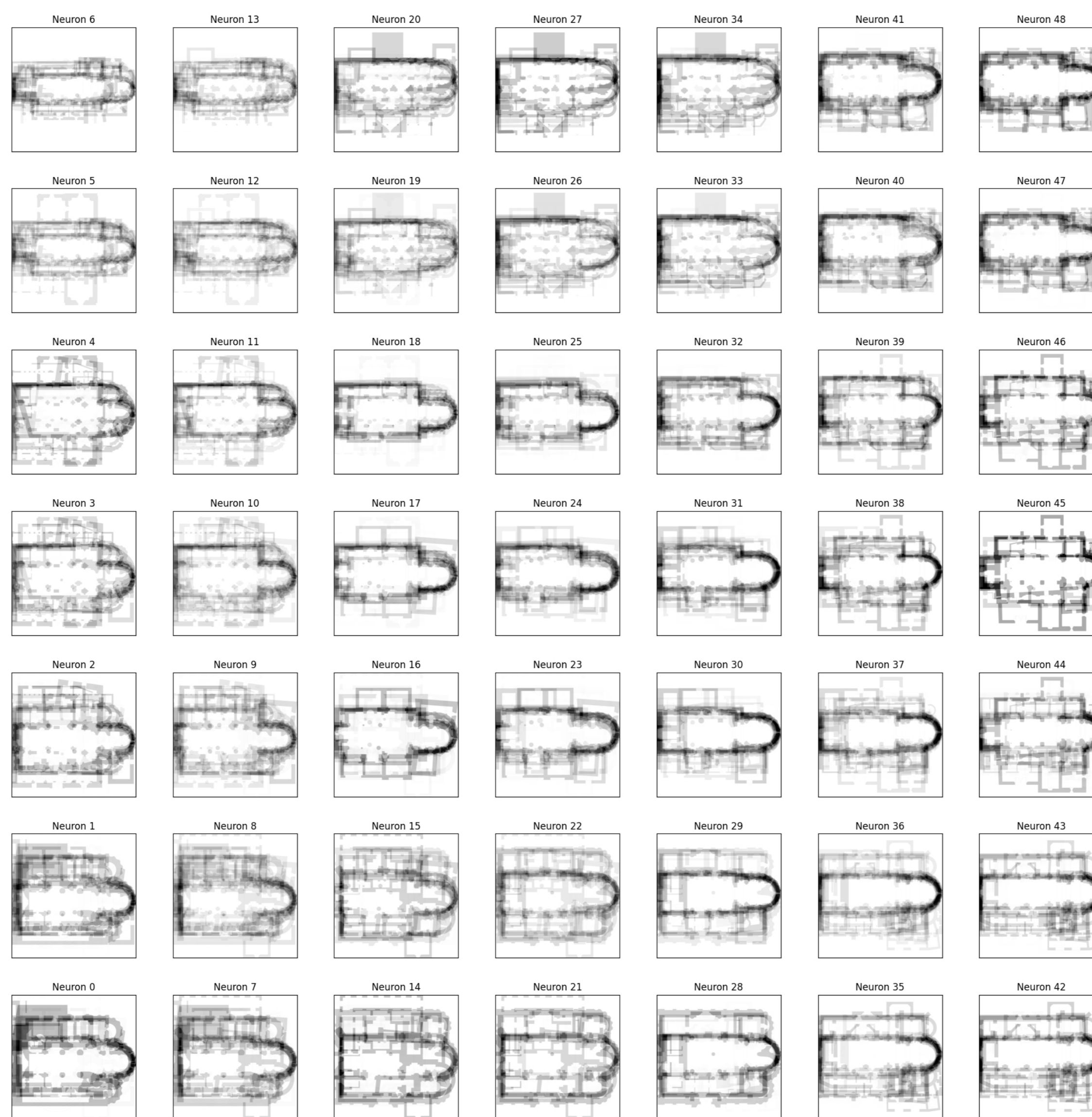


catálogo de exposición: **ARQGAN - ARCHER** reconstrucción e interpretación del patrimonio arquitectónico con **inteligencia artificial**

11 - 15 / 11 / 2024, de 10:00 a 21:00
Antesala Auditorio 2ª planta
Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM)
Calle Hortaleza 63. 28004 Madrid



Comisarios de la exposición:
Emilio Delgado-Martos
Carlos Pesqueira Calvo
Giovanni Intra Sidola

COAM | COLEGIO
OFICIAL
ARQUITECTOS
DE MADRID



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



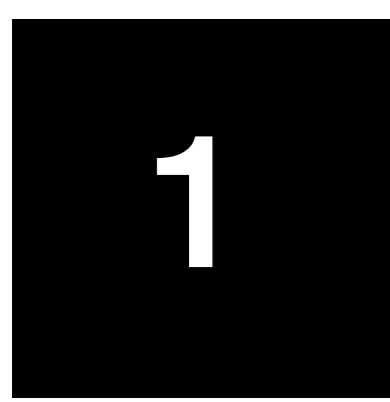
Universidad
Francisco de Vitoria
UFV Madrid
Centro de Estudios e Innovación
en Gestión del Conocimiento



semana de la
ciencia y la innovación



fundación para el
conocimiento
madri+d



EQUIPO

- Dr. Emilio Delgado-Martos (IP, Arquitectura, UFV)
- Dr. Álvaro José García Tejedor (IP, CEIEC, UFV)
- Dr. Carlos Pesqueira Calvo (Arquitectura, UFV)
- Dr. Giovanni Intra Sidola (Arquitectura, UFV)
- Dra. Laura Carlevaris (Arquitectura, Sapienza Università di Roma)
- Dr. Alberto Nogales Moyano (CEIEC, UFV)
- Dra. Ana Maitín López (CEIEC, UFV)
- Dra. Susana Bautista Blasco (Ing. Informática, UFV)
- Dr. Eduardo Arroyo Vega (Diseño, UFV)
- Dra. Carola Díaz de Lope-Díaz Molins (Arquitectura, UFV, 2020)
- Dra. Cruz Galindo López (Arquitectura, UFV, 2020)
- Dr. Nelson Montas Laracuenta (Investigador ARCHER, UFV, 2023-2024)
- Marta Bravo Peña (Investigadora ARCHER, UFV, 2023)
- Iván Barcia Santos (CEIEC, UFV, 2023)
- Ángel Melchor (Beca CEIEC, UFV, 2020)
- Ignacio Barrera Muñoz (Beca Arquitectura, UFV, 2020, 2022)
- Enrique Ruiz (Beca CEIEC, UFV, 2021-2022)
- Guillermo Ramírez Cárdenas (Beca CEIEC, UFV, 2023-2024)
- Gabriel Furnieles García (Beca CEIEC, UFV, 2022-2023)



Más información sobre los avances del proyecto ARQGAN-ARCHER en nuestra web: <https://sites.google.com/view/arqgan>

PUBLICACIONES



“Between Impossible and Probable. Architectural Recognition Through Qualitative Evaluation of Artificial Intelligence Response”. En: *Advances in Representation. New AI- and XR-Driven Transdisciplinary*. Springer Nature, 2024.



“Evaluating Activation Functions in GAN Models for Virtual Inpainting: A Path to Architectural Heritage Restoration”. *Applied Sciences* 14(16), 6854. 2024.



“Automatic Virtual Reconstruction of Historic Buildings Through Deep Learning. A Critical Analysis of a Paradigm Shift”. En: *Beyond Digital Representation. Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design*. Springer Nature, 2023.



“ARQGAN. An evaluation of generative adversarial network approaches for automatic virtual inpainting restoration of Greek temples”. *Expert Systems with Applications* 180, 115092. 2021.

Disponemos de más publicaciones en la página web.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido posible gracias a la financiación conseguida en la convocatoria de Proyectos de Generación de Conocimiento 2021, de la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España y la cofinanciación de la Unión Europea (Fondos FEDER). También destacamos las ayudas obtenidas a proyectos de investigación del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Francisco de Vitoria (UFV) en las convocatorias de 2020 y 2021. Agradecemos: la acogida e implicación del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura de la Sapienza Università di Roma; el apoyo de la OTC (Oficina de Transferencia del Conocimiento) de la UFV; la colaboración del Laboratorio de Fabricación Digital (FabLab) de la UFV; la ayuda del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM) para poder realizar esta exposición.



INTRODUCCIÓN

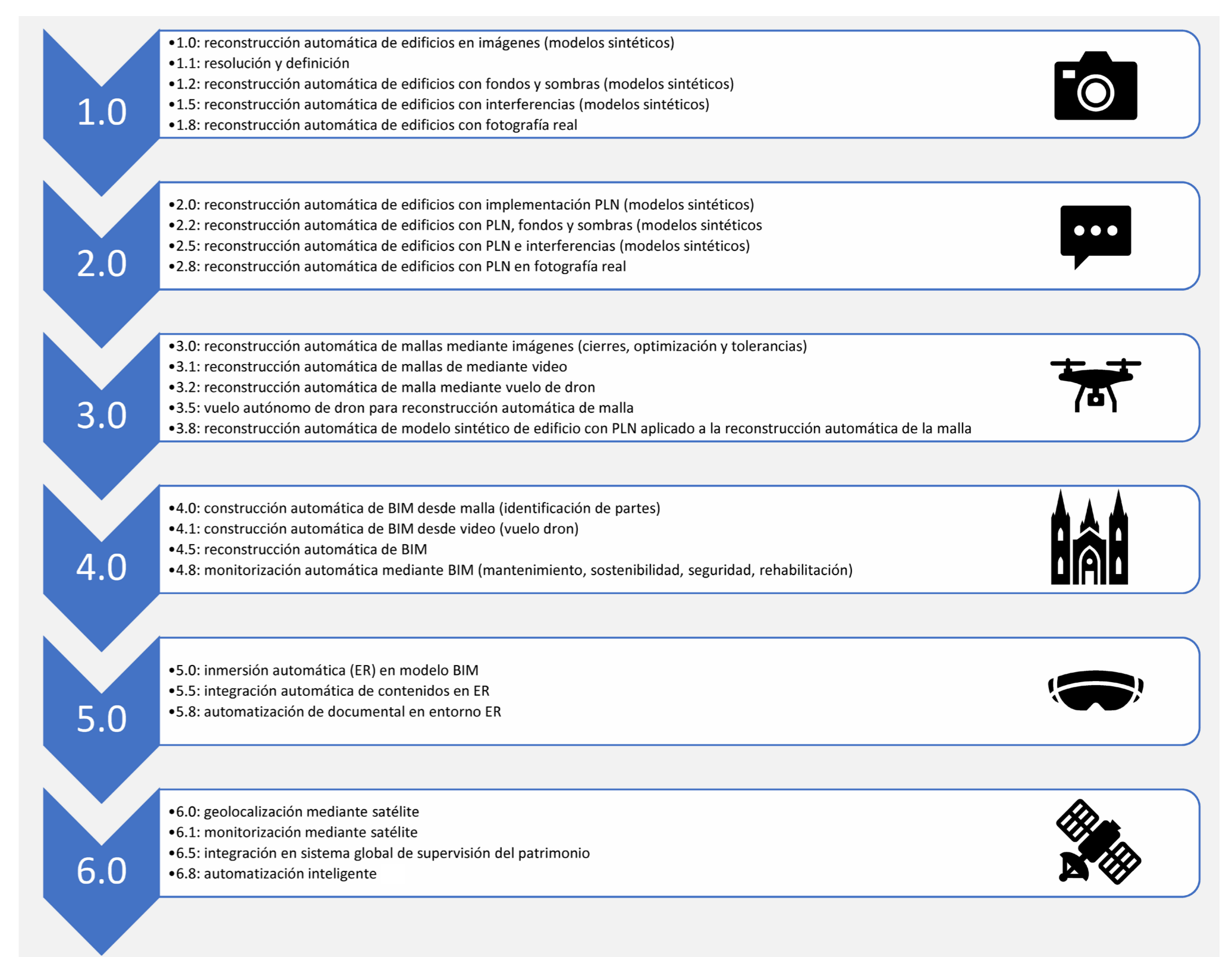
La inteligencia artificial es **imparable**. Si algo nos demuestra a través de las noticias que leemos o de las herramientas a las que tenemos acceso (ChatGPT, DALL-E, Midjourney, etc) es la capacidad de generar propuestas sorprendentes. El desconocimiento actual sobre el funcionamiento de estos sistemas generativos (Deep Learning, Machine Learning), que son capaces de procesar millones de datos, hace que la respuesta predictiva de los algoritmos de IA nos muestre imágenes o fotografías de objetos manipulados y escenarios de ficción. Lo que tiene que ver con la falsabilidad o veracidad de los resultados obtenidos es una cuestión que, teniendo unas implicaciones éticas aún por estudiar, requiere de una evaluación por parte de los desarrolladores y de los usuarios de estas herramientas.

En ámbitos específicos, como en el caso patrimonio histórico arquitectónico, la aplicación de estas herramientas tan generalistas devuelve resultados aparentemente realistas pero ciertamente improbables, incluso imposibles. El proyecto ARQGAN-ARCHER aborda el tema de la **reconstrucción virtual de edificios históricos** en ruinas con el objetivo de mejorar la respuesta de la red neuronal y obtener resultados más verosímiles, incluso probables.

Esta exposición muestra el proceso que han seguido el equipo de arquitectos e ingenieros de la Universidad Francisco de Vitoria para conseguir unos resultados que, desde un punto de vista científico e histórico, pudieran considerarse coherentes. Las perspectivas que se abre esta investigación en el ámbito del patrimonio son muy interesantes, especialmente en lo referido a la reconstrucción de edificios históricos en ruinas. El uso de este tipo de herramientas puede contribuir no solo a mejorar la **interpretación** del patrimonio arquitectónico, sino a revitalizar las regiones en las que se inserta.

Son muchas las preguntas a las que se enfrenta esta investigación, pero señalamos algunas a continuación: ¿Es posible **predecir** como era un edificio en su estado original? ¿Cómo afecta esta nueva tecnología a los sistemas **tradicionales** de reconstrucción? ¿Puede suponer un **cambio** en el paradigma de la reconstrucción virtual tradicional de edificios históricos? ¿Es un método **fiable** desde el punto de vista científico? ¿Cómo se **evalúa** la reconstrucción mediante un modelo de red neuronal artificial? ¿Se puede considerar **válida** una predicción de una máquina virtual? ¿Qué **prospectivas** surgen con la utilización de la Inteligencia Artificial en el ámbito de la reconstrucción virtual del Patrimonio Histórico Arquitectónico¹?

¹ El patrimonio arquitectónico se refiere a edificaciones y estructuras históricas o significativas que representan la cultura, la historia y el arte de una sociedad a lo largo del tiempo.

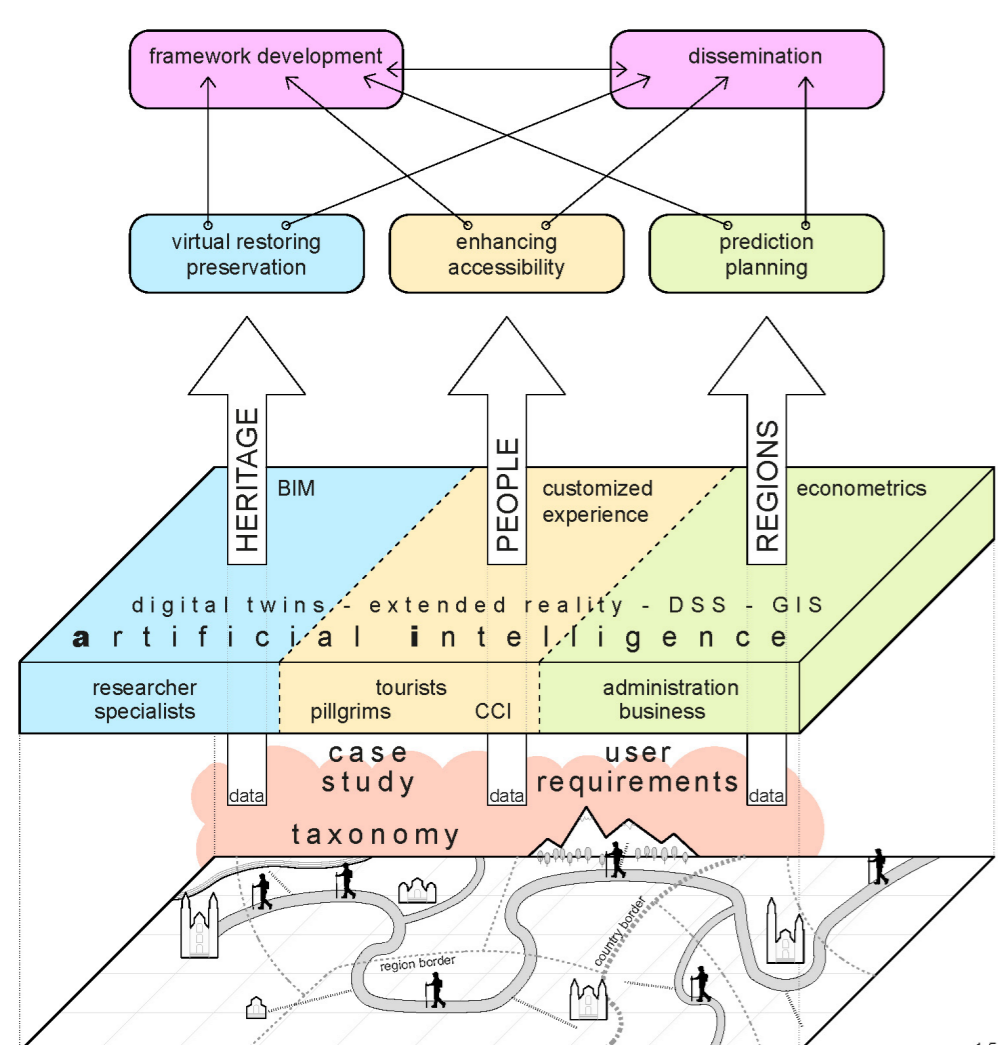


El proyecto ARQGAN plantea desde el inicio una serie de fases de experimentación que van desde la reconstrucción automática de imágenes de edificios históricos en ruinas, hasta la supervisión del patrimonio arquitectónico a nivel regional, nacional e internacional.

¿QUÉ ES ARQGAN-ARCHER?

ARQGAN¹ es un equipo de investigación **interdisciplinar**, formado por arquitectos e ingenieros de la computación, de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Francisco de Vitoria. Desde 2019 desarrollan metodologías para el análisis y reconstrucción automática de imágenes de edificios históricos en ruinas mediante técnicas de Deep Learning (redes GAN² y NPL³). El proyecto nace de la colaboración de la Escuela de Arquitectura y el Centro de Estudios e Innovación en Gestión del Conocimiento (CEIEC). Gracias a los resultados obtenidos a través de publicaciones y patentes, el equipo de ARQGAN recibió el premio R+D+i on AI Award en AMETIC Artificial Intelligence Summit 2022. Este proyecto dispone de una subvención estatal del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España (PID2021-126633NA-I00, 2022-2025) a través de la propuesta **ARCHER**⁴ (*Reconstrucción Virtual del Patrimonio Cultural Arquitectónico mediante Inteligencia Artificial y Procesamiento de Lenguaje Natural*), en la que se colabora con la Sapienza Università di Roma. Toda la información actualizada sobre el proyecto está disponible en el enlace <https://sites.google.com/view/arqgan>.

¹ ARQGAN es el acrónimo de ARQuitectura y redes GAN.
² GAN es el acrónimo de Generative Adversarial Networks, que se traduce como Redes Generativas Adversariales.
³ NPL es el acrónimo de Natural Processing Language, que se traduce como Procesamiento de Lenguaje Natural.
⁴ ARCHER es el acrónimo de ARChitecture and HERitage.



Esquema de actuación del proyecto ULTREIA (2022), una propuesta para la convocatoria de Horizonte 2030 (UE) realizada por el equipo de ARQGAN. Además del desarrollo tecnológico, se plantea el impacto y la mejora de la red de monumentos del Camino de Santiago, así como la revitalización de las zonas con menos interés turístico.

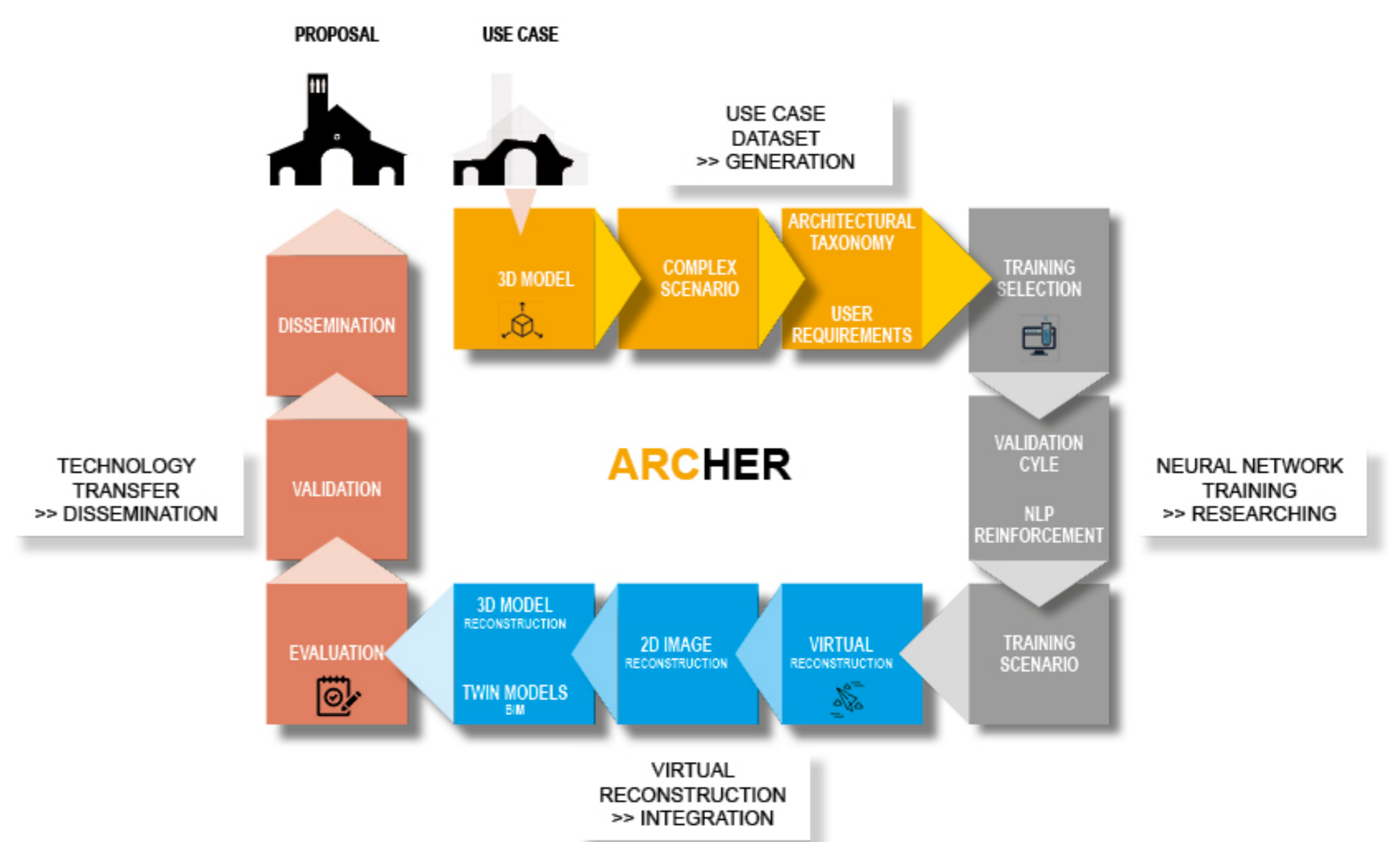
¿QUÉ ESTAMOS INVESTIGANDO?

Estamos investigando la integración de herramientas de inteligencia artificial en el análisis de edificios históricos para interpretarlos y hacer una **propuesta de reconstrucción virtual**. El objeto de estudio se centra en indagar en el estado original de diferentes tipologías, a partir de los ejemplos en ruinas y de los edificios que han sufrido diversas modificaciones con el paso del tiempo. En el ámbito de la reconstrucción virtual, utilizamos técnicas de **reconstrucción automática** mediante el uso de redes GAN y NPL. En el ámbito de la interpretación, analizamos conjuntos arquitectónicos mediante SOM⁵.

⁵ SOM es el acrónimo de Self-Organizing Maps, que se traduce como Mapas Auto-Organizados.

¿QUÉ ESTAMOS CONSIGUIENDO?

Estamos obteniendo resultados sorprendentes que sugieren un **cambio de paradigma** en las metodologías de reconstrucción virtual del patrimonio arquitectónico. Además, estamos profundizando en la tecnología y conocimiento de la Inteligencia Artificial.



Este esquema muestra el **proceso de la investigación** planteado en el proyecto ARCHER. A partir de la generación de una base de datos de imágenes, se realiza el entrenamiento de una red neuronal (IA) capaz de reconstruir automáticamente una imagen de un edificio histórico en ruinas.

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

La restauración y conservación de edificios históricos ha sido un tema de interés que ha definido políticas de conservación y la valorización del patrimonio arquitectónico durante siglos. Desde el siglo XIX, se ha reconocido la importancia del patrimonio construido como repositorio de la memoria histórica y cultural de las regiones. Este proceso ha consolidado la **reconstrucción como una disciplina esencial** para estudiar y aproximarse al estado original de estas edificaciones, aunque dicho estudio ha sido objeto de debate y evolución a lo largo del tiempo.

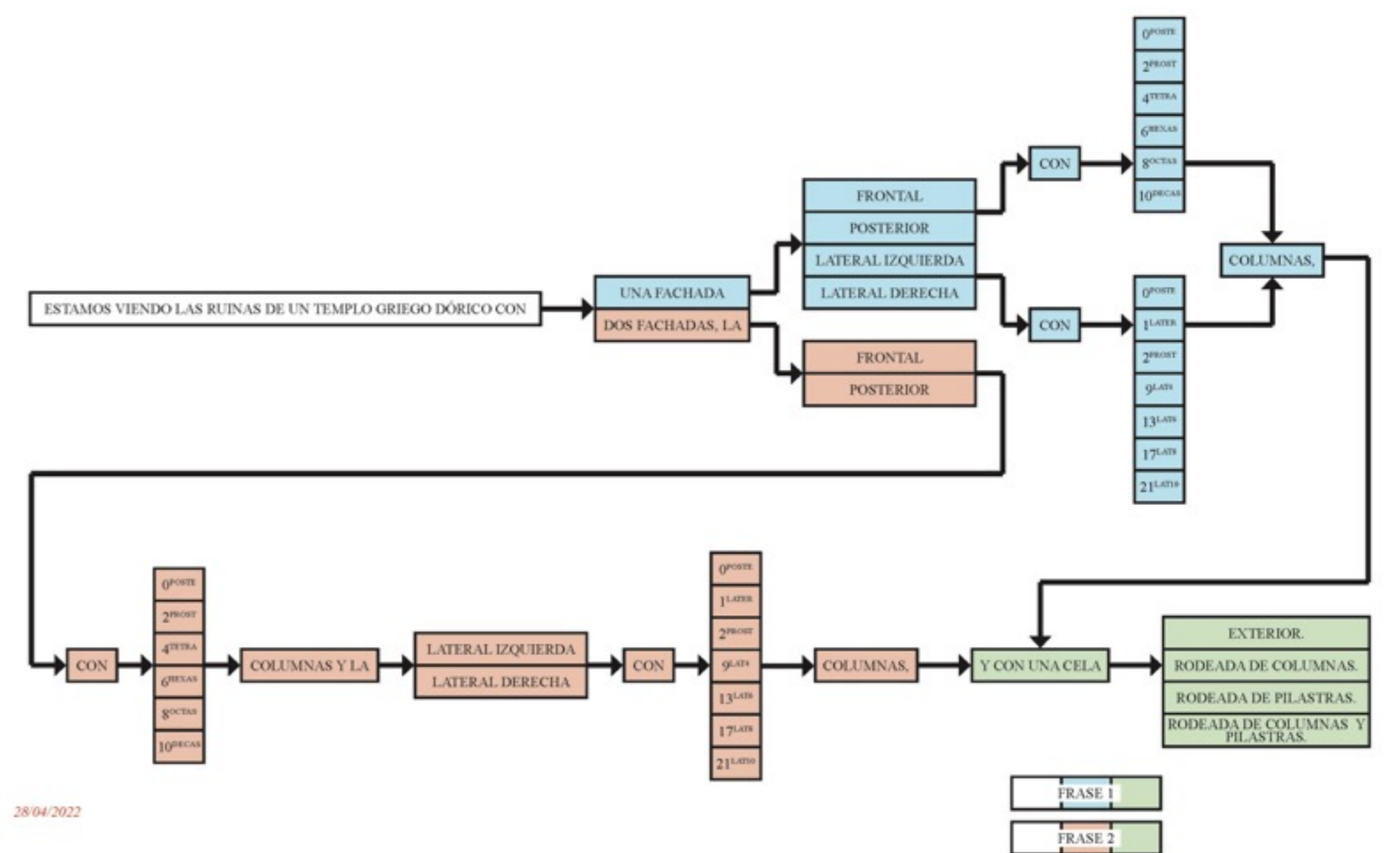
La reconstrucción virtual se ha convertido en una **herramienta clave** para la interpretación y musealización del patrimonio arquitectónico, permitiendo su difusión y conservación sin necesidad de intervención física en los edificios.

Históricamente, las **metodologías** de reconstrucción virtual han seguido una evolución lineal, incorporando progresivamente nuevas tecnologías y sistemas de representación, desde dibujos y grabados hasta modelos tridimensionales generados por ordenador. Durante el Renacimiento y hasta el siglo XVIII, los tratados arquitectónicos y las representaciones idealizadas proporcionaron una base teórica para imaginar la apariencia de las ruinas. Con el desarrollo de la arqueología y la invención de la fotografía, se consolidó un **enfoque más científico** para documentar y reconstruir el patrimonio arquitectónico.

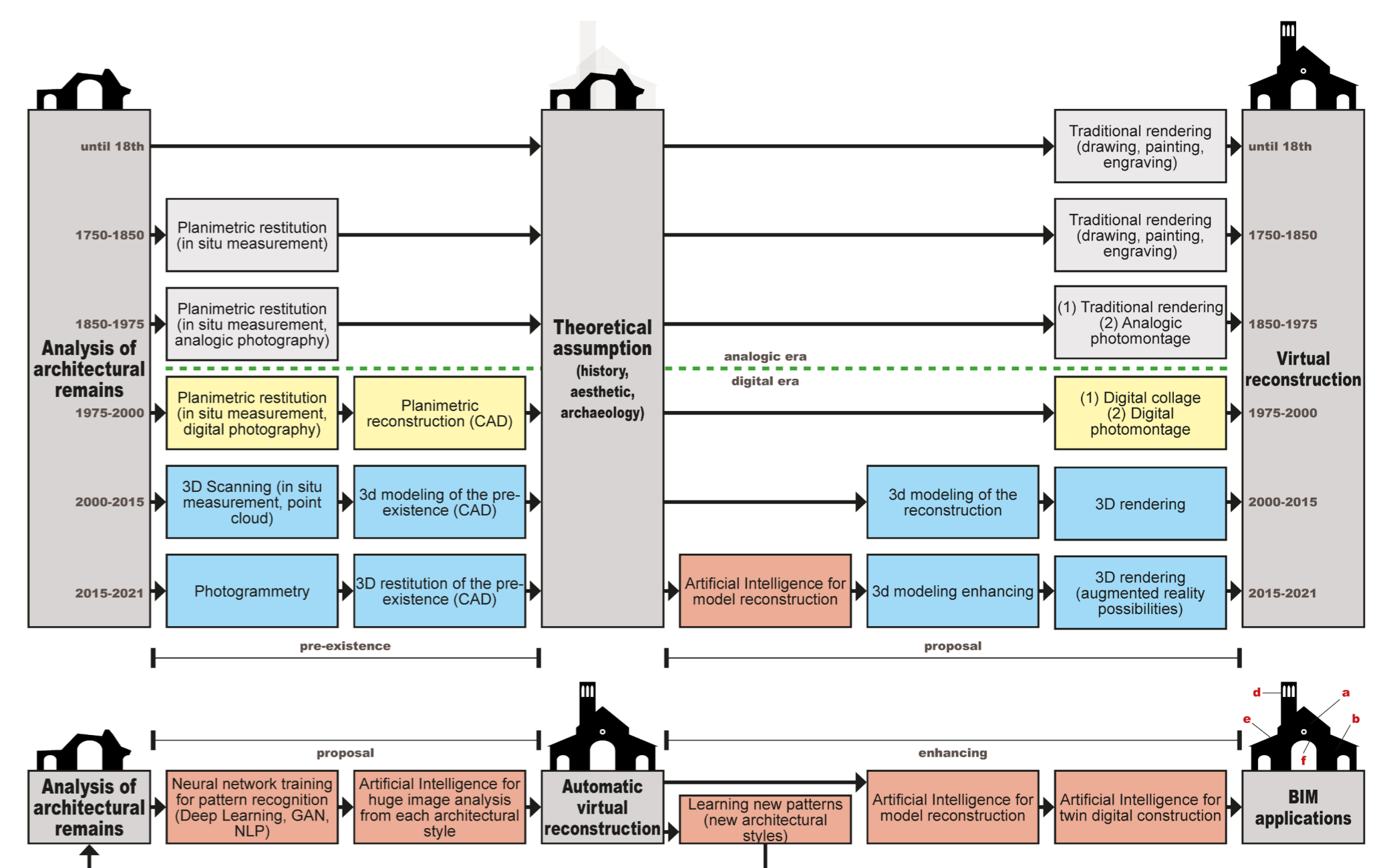
En la era digital, herramientas como el diseño asistido por ordenador (CAD) y la modelización de información de edificios (BIM) han mejorado la precisión y consistencia de las reconstrucciones, mientras que tecnologías como la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) han enriquecido las experiencias de visualización. A pesar de estos avances, la necesidad de una **presunción teórica**, por parte de un especialista, que integre la recopilación de datos con la representación

creativa sigue siendo fundamental en el proceso de reconstrucción de edificios históricos.

Los avances en inteligencia artificial (IA) han transformado significativamente el campo, introduciendo técnicas como las redes generativas adversariales (GAN) y el procesamiento del lenguaje natural (NLP), que han **cambiado el enfoque** tradicional de la reconstrucción virtual, hasta el punto en el que nos preguntamos si más allá de una sustitución de herramientas, nos encontramos en un cambio de paradigma.



Ejemplo de aproximación a una taxonomía para describir edificios, orientada al uso de la tecnología de procesamiento del lenguaje natural.



En este esquema se resumen los sistemas de reconstrucción virtual que tradicionalmente se han utilizado a lo largo de la historia. Se observa la relevancia que tiene la presunción teórica (hipótesis). En la parte inferior, se dibuja el camino que puede sugerir el uso de herramientas de IA, que más allá de la reconstrucción virtual, puede inferir la obtención automática de modelos BIM (denominados HBIM, "Heritage BIM").

LA PREDICCIÓN, LA HIPÓTESIS, EL SESGO Y LA VERDAD

La reconstrucción virtual de edificios históricos con inteligencia artificial (IA) plantea un debate fascinante sobre la predicción, la hipótesis, el sesgo y la verdad.

La **incertidumbre** es inherente al proceso de reconstrucción, tanto tradicional como basado en IA. El estado original de un edificio en ruinas es mayormente desconocido, lo que genera un “horizonte difuso” hacia el cual se dirige la reconstrucción. Tanto la recopilación de datos como la interpretación de la información disponible introducen desviaciones, ya que la información es a menudo incompleta o ambigua.

La **hipótesis** juega un papel crucial en la reconstrucción virtual. En los métodos tradicionales, la hipótesis sobre el estado original se formula después de la recopilación de datos. Sin embargo, la IA introduce un nuevo paradigma: la hipótesis se establece antes de la construcción del conjunto de datos utilizado para entrenar la red neuronal. Esta diferencia fundamental redefine el proceso de reconstrucción y sus resultados.

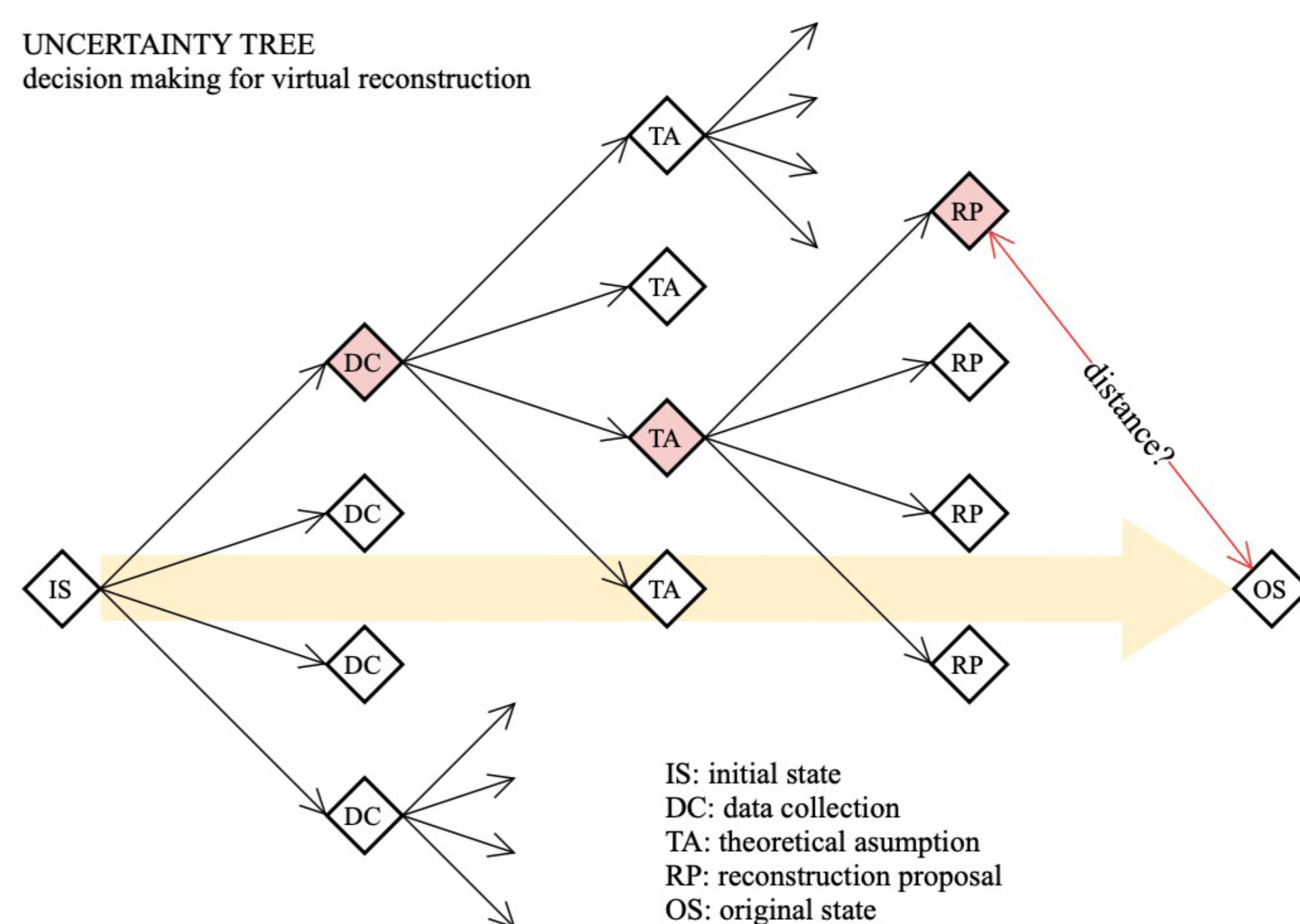
El **sesgo** es un factor determinante en la precisión de la respuesta de la IA. El desarrollador introduce un sesgo inicial al seleccionar los datos y ajustar el algoritmo. Este sesgo “predetermina un ámbito de respuesta”, guiando al algoritmo hacia ciertas soluciones. A pesar de la complejidad de los algoritmos, el sesgo puede ser una herramienta para especializar la IA y mejorar la coherencia de sus predicciones. En el caso del románico mudéjar, el sesgo introducido al entrenar la red neuronal con imágenes de edificios completos y suposiciones sobre su estado de ruina permitió obtener respuestas más precisas.

La **evaluación** de los resultados de la IA es esencial para determinar su veracidad. Los métodos cuantitativos, basados en la comparación de píxeles entre la imagen predicha y la esperada, no son suficientes. Se requiere una evaluación cualitativa

que interprete la predicción y la sitúe dentro de un marco de posibilidades. Para ello, se propone una categorización de las predicciones: imposible, improbable, posible, probable y plausible.

La **verdad** en la reconstrucción virtual con IA es un concepto complejo. Si bien la IA puede aproximarse al estado original de un edificio, la incertidumbre persiste. No se puede obtener un resultado unívoco e indiscutible. La meta es reducir la distancia entre lo altamente probable y lo verdadero, a través de conjuntos de datos específicos y herramientas de IA especializadas.

En última instancia, la reconstrucción virtual de edificios históricos con IA nos confronta con las limitaciones de nuestro conocimiento y la necesidad de una **interpretación crítica** de los resultados. La interacción entre la persona y la máquina es fundamental para comprender el sesgo, evaluar las predicciones y acercarnos a una respuesta plausible.

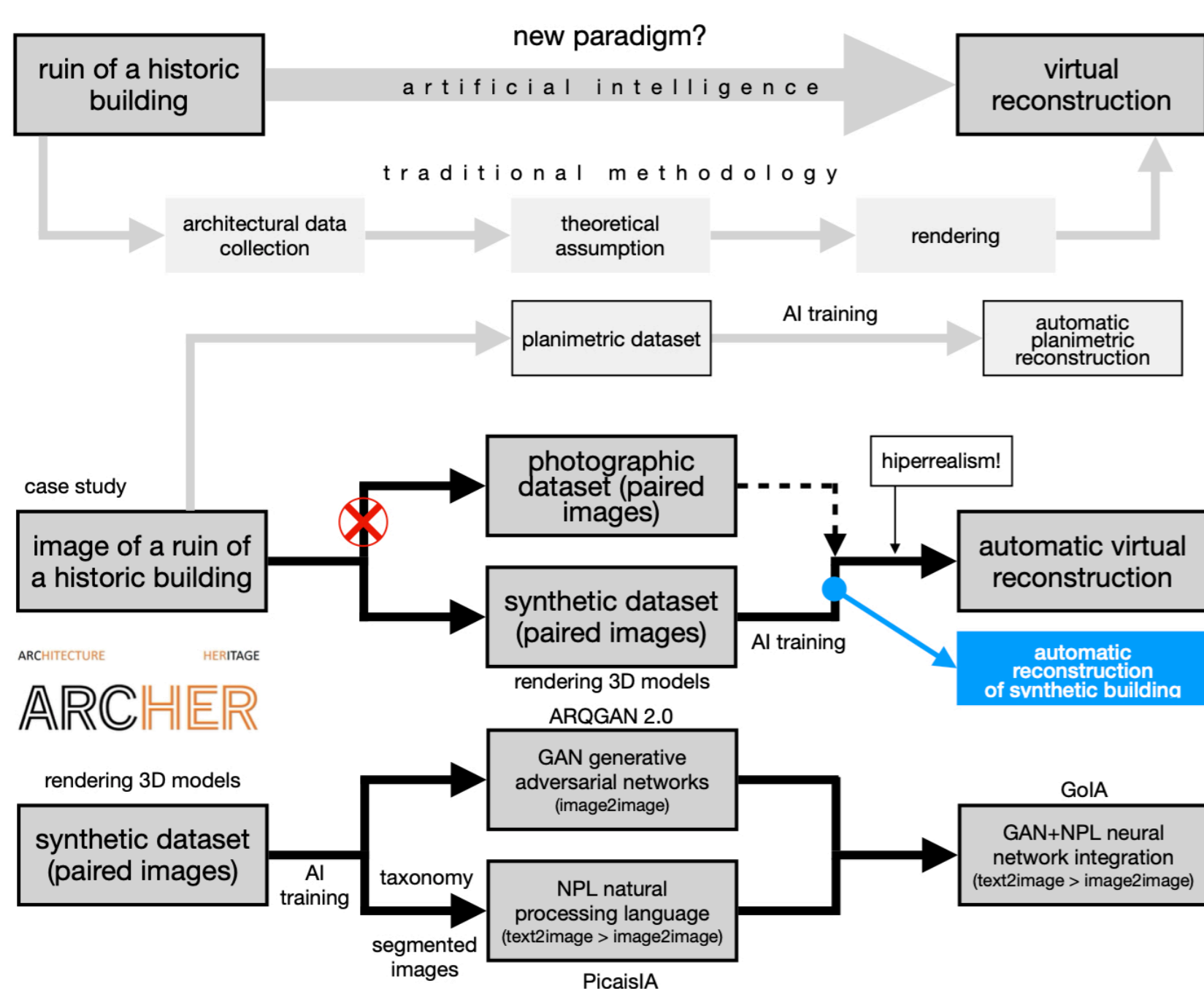


Árbol de incertidumbre en la toma de decisiones para la reconstrucción virtual. En el ámbito de la reconstrucción virtual de edificios históricos en los que, a priori, desconocemos su estado original, el camino de la toma de decisiones que va desde la recolección de información, pasando por la presunción teórica (hipótesis), hasta la propuesta de reconstrucción, es difuso. Siempre existe una distancia -una incertidumbre- entre el estado original y el estado en ruinas sobre el que se presume la reconstrucción.

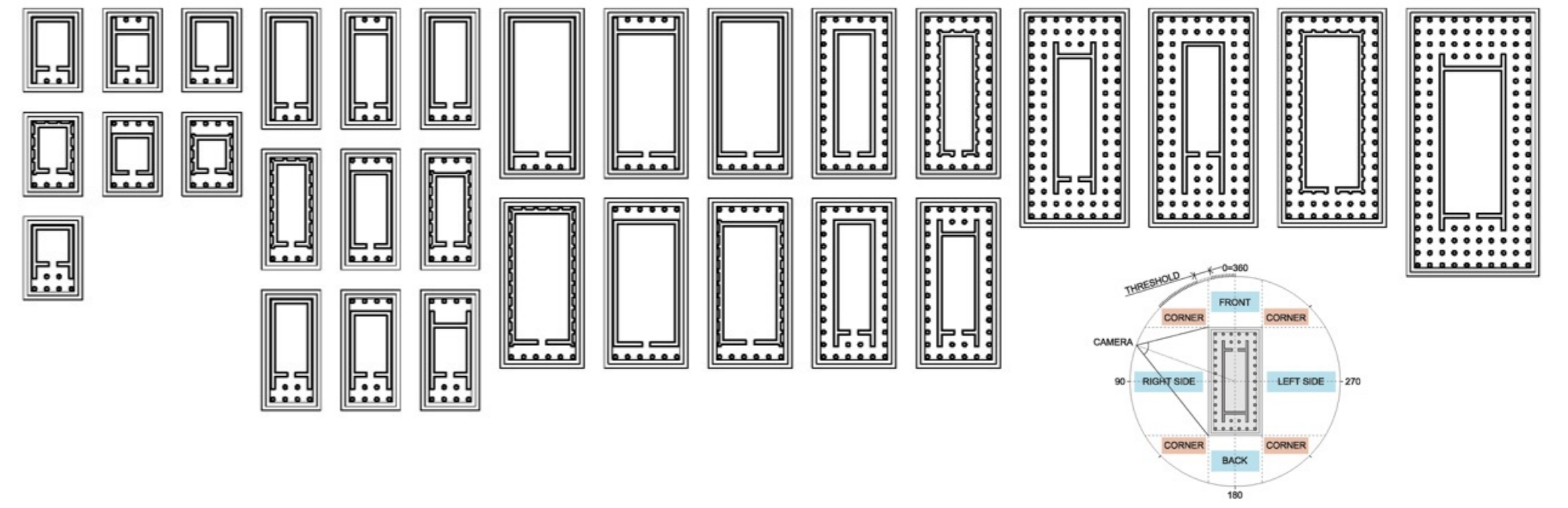
ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN

En este esquema resumimos toda nuestra investigación. Nuestra idea inicial era tratar de reconstruir fotografías de edificios históricos en ruinas de forma automática mediante inteligencia artificial. Para poder hacerlo, necesitábamos pares de imágenes del edificio en ruinas y del edificio reconstruido. Esto, lógicamente, es imposible. Por este motivo decidimos entrenar una red neuronal mediante el uso de imágenes modelos sintéticos (modelos 3D). Esto, nos permitía modelar la ruina y el estado original, o viceversa. Con los pares de imágenes (ruina - estado original) conseguimos un algoritmo que era capaz de reconstruir automáticamente imágenes de edificios en ruinas con una precisión sorprendente. El hecho de introducir herramientas de NPL (parecido a ChatGPT) ha mejorado, en algunos aspectos, la respuesta de la red.

Pensamos que si pudiéramos entrenar el algoritmo de IA con imágenes hiperrealistas de modelos 3D, muy parecidas a las fotografías reales, podríamos conseguir la reconstrucción automática en los propios enclaves. Las perspectivas para la interpretación de patrimonio arquitectónico son innumerables.



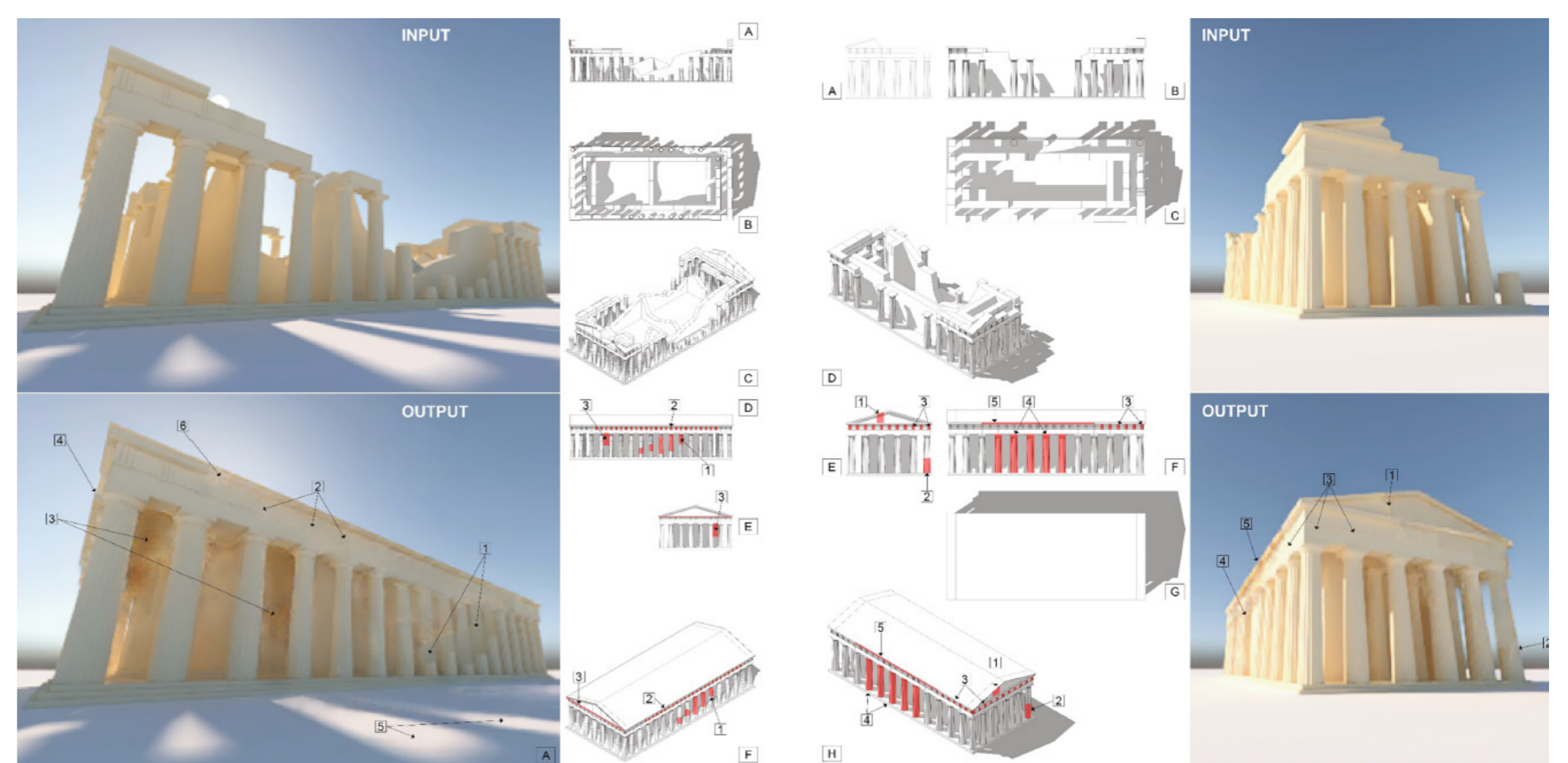
PRIMEROS AVANCES



La primera fase de la experimentación requirió crear una base de datos de imágenes sintéticas de edificios. Elegimos la casuística de los templos griegos del periodo clásico (s. V a.C.), modelando 30 casos de estudio, tanto en su estado original (completo) como en diferentes estados de ruina (3 supuestos de destrucción por caso). Después de configurar unas cámaras que obtuviesen 360 fotogramas por edificio, obtuvimos un dataset de 43.200 imágenes para entrenar el algoritmo.

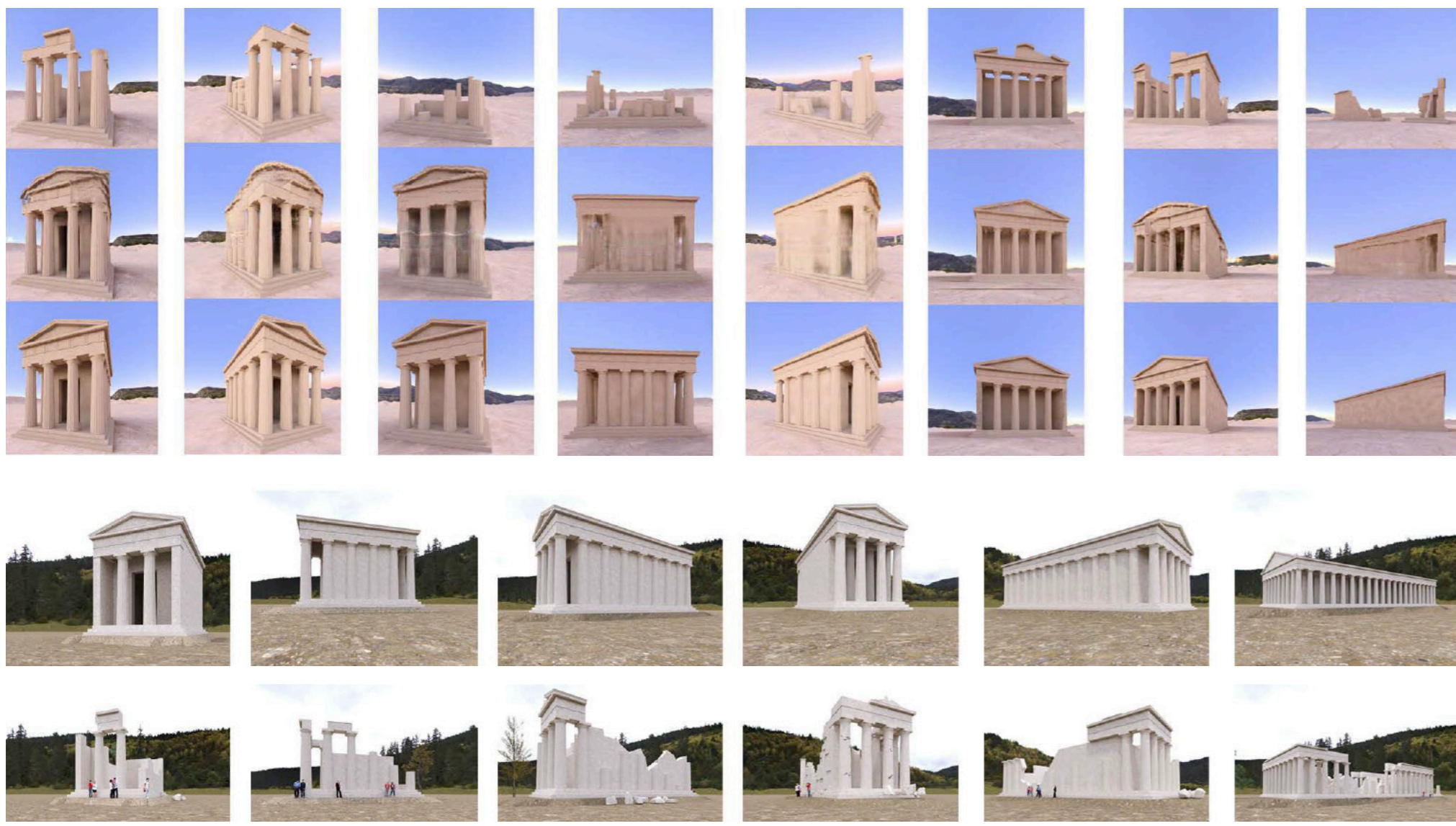


Ejemplo de templo períptero octástilo. Se observan los diferentes alzados, sometidos a una iluminación solar fija, en el estado completamente construido y en tres estados de destrucción.

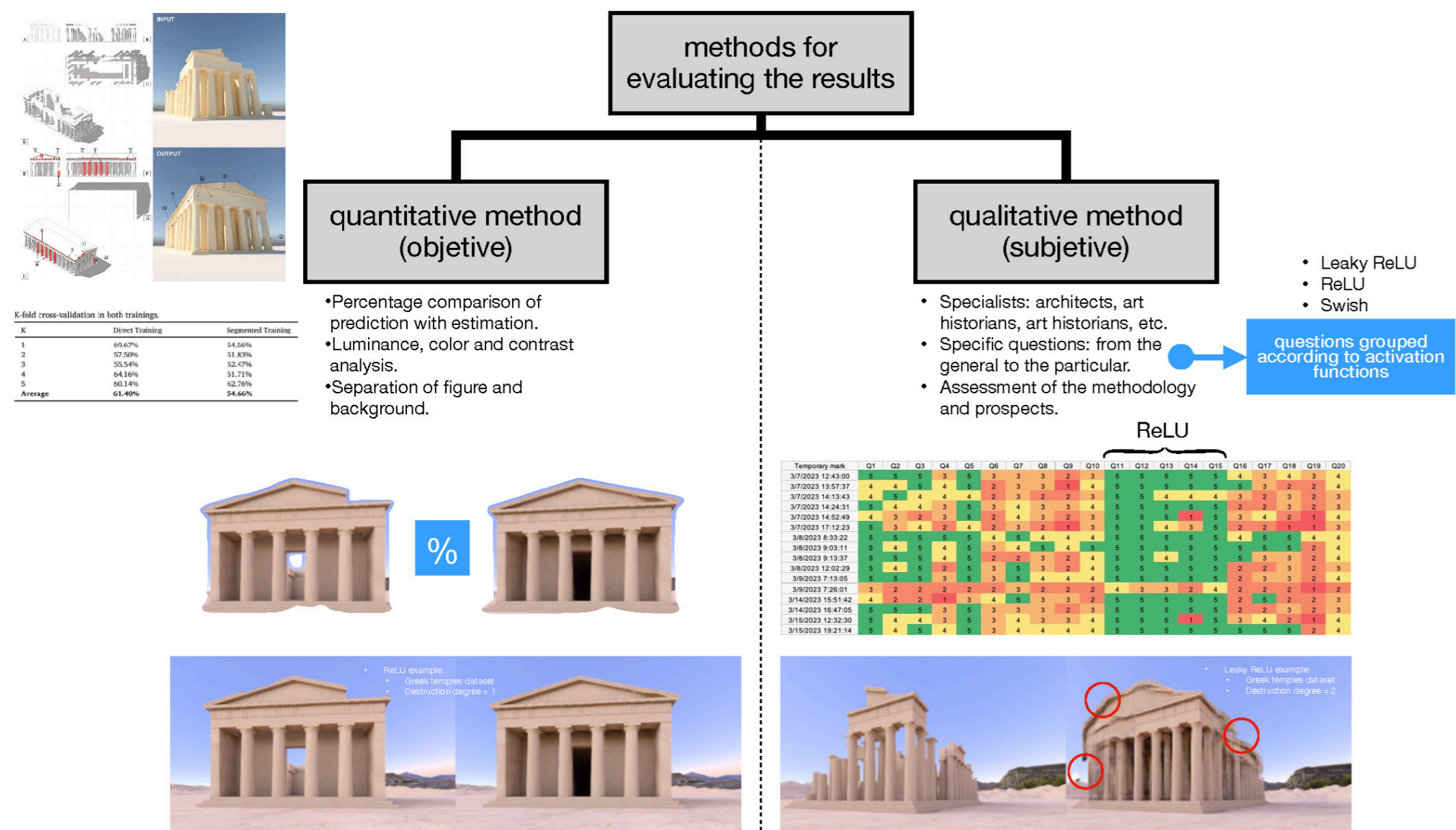


En la primera fase de experimentación conseguimos entrenar un algoritmo de IA (GAN) para la reconstrucción automática de modelos 3D de templos griegos clásicos en ruinas. La principal aportación era la de completar los elementos faltantes de la arquitectura sin necesidad de indicárselos a priori. Este desarrollo nos ha servido para conseguir una patente en la Oficina Europea de Patentes en septiembre de 2024 (nº EP4075376).

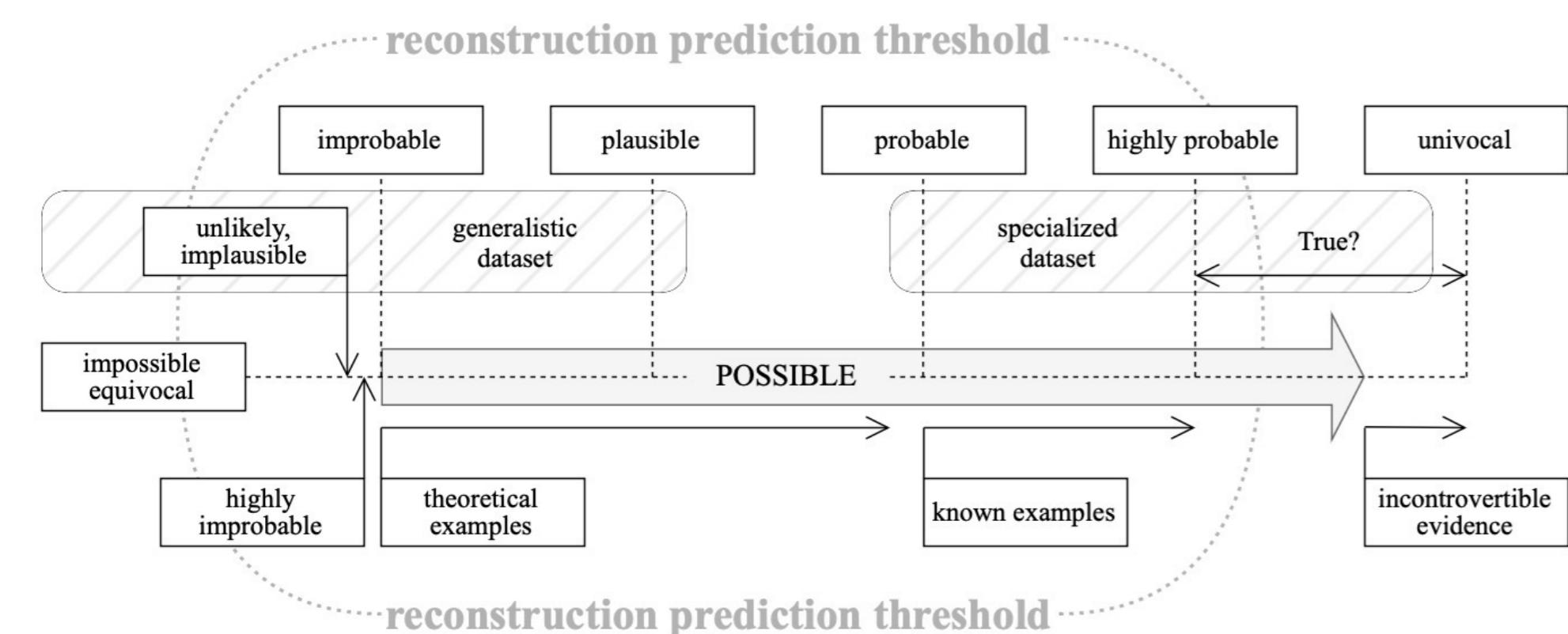
PRIMEROS RESULTADOS Y EVALUACIONES



El desarrollo de la experimentación exigió iterar la configuración del algoritmo con diferentes métodos (funciones de activación). Los resultados ofrecían diferentes matices en la reconstrucción de los elementos arquitectónicos. Además, se experimentó con elementos oclusivos ajenos a la edificación (personas, rocas, árboles, etc.) para perfeccionar la respuesta de la red neuronal.



Los avances en la experimentación no se limitaban a obtener resultados, sino a evaluarlos mediante métodos cuantitativos y cualitativos, estos últimos mediante la intervención de especialistas.

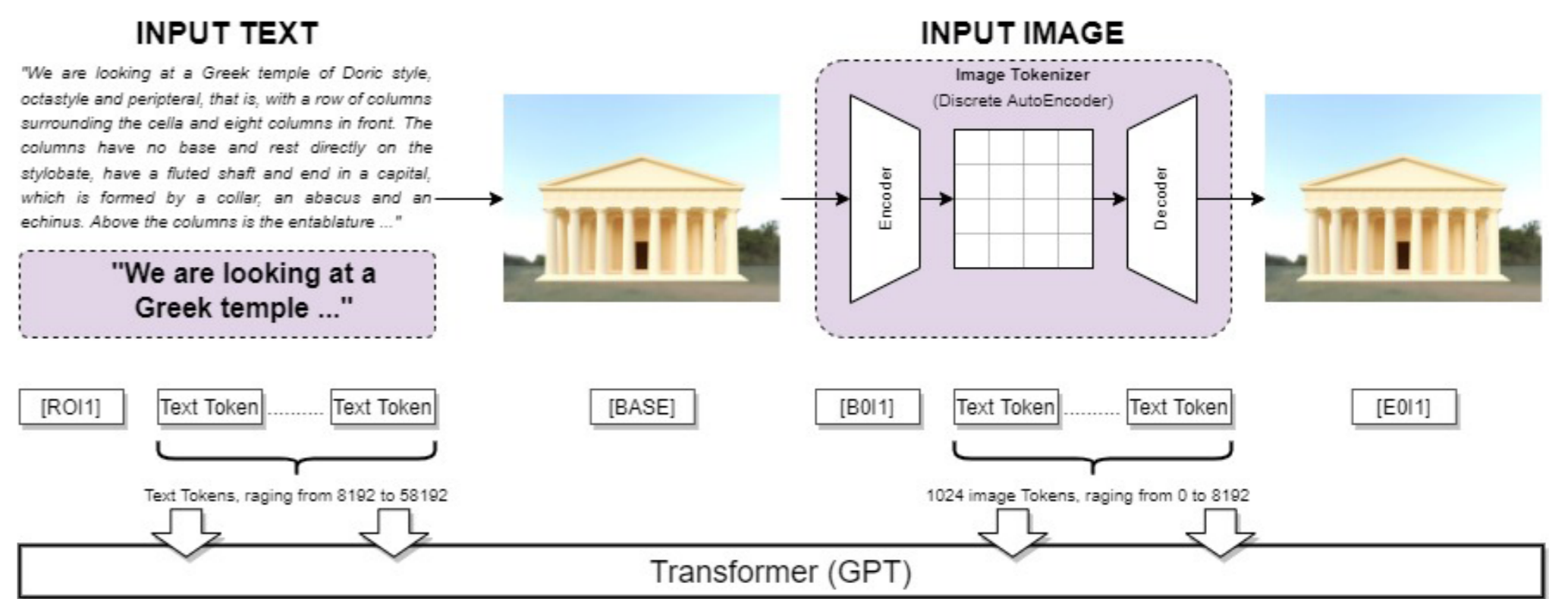


El análisis también se ha extendido a tratar de comprender el sentido de las respuestas que ofrece la IA. Para esto, hemos realizado una taxonomía de las diferentes predicciones que realiza la red neuronal. Una de las conclusiones más relevantes en relación con nuestro proyecto es la mejora de la respuesta gracias al uso de bases de datos especializadas (como la de los templos griegos o los edificios mudéjares), frente a los algoritmos entrenados con millones de imágenes generalistas (como DALL-E, Midjourney o Stable Diffusion).

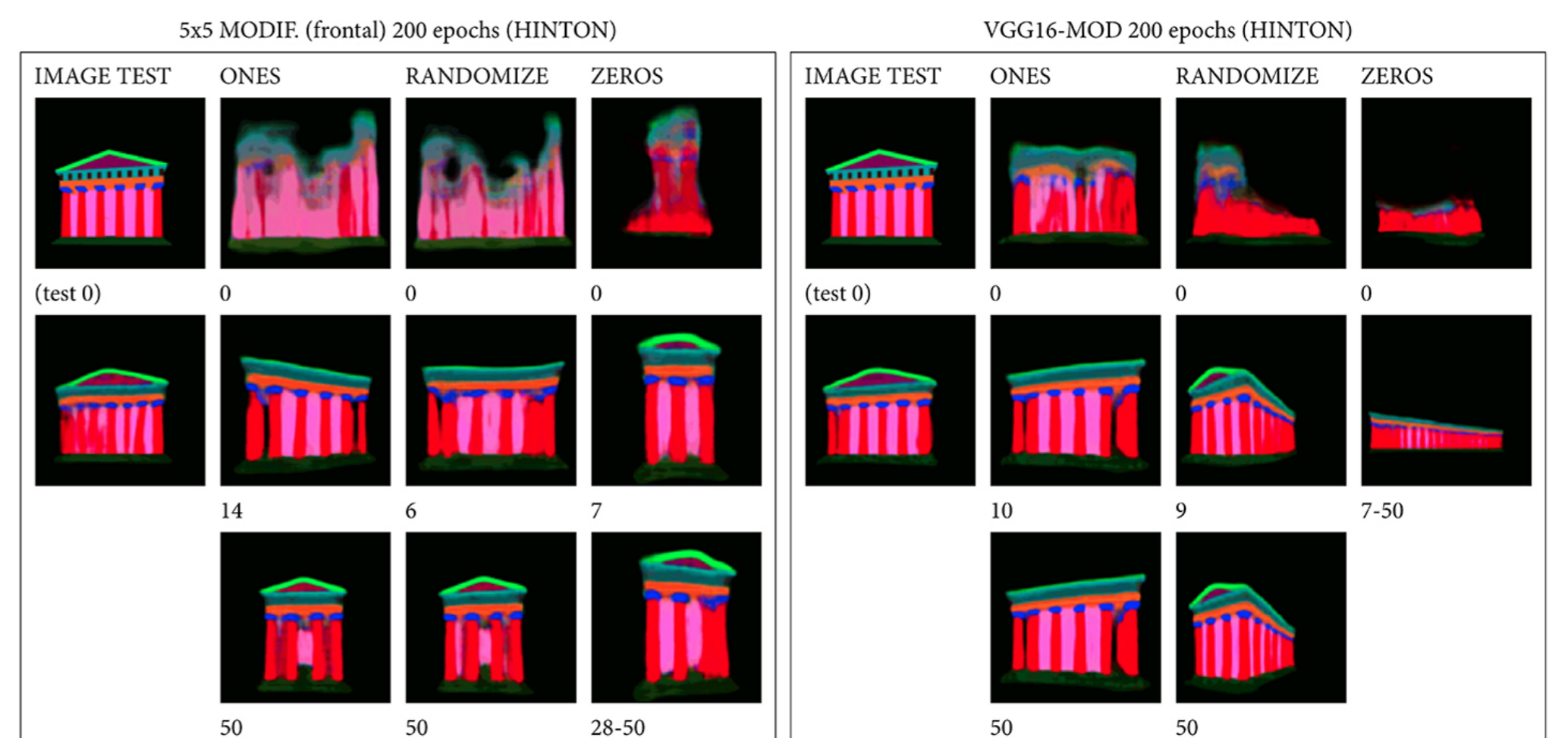
NLP Y LAS IMÁGENES SEGMENTADAS



En fases posteriores, incorporamos la tecnología de NLP para poder mejorar la respuesta de la red neuronal. La idea consistía en incorporar una imagen segmentada (en colores) para identificar cada uno de los elementos arquitectónicos. Frente al esquema inicial (izquierda) en el que incorporábamos una imagen segmentada realizada manualmente, diseñamos un algoritmo (derecha) con la tecnología de transformers (como ChatGPT) para obtener la misma imagen segmentada automáticamente.



Esta tecnología de NLP exige etiquetar todas y cada una de las imágenes del dataset con un texto descriptivo, elaborado con lenguaje natural.



El resultado permite la obtención automática de imágenes segmentadas, que identifican los elementos arquitectónicos del edificio descrito.



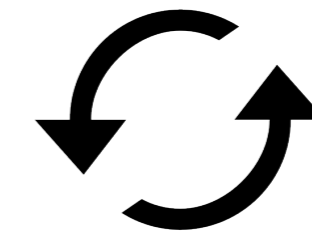
Ejemplos de experimentación con un algoritmo propio, basado en Stable Diffusion 2.1. Se observa la dificultad para ajustarse a los requisitos cuantitativos del prompt.

Ejemplo (a). Prompt: "We are seeing the ruins of a Greek doric temple with two facades, the front with 6 columns and the left side with 13 columns, and with a naos surrounded by pilasters".

Ejemplo (b). Prompt: "We are seeing the ruins of a Greek doric temple with a right side facade with 5 columns, and with a naos surrounded by columns".

Ejemplo (c). Prompt: "We are seeing the ruins of a Greek doric temple with a front side facade with 5 columns, and with a naos surrounded by columns".

UN CAMBIO DE ESTRATEGIA



El análisis de la reconstrucción virtual de los templos griegos nos lleva a constatar el buen funcionamiento del algoritmo de IA. Sin embargo, somos conscientes de que los casos de estudio planteados idealizan en exceso el orden clásico, debido a que el diseño de los modelos sintéticos (3D) está sometidos a un esquema excesivamente rígido. En ese momento nos preguntamos: (1) ¿qué sucedería si analizamos un caso de estudio más **complejo**? (2) ¿podemos pensar que la arquitectura de las diferentes épocas repite una serie de **patrones**? ¿son evidentes, visibles y **predecibles**? Estas últimas preguntas no pretenden seguir las hipótesis de Gottfried Semper¹ acerca de los patrones decorativos en arquitectura. La pregunta surge de una reflexión de carácter fenomenológico: ¿por qué **reconocemos** los estilos de las diferentes épocas históricas? ¿en qué nos fijamos? ¿en qué aspectos visibles de la construcción centramos nuestras hipótesis? ¿cómo conectamos diferentes edificaciones de la misma época? ¿hay algo que persiste?

Ciertamente, si pensamos en cualquier estilo arquitectónico podemos concluir de forma apresurada: (1) el ente arquitectónico es irrepetible (véase su implantación en el lugar) y (2) las circunstancias funcionales y constructivas hacen que la arquitectura sea heterogénea e impredecible. Sin embargo, el reconocimiento de los estilos históricos (incluso en los periodos eclécticos e historicistas) es evidente. Si bien la disertación anterior está sujeta a debate, la cuestión es centrar la atención en lo que significa e implica hacer una predicción.

La IA hace predicciones. De hecho, por su diseño, está “obligada” a hacer predicciones. Esto significa que, en función de la base de datos con la cual se entrene, la red neuronal va a generar contenidos **verosímiles** (no necesariamente verdaderos). ¿No hace lo mismo un especialista cuando realiza una conjetura o plantea una hipótesis?

En el caso de la reconstrucción virtual de una ruina, de un edificio histórico de un estilo determinado, **el estado original siempre es una incógnita**. Los documentos planimétricos no son suficientes para atestiguar un estado inicial. Incluso, disponiendo de una fotografía (para ejemplos posteriores a su invención), nunca se podría saber su configuración original desde todas sus perspectivas. Pero, ¿en qué se fija una IA para hacer la predicción de la reconstrucción? La respuesta es: en píxeles.

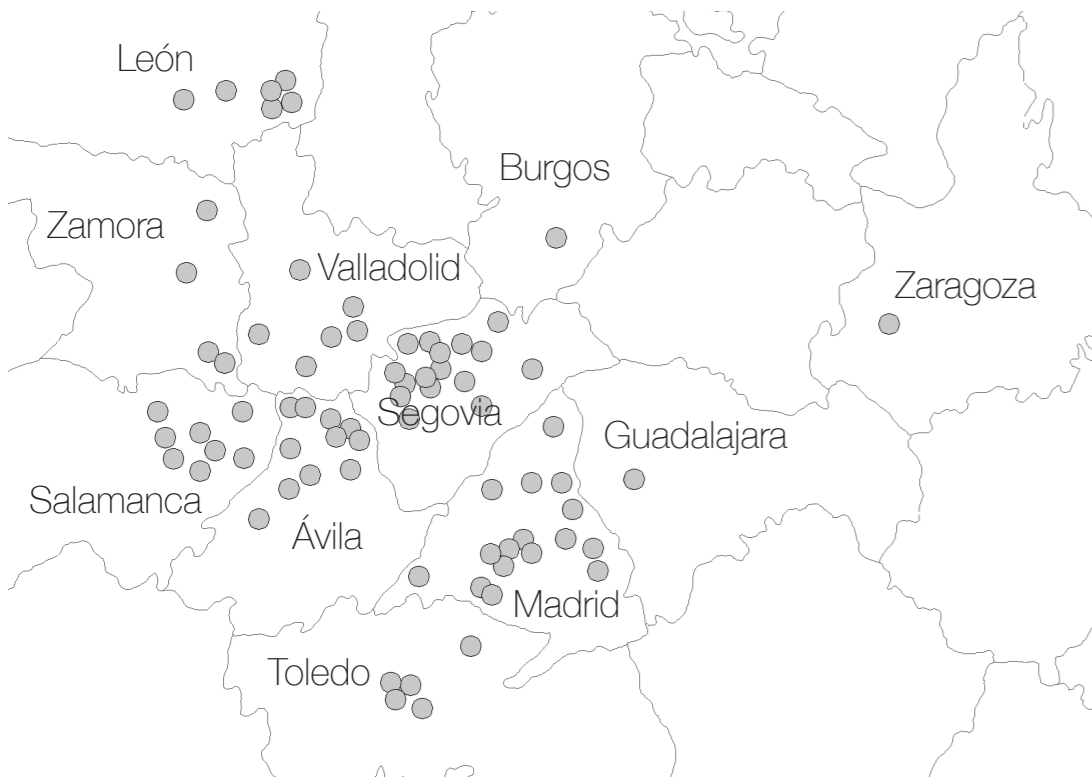
La IA analiza las decenas de miles (o millones) de imágenes para identificar **patrones de píxeles**. Patrones que nada tienen que ver con elementos arquitectónicos, o materiales, u ornamentales. Asumiendo nuestro limitado conocimiento de lo que pertreñan los algoritmos de IA (*black box*), podríamos decir que la predicción se basa en distancias entre colores, densidades y agrupaciones de puntos. Es decir, utiliza un método que nada tiene que ver con la manera en que pensamos los humanos. Lo cierto es, como hemos comprobado en la experimentación, que las predicciones que realiza la IA son, cuanto menos, verosímiles.

Entonces, nuestro problema es aprender a entrenar a la IA para que su respuesta pueda contenerse dentro del umbral de lo posible. Pero ¿cómo podemos hacerlo en el caso de querer reconstruir ruinas de edificios?

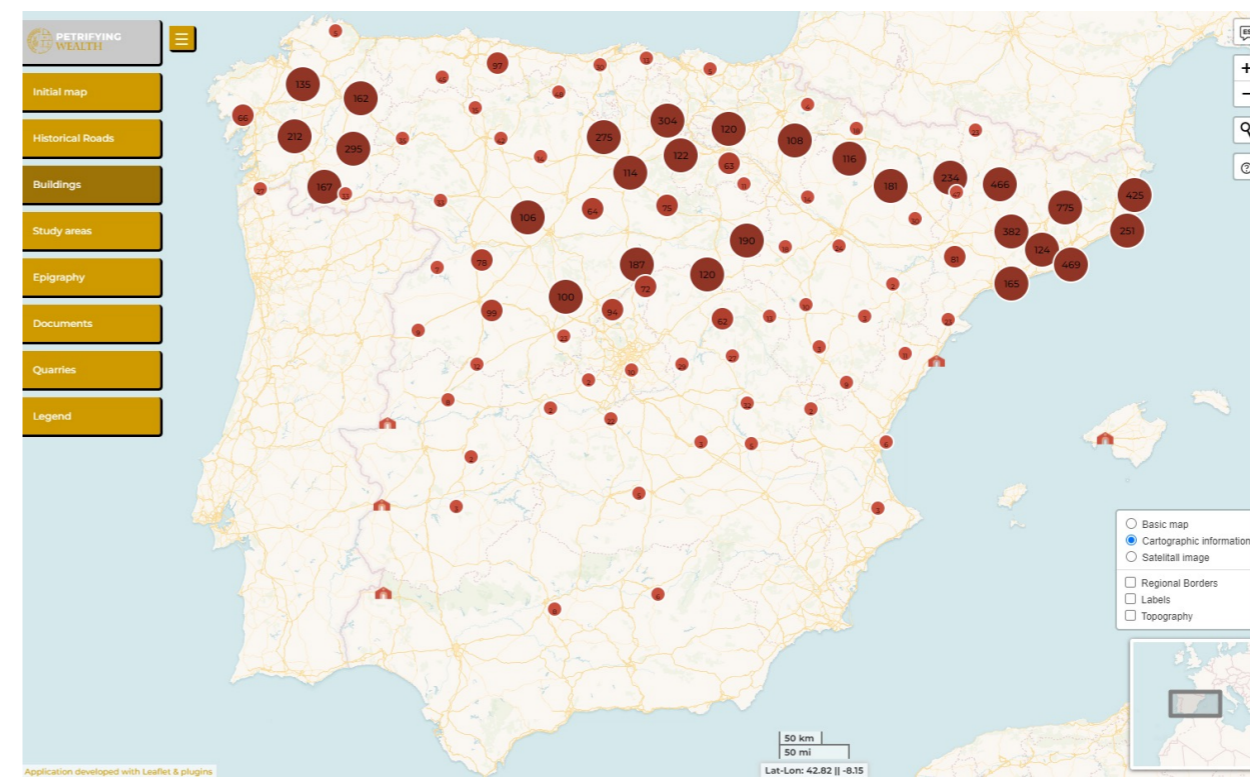
En este punto **cambiamos el enfoque**: ¿qué sucede si entrenamos una IA con edificios que existen y que están completos? ¿qué sucede si el algoritmo **aprende directamente del estado original** (que es unívoco) a partir de una suposición de los estados de ruina? ¿identificará correctamente los patrones? Una vez entrenado, ¿qué sucederá si le pedimos que reconstruya una ruina de un edificio que nunca ha visto durante el entrenamiento?

¹ *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten, oder, Praktische Aesthetik*, 1860-1863.

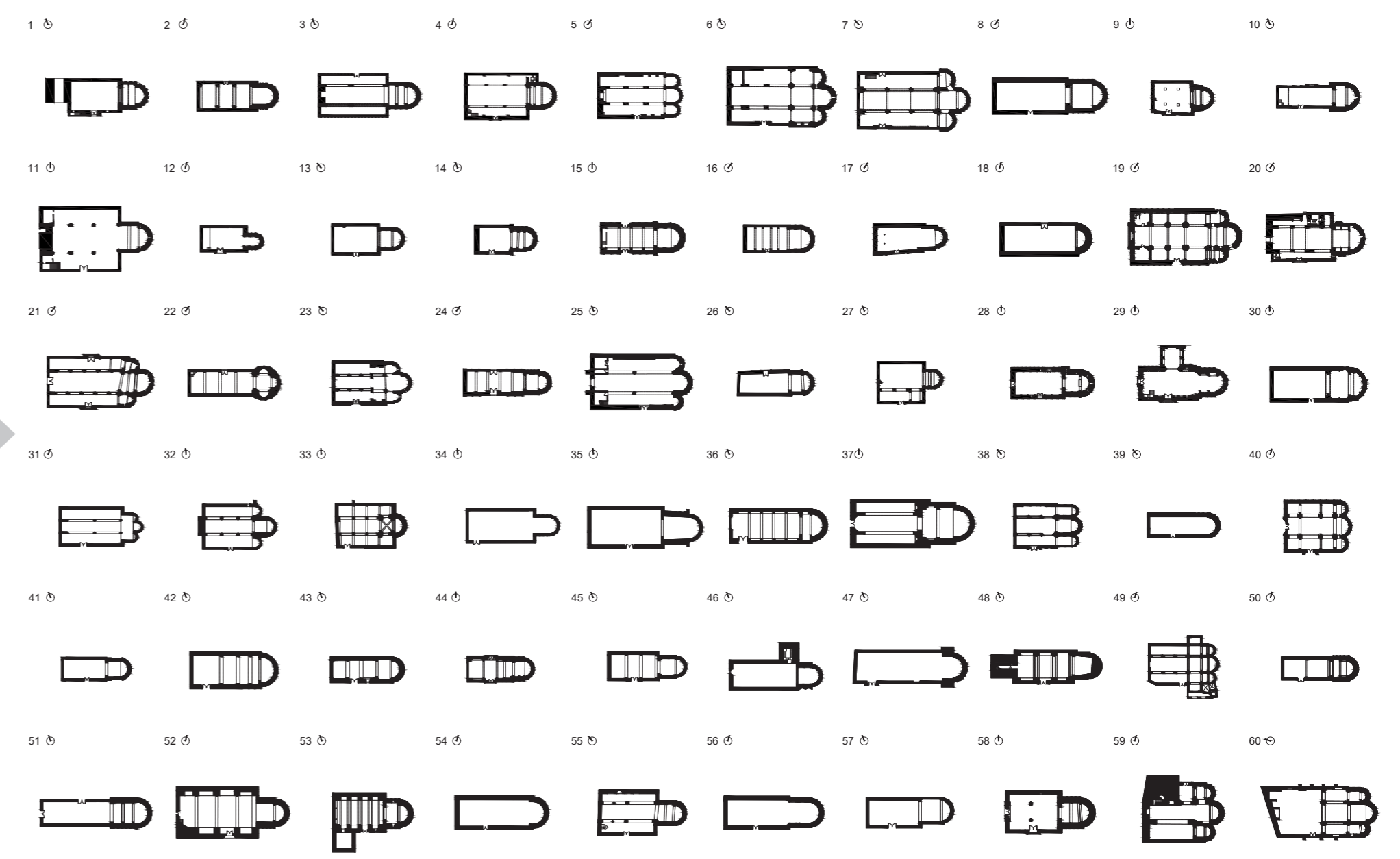
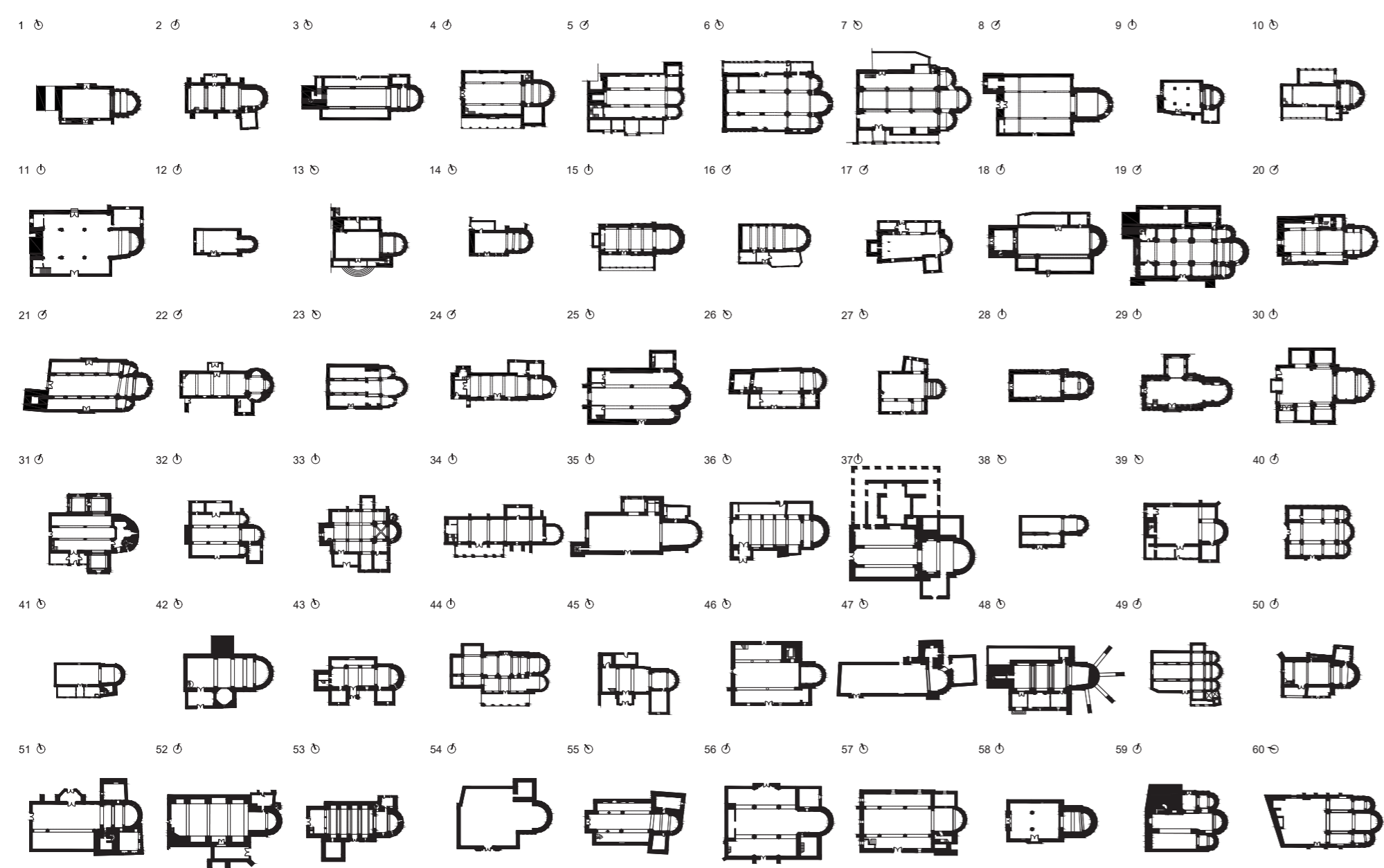
ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA MUDÉJAR DE LOS SIGLOS XI, XII, XIII y XIV



Los avances en la investigación nos llevan a considerar un nuevo caso de estudio más complejo. En este caso, elegimos analizar templos cristianos de la época románico-mudéjar, que se realizan durante los siglos XI a XIV de forma progresiva con el avance de la Reconquista en la península ibérica.



El proyecto Petrifying Wealth (CSIC, Universit  di Roma) permitió obtener una documentación muy precisa sobre el estado original de la gran mayoría de los edificios analizados. Más información en: petrifyingwealth.eu



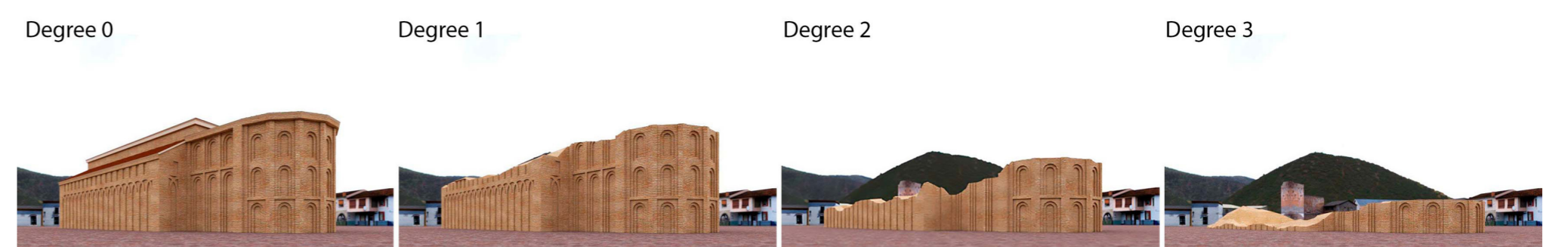
De forma análoga al caso de estudio anterior, se procede a identificar 60 casos de estudio mediante un extenso estudio bibliográfico. En este caso, se buscan edificios que mantengan una parte relevante de su estado original, y se procede a un levantamiento de la planimetría.

Una vez estudiado el estado original de cada caso de estudio, se procedió a actualizar la planimetría y a levantar los modelos 3D para la generación de imágenes de la base de datos de entrenamiento de la red neuronal.

- Casos de estudio: 01- Iglesia de Santa María la Mayor (XI-XIII). Arévalo, Ávila. 02- Iglesia Parroquial de Narros del Castillo (XIII), Narros del Castillo, Ávila. 03- Iglesia de Nuestra Señora de Arbas (XIII), Gordaliza del Pino, León. 04- Iglesia de San Juan (XIII). Turra de Alba, Salamanca. 05- Iglesia de San Andrés (XIII). Cuellar, Segovia. 06- Ermita del Santo Cristo de la Moralejilla (XIII). Raparriegos, Segovia. 07- Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción (XIII). Muriel de Zarpardiel, Valladolid. 08- Iglesia de San Tirso (XII). Sahag n, León. 09- Ermita de Santa María la Antigua (XIV). Carabanchel, Madrid. 10- Iglesia de Santo Domingo de Silos (XIII-XIV). Pr dena del Rinc n, Madrid. 11- Iglesia de San Martín Obispo (XIII). Valdilecha, Madrid. 12- Iglesia de Santiago (XII). Alba de Tormes, Salamanca. 13- Iglesia de San Pedro (XIII). Pedrosillo de Alba, Salamanca. 14- Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción (XIII). Pe narandilla, Salamanca. 15- Iglesia de San Pedro y San Felipe (XII). Villar de Gallimazo, Salamanca. 16- Iglesia de San Esteban (XIII). Cuellar, Segovia. 17- Iglesia de San Martín (XII-XIII). Cuellar, Segovia. 18- Iglesia de San Bartolomé (XIII). Montuenga, Segovia. 19- Iglesia de San Miguel Arc ngel (XIII). Aldea de San Miguel, Valladolid. 20- Ermita de Nuestra Señora de la Vega (XIII). Toro, Zamora. 21- Iglesia de San Lorenzo el Real (XII). Toro, Zamora. 22- Iglesia del Salvador (XIV). Gajates, Salamanca. 23- Iglesia de San Juan Bautista (XIII). Donvidas,  vila. 24- Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción (XII-XIII). El Cubillo de Uceda, Guadalajara. 25- Iglesia de San Lorenzo (XII). Sahag n, León. 26- Iglesia de San Juan Evangelista (XIII). Santib nchez de Valcorba, Valladolid. 27- Iglesia de San Andrés (XII). Olmo de la Guare a, Zamora. 28- Iglesia de San Juan de la Cuesta (XIII). Daroca, Zaragoza. 29- Iglesia de San Pedro Ap stol. (XIII). Camarma de Esteruelas, Madrid. 30- Iglesia de San Juan o Nuestra Señora del Rosario (XIII). Coca de Alba, Salamanca. 31- Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción (XIV). Barrom n,  vila. 32- Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción (XII-XIII). Narros del Puerto,  vila. 33- Iglesia de San Félix del Cea (XIII). Saelices del Río, León. 34- Iglesia de Santo Tom s Ap stol (XIII). Arenillas de Valderaduey, León. 35- Iglesia de San Andrés (XIII). Cubas de la Sagra, Madrid. 36- Iglesia de San Vicente (XII). Toledo, Toledo. 37- Parroquia de San Cristóbal (XIII). Boadilla del monte, Madrid. 38- Iglesia de La Asunción (XIII). Galleguillos de Alba, Salamanca. 39- Iglesia de San Miguel Arc ngel (XIII). Nava de Sotrobal, Salamanca. 40- Iglesia de Santiago (XII). Salamanca, Salamanca. 41- Iglesia de Santiago Ap stol (XII). Aldealengua, Salamanca. 42- Iglesia de San Baudilio (XII). Samboal, Segovia. 43- Iglesia de San Cristóbal (XII). San Cristóbal de la Vega, Segovia. 44- Iglesia de San Esteban (XIII). Nieva, Segovia. 45- Iglesia de San Sebastián (XIII). Villaverde de Óscar, Segovia. 46- Iglesia de San Vicente (XII). Zarzuela del Monte, Segovia. 47- Iglesia de Santiago (XII-XIII). Sep lveda, Segovia. 48- Iglesia El Salvador (XIII). Cuellar, Segovia. 49- Iglesia de Santiago del Arrabal (XIII). Toledo, Toledo. 50- Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción (XIII). Almenara de Adaja, Valladolid. 51- Iglesia de San Andrés (XIII). Olmedo, Valladolid. 52- Iglesia de San Boal (XIII). Poz ldez, Valladolid. 53- Iglesia de San Juan (XIII). Mojados, Valladolid. 54- Iglesia de San Pedro (XII). Alcazar n, Valladolid. 55- Iglesia de Santa María (XIV). Mojados, Valladolid. 56- Iglesia de Santiago (XIII). Alcazar n, Valladolid. 57- Parroquia San Matías (XIV). Bobadilla del Campo, Valladolid. 58- Iglesia de San Pedro del Olmo (XIII). Toro, Zamora. 59- Iglesia de San Salvador de los Caballeros (XIII). Toro, Zamora. 60- Iglesia de Santa María de la Antigua (XIII). Villalpando, Zamora.



Todos los edificios se modelan teniendo en cuenta sus características formales y ornamentales, incluso su materialidad. Siguiendo la hipótesis de la nueva estrategia del proyecto, se procede a modelar 3 casos de destrucción por ejemplo. El conjunto total de imágenes del dataset se compone de 86.400 elementos.



MODELOS 3D AUTOMÁTICOS

La tecnología avanza muy rápido. En agosto de 2023 se desarrolla el modelo Gaussian Splatting (Kerbel et al.) a partir de la mejora de los modelos NeRF 3D (2022). Esto permite la generación automática de un modelo 3D a partir de un conjunto de imágenes. La idea es conseguir un modelo 3D de un edificio reconstruido a partir de las imágenes de su estado en ruina. Adaptando el algoritmo a nuestra experimentación conseguimos resultados sorprendentes.



Obtención automática de modelos 3D a partir de la tecnología de Gaussian Splatting (30.000 iteraciones, estado completo - ruina 1 - ruina 2).

En noviembre de 2023 se publica el modelo SuGaR (Guédon & Lepetit), que es una versión más avanzada del modelo Gaussian Splatting. Este sistema de IA permite la obtención de modelos 3D con mayor nitidez, menos ruido (artefactos) y mayor rapidez (menos iteraciones).



Obtención automática de modelo 3D a partir de la tecnología de SuGaR (7.000 iteraciones).



Entorno virtual generado por SuGaR.

En estos momentos estamos depurando el algoritmo para obtener de forma automática un modelo BIM (HBIM) a partir de reconocer cada una de las partes del edificio analizado (IFC).

MAPAS AUTO-ORGANIZADOS

Los desarrollos más complejos de IA son los de Deep Learning. Estos sistemas utilizan algoritmos muy complejos, capaces de ofrecer predicciones de problemas que, a priori, no tienen una respuesta unívoca. Es el caso de los mapas SOM (self-organizing maps), desarrollados por Kohonen (1995).

En nuestro proyecto, nos hemos planteado hacer una organización de las 60 plantas del románico mudéjar mediante este sistema. El resultado es un mapa con una organización matricial, fruto de un cálculo muy complejo. Proponemos analizar los resultados, confrontando lo que "ve" la red neuronal en la base de datos del entrenamiento con lo que no conoce. ¿Puede servir para pensar en una nueva taxonomía de la arquitectura? ¿Se pueden identificar nuevos patrones?

