente en contextos complejos con múltiples dominios, necesidades de versionado y trazabilidad.

En los casos indicados, el modelo BIM deja de comportarse como un sistema escalable y pasa a ser un contenedor condicionado por el rendimiento, la interoperabilidad, el software utilizado o el hardware disponible. El problema, por tanto, no reside en el modelo BIM en sí, sino en su uso predominante centrado en el archivo y la geometría como origen del dato.

3.2.2 Duplicidad y dispersión de información

Parte de la información necesaria para la gestión del proyecto (mediciones, estados de ejecución, incidencias, certificaciones, logística) se almacena en sistemas externos (hojas de cálculo, plataformas colaborativas, sistemas ERP) generando múltiples versiones de la misma realidad y dificultando la coherencia global.

3.2.3 Dificultad de trazabilidad y control de versiones

El modelo, concebido como archivo principal, no siempre permite reconstruir de manera transparente los estados históricos del proyecto ni establecer una correspondencia clara entre decisiones de diseño, cambios en obra y documentación contractual.

3.2.4 Rigidez en el consumo de datos

Los distintos intervinientes no siempre requieren el mismo nivel de detalle ni la misma representación. Forzar el acceso a través de una herramienta de autoría implica dependencias tecnológicas, barreras de acceso y, en ocasiones, reinterpretaciones manuales del dato.

3.2.5 Acoplamiento entre lógica de negocio y herramienta específica

Las reglas técnicas, validaciones y relaciones jerárquicas suelen quedar implícitas en la estructura del modelo o en procedimientos internos de la herramienta, dificultando su reutilización en otros entornos o sistemas.

Estas limitaciones no invalidan el valor del modelado con herramientas de autoría BIM, pero evidencian que el modelo geométrico, entendido como contenedor primario de información, puede no ser la arquitectura más adecuada cuando el desafío principal es la gobernanza estructurada de un gran volumen de datos heterogéneos y espacialmente referenciados.

3.3 Necesidad de una arquitectura informacional alternativa

La situación descrita conduce a una cuestión central: ¿puede el modelo BIM seguir actuando como núcleo estructural del sistema informacional en infraestructuras extensivas, o resulta necesario redefinir la arquitectura desde una perspectiva orientada a datos?

En el caso analizado, la organización requería:

- Una única fuente de verdad centralizada, capaz de servir información coherente a múltiples agentes.
- Un sistema que permitiera gestionar entidades espaciales y no espaciales de forma integrada.
- Capacidad de consultas espaciales avanzadas (intersecciones, pertenencias a polígonos, proximidades, trazados).
- Mecanismos de control de acceso, validación y trazabilidad.
- Independencia respecto a herramientas de autoría específicas.
- Posibilidad de generar modelos y entregables bajo demanda, sin que éstos constituyeran el origen del dato.

La convergencia de estos requisitos evidenció que el problema no residía en la representación geométrica, sino en la estructura y gobernanza del dato. Este diagnóstico fundamenta la exploración de una arquitectura alternativa en la que la base de datos relacional con capacidades espaciales actúe como núcleo estructural, desplazando el modelo BIM a un rol derivado dentro del sistema.

4 Arquitectura de información propuesta

4.1 Modelo de datos relacional con capacidades espaciales

La arquitectura propuesta centraliza la información del proyecto en una base de datos relacional con capacidades espaciales (PostgreSQL + PostGIS), integrando entidades geométricas y atributos técnicos, económicos y de estado dentro de un núcleo estructural normalizado.

El modelo de datos se diseñó a partir de la estructura funcional real de una planta, definiendo entidades como módulos, strings, trackers, inversores o centros de transformación mediante tablas relacionadas por claves foráneas (referencia entre tablas) que reproducen la jerarquía técnica del sistema. Cada entidad incorpora un identificador persistente, una geometría asociada y atributos normalizados que garantizan trazabilidad y control del ciclo de vida.

La integración de PostGIS permite ejecutar consultas espaciales directamente sobre el esquema relacional, automatizando la sectorización, el cálculo de longitudes, el análisis de proximidades y la evaluación de afecciones territoriales sin procesos intermedios.

La geometría se configura así como una dimensión del dato dentro de una estructura relacional que asegura integridad referencial y evolución controlada del esquema.

4.2 Capa de abstracción mediante API

Para desacoplar el núcleo de datos de las herramientas consumidoras, se implementó una API como interfaz única de acceso.

Esta capa establece control de acceso y seguridad, encapsula la lógica de negocio (validaciones, coherencia jerárquica e integridad), normaliza las respuestas según las necesidades de cada aplicación y registra las operaciones para garantizar trazabilidad y auditoría.

La API actúa así como contrato formal entre el núcleo estructural del dato y el ecosistema de herramientas, evitando dependencias de software específico y concentrando la lógica técnica en un punto único [11].

La separación entre almacenamiento, lógica y representación permite evolucionar cada capa de forma independiente, aumentando la resiliencia del sistema.

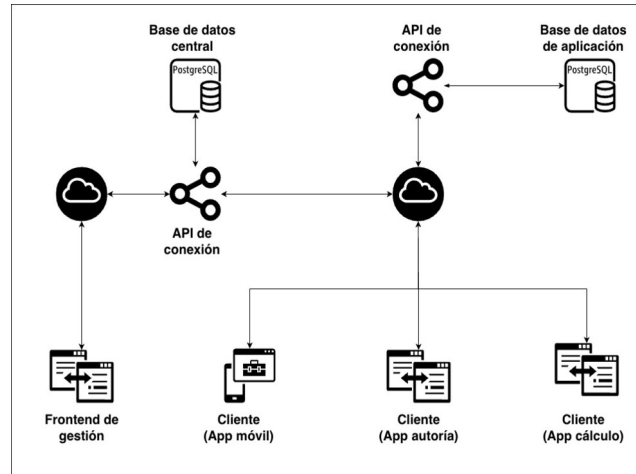


Figura 1. Arquitectura funcional. Fuente: Elaboración propia (2026)

4.3 Generación de geometría y modelos bajo demanda

Uno de los elementos centrales de la propuesta es la inversión del flujo tradicional de generación de información: en lugar de partir de un modelo geométrico que concentra y distribuye datos, la arquitectura toma el dato estructurado como núcleo generador. La geometría se almacena como entidad primaria (por ejemplo, en trazados o polígonos), se deriva de parámetros y relaciones o se genera dinámicamente cuando se requiere una representación tridimensional o interoperable [12].

Los modelos BIM dejan de ser la fuente primaria de verdad para convertirse en representaciones derivadas destinadas a coordinación, visualización, exportación o entrega. Este enfoque reduce redundancias, garantiza coherencia entre vistas al generarse desde una única fuente estructurada, permite regenerar modelos a partir de datos versionados y refuerza la independencia respecto a herramientas específicas.

La arquitectura no elimina los modelos BIM, sino que redefine su papel como artefactos generados desde una estructura gobernada y auditada. En conjunto, se propone pasar de un entorno centrado en archivos a un sistema orientado a procesos donde la base de datos espacial actúa como núcleo y la geometría se genera bajo demanda según el estado del proyecto.

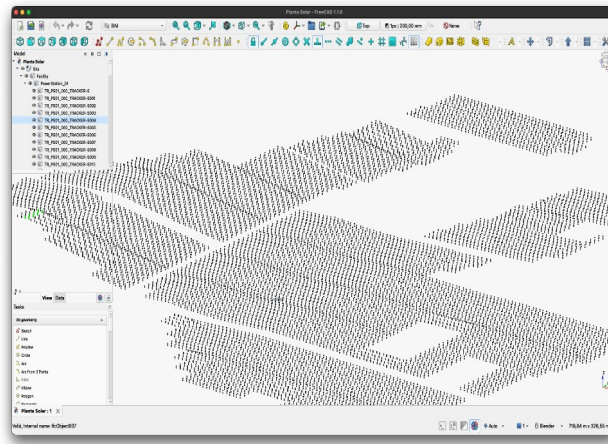


Figura 2. Exportación parcial en la herramienta FreeCAD. Fuente: Elaboración propia (2026)

4.4 Marco metodológico de diseño y validación

La arquitectura descrita no se concibe como una solución tecnológica aislada, sino como la materialización de un conjunto de criterios de diseño orientados a proceso. Su desarrollo se fundamentó en cinco principios: centralización estructural del dato, separación entre almacenamiento y representación, escalabilidad ante alta densidad de entidades repetitivas, independencia respecto a herramientas de autoría y trazabilidad completa de estados del proyecto.

Para evaluar su adecuación, se definió un marco de validación basado en cuatro dimensiones: consistencia informacional, capacidad de reconstrucción histórica de estados, rendimiento en consultas espaciales y grado de reutilización del dato por parte de distintas herramientas consumidoras. Estas dimensiones permiten analizar la arquitectura no únicamente desde el punto de vista técnico, sino en términos de gobernanza de la información y alineación con los principios establecidos en la serie ISO 19650.

5 Implementación en caso real

5.1 Alcance del piloto

La arquitectura descrita se implementó en un proyecto real de desarrollo de plantas solares fotovoltaicas, dentro de un entorno empresarial en proceso de adopción de metodología BIM basado en herramientas de autoría habituales. En esta primera fase, el alcance se limitó deliberadamente al desarrollo de un producto mínimo viable (MVP) para validar los principios estructurales antes de incorporar la totalidad de las capas informacionales.

El MVP no incluyó toda la información no geométrica del ciclo completo del activo ni integró la topografía como capa estructural en la base de datos. Su incorporación constituye un objetivo específico de la segunda fase, actualmente en desarrollo. En esta fase inicial se partió de un esquema inicial CAD con una estructura de capas organizada, capaz de aportar información semántica básica y permitir un primer mapeo hacia el modelo relacional.

El esquema de partida incorporaba bloques estandarizados y anidados que representaban entidades técnicas como trackers o strings. Su definición consistente permitió extraer relaciones jerárquicas implícitas y trasladarlas a la base de datos como relaciones explícitas mediante claves foráneas. Las posiciones de inserción y atributos asociados sirvieron como base para generar las geometrías iniciales en el sistema relacional.

El volumen de entidades gestionadas en esta fase incluyó miles de elementos repetitivos y múltiples relaciones jerárquicas, permitiendo evaluar el comportamiento del sistema en escenarios de alta densidad informacional, incluso sin haber incorporado la totalidad de las dimensiones previstas.

5.2 Integración con herramientas existentes

Uno de los principios del piloto fue evitar una disrupción abrupta de los procesos consolidados. Por ello, la base de datos espacial no sustituyó de inmediato a las herramientas de diseño, sino que se posicionó como núcleo estructural al que estas se conectaban mediante la API.

En esta primera fase, la integración se limitó al esquema inicial CAD como fuente geométrica estructurada. La topografía continuó gestionándose en sus entornos habituales y no formó parte del núcleo relacional del MVP. Esta delimitación respondió a una estrategia incremental orientada a validar primero la estructura jerárquica y semántica derivada del esquema antes de incorporar capas territoriales de mayor complejidad.

El flujo de trabajo puede describirse así: el esquema inicial CAD se procesa para identificar capas, bloques y relaciones anidadas, trasladando esta información a la base de datos como entidades normalizadas. Las entidades técnicas se generan o actualizan según reglas jerárquicas definidas en la lógica de negocio. Las herramientas de cálculo, modelado y visualización consumen datos a través de la API, generando representaciones bajo demanda cuando es necesario. Finalmente, los cambios producidos durante diseño o ejecución se registran en el núcleo estructural, garantizando trazabilidad y consistencia.

5.3 Flujo de información resultante

La implementación generó un flujo informacional orientado a procesos, donde la base de datos actúa como núcleo estructural y la API como interfaz entre este y las herramientas cliente. A diferencia de esquemas tradicionales basados en entregables estáticos, el sistema no produce salidas autónomas, sino que ofrece endpoints estructurados como puntos formales de intercambio de datos. Cada tarea accede únicamente a la información necesaria mediante llamadas controladas a la API.

Los datos del núcleo relacional son utilizados por diversas herramientas cliente. Las de cálculo o análisis consumen información, ejecutan procesos y, si procede, actualizan valores a través de mecanismos controlados. Las de modelado y documentación acceden a datos geométricos y alfanuméricos para generar representaciones o vistas derivadas, sin crear repositorios independientes.

La API también permite entregar información en formato gráfico o alfanumérico bajo demanda, de modo que un mismo estado del sistema puede consultarse según el requerimiento. La diferencia principal respecto al enfoque tradicional es la ausencia de copias paralelas o exportaciones estáticas, sustituidas por accesos controlados y bidireccionales a una única fuente versionada del dato.

5.4 Primeras observaciones operativas

Durante la fase piloto se identificaron efectos operativos relevantes. La coherencia jerárquica entre entidades técnicas se mantuvo al residir las reglas en la capa API y no en configuraciones internas. Además, la actualización de estados permitió reconstruir escenarios sin conservar múltiples archivos.

Se observó una reducción significativa de la dependencia entre diseño y cálculo eléctrico. A diferencia del enfoque tradicional, que exige extraer, transformar y adaptar datos desde modelos geométricos, la arquitectura implementada permite manipular directamente en la base de datos, vía API, los datos necesarios (relaciones jerárquicas, parámetros técnicos, posiciones y agrupaciones), sin generar modelos intermedios. Esto reduce fricciones, evita inconsistencias por versiones divergentes y favorece la independencia evolutiva de los procesos de cálculo.

Asimismo, las consultas espaciales directas sobre la base de datos disminuyeron la necesidad de exportaciones a entornos GIS externos, integrando análisis en un único sistema.

Aunque no es una evaluación cuantitativa exhaustiva, los resultados evidencian la viabilidad del enfoque y su potencial de escalabilidad.

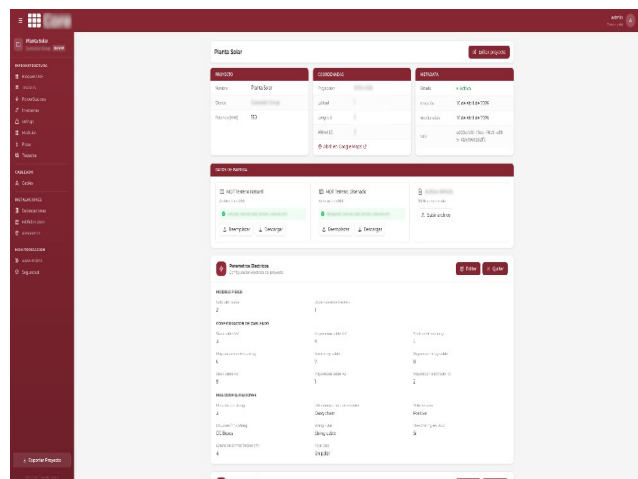


Figura 3. Aplicación WEB de gestión centralizada. Fuente: Elaboración propia (2026)

6 Evaluación y resultados

La evaluación del piloto se estructuró conforme al marco metodológico definido en el apartado 3.4, donde la arquitectura se diseñó bajo principios de centralización estructural del dato, separación entre almacenamiento y representación, escalabilidad y trazabilidad. En coherencia con estos criterios, el análisis no se limita a verificar el funcionamiento técnico del sistema, sino que examina su impacto en la organización de los dominios funcionales y en el grado de acoplamiento entre ellos.

Uno de los ejes conceptuales más relevantes identificados durante la implementación fue la reducción del acoplamiento entre dominios funcionales, especialmente entre el diseño geométrico y el cálculo eléctrico.

6.1 Reducción del acoplamiento entre diseño y cálculo eléctrico

En los flujos tradicionales centrados en el modelo geométrico como contenedor primario, el cálculo eléctrico depende directamente del diseño. Los parámetros deben extraerse del modelo BIM y adaptarse a herramientas específicas, generando fricciones como exportaciones manuales, reinterpretación de datos, inconsistencias entre versiones y dependencia continua de la geometría actualizada.

Desde la arquitectura de sistemas, este enfoque responde a un modelo fuertemente acoplado, donde los dominios comparten archivos como principal mecanismo de integración. Las

modificaciones requieren sincronización mediante intercambio de modelos, aumentando la complejidad operativa.

La arquitectura data-driven propone un enfoque alineado con SOA, donde los dominios consumen servicios a través de una API que actúa como contrato estable entre el núcleo del dato y las herramientas cliente [11][13]. La base de datos relacional funciona como repositorio común y la API encapsula la lógica de negocio, garantizando consistencia transaccional.

En este marco, los parámetros eléctricos y relaciones técnicas se gestionan en un estado versionado único. Las herramientas acceden mediante endpoints, operan sobre el dato y actualizan valores sin generar modelos geométricos intermedios.

Se establece así una separación entre representación geométrica y análisis eléctrico: el cálculo pasa a depender del dato estructurado compartido, reduciendo el acoplamiento mediante integración basada en servicios.

6.2 Implicaciones en consistencia, trazabilidad y gobernanza del dato

La reducción del acoplamiento se relaciona directamente con las dimensiones de validación definidas en el apartado 3.4. En términos de consistencia, el acceso a una única fuente versionada elimina copias paralelas y reduce divergencias entre parámetros calculados y estados documentados.

Desde la perspectiva de trazabilidad, cada operación de cálculo queda asociada a un estado concreto del núcleo relacional, permitiendo reconstruir escenarios históricos sin conservar múltiples versiones de modelos independientes. Este comportamiento se alinea con los principios de gestión de la información definidos en la serie ISO 19650, especialmente en relación con estados de información y control de versiones [14].

En términos de gobernanza, la API actúa como mecanismo centralizado de control sobre accesos, consultas y modificaciones. Este modelo refuerza la noción de fuente única de verdad al desplazar la autoridad del dato desde artefactos distribuidos hacia un núcleo estructural auditable.

6.3 Impacto organizativo y limitaciones

Desde una perspectiva organizativa, la adopción de un esquema orientado a servicios favorece una mayor autonomía entre equipos. El dominio de cálculo puede iterar y validar escenarios sin depender de modelos actualizados, mientras que el modelado se centra en tareas de representación y documentación sin actuar como intermediario obligatorio del dato.

No obstante, estas conclusiones proceden de la primera fase del proyecto, correspondiente a un producto mínimo viable que aún no incorpora toda la información no geométrica ni la topografía al núcleo relacional. La integración completa de capas territoriales y procesos adicionales podrá ampliar o modificar el alcance de la reducción de acoplamiento observada.

En conjunto, los resultados constituyen una evidencia preliminar de que la arquitectura propuesta no solo reorganiza técnicamente el dato, sino que reconfigura las relaciones entre dominios funcionales, alineando la práctica operativa con principios de arquitectura orientada a servicios y gobernanza centralizada de la información.

7 Discusión

Los resultados de la fase piloto permiten reflexionar sobre el papel del modelo BIM en infraestructuras extensivas y sobre la arquitectura de información más adecuada en contextos con alto volumen de entidades repetitivas y dominios interdependientes.

El enfoque tradicional BIM, basado en archivos donde el modelo geométrico actúa como contenedor principal de información, ha funcionado en edificación, donde la coordinación espacial es clave. Sin embargo, en infraestructuras como plantas solares, la lógica se invierte: la geometría es repetitiva y parametrizable, mientras que la complejidad reside en las relaciones, los procesos y los distintos usos del dato.

La arquitectura propuesta desplaza el foco hacia un modelo data-driven, donde el dato pasa a ser el origen y el modelo una representación derivada dentro de un sistema de gobernanza más amplio. Este cambio, reforzado por principios de arquitectura orientada a servicios, reduce el acoplamiento entre dominios y mejora la resiliencia frente a cambios en herramientas o procesos.

No obstante, introduce nuevos retos: requiere un diseño riguroso del modelo de datos y de la semántica compartida, y desplaza la complejidad hacia la arquitectura de información, demandando perfiles con competencias híbridas.

La evaluación corresponde a un producto mínimo viable que aún no integra plenamente la dimensión topográfica. Su incorporación futura permitirá validar la gestión de relaciones espaciales más complejas y confirmar las ventajas observadas.

Desde una perspectiva científica, la aportación principal es la formalización de una arquitectura orientada a proceso que replantea el papel del modelo geométrico. El caso sugiere que, en plantas fotovoltaicas, las arquitecturas basadas en datos ofrecen ventajas en gobernanza, desacoplamiento y escalabilidad, aunque requieren validación en fases posteriores y en otros contextos.

8 Conclusiones

8.1 Aportación conceptual

Esta comunicación ha abordado el diseño, implementación y evaluación preliminar de una arquitectura de información data-driven aplicada al desarrollo de plantas solares fotovoltaicas, en un contexto empresarial inmerso en un proceso de adopción de la metodología BIM. A partir del problema identificado, la dificultad de gestionar de forma coherente un elevado volumen de datos heterogéneos en un entorno centrado en modelos geométricos, se ha propuesto un desplazamiento conceptual del paradigma tradicional basado en archivos hacia una arquitectura orientada a proceso.

La principal aportación conceptual del trabajo reside en la formalización de una arquitectura en la que la base de datos relacional con capacidades espaciales actúa como núcleo estructural del sistema, mientras que los modelos BIM se configuran como representaciones derivadas generadas bajo demanda. Este enfoque redefine el papel del modelo geométrico, situándolo como consumidor de información y no como contenedor primario del dato.

8.2 Aportación técnica

En el plano técnico, la implementación de un producto mínimo viable ha permitido validar la viabilidad operativa del modelo propuesto, demostrando que la centralización estructural del dato y su exposición mediante una API posibilitan la integración de herramientas cliente heterogéneas sin recurrir al intercambio sistemático de archivos intermedios. La adopción de principios propios

de la arquitectura orientada a servicios ha facilitado la separación entre dominios funcionales y la definición de contratos explícitos de intercambio de información.

8.3 Resultados evaluados

En términos de evaluación, uno de los resultados más significativos ha sido la reducción del acoplamiento entre dominios funcionales, especialmente entre el diseño geométrico y el cálculo eléctrico. La sustitución de una integración basada en exportaciones de modelos por un acceso controlado a una fuente única versionada del dato ha evidenciado mejoras en consistencia, trazabilidad y autonomía operativa entre equipos.

8.4 Limitaciones

Las conclusiones obtenidas deben interpretarse en el marco de una primera fase de desarrollo. El producto mínimo viable no ha incorporado la totalidad de la información no geométrica ni la integración de la topografía en el núcleo relacional. Estas limitaciones condicionan el alcance de la evaluación y deberán ser consideradas al extrapolar los resultados.

8.5 Trabajo futuro

Al momento de redacción, se desarrolla la segunda fase del proyecto, orientada a extender la arquitectura al conjunto de datos de la infraestructura. Esta etapa ampliará el modelo relacional con información no geométrica e integrará la topografía —a partir de datos LandXML— dentro del núcleo estructural. Su evaluación permitirá analizar el comportamiento del sistema ante una mayor complejidad espacial y funcional.

A más largo plazo, se plantea incorporar progresivamente nuevas herramientas cliente para integrar procesos actualmente desconectados, como planificación avanzada, control económico, seguimiento de ejecución u operación y mantenimiento, sobre una única fuente de datos versionada. El objetivo es consolidar la arquitectura no solo como soporte técnico de diseño y cálculo, sino como infraestructura informacional transversal capaz de articular el ciclo completo de vida del activo.

En síntesis, el trabajo sugiere que, en escenarios de alta densidad informacional como las plantas solares fotovoltaicas, las arquitecturas orientadas a datos y servicios pueden ofrecer ventajas estructurales frente al paradigma tradicional centrado en el modelo geométrico. Esta constatación no pretende sustituir la metodología BIM, sino contribuir a su evolución hacia esquemas más coherentes con los principios de gobernanza, trazabilidad y escalabilidad exigidos por las infraestructuras contemporáneas.

Referencias

[1] International Organization for Standardization. (2018a). ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles.

[2] Zhu, J., & Wu, P. (2022). BIM/GIS data integration from the perspective of information flow. *Automation in Construction*, 136, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104166>

[3] Deng, Y., Cheng, J. C. P., & Anumba, C. (2016a). A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(10), 1267-1280. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1110603>

[4] Ma, Z., & Ren, Y. (2017). Integrated Application of BIM and GIS: An Overview. *Procedia Engineering*, 196, 1072-1079. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.064>

[5] Turk, Ž., & Klinc, R. (2017). Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. *Procedia Engineering*, 196, 638-645. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.052>

[6] Obe, R. O., & Hsu, L. S. (2015). *PostGIS in Action* (2^a ed.). Manning Publications.

[7] Kochanek, A., Generowicz, A., & Załona, T. (2025). The Role of Geographic Information Systems in Environmental Management and the Development of Renewable Energy Sources—A Review Approach. *Energies*, 18(17), 4740. <https://doi.org/10.3390/en18174740>

[8] Kjellgren, N. N. (2025). Linked Geodata: Improving Rooftop Photovoltaic Production Estimates through BIM-GIS Integration using Semantic Web Technologies. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9189996/file/9189999.pdf>

[9] Ikeda, Y., Herr, C. M., Holzer, D., Kaijima, S., & Kim, M. J. (2015). Procedural BIM for Digital Fabrication. En *Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture*. Proceedings of the 20th International Conference CAADRIA (pp. 355-364). [https://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2015_108.content.pdf](https://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2015_108.content.pdf)

[10] Deng, Y., Cheng, J. C. P., & Anumba, C. (2016b). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>

[11] Chamari, L., Hunhevicz, J., Helfert, M., & Hall, D. M. (2023). An End-to-End Implementation of a Service-Oriented Architecture for Data-Driven Smart Buildings. *IEEE Access*, 11, 117260-117281. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3325767>

[12] Getuli, V., Capone, P., Bruttini, A., & Pour Rahimian, F. (2020). On-demand generation of as-built infrastructure information models for mechanised tunnelling from TBM data: A computational design approach. *Automation in Construction*, 123, 103434. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103434>

[13] Newman, S. (2021). *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. O'Reilly Media.



[14] International Organization for Standardization. (2018b). ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of assets.