

Construcción digital en Arquitectura:

Una perspectiva tectónica de la obra de Álvaro Siza a través de la modelación 3D de dos obras internacionales

Juan David de Jesus Rojas Piedrahita

M

2025



Juan David de Jesus Rojas Piedrahita. Construcción digital en Arquitectura: Una perspectiva tectónica de la obra de Álvaro Siza a través de la modelación 3D de dos obras internacionales



M.FAUP 2015

Construcción digital en Arquitectura:

Una perspectiva tectónica de la obra de Álvaro Siza a través de la modelación 3D de dos obras internacionales

Juan David de Jesus Rojas Piedrahita



Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura

Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

Construcción digital en Arquitectura:

*Una perspectiva tectónica de la obra de Álvaro Siza a través
de la modelación 3D de dos obras internacionales*

Autor:

Juan David de Jesus Rojas Piedrahita

202001965

Orientadora:

Profesora Doctora Teresa Sofia Barbot Faria Cunha Ferreira

Co-orientador:

Professor Doctor Joaquim José Lopes Teixeira

Agradecimientos

A mi familia, y en especial a mis padres, por inculcarme desde siempre el poder transformador de la educación y por brindarme su apoyo incondicional en cada una de las decisiones que han marcado mi trayectoria hasta el presente.

A la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Oporto, por acogerme generosamente en esta etapa final de mi formación académica y por ofrecerme un entorno fértil de aprendizaje y reflexión, del cual esta disertación es en gran medida resultado.

A la profesora Teresa Cunha Ferreira, por la confianza depositada en mí al integrarme en grandes proyectos de investigación, por su orientación constante y por su valiosa guía a lo largo del desarrollo de esta disertación. Al profesor Joaquim Teixeira, por haberme transmitido con claridad y entusiasmo conocimientos fundamentales sobre construcción y arquitectura, que enriquecieron significativamente este trabajo.

A mis colegas del grupo PACT del Centro de Investigación en Arquitectura y Urbanismo, Tiago Cruz, Hugo Mendonça y Pedro Murilo de Freitas, por su generoso acompañamiento y por compartir sus amplios conocimientos sobre la obra de Álvaro Siza, conservación del patrimonio arquitectónico y el uso de herramientas digitales. Su colaboración fue esencial en las distintas etapas de esta disertación.

Y a cada uno de los amigos que he tenido el privilegio de conocer durante esta etapa en Portugal y en Europa, por enseñarme, con su afecto y generosidad, que la familia también puede construirse y elegirse a lo largo del camino.

Resumen

Esta disertación explora el potencial de las herramientas digitales de construcción como instrumentos para el análisis, la documentación y la difusión del conocimiento arquitectónico, tomando como eje de estudio la tectónica la obra de Álvaro Siza. En el contexto de la revolución digital que ha transformado la práctica arquitectónica desde finales del siglo XX, la investigación indaga en cómo el modelado tridimensional, particularmente a través de herramientas de Building Information Modeling (BIM), puede contribuir a una comprensión más profunda de la tectónica en la arquitectura contemporánea.

El estudio se centra en dos proyectos internacionales de Álvaro Siza —el Centro Gallego de Arte Contemporáneo (Santiago de Compostela, España) y la Fundação Iberê Camargo (Puerto Alegre, Brasil)—, los cuales comparten un programa museístico pero difieren sustancialmente en sus estrategias materiales, constructivas y urbanas. Mediante una metodología multi-método que combina la investigación bibliográfica, el trabajo de campo, la consulta a expertos, el dibujo arquitectónico y el desarrollo de modelos digitales detallados en Autodesk Revit, la tesis establece un marco riguroso para el análisis tectónico y constructivo de la arquitectura de Siza.

Los resultados destacan el papel central de la tectónica en la obra de Siza, revelando la coherencia entre las decisiones materiales, constructivas y espaciales. Asimismo, la investigación subraya el valor pedagógico y patrimonial de los modelos digitales 3D, no solo como herramientas de análisis, sino también como plataformas de difusión del conocimiento, tanto a través de producciones físicas como la impresión 3D, como mediante plataformas digitales de visualización inspiradas en el proyecto CoVHer, que amplían el impacto de los modelos hacia un público más amplio.

En última instancia, la disertación demuestra que el modelado digital no es una operación neutral o meramente técnica, sino una práctica crítica e interpretativa que articula el conocimiento arquitectónico, el detalle constructivo y la preservación cultural. Al producir modelos didácticos y abiertos, esta investigación contribuye tanto a la comprensión académica de la arquitectura de Álvaro Siza como al campo más amplio de la construcción digital en arquitectura, la enseñanza del diseño y la conservación del patrimonio moderno.

Abstract

This dissertation explores the potential of digital construction tools as instruments for the analysis, documentation, and dissemination of architectural knowledge, focusing tectonic presents on the work of Álvaro Siza. In the context of the digital revolution that has transformed architectural practice since the late 20th century, the research investigates how 3D modeling, particularly through Building Information Modeling (BIM) tools, can contribute to a deeper understanding of tectonics in contemporary architecture.

The study focuses on two international projects by Álvaro Siza —the Centro Gallego de Arte Contemporáneo (Santiago de Compostela, Spain) and the Fundação Iberê Camargo (Porto Alegre, Brazil)—, both of which share a museum program yet differ substantially in material, constructive, and urban strategies. Through a multi-method methodology combining bibliographic research, fieldwork, expert consultation, architectural drawing, and the development of detailed digital models in Autodesk Revit, the thesis establishes a rigorous framework for the tectonic and constructive analysis of Siza's architecture.

The results highlight the central role of tectonics in Siza's work, revealing the coherence between material, construction, and spatial decisions. The research also underscores the pedagogical and heritage value of 3D digital models, not only as tools of analysis but also as platforms for knowledge dissemination, whether through physical outputs such as 3D printing, or digital visualization platforms inspired by the CoVHer project, which extend the impact of the models to a broader audience.

Ultimately, the dissertation demonstrates that digital modeling is not a neutral technical operation but a critical and interpretative practice that bridges architectural knowledge, construction detail, and cultural preservation. By producing didactic and open-ended models, this research contributes both to the academic understanding of Álvaro Siza's architecture and to the broader field of digital construction in architecture, design education, and modern heritage conservation.

Índice

Agradecimientos.....3

Resumen.....5

Abstract 7

Introducción 11

1. Construcción Digital en Arquitectura 15

1.1. Contexto histórico, bases teóricas y primeros avances 16

1.2. Desarrollo de CAD, arquitectura paramétrica y renderizado 23

1.3. BIM, realidad virtual e inteligencia artificial 28

2. Metodología 33

2.1. Modelos de construcción digital como herramienta de investigación en arquitectura... 33

2.2. Experiencias de investigación 36

SizaATLAS 37

CoVHer 40

GRAFT Arquitectos Berlín 41

2.3. Metodología de investigación 46

Revisión de literatura 48

Investigación archivística 49

Trabajo de campo 51

Dibujo (métodos, procesos y herramientas) 54

3. Casos de estudio 61

3.1. Centro Gallego de Arte Contemporáneo, Santiago de Compostela, España 64

3.1.1. Contextualización 64

3.1.2. Construcción digital 68

3.1.3. Sección constructiva 74

3.2. Fundación Iberê Camargo, Puerto Alegre, Brasil 80

3.2.1. Contextualización 80

3.2.2. Construcción digital 85

3.2.3. Sección constructiva 90

Consideraciones finales..... 95

Referencias bibliográficas..... 101

Créditos de imágenes..... 105

Anexos..... 109

Introducción

La integración de herramientas digitales en la arquitectura constituye uno de los procesos de transformación más significativos en la práctica proyectual contemporánea. Este fenómeno, catalizado por la revolución tecnológica de finales del siglo XX, ha reformulado los modos de diseñar, representar, construir y analizar la arquitectura. Podemos especular que, gracias a los rápidos avances tecnológicos en las herramientas digitales en la arquitectura, los medios tradicionales de representación podrían desaparecer en un futuro cercano, sin embargo, para el desarrollo de este trabajo, hemos optado por un abordaje híbrido, el cual reconoce que las herramientas digitales se han consolidado como un complemento que amplifica las capacidades del arquitecto, permitiendo desarrollar procesos creativos más precisos, complejos, informados y colaborativos. En este sentido, es en la confluencia entre lo análogo y lo digital donde se configura un enfoque proyectual más integral y sensible, capaz de responder a las complejidades materiales, técnicas y culturales del entorno construido.

La construcción, entendida como componente estructural y epistemológico de la arquitectura, requiere una comprensión profunda de los elementos, procesos y materiales que la configuran. Esta comprensión no solo informa la toma de decisiones técnicas, económicas, estéticas y ambientales durante el proceso de diseño, sino que también aporta una mirada crítica sobre la relación entre idea y materia, entre proyecto y ejecución. Tradicionalmente, el aprendizaje sobre construcción se ha desarrollado mediante la observación directa, el estudio de obra construida, el dibujo técnico y la reflexión teórica. No obstante, la incorporación de tecnologías digitales ha abierto nuevas posibilidades metodológicas, particularmente a través del modelado tridimensional (3D), que permite representar y analizar de manera rigurosa y detallada los sistemas constructivos y sus interrelaciones espaciales.

En este contexto, los modelos de construcción digital emergen como herramientas clave para la investigación y la enseñanza de la arquitectura. Más allá de su función representacional, estos modelos actúan como estructuras de conocimiento que permiten visualizar, codificar y problematizar componentes arquitectónicos a distintas escalas y nivel de detalle. Desde los sistemas portantes hasta los detalles técnicos más específicos, el modelado de construcción digital facilita una comprensión holística del proceso constructivo, haciendo visible aquello que muchas veces permanece oculto en los planos bidimensionales. La posibilidad de construir virtualmente un edificio, simulando sus relaciones tectónicas, materiales y espaciales, convierte al modelado 3D en una metodología de análisis con un potencial didáctico, proyectual y de aprendizaje para el estudio, análisis, documentación y salvaguarda de edificios patrimoniales existentes.¹

La obra del arquitecto Álvaro Siza ha sido objeto de múltiples estudios que abordan sus dimensiones formales, espaciales, contextuales y proyectuales. Sin embargo, persiste

1 Apollonio, F. I., et al., "3D Modeling and Data Enrichment in Digital Reconstruction of Architectural Heritage", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W2, Strasbourg, 2013, p. 43.

un vacío en la literatura especializada respecto a un análisis pormenorizado de sus sistemas constructivos, materiales y detalles estructurales. Al observar sus obras, podemos apreciar una gran sensibilidad en la selección de materiales, la resolución de problemas estructurales y su integración con el contexto reconociendo las cualidades del lugar y su traducción técnica constructiva, tornando cada edificio un elemento pedagógico que enseña a través de la observación y vivencia.² Por esta razón, la presente disertación se propone abordar dicha brecha en la literatura y estudiar las cualidades constructivas y tectónicas de su obra mediante el uso de herramientas digitales para la reconstrucción digital de dos de sus edificios internacionales: el Centro Gallego de Arte Contemporáneo (Santiago de Compostela, España) y la Fundación Iberê Camargo (Porto Alegre, Brasil). Ambas comparten un programa museístico, pero difieren sustancialmente en sus condiciones urbanas, técnicas y materiales, lo que permite desarrollar un estudio comparado desde la lógica tectónica y proyectual.

El estudio de la obra de Álvaro Siza desde la perspectiva de la tectónica se fundamenta en la necesidad de recuperar una dimensión crítica de su arquitectura que, como advierte Paulo Martins Barata, ha sido frecuentemente eclipsada por lecturas centradas en lo formal o lo contextual. Siza debe ser entendido también como un *architect as a master builder*, cuya metodología reflexiva resiste reduccionismos tipológicos y se nutre de la integración entre historia, geometría y materialidad en una unidad plástica. En esta línea, la noción de tectónica trasciende su carácter meramente técnico para configurarse como un marco conceptual desde el cual es posible desentrañar la poética constructiva de su obra, situándola en continuidad con tradiciones críticas de la arquitectura europea y proyectándola hacia los debates contemporáneos sobre la construcción como vehículo de conocimiento arquitectónico.

El objetivo de esta investigación es analizar cómo los modelos de construcción digital y el modelado 3D puede servir como una herramienta rigurosa para el estudio de la arquitectura construida, en particular cuando se aplica al análisis tectónico y constructivo de obras de autor, descifrando sus potenciales y sus debilidades al momento de su implementación. A través de modelos desarrollados en Autodesk Revit, enriquecidos con información documental, gráfica y archivística, se busca comprender en profundidad los sistemas materiales y las decisiones proyectuales que configuran la obra de Siza, no como ejercicios formales, sino como manifestaciones de una poética de la construcción.

Los modelos de construcción digital desarrollados en esta investigación no son simplemente representaciones tridimensionales, sino el resultado de una metodología rigurosa y compleja que articula múltiples etapas y fuentes de información.³ Este enfoque multi-método integra la recopilación y análisis crítico de bibliografía especializada, la revisión de documentación gráfica y técnica, el

trabajo de campo mediante visitas a las obras, y el contraste sistemático entre la planimetría disponible y la realidad construida. Asimismo, se incorpora la discusión con expertos en la obra de Álvaro Siza, así como en temas relacionados con la construcción y la tectónica arquitectónica, lo que enriquece el proceso de verificación y validación del modelo. En este marco, el dibujo arquitectónico se emplea no solo como instrumento de representación, sino como herramienta epistemológica fundamental que media entre la reflexión teórica y la materialidad de la obra. El acto de dibujar permite profundizar en la comprensión de la lógica constructiva, establecer conexiones entre idea y forma, y trasladar el pensamiento proyectual al terreno técnico de la arquitectura construida y acompañando en cada etapa de la investigación.

Este trabajo no solo busca aportar una nueva lectura técnica y crítica de dos obras significativas del movimiento moderno, sino también contribuir al campo emergente de la construcción digital en arquitectura y su uso como herramienta pedagógica y de enseñanza en la arquitectura. Los modelos generados no deben entenderse como productos terminados, sino como dispositivos abiertos, capaces de ser reutilizados, ampliados y actualizados por futuras investigaciones. Así, esta disertación aspira a constituirse en una fuente de información estructurada sobre la obra de Álvaro Siza, promoviendo el desarrollo de metodologías digitales aplicadas al estudio del patrimonio arquitectónico contemporáneo.

La motivación para el desarrollo de esta investigación surge de la participación del autor en el proyecto de investigación *Siza ATLAS: Filling the Gaps for World Heritage* (2023), financiado por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT - IR - Soraya Genin; co IR- Teresa Cunha Ferreira) y orientado por la Profesora Doctora Teresa Cunha Ferreira en la Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto. Esta experiencia, junto con otras actividades de investigación y prácticas profesionales, han permitido consolidar un enfoque metodológico que articula teoría, documentación y modelado digital como herramientas complementarias para un análisis arquitectónico más completo.

La disertación se organiza en tres capítulos. El primero presenta una revisión crítica del desarrollo histórico y conceptual de las herramientas digitales aplicadas a la arquitectura. El segundo establece el marco metodológico de la investigación, basado en estrategias multi-método de análisis documental, reconstrucción digital y estudio comparado. El tercer capítulo está dedicado al análisis tectónico y constructivo de los dos casos de estudio a través del modelado 3D y construcción digital. Finalmente, la última parte ofrece consideraciones finales que reflexionan sobre ambos casos de estudio y las posibilidades y limitaciones del modelado de construcción digital como herramienta de investigación arquitectónica de obras de autor.

² Frampton, K., *Álvaro Siza: Complete Works*; London: Phaidon, 2000.

³ Boeykens, S., et al., "Improving Architectural Design Analysis Using 3D Modeling and Visualization Techniques", *VSM 2008: Digital Heritage – Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Heverlee, 2008, p. 69.

1. Construcción Digital en Arquitectura

En el dinámico y complejo entorno de la arquitectura contemporánea, el papel de la tecnología digital ha evolucionado de manera significativa, transformando no solo la forma en que diseñamos y construimos, sino también la manera en que concebimos y experimentamos el espacio arquitectónico. En este capítulo, nos proponemos revisar el estado actual de los avances tecnológicos de las herramientas digitales de producción de arquitectura, a través de tres subcapítulos, trazando un recorrido desde sus raíces teóricas hasta su aplicación práctica en la actualidad.

Having abandoned the discourse of style, the architecture of modern times is characterized by its capacity to take advantage of the specific achievements of that same modernity: the innovations offered by present-day science and technology. The relationship between new technology and new architecture even comprises a fundamental datum of what are referred to as avant-garde architectures, so fundamental as to constitute a dominant albeit diffuse motif in the figuration of new architectures. *Ignasi de Solà-Morales. Differences: Topographies of Contemporary Architecture. Cambridge: MIT Press, 1997.*

Para comprender la intrincada relación entre la tecnología digital y la arquitectura, debemos ir más allá de los avances tecnológicos individuales y considerar el contexto más amplio en el que surgieron. Como señala el investigador de historia de la arquitectura y tecnología Antoine Picon, en arquitectura, la tecnología rara vez es la única explicación; resulta de la adaptación del hombre a su contexto y a la presencia de factores económicos, sociales y culturales. Las transformaciones que observamos hoy son el resultado de un proceso que se desarrolla en el tiempo y mucho más complejo que la adopción reciente de herramientas digitales por parte de los proyectistas.⁴ Para comprender mejor la importancia de las herramientas digitales, haremos un breve repaso histórico de cómo han moldeado el escenario actual, comenzaremos examinando algunos de los acontecimientos clave que sentaron las bases de lo que entendemos hoy como herramientas digitales y su relación con la arquitectura. Desde las primeras tecnologías digitales durante los inicios del siglo XX, donde surgen los primeros proyectos de tecnología digital, hasta la consolidación de las ciencias informáticas en la segunda mitad del siglo XX. Trazaremos un camino que busca entender las implicaciones de estos avances y factores sociales, políticos y económicos, en la evolución de las herramientas utilizadas en la proyección de arquitectura.

A medida que exploramos esta trayectoria histórica, también nos detendremos en las contribuciones teóricas y prácticas de figuras influyentes como Ivan Sutherland (1938), Nicholas Negroponte (1943) y el grupo Archigram, quienes anticiparon y promovieron la integración de la tecnología digital en la arquitectura mucho antes de que esta se convirtiera en una práctica generalizada. Con esta elección, hemos intentado hacer una lectura de los historiadores/arquitectos, pero también de los colectivos arquitectónicos, que contribuyeron al pensamiento y la práctica de la arquitectura.

⁴ Picon, A., *Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Professions*; Basilea: Birkhäuser, 2010, p. 9.

Finalmente, examinaremos cómo estas raíces históricas van de la mano con el desarrollo de hardware/software que responden a las necesidades del acto de pensar la arquitectura. Este proceso ha dado lugar a la prolífica diversidad de herramientas digitales disponibles en la arquitectura actualmente, desde los softwares CAD⁵, el modelado 3D, hasta la realidad virtual y el diseño paramétrico, que permitieron explorar nuevas concepciones del espacio, con la introducción de ecuaciones matemáticas para la modelación espacial. A través de esta exploración, buscamos un esclarecimiento sobre la evolución y el impacto de las herramientas digitales en la arquitectura, comprender el presente y lanzar nuevas perspectivas sobre el futuro de esta disciplina.

Teniendo en cuenta la evolución conceptual, es necesario aclarar conceptos y promover una lectura de los significados de varios términos clave. La “computación” es el campo de estudio y práctica relacionado con el diseño, desarrollo y uso de sistemas y dispositivos que procesan información de manera automática, a través de algoritmos y programas ejecutados en hardware, como las computadoras. Por otro lado, la “informática” se refiere a la disciplina que estudia y aplica métodos y técnicas para el procesamiento automático de información mediante computadoras.⁶ La fusión de estas dos áreas del conocimiento ha sido fundamental para el desarrollo de softwares, el análisis de datos y los avances en herramientas digitales que son ampliamente usadas actualmente en la arquitectura.

1.1. Contexto histórico, bases teóricas y primeros avances

Como se ha señalado previamente, la incorporación de tecnologías digitales en el ámbito arquitectónico no constituye una formulación reciente. Ya hacia finales del siglo XIX e inicios del siglo XX se establecieron muchas de las bases que darían lugar al desarrollo de las tecnologías digitales actuales. Este periodo fue testigo de transformaciones fundamentales en los modos de producción en masa, la distribución de bienes y el manejo creciente de datos e información. Ante la necesidad de organizar y procesar grandes volúmenes de información, se desarrollaron las primeras máquinas de tabulación eléctrica, ampliamente utilizadas durante la Segunda Guerra Mundial. Estos dispositivos sentaron las bases para el surgimiento de computadores capaces de gestionar grandes cantidades de datos mediante la lógica matemática.⁷ Si bien sus orígenes estuvieron determinados por exigencias del contexto bélico, su aplicación se fue extendiendo progresivamente a distintas áreas de la sociedad durante las décadas posteriores.

Los primeros avances fueron posibles gracias a los aportes del matemático Alan Turing (1912-1954) con su modelo teórico “Maquina de Turing” de 1936. Se trata de un

⁵ CAD: Computer-aided design.

⁶ Definición por la RAE (Real Academia de la Lengua Española) “Informática”: Conjunto de conocimientos científicos y técnicas que hacen posible el tratamiento automático de la información por medio de computadoras.

⁷ Dunn, N., *DIGITAL FABRICATION IN ARCHITECTURE*; London: Laurence King Publishing Ltd, 2012, p. 14.

concepto fundamental en la teoría de la computación y ayuda a comprender los límites de lo que puede calcularse algorítmicamente con un computador.⁸ De igual forma, el matemático John Von Neumann, plantea un modelo teórico conocido como “Maquina de Von Neumann” en 1945. Este modelo describe cómo funcionan los computadores digitales electrónicos y cómo se interconectan sus componentes de hardware.⁹ Estos desarrollos sentaron las bases para la creación de computadores capaces de gestionar grandes cantidades de información mediante lógica matemática, especialmente operaciones binarias, combinadas con los avances en tecnología eléctrica. Su relevancia durante los conflictos militares mundiales atrajo una considerable inversión gubernamental en el desarrollo tecnológico de diversas máquinas y sistemas de computación, que luego se expandirían hacia otros campos de la sociedad.¹⁰

Es en la década de los 50 cuando aparecen las primeras herramientas informáticas con mayor nivel de sofisticación, como por ejemplo el sistema SAGE (Semi-Automatic Ground Environment), utilizado para la coordinación de operaciones militares a través de radar. Este sistema, que fue la primera red informática, incorporó innovaciones como las pantallas de vídeo, las memorias artificiales y los procesos de traducción de la información. Tras su concepción inicial en el entorno militar, estas innovaciones se integrarían posteriormente en los sistemas disponibles en el mercado.



Figura 1. Trabajador usando el SAGE (Semi-Automatic Ground Environment). Fuente: Computer History Museum

⁸ La “Maquina de Turing” fue presentada por primera vez en un artículo titulado “On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem”, publicado en la revista “Proceedings of the London Mathematical Society”, en el año 1936.

⁹ También conocida como la “arquitectura de Von Neumann” gracias al memorando “First Draft of a Report on the EDVAC”, de 1945. Se trata de un modelo teórico base de las computadoras modernas y se caracteriza por una arquitectura que incluye una unidad central de procesamiento, memoria principal y dispositivos de entrada/salida

¹⁰ Dunn, N., *DIGITAL FABRICATION IN ARCHITECTURE*; London: Laurence King Publishing Ltd, 2012, p. 14-15.

Durante los años 60, inicia un periodo de exploración teórica de la relación entre el hombre y la computadora. En este sentido, el informático estadounidense J.C.R. Licklider (1915-1990) publicó su artículo titulado “*Man-Computer Symbiosis*” en 1960. En este artículo, Licklider plantea las relaciones que pueden existir entre el hombre y la máquina desde una perspectiva de trabajo equilibrado. En lugar de establecer una relación jerárquica entre ambos, propone una relación simbiótica de carácter productivo. Aunque esta idea fue considerada radical en su momento, abrió la puerta a futuros cuestionamientos sobre la relación entre el ser humano y la máquina.¹¹

Las ideas sobre el potencial de las herramientas tecnológicas digitales se fueron expandiendo gradualmente a diferentes áreas del conocimiento relacionadas con el arte, especialmente en la academia, en donde existía mayor libertad de imaginar y explorar nuevas ideas. En este contexto, fue presentada la exposición “*Cybernetic Serendipity*”¹² en 1968 en el Instituto para las Artes Contemporáneas de Londres. Esta exposición fue un hito importante que exploraba las relaciones entre tecnología digital y la creatividad, mostrando cómo la tecnología puede generar formas creativas innovadoras y su influencia se extendió hasta el campo de la arquitectura. En esta se presentaron trabajos académicos en los campos del arte, el cine y la danza, estos trataban sobre algoritmos y dispositivos musicales, máquinas e instalaciones, generación de texto por computadora y películas generadas por aparatos electrónicos.¹³

A pesar de estos avances, el desarrollo e implementación de herramientas digitales en el campo de la arquitectura tenía un alcance reducido. Como se sabe, además del desarrollo de la maquinaria, ésta debe ir acompañada de los conocimientos necesarios para manejarla, en este sentido, durante la década de los 1960, el conocimiento técnico de los arquitectos sobre estas máquinas era limitado y no contaban con computadoras o avances tecnológicos necesarios para integrar plenamente lo digital en la arquitectura.¹⁴ En este contexto, John Frazer afirma que en esa época se concebía la idea de “ordenar sin ordenador”. Los arquitectos solo podían imaginarse que existían los computadores y todos los avances en tecnología y los cambios sociopolíticos necesarios para llevarlos a la realidad.

A partir de la década de 1960, el pensamiento utópico en la arquitectura fomentó especulaciones intelectuales que dieron lugar a diversas propuestas futuristas en proyectos arquitectónicos y urbanísticos. Estas iniciativas integraban conceptos de computación, tecnología digital y cibernética, y surgieron de manera paralela

en diferentes partes del mundo occidental. Para comprender mejor estos avances, revisaremos cronológicamente algunos de estos proyectos y analizaremos sus contribuciones, las cuales sentaron las bases para el desarrollo futuro de herramientas digitales en la arquitectura.

Durante este periodo, el proyecto “*Fun Palace*”, concebido entre 1958 y 1964, fue desarrollado por Cedric Price, Joan Littlewood y Gordon Pask. Consideraba la integración de un sistema informático que facilitaba la interacción entre la arquitectura y los usuarios, asegurando una comunicación fluida y constante. Fue concebido como un centro cultural el cual consistía en una estructura adaptable y versátil a base de grúas móviles, donde los espacios artísticos eran dispuestos en contenedores que se podían reconfigurar de acuerdo con las preferencias y necesidades de los usuarios. El Fun Palace desafió las convenciones tradicionales del diseño arquitectónico y abrió nuevas posibilidades para la interacción humana con los entornos construidos.¹⁵

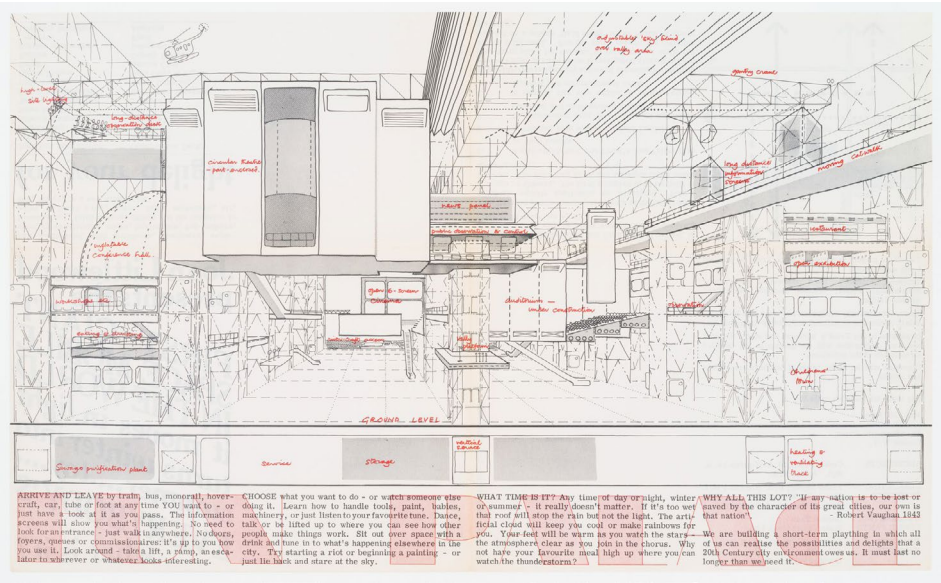


Figura 2. Folleto promocional del Fun Palace de Cedric Price y Joan Littlewood. Fuente: Centro Canadiense de Arquitectura

En París, Yona Friedman, desarrolla un modelo de software teórico en 1960 llamado “*Flatwriter*” para su proyecto de “Ciudad Espacial”. Este proyecto planteaba un enfoque descentralizado del proceso de diseño urbano y representaba una visión utópica de las personas y su papel en la configuración de la ciudad. La propuesta consistía en una estructura tridimensional que actuaba como soporte para diversos usos y volúmenes, dispuestos según las preferencias de los habitantes y tenía la función de registrar y codificar las preferencias individuales de cada usuario para que luego fueran construidas. Esto permitiría la creación de una ciudad en constante evolución, adaptada a las necesidades cambiantes de sus habitantes.¹⁶

11 Arteta, J., "BREVE HISTORIA DE LA ARQUITECTURA DIGITAL", *Revista Diseño Urbano & Paisaje*, no. 42, 2022, p. 32.

12 Exposición curada por Jasja Reichardt, especialista en la aparición del arte informático. Cybernetic Serendipity es conocida como la primera gran muestra internacional de arte electrónico, cibernético y computacional. Definición por la RAE (Real Academia de la Lengua Española) “Serendipia”: Hallazgo valioso que se produce de manera accidental o casual.

13 Reichardt, J., *Cybernetic Serendipity: The Computer and the Arts*; Londres: LStudio International, 1968, p. 6.

14 Arteta, J., "BREVE HISTORIA DE LA ARQUITECTURA DIGITAL", *Revista Diseño Urbano & Paisaje*, no. 42, 2022, p. 32.

15 Mathews, S., “The Fun Palace: Cedric Price’s experiment in architecture and technology”, *Techno-logic Arts*, no. 3, 2005, p.73-92.

16 Friedman, Y., *Towards a Scientific Architecture*; Londres: The MIT Press, 1980.

En paralelo a estas propuestas arquitectónicas y urbanísticas con ideas inmersivas e interactivas, fue presentado en la década de 1960 la iniciativa IBM System/360¹⁷, con diseño industrial a cargo de Eliot Noyes. Es considerado uno de los primeros proyectos que demuestra la adaptación de los espacios a los computadores y cómo estas máquinas comenzaron a modificar los modos de habitar de las personas. Este diseño de computadoras y otros dispositivos fue crucial para la planificación arquitectónica de oficinas, al establecer un nuevo estándar de modularidad y flexibilidad en el mobiliario, lo cual permitió una mejor organización del espacio y una adaptación más eficiente a las necesidades cambiantes de las empresas y sus empleados.¹⁸ Estas ideas fueron ilustradas en la exposición “*A Computer Perspective*” de Charles y Ray Eames, realizada en 1971 en el IBM de Nueva York, la cual resaltó cómo la tecnología informática estaba transformando las formas de trabajar e interactuar con el entorno físico. Esta muestra subrayó la importancia de considerar la informática como una influencia significativa en la concepción y experiencia del espacio físico, mostrando cómo la arquitectura y la tecnología estaban convergiendo para crear un futuro digitalizado.



Figura 3. Área de trabajo de un System/360 Modelo 44. Fuente: Archivo IBM.

Durante estos mismos años, en el Reino Unido, el grupo Archigram¹⁹ fusionó avances tecnológicos con conceptos de *Pop Art* y ciencia ficción para crear visiones

¹⁷ El IBM System/360, anunciado por IBM en 1964, fue una serie de computadoras mainframe revolucionarias por su arquitectura compatible y escalable, capaz de ejecutar una amplia gama de aplicaciones empresariales y científicas.

¹⁸ Ceruzzi, P., “The “Go-Go” Years and the System/360, 1961–1975”, *A History of Modern Computing*, 2nd ed. 2003, p. 144.

¹⁹ Archigram fue un colectivo de arquitectos y diseñadores británicos que se formó en la década de 1960. Uno de los fundadores, Peter Cook, contribuyó a la exploración de ideas visionarias y experimentales. Sus proyectos a menudo desafiaban las normas establecidas y proponían soluciones arquitectónicas y urbanísticas innovadoras. Aunque muchos de sus diseños nunca se construyeron, su influencia perdura en la arquitectura contemporánea y en la forma en que pensamos sobre el espacio urbano y la movilidad.

arquitectónicas y urbanísticas provocativas. Uno de sus proyectos más influyentes, concebido por Peter Cook, fue “*Plug-In City*” en 1964, también conocido como “*Computer City*”, en un claro deseo de aplicar este concepto a la arquitectura urbana. Este proyecto presentaba una visión futurista y radical de la urbanización y la arquitectura. Consistía en una mega estructura de escala urbana, moderna y des jerarquizada, que integraba todos los elementos que componen una ciudad: movilidad, ocio, servicios, trabajo y vivienda. Estos elementos podían agregarse, reubicarse y reemplazarse fácilmente, modificando el pensamiento arquitectónico sobre la movilidad, la interacción entre tecnología y espacio urbano, y la respuesta a las necesidades cambiantes de la sociedad. Aunque nunca se construyó, este proyecto ha influido en la idea de flexibilidad y adaptabilidad en el diseño urbano y arquitectónico. En la actualidad, el concepto de estructuras modulares y reconfigurables sigue siendo relevante, especialmente en contextos que requieren soluciones rápidas y adaptables.²⁰

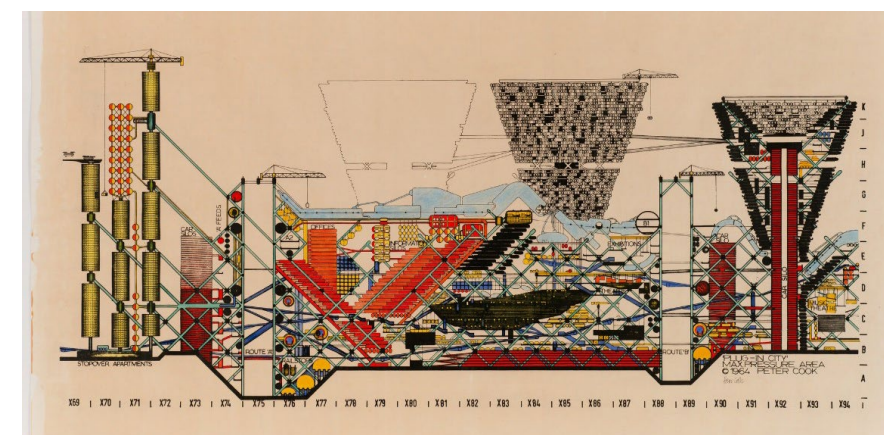


Figura 4. Sección del proyecto Plug-in City por Peter Cook de Archigram. Fuente: Archivo del MoMA

De igual, es importante destacar los aportes teóricos y desarrollos, realizados a finales de la década de 1960 e inicios de 1970, por Gordon Pask o Nicholas Negroponte, pioneros en la incorporación de conceptos y herramientas informáticas en el seno de la disciplina, y principales exploradores de esta supuesta simbiosis entre hombre y máquina.

En su artículo de 1969, “*The Architectural Relevance of Cybernetics*”, Gordon Pask aboga por la incorporación de la cibernética, introduciendo un nuevo concepto en la arquitectura, que supera los límites del funcionalismo moderno, promoviendo una arquitectura flexible y colaborativa basada en la mutualidad, donde obra y usuarios interactúan dinámicamente. Pask sostiene que los conceptos cibernéticos de regulación, control y comunicación son esenciales para el diseño arquitectónico, enfatizando la importancia de sistemas adaptativos y mecanismos de retroalimentación en la creación de entornos dinámicos y receptivos que integren avances tecnológicos con las necesidades humanas.²¹

²⁰ Sadler, S., *Archigram: Architecture without Architecture*, Londres: The MIT Press, 2005.

²¹ Pask, G., “The Architectural Relevance of Cybernetics”, *Architectural Design*, no. 7/6. Londres: John

En 1967, Nicholas Negroponte (1943) fundó el “*Architecture Machine Group*”²² en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en Estados Unidos, en donde exploró la posibilidad de establecer una colaboración efectiva entre el diseñador y la computadora, considerando a esta última como un socio legítimo en el proceso creativo. A través de sus iniciativas en este grupo de investigación, Negroponte se dedicó a crear una máquina que pudiera interactuar con el arquitecto durante todas las etapas de diseño y desarrollo de proyectos, explorando el potencial del diseño asistido por computadora. De igual forma, a través de escritos como “*Towards a Humanisation through Machines*” de 1969, el grupo se dedicó a explorar la interfaz entre humanos y máquinas, buscando comprender la relación entre ellos y los ordenadores. Este enfoque sentó las bases para el surgimiento del MIT Media Lab²³, que hasta hoy sigue expandiendo los horizontes de la innovación y la experimentación con tecnologías digitales en el campo de la arquitectura.

Las indagaciones y modelos teóricos planteados durante la década de los 1960, conocida como el periodo de los iniciadores y pioneros por John Frazer, sentaron las bases para la agenda a desenvolver en la década de 1970 y 1980, dando paso a una segunda etapa protagonizada por los “desarrolladores”, en la cual predominó el desenvolvimiento y difusión de los programas tecnológicos digitales en el campo de la arquitectura. A continuación, veremos las primeras tentativas de desarrollo de softwares para arquitectura que sirvieron como punto de partida para las herramientas digitales que existen hoy en día.

Uno de los primeros proyectos que logró ser materializado y fue pionero en la introducción de las herramientas digitales como métodos de representación gráfica en la arquitectura fue presentado por Ivan Sutherland en 1963 su tesis doctoral “*Sketchpad*”, desarrollada en el MIT. Este proyecto introdujo una interfaz informática revolucionaria permitiendo a los usuarios crear dibujos con un lápiz óptico, una pantalla CTR y una interfaz gráfica, permitiendo al diseñador interactuar gráficamente con el computador, mediante dibujos lineales y sin necesidad de conocimientos en programación.²⁴ El objetivo era poner en disposición

el dibujo computacional para todos los usuarios, marcando un hito en la percepción de las computadoras como herramientas de representación accesibles y sentando las bases para el desarrollo de aplicaciones de Diseño Asistido por Computador (CAD).

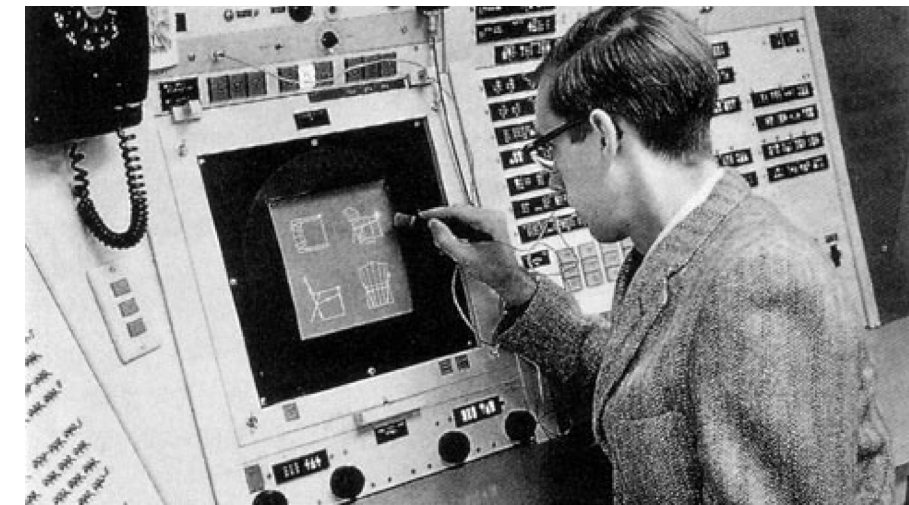


Figura 5. Sketchpath creado por Ivan Sutherland. Fuente: BIMAPLIUS.org

La trayectoria histórica revisada en este apartado permite comprender que la incorporación de tecnologías digitales en la arquitectura no fue un evento repentino, sino el resultado de un proceso acumulativo de exploraciones conceptuales, desarrollos técnicos y transformaciones culturales que se gestaron desde mediados del siglo XX. Las contribuciones de teóricos, arquitectos y científicos pioneros sentaron las bases para una reformulación de los métodos proyectuales, abriendo el camino hacia nuevas formas de interacción entre el diseñador y la máquina. Con esta base teórica e histórica, el siguiente apartado se adentra en el estudio de las herramientas digitales que han redefinido la práctica arquitectónica contemporánea: desde los primeros sistemas de diseño asistido por computadora (CAD) hasta el surgimiento del modelado paramétrico y las tecnologías de renderizado.

1.2. Desarrollo de CAD, arquitectura paramétrica y renderizado

El desarrollo de herramientas digitales como el diseño asistido por computadora (CAD), los sistemas de representación tridimensional, el renderizado digital y la arquitectura paramétrica han transformado profundamente la práctica arquitectónica desde finales del siglo XX. Este apartado propone un recorrido por los hitos fundamentales que permitieron esta transición, desde los primeros softwares de diseño digital surgidos en industrias ajenas a la arquitectura, hasta su progresiva incorporación en los procesos proyectuales. También se abordará el surgimiento de nuevas formas de concebir y representar el espacio arquitectónico, habilitadas por tecnologías que integran algoritmos, modelado tridimensional y visualización digital. A partir de este análisis, se busca comprender cómo estas herramientas no solo optimizaron los procesos técnicos, sino que expandieron el campo conceptual y expresivo de la arquitectura contemporánea.

Wiley & Sons Ltd, 1969, p. 494.

²² El Architecture Machine Group del MIT, fundado en 1967 por Nicholas Negroponte, fue un laboratorio de investigación dedicado a explorar la interacción entre la informática y la arquitectura. Se centró en el desarrollo de herramientas digitales para diseñar y visualizar espacios arquitectónicos, sentando las bases para futuras investigaciones en el campo de la arquitectura digital y la interfaz hombre-máquina.

²³ El MIT Media Lab es un laboratorio de investigación interdisciplinario en el Massachusetts Institute of Technology. Su enfoque abarca disciplinas académicas de tecnología, medios, ciencia, arte y diseño. Tomado de <https://www.media.mit.edu/>

²⁴ Sutherland, I., *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*; Cambridge: University of Cambridge Computer Laboratory, 2003.

Uno de los antecedentes fundamentales en esta evolución lo constituye el trabajo del arquitecto italiano Luigi Moretti, quien entre 1940 y 1970 exploró lo que hoy entendemos como arquitectura paramétrica. Su enfoque introdujo una perspectiva científica en el diseño arquitectónico, al aplicar conceptos matemáticos y geométricos mediante el uso del computador IBM 610. Gracias a ello, Moretti logró diseñar edificaciones con formas singulares —curvas, espirales y geometrías complejas— que respondían tanto a criterios funcionales como estéticos. Su metodología reveló el potencial del diseño computacional para adaptarse a condiciones cambiantes y optimizar decisiones proyectuales mediante el análisis algorítmico.²⁵

Paralelamente, durante la segunda mitad del siglo XX, diversas industrias iniciaron el desarrollo de softwares CAD con el objetivo de mejorar los procesos de diseño y fabricación. En 1967, Lockheed, en colaboración con IBM, desarrolló el software CADAM (*Computer-Aided Design and Manufacturing*), orientado inicialmente al diseño aeroespacial. Este fue uno de los primeros programas comercializados que facilitó la transición del dibujo técnico manual al entorno digital. Poco después, a inicios de los años 70, Patrick Hanratty desarrolló el sistema ADAM (*Automated Drafting And Machining*), considerado pionero en el ámbito del CAD/CAM por su capacidad de integrar diseño y mecanizado dentro de una misma plataforma, incluyendo modelado 3D, dibujo técnico y control numérico.

La consolidación del CAD en el entorno profesional se vio reforzada por el lanzamiento de AutoCAD en 1982, desarrollado por John Walker y su equipo en Autodesk. Este software marcó un punto de inflexión al trasladar las capacidades del diseño digital a plataformas accesibles como el PC. AutoCAD permitió trabajar con herramientas 2D y 3D, incorporar sistemas de capas, bloques reutilizables y comandos personalizados, estableciendo un nuevo estándar en la digitalización de los procesos de diseño técnico. Aunque rudimentario frente a las herramientas actuales, su impacto fue decisivo en la popularización del CAD en arquitectura, ingeniería y manufactura.

Es importante mencionar que durante sus primeras etapas, la adopción de estas tecnologías por parte de arquitectos fue limitada. A pesar de los aportes de figuras como Charles Eastman o William Mitchell, muchos profesionales mostraban escepticismo ante estas herramientas. La baja familiaridad técnica, junto con los resultados gráficos poco satisfactorios de los primeros programas, redujeron su atractivo en el campo proyectual.²⁶ Solo a partir de los años 90, con la reducción de costos en hardware y el aumento del acceso a computadores personales, se produjo una expansión significativa del uso de estas tecnologías en el ámbito arquitectónico.

²⁵ Gallo, G., Luigi M., "From History to parametric architecture", *Learning Prototyping and Adapting*, 2018.

²⁶ Arteta, J., "BREVE HISTORIA DE LA ARQUITECTURA DIGITAL", *Revista Diseño Urbano & Paisaje*, no. 42, 2022, p. 32.

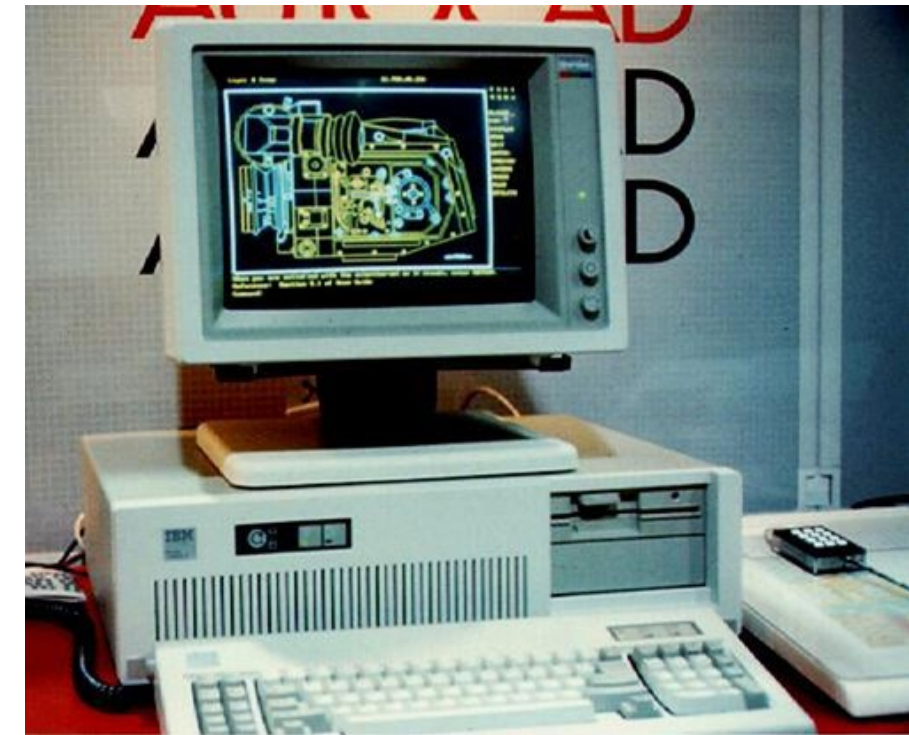


Figura 6. Interfaz de Autodesk AutoCAD V. 1.0. Fuente: John Walker, Autodesk

En este contexto de cambio, Mario Carpo identifica el surgimiento del llamado "primer giro digital en arquitectura", caracterizado por la fascinación hacia las posibilidades abiertas por las tecnologías electrónicas emergentes. La aceleración de las transformaciones sociales, culturales y tecnológicas impulsó a los arquitectos a explorar nuevos lenguajes y procesos. Las primeras experiencias con realidad virtual y ciberespacio promovieron la idea de que el diseño arquitectónico debía replantearse, no solo en términos técnicos, sino también conceptuales. Así, el uso de herramientas digitales comenzó a señalar un cambio en la forma de concebir, representar y producir el espacio construido.²⁷

El impacto del CAD fue aún mayor al integrarse con la fabricación asistida por computadora (CAM). Esta convergencia permitió cerrar la brecha entre diseño y producción, habilitando el modelado preciso de geometrías complejas, especialmente curvas y estructuras no euclidianas que antes eran difíciles de representar o construir. Además, redujo la dependencia de componentes estandarizados, facilitando la personalización a gran escala y la traducción directa de modelos digitales a prototipos físicos. En este sentido, los sistemas CAD/CAM se utilizaron extensamente en sectores como la automoción y la aeronáutica, y más tarde se adaptaron a las necesidades específicas del campo arquitectónico.

Una figura clave en esta etapa fue Frank Gehry, quien logró adaptar estas tecnologías al diseño arquitectónico. Su estudio combinó modelos físicos con digitalizadores tridimensionales y softwares como CATIA —desarrollado originalmente para la

²⁷ Carpo, M., *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*; Nueva York: John Wiley & Sons Ltd, 2016, p. 9.

industria aeroespacial— para traducir complejas geometrías en instrucciones precisas para fabricación. El proyecto del Museo Guggenheim de Bilbao (1993–1997) marcó un precedente en la aplicación arquitectónica del CAD/CAM, permitiendo el control computacional de procesos de corte, ensamblaje y construcción. Este caso evidenció el potencial de un diálogo fluido entre lo analógico y lo digital, habilitando nuevas metodologías de trabajo proyectual.²⁸

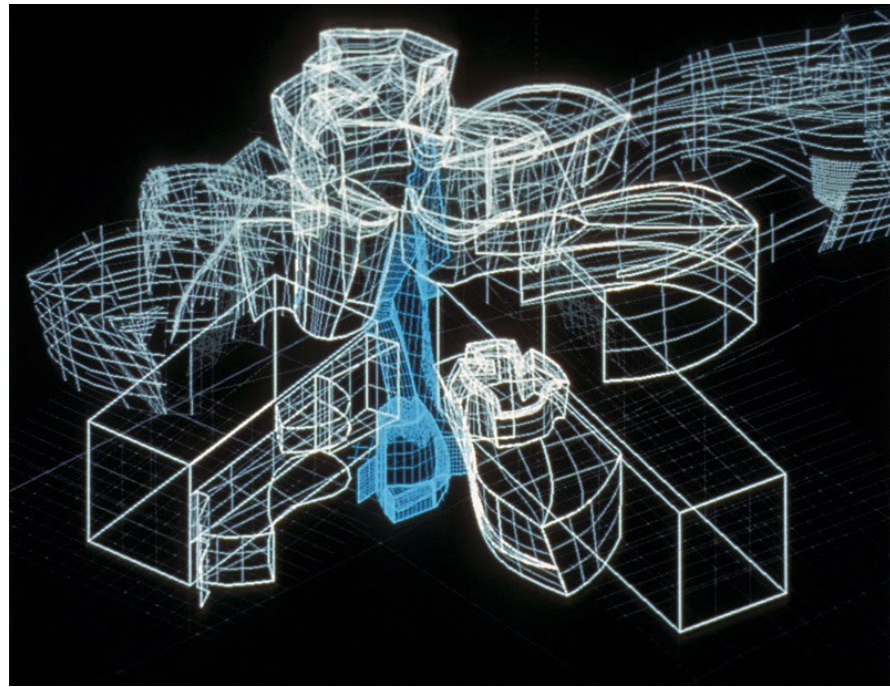


Figura 7. Dibujo digital del Museo Guggenheim Bilbao realizado en el software CATIA. Fuente: Museo Guggenheim Bilbao

Este proceso de digitalización progresiva desencadenó un movimiento más amplio que involucró tanto posturas de corte deconstructivista —como las de Peter Eisenman, Zaha Hadid, Greg Lynn o Foreign Office Architects— como enfoques más tecnológicos, representados por Norman Foster o Renzo Piano.²⁹ En todos los casos, la arquitectura digital permitió experimentar con nuevas lógicas formales, estructurales y espaciales, habilitadas por la computación.

A lo largo de la década de 1990, el aumento en la capacidad de procesamiento computacional impulsó también el desarrollo de softwares de representación tridimensional y renderizado. Programas como 3D Studio Max (1996) y Rhinoceros 3D (1998) ofrecieron herramientas avanzadas de modelado, visualización y compatibilidad con múltiples formatos. Rhinoceros, en particular, introdujo el modelado NURBS³⁰, permitiendo el diseño de formas complejas con precisión

²⁸ Dunn, N., *DIGITAL FABRICATION IN ARCHITECTURE*; London: Laurence King Publishing Ltd, 2012, p. 22.

²⁹ Arteta, J., "BREVE HISTORIA DE LA ARQUITECTURA DIGITAL", *Revista Diseño Urbano & Paisaje*, no. 42, 2022, p. 35.

³⁰ Las NURBS (acrónimo de Non-Uniform Rational B-Splines) son representaciones matemáticas de geometría en 3D que pueden representar con precisión cualquier forma, desde las más complejas superficies orgánicas o sólidos de formas libres hasta las simples líneas, círculos, arcos o curvas.

técnica y flexibilidad formal. Más adelante, motores de renderizado como V-Ray y Maxwell Render aportaron un nivel de realismo sin precedentes en la simulación de materiales, iluminación y atmósferas, optimizando la comunicación de proyectos arquitectónicos tanto en fases conceptuales como ejecutivas.

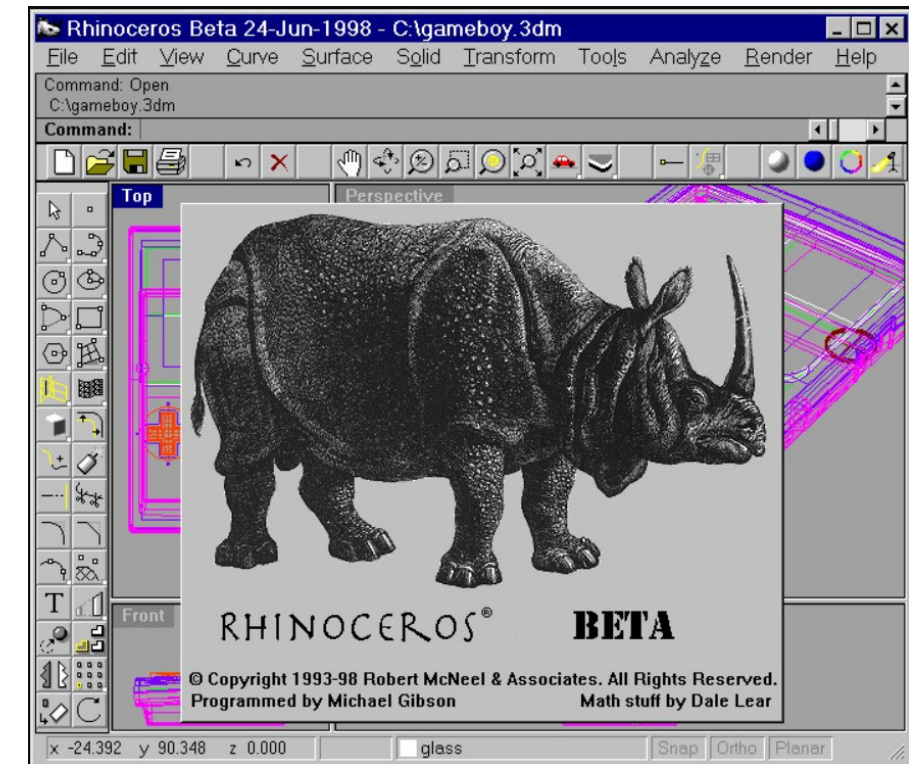


Figura 8. Interfaz de Rhinoceros Beta. Fuente: discourse.mcneel.com

En paralelo a estos desarrollos, la arquitectura paramétrica adquirió protagonismo como un nuevo enfoque proyectual basado en la definición de relaciones entre variables. Mediante el uso de algoritmos y códigos matemáticos, esta metodología permite generar formas complejas que responden dinámicamente a factores funcionales, ambientales y estéticos. Herramientas como Grasshopper (para Rhinoceros) o Dynamo (para Revit) han permitido vincular elementos del diseño en sistemas paramétricos, fomentando un proceso interactivo, flexible y altamente personalizado. Autores como Mario Carpo advierten una serie de transformaciones significativas en el campo del diseño paramétrico debido a la progresiva incorporación de la inteligencia artificial, fenómeno que él denomina como “el segundo giro digital en arquitectura”.³¹

A partir de este recorrido, hemos revisado la consolidación de herramientas digitales como CAD, el modelado tridimensional, los motores de renderizado y el diseño paramétrico, comprendiendo su impacto decisivo en la transformación del pensamiento proyectual. Sin embargo, estos avances representan solo una fase de un proceso aún en expansión. En el siguiente capítulo, se explorarán los desarrollos

³¹ Carpo, M., *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*; Nueva York: John Wiley & Sons Ltd, 2016, p. 9.

contemporáneos vinculados a metodologías más integradas, como el Modelado de Información para la Construcción (BIM), así como la incorporación progresiva de Inteligencia Artificial y Realidad Virtual en la arquitectura. Estas tecnologías no solo amplían el repertorio técnico del arquitecto, sino que también introducen nuevas formas de colaboración, simulación y visualización que redefinen, una vez más, el modo en que concebimos, representamos y habitamos el espacio construido.

1.3. BIM, realidad virtual e inteligencia artificial

La arquitectura contemporánea está en constante transformación, impulsada por herramientas digitales que redefinen los procesos de diseño, documentación y construcción. En este contexto, metodologías como el *Building Information Modeling* (BIM), la Realidad Virtual (RV) y la Inteligencia Artificial (IA) han dejado de ser una visión futurista para convertirse en parte del día a día de muchas oficinas de arquitectura. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías no ocurre de manera uniforme en todas las oficinas de arquitectura: factores como la escala de los proyectos, la inversión en formación y la cultura organizacional influyen en la manera en que estas herramientas son adoptadas y utilizadas.

Lo que conocemos hoy en día como BIM, fue presentado inicialmente por Charles Eastman en la década de 1970 en su artículo "*Building Description System*", en el cual se anticipaba al concepto BIM. Puede ser definido como un proceso colaborativo que utiliza modelos digitales tridimensionales para gestionar y representar las características físicas y funcionales de edificios a lo largo de su ciclo de vida.³² La verdadera popularización del concepto BIM ocurrió en los años 90 con la aparición de softwares más avanzados y con mayor capacidad. En este contexto surge ArchiCAD, lanzado por Graphisoft en 1987, el cual permitió a los arquitectos trabajar en 3D y gestionar datos del edificio en un solo modelo, siendo uno de los primeros en ofrecer una solución BIM completa.

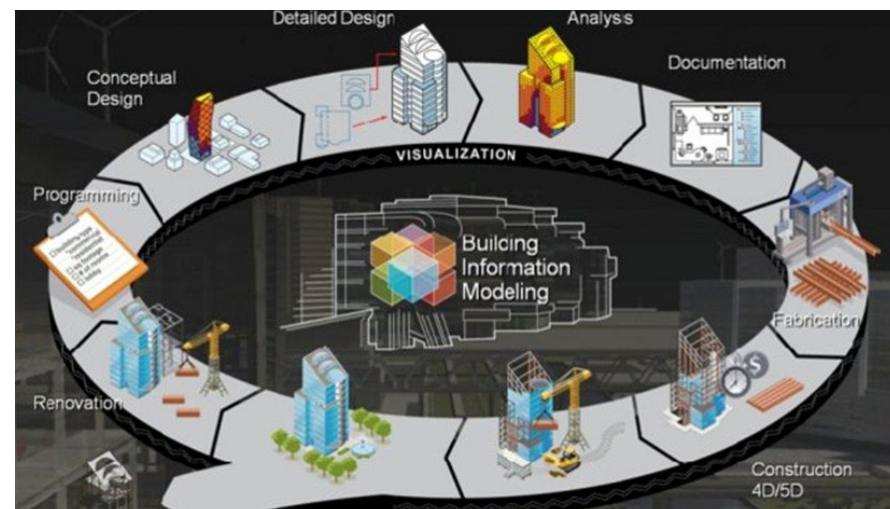


Figura 9. Implementación de BIM en el ciclo de vida del edificio. Fuente: Mehmet Yalcinkaya

Mediante la metodología BIM, se pueden crear modelos digitales precisos, también conocidos como "*digital twins*"³³, que integran información detallada de componentes, materiales y características del edificio, lo cual ha representado un avance significativo en los sectores de la Arquitectura, la Ingeniería y la Construcción (AEC). Estos modelos mejoran los procesos de diseño en varias fases, ya que ofrecen un análisis y control superiores y permite la colaboración y coordinación en tiempo real entre diferentes disciplinas. Estos modelos digitales incluyen una geometría precisa y datos esenciales para apoyar las actividades de construcción, fabricación y adquisición, facilitando la realización del edificio, reduciendo los costes y tiempo de construcción.³⁴

En este contexto surge el software Revit, desarrollado en 1997 por Charles River Software, el cual tenía como objetivo ser una plataforma que mejorara la eficiencia de los arquitectos y diseñadores mediante un enfoque paramétrico en el diseño arquitectónico, en donde cualquier cambio en una parte del modelo se reflejaría automáticamente en todas las demás partes del proyecto. En 2002, Autodesk adquirió Revit, cuestión que permitió su integración con otros programas acelerando su desarrollo y promoviendo su adopción en las industrias AEC. Desde entonces, Autodesk ha introducido versiones específicas para diferentes disciplinas como Revit Architecture, Revit Structure y Revit MEP (Mecánica, Eléctrica y Plomería), lo que ha facilitado la colaboración entre profesionales de diversas áreas en un modelo BIM común.

Actualmente Revit y la metodología BIM se han convertido en herramientas indispensables en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción, siendo utilizadas en proyectos de varias escalas y niveles de complejidad. Gracias a las cualidades de este programa y su forma de representar las técnicas constructivas, elementos arquitectónicos y materiales, fue escogido para modelar digitalmente los dos objetos de estudio de este trabajo, permitiendo una exploración más precisa y cercana de la obra de Álvaro Siza.

Esta evolución del BIM establece un precedente importante para su implementación no solo en proyectos contemporáneos, sino también en el análisis y documentación del patrimonio arquitectónico, donde la precisión informativa resulta esencial. Gracias a esto, la metodología BIM también está siendo implementada en el estudio y conversación de edificios históricos, aunque es menos común en el sector del patrimonio que en el de la construcción, su incorporación de información cualitativa y cuantitativa puede ser fundamental para la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida de un edificio. De igual forma, estos modelos digitales ayudan a comprender elementos arquitectónicos complejos y a su vez documentar, conservar, gestionar e investigar eficazmente los bienes patrimoniales.

³³ Según la página web oficial de IBM, un "*digital twin*" es una representación virtual de un objeto o sistema diseñado para reflejar con exactitud un objeto físico. Abarca el ciclo de vida del objeto, se actualiza a partir de datos en tiempo real y utiliza la simulación, el aprendizaje automático y el razonamiento para ayudar a tomar decisiones.

³⁴ Eastman, C., et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*; Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011, p. 1.

³² Definición basada en la información de la página web oficial de Autodesk: <https://www.autodesk.com/solutions/aec/bim>

Del mismo modo que BIM ha transformado la manera de integrar información en modelos constructivos digitales, la Realidad Virtual ha reconfigurado la forma en que los arquitectos experimentan y comunican el espacio arquitectónico. Durante los últimos años, el término de Realidad Virtual (RV) ha tomado protagonismo en el campo de la arquitectura gracias al desarrollo de nuevas herramientas digitales y su uso generalizado en la actualidad. Este término fue acuñado por primera vez en 1989 por Jaron Lanier, con el objetivo de distinguir entre los mundos digitales inmersivos que intentaba crear y las simulaciones informáticas tradicionales.

Las tecnologías de RV fueron impulsadas inicialmente por la industria de los videojuegos, sin embargo, en los últimos años se ha extendido hasta el campo de la arquitectura, permitiendo a los profesionales visualizar y explorar sus diseños de manera inmersiva y realista antes de su construcción física. Con dispositivos como auriculares y controles, los arquitectos pueden recorrer virtualmente modelos 3D, evaluar diseños desde diferentes perspectivas, identificar problemas y realizar ajustes necesarios. Esta tecnología, que ha evolucionado rápidamente en términos de calidad gráfica, interactividad y accesibilidad, se ha convertido en una herramienta bastante útil para crear, explorar y comunicar ideas de manera más efectiva, mejorando la precisión, eficiencia y colaboración en el proceso de diseño arquitectónico.³⁵



Figura 10. Uso de Realidad Virtual en proyectos arquitectónicos. Fuente: Shutterstock, Autodesk

En el escenario contemporáneo de la práctica arquitectónica, la Inteligencia Artificial (IA) ha comenzado a desempeñar un papel cada vez más relevante, transformando tanto las metodologías de diseño como las formas de trabajo profesional. Según el informe del *Royal Institute of British Architects* (RIBA), la IA está siendo utilizada en múltiples etapas del proceso de diseño arquitectónico, desde la generación de propuestas conceptuales hasta el análisis de datos para optimizar el desempeño ambiental, funcional o normativo de un proyecto. Estas tecnologías abarcan desde modelos generativos para visualización arquitectónica —como Midjourney o DALL·E— hasta sistemas de aprendizaje automático que procesan grandes volúmenes

de información y permiten tomar decisiones proyectuales más informadas. El informe también señala que este cambio tecnológico está redefiniendo el rol del arquitecto, que pasa de ser un diseñador autoral para desempeñar una función estratégica, como curador de procesos mediados por datos. Al mismo tiempo, el documento advierte sobre los desafíos éticos asociados a la transparencia de los algoritmos, la trazabilidad de los resultados y la necesidad de una regulación clara para asegurar un uso responsable de estas herramientas.³⁶



Figura 11. Midjourney Prompt: «Un edificio horizontal con una base de ladrillo y un param». Fuente: Michael Schroeder

Como podemos observar durante el desarrollo de este apartado, las herramientas digitales en la arquitectura —BIM, Realidad Virtual e Inteligencia Artificial— son el resultado de una serie de procesos técnicos, sociales, políticos y económicos, y no surgen como un fenómeno aislado en la historia de la disciplina. Cada una de estas tecnologías ha influido de manera sustancial en la transformación del pensamiento proyectual, permitiendo expandir los límites de la creatividad y trascender los métodos tradicionales de diseño y representación. Sin embargo, es difícil imaginar la práctica arquitectónica sin la coexistencia entre herramientas digitales y métodos de representación análogos. Ambas esferas operan en una relación de retroalimentación constante, que se materializa en el desarrollo de proyectos, en la planificación de ciudades y en la investigación teórica. La evolución de estas herramientas continúa en paralelo con los cambios de la disciplina, configurando un panorama en el que la tecnología no sustituye al arquitecto, sino que potencia su trabajo.

³⁵ Davila, J., et al., "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction", *Advanced Engineering Informatics*, no. 45, 2020.

³⁶ Valji, J., "Artificial intelligence: Practice and profession", *RIBA 2024 AI Report*, Royal Institute of British Architects, 2024, p. 27.

Comprender la evolución histórica de las herramientas digitales en arquitectura resulta fundamental para enmarcar críticamente su aplicación contemporánea en el estudio y representación del patrimonio construido. Este recorrido permite identificar no solo los avances tecnológicos que han transformado las prácticas proyectuales y de documentación, sino también las lógicas conceptuales que subyacen a su uso: desde la representación estática en dos dimensiones hasta los entornos tridimensionales dinámicos e informativos. En este sentido, la integración de tecnologías como el modelado 3D, la visualización digital y la reconstrucción virtual no se conciben únicamente como un recurso técnico, sino como una forma de pensamiento arquitectónico que influye directamente en la forma en que se analizan, comprenden y comunican las obras. Reconocer esta trayectoria permite dotar a este trabajo de un enfoque más sólido y reflexivo, donde el uso de herramientas digitales no es un fin en sí mismo, sino una metodología crítica al servicio de la investigación tectónica, espacial y constructiva de la obra de Álvaro Siza.

Al momento de publicación de esta disertación, los avances en tecnologías digitales aplicadas a la arquitectura no se detienen. Por ello, resulta esencial mantener una actitud crítica y proactiva frente a las nuevas herramientas que emergen constantemente en esta era digital, a fin de integrarlas de manera reflexiva y significativa en los procesos de aprendizaje, diseño y construcción.

2. Metodología

2.1. Modelos de construcción digital como herramienta de investigación en arquitectura

La integración de técnicas de modelado digital en la práctica arquitectónica ha ampliado la capacidad de esta disciplina para analizar, visualizar y reconstruir complejas narrativas espaciales e históricas. Los modelos 3D han dejado de ser meras herramientas de representación para convertirse en instrumentos dinámicos de investigación que codifican, manipulan y ponen a prueba los conocimientos arquitectónicos de diferentes escalas y periodos históricos. Mediante el modelado digital, arquitectos e investigadores pueden cuestionar principios estructurales, explorar las propiedades de los materiales y realizar investigaciones de diseño especulativo de proyectos no construidos, alterados en el tiempo o proyectados a futuro. El uso de modelos digitales interactivos permite una mayor precisión, documentación y accesibilidad, lo que hace que la investigación arquitectónica sea más rigurosa y basada en una gran variedad de datos de todo tipo, desde documentos textuales, hasta planimetría técnica o bosquejos a mano.

Al mismo tiempo, el modelado 3D ha transformado la enseñanza de la arquitectura al fomentar un enfoque del aprendizaje orientado al proceso. En contraste con la simple observación, el aprendizaje a través de la reproducción y el modelado 3D permite a los estudiantes interactuar activamente con los principios arquitectónicos, reconstruyendo edificios como medio para comprender su lógica, sus proporciones y su evolución a lo largo del tiempo.³⁷ Al modelar elementos arquitectónicos, los estudiantes adquieren conocimientos sobre las limitaciones del diseño, las técnicas de construcción y las configuraciones espaciales, estableciendo una conexión entre el conocimiento teórico y la práctica aplicada en el mundo digital. Mientras que los dibujos tradicionales, como planos, secciones y alzados, siguen siendo fundamentales para documentar y analizar los proyectos arquitectónicos, el modelado en 3D complementa este proceso al permitir la exploración inmersiva, la visualización detallada y el análisis comparativo. Esta sección explora cómo el modelado 3D sirve tanto de método para la investigación arquitectónica como de herramienta educativa que potencia el pensamiento crítico y la exploración del diseño.

La reconstrucción del patrimonio arquitectónico ha evolucionado más allá de la investigación archivística tradicional para adoptar el modelado 3D como herramienta con gran potencial, proporcionando un enfoque dinámico y basado en datos para estudiar edificios perdidos o alterados durante el tiempo. Más que una representación visual, los modelos 3D sirven como sistemas de conocimiento estructurados que integran la precisión geométrica con datos históricos, contextuales y materiales. Al enriquecer estos modelos con datos, anotaciones y elementos interactivos, los investigadores pueden analizar las transformaciones arquitectónicas, visualizar los elementos que faltan y garantizar un proceso de reconstrucción más riguroso

³⁷ Florio, W., "CONTRIBUIÇÕES DO BUILDING INFORMATION MODELING NO PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA", *III Encontro de Tecnologia de Informacao e Comunicacao na Construcao Civil - TIC*, 2007.

y transparente. Las reconstrucciones digitales posibilitan la síntesis de fuentes históricas fragmentadas, lo que permite a los investigadores rastrear y documentar las decisiones interpretativas al tiempo que mantienen la credibilidad académica.

Un ejemplo destacado de reconstrucción digital histórica, que integra múltiples fuentes documentales en un modelo tridimensional accesible y coherente, fue desarrollado por Fabrizio I. Apollonio y su equipo de investigación en el estudio de la Villa diseñada por Andrea Palladio, presentado en el artículo “3D Modeling and Data Enrichment in Digital Reconstruction of Architectural Heritage”. Dado que el modelo incorpora información de diversa procedencia y fiabilidad, fue necesario establecer un sistema gráfico para expresar los distintos grados de incertidumbre asociados a los elementos reconstruidos. Para ello, se asignó un código cromático específico a cada componente del modelo, en función del nivel de conjetura o veracidad histórica, lo que permite no solo una lectura crítica y transparente del modelo digital, sino también su eventual actualización a partir de nuevas evidencias o hallazgos documentales.

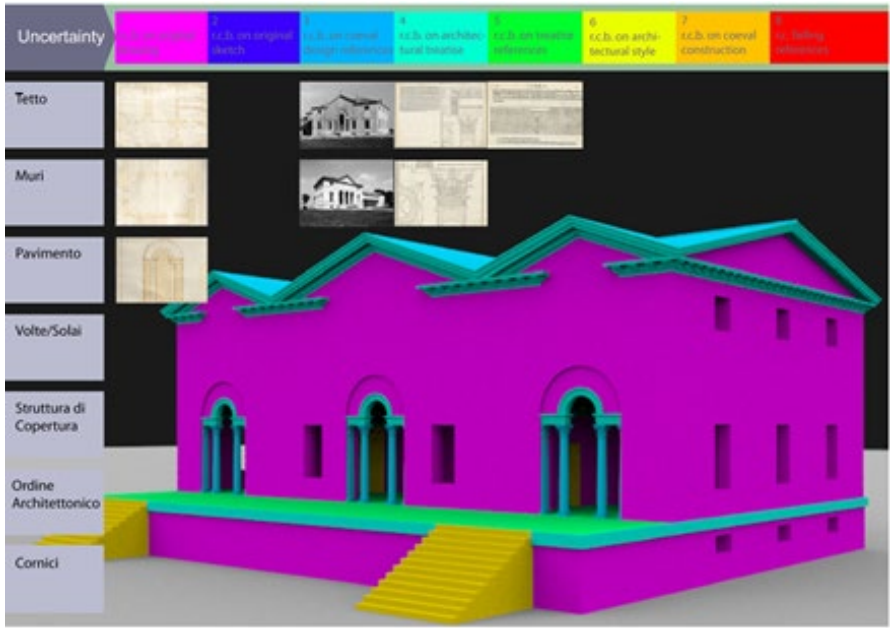


Figura 12. Modelo digital de la Villa de Andrea Palladio con nivel de incerteza de cada uno de los elementos constructivos.
Fuente: Apollonio, F. I., et al.

De igual forma, las técnicas de modelado y visualización en 3D han transformado el análisis del diseño arquitectónico, permitiendo una exploración más profunda e interactiva de las relaciones espaciales, los comportamientos estructurales y las composiciones de materiales. Los modelos digitales ofrecen un enfoque dinámico del estudio arquitectónico, permitiendo a investigadores y profesionales visualizar elementos de diseño complejos en tiempo real. Al integrar el modelado paramétrico, las herramientas de simulación y el renderizado fotorrealista, los arquitectos pueden analizar el impacto de las decisiones de diseño con mayor precisión, mejorando tanto la comprensión teórica como la aplicación práctica. De igual forma, esta metodología puede ser implementada para recrear fielmente un edificio existente y servir de apoyo para un plan de gestión y conservación del edificio que contemple el modelo

3D como herramienta fundamental para la toma de decisiones futura sobre la obra patrimonial. Este proceso interactivo fomenta un enfoque más completo y basado en datos para la resolución de problemas arquitectónicos, reduciendo errores y optimizando la eficiencia del diseño.³⁸

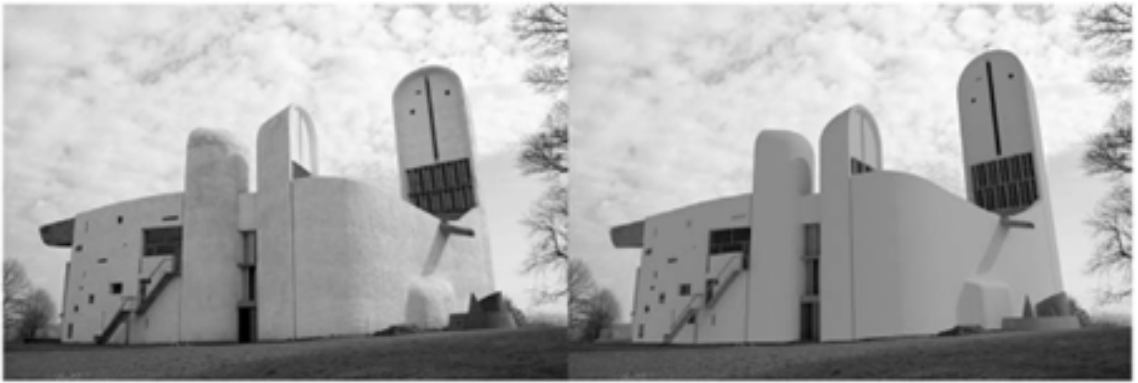


Figura 13. Fotografía y render de la capilla Ronchamp de Le Corbusier. Boeykens, S., et al.

A medida que el modelado 3D se convierte en una herramienta de investigación usada ampliamente, la necesidad de metodologías estandarizadas para garantizar la precisión, la transparencia y la interoperabilidad en las reconstrucciones digitales se ha vuelto cada vez más importante. El Modelo de Referencia Científica (SRM) proporciona un marco estructurado para documentar, validar y categorizar reconstrucciones 3D hipotéticas. Mediante la integración de metadatos, anotaciones y capas de justificación basadas en pruebas, los modelos basados en el SRM diferencian entre elementos arquitectónicos confirmados, inferidos e hipotéticos, garantizando la transparencia del proceso de reconstrucción. Este enfoque permite a los investigadores trazar las vías de toma de decisiones, haciendo que los modelos digitales sean más rigurosos desde el punto de vista académico, al tiempo que se abordan las incertidumbres inherentes a la reconstrucción de estructuras incompletas o perdidas.³⁹

Como pudimos observar durante el desarrollo de esta sección, el uso del modelado 3D como herramienta de investigación en arquitectura ha demostrado ser una metodología importante para el análisis, la reconstrucción y la enseñanza de la disciplina. Más allá de su función como medio de representación, los modelos digitales han evolucionado hacia sistemas de conocimiento que permiten no solo visualizar la arquitectura, sino también interrogar sus principios estructurales, materiales y espaciales. Esta capacidad de experimentación y análisis hace que el modelado 3D sea una herramienta con gran potencial para la investigación arquitectónica

38 Boeykens, S., et al., "Improving Architectural Design Analysis Using 3D Modeling and Visualization Techniques", *VSM 2008: Digital Heritage – Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 2018.

39 Kuroczyński, P., et al., "Scientific Reference Model – Defining Standards, Methodology and Implementation of Serious 3D Models in Archaeology, Art, and Architectural History", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-M-2, 2023.

contemporánea, facilitando el acceso a nuevas formas de documentación y exploración de escenarios históricos y especulativos.

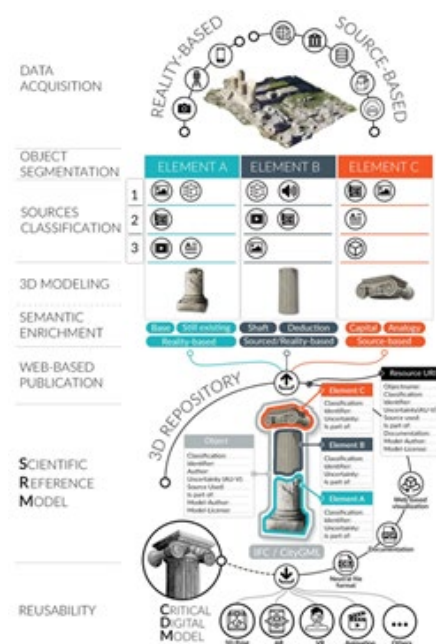


Figura 14. Modelo de referencia científica (SRM) basado en datos y sus posibles derivaciones. Fuente: Kuroczyński, P., et al.

Sin embargo, es fundamental reconocer que los métodos tradicionales de representación arquitectónica —como el dibujo a mano, los planos en 2D, las secciones, las elevaciones y los textos analíticos— continúan desempeñando un papel esencial en los procesos de investigación y enseñanza. Lejos de ser excluyentes frente a las herramientas digitales, estos métodos actúan como un complemento indispensable, proporcionando estructuras conceptuales y modos de análisis fundamentales para el estudio de la arquitectura. No obstante, más allá del uso de medios de representación, resulta insustituible la observación directa y la experiencia in situ de la obra arquitectónica. El contacto físico con los materiales, la percepción del entorno construido a través de los sentidos y el conocimiento práctico del comportamiento de los sistemas constructivos son elementos esenciales para una comprensión profunda del edificio que se estudia. Asimismo, la experiencia del proyecto y de la obra en su dimensión real revela las complejidades técnicas, operativas y circunstanciales que acompañan la incorporación material de la arquitectura. En este sentido, la combinación de metodologías analógicas, digitales y experienciales no solo enriquece el proceso investigativo, sino que favorece una lectura más integral y crítica de la obra arquitectónica.

2.2. Experiencias de investigación

El proceso de desarrollo de esta tesis no ha sido un recorrido exclusivamente teórico o académico, sino que ha estado profundamente influido por una serie de experiencias de investigación que han nutrido de manera decisiva su enfoque metodológico y sus fundamentos conceptuales. Estas vivencias, articuladas en distintos contextos —académicos, profesionales e internacionales—, han ofrecido no solo un marco de confrontación crítica con los discursos contemporáneos

de la arquitectura, sino también un espacio para la experimentación práctica de herramientas digitales aplicadas al diseño, la representación arquitectónica y el campo científico y profesional.

En particular, se destacan tres experiencias que han sido fundamentales para la consolidación de esta investigación: primero, un periodo de investigación realizado durante más de dos años como becario y colaborador en proyectos de investigación integrados en el grupo "Patrimonio de la Arquitectura, la Ciudad y el Territorio" (PACT) del Centro de Estudios en Arquitectura y Urbanismo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Porto, donde se profundizó en el pensamiento proyectual de Álvaro Siza y su integración con procesos digitales de documentación y análisis; segundo, la realización de un periodo de prácticas profesionales en la oficina GRAFT Arquitectos en Berlín, un entorno que ofreció la oportunidad de explorar en profundidad el uso de herramientas digitales como estrategia de diseño y su aplicación en el contexto de la práctica arquitectónica contemporánea; y, finalmente, la participación en el 2º TALLER INTERNACIONAL SOBRE PATRIMONIO CULTURAL DIGITAL 3D: Exploración del modelado 3D en la educación, la documentación y la divulgación (CoVHer), realizado en conjunto con diferentes universidades europeas y coordinado por la Universidad de Bolonia, que permitió establecer un diálogo entre diversas aproximaciones culturales y técnicas al modelado 3D y la representación arquitectónica como herramienta de investigación.

En esta sección, se indagará en cada una de estas experiencias de forma individual, exponiendo sus contextos específicos, las actividades desarrolladas, las metodologías aplicadas y los aprendizajes extraídos. Este análisis permitirá evidenciar cómo cada experiencia ha aportado elementos concretos al marco teórico, a la reflexión crítica y a las decisiones metodológicas que configuran el cuerpo central de este trabajo.

SizaATLAS

El proyecto de investigación SizaATLAS: Filling the Gaps for World Heritage ha sido una iniciativa de referencia en la documentación, análisis y preservación del legado arquitectónico de Álvaro Siza, objetivo que converge de forma directa con el enfoque central de esta disertación. Desarrollado en colaboración entre Soraya Genin (ISCTE-UII), Teresa Cunha Ferreira (FAUP) y Mariana Correia (UPT), el proyecto ha generado aportes fundamentales a través de una plataforma digital, publicaciones académicas, actividades de difusión y modelos constructivos digitales, ayudando a la conversación y difusión de la obra del arquitecto.

Durante el período 2022–2023, participé como becario de iniciación científica en el marco de este proyecto, bajo la orientación de la Profesora Doctora Teresa Cunha Ferreira. Esta experiencia me permitió adquirir conocimientos especializados sobre la obra de Álvaro Siza, así como habilidades en herramientas digitales aplicadas a la representación y documentación arquitectónica.

Dentro del equipo de investigación, asumí un rol central en la producción de los modelos didácticos de los edificios más significativos de la obra de Álvaro Siza

construidos a lo largo de Portugal. La realización de estos modelos fue fundamental para ampliar mi conocimiento en herramientas digitales, tectónica, construcción y la obra de Siza, sentando las bases fundamentales para esta el desarrollo de esta disertación. La colaboración y orientación del Profesor Doctor Joaquim Teixeira, la Profesora Doctora Teresa Cunha Ferreira y el Doctor Investigador Tiago Cruz fueron fundamentales para garantizar el rigor técnico y conceptual del trabajo desarrollado.

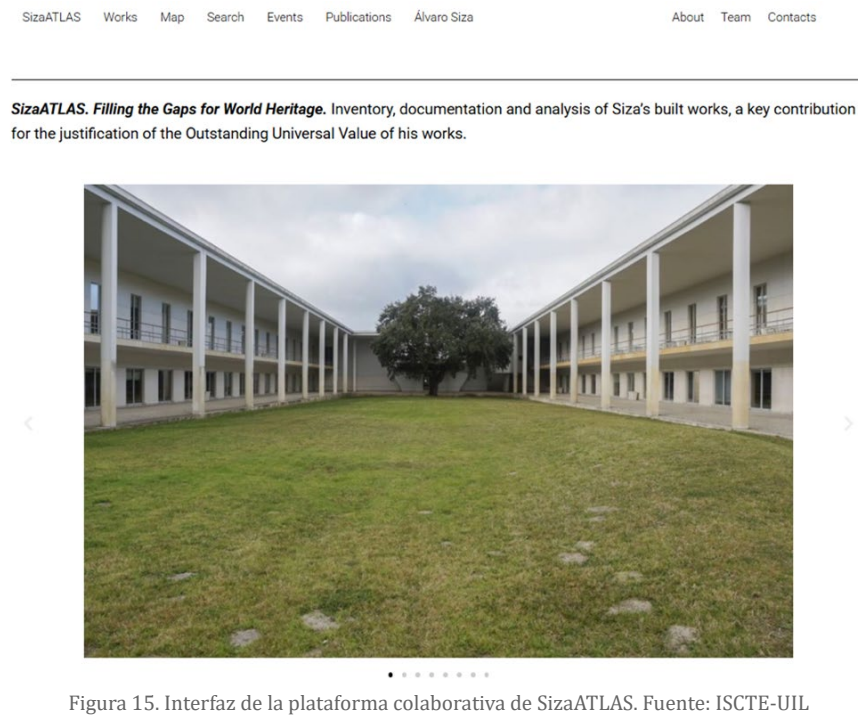


Figura 15. Interfaz de la plataforma colaborativa de SizaATLAS. Fuente: ISCTE-UIL

La elaboración de estos modelos implicó la articulación de conocimientos teóricos sobre la arquitectura de Álvaro Siza, procesos constructivos y metodologías de investigación, junto con habilidades prácticas en herramientas digitales. Se analizaron planos, archivos históricos y modelos fotogramétricos, complementados con visitas virtuales y discusión con expertos. Los modelos se realizaron principalmente en Revit de Autodesk, con el apoyo de Adobe Illustrator en posproducción, logrando representaciones precisas de las características morfológicas y compositivas, y componentes constructivos de estos edificios, lo cual facilita su difusión en diferentes campos del conocimiento.

Después de representar y estudiar 19 edificios ubicados en Portugal, todos ellos incluidos en la lista indicativa de nominación a Patrimonio Mundial de la obra de Álvaro Siza y sus futuras extensiones, se planteó modelado de cuatro proyectos fuera de Portugal: el edificio de viviendas Schlesisches Tor – Bonjour Tristesse (Berlín, Alemania), Schilderswijk-Oeste – Punto y Coma (La Haya, Países Bajos), la Fundación Iberê Camargo (Porto Alegre, Brasil) y el Centro Gallego de Arte Contemporánea (Santiago de Compostela, España).

El primer modelo internacional desarrollado fue el edificio de viviendas en Schilderswijk-Oeste – Punto y Coma. El acceso a la información fue limitado, ya que los archivos originales se encuentran en el Centro Canadiense de Arquitectura (CCA) y no son de libre acceso, lo que implicó una investigación más compleja, con consultas a fuentes gráficas, publicaciones físicas y digitalizadas, fotografías históricas y discusión con expertos en la obra de Álvaro Siza. Esta experiencia con obra internacional fue decisiva para orientar la selección de los casos de estudio incluidos en esta disertación, que permiten profundizar en el análisis de la influencia arquitectónica de Álvaro Siza en contextos geográficos y culturales distintos al portugués.

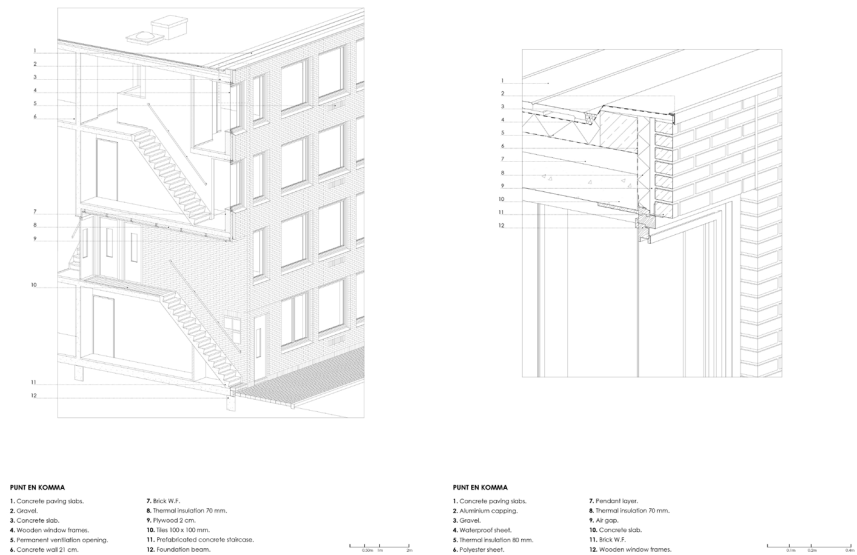


Figura 16. Sección general y de detalle constructiva del edificio de viviendas en Schilderswijk-Oeste – Punto y Coma, La Haya, Países Bajos. Fuente: Autor

Esta primera experiencia de modelado 3D de un proyecto internacional despertó en mí un especial interés por centrar mi disertación en el estudio y modelado 3D de algunos de estos edificios, con el fin de implementar herramientas digitales en el análisis de diferentes fuentes de información sobre estas obras. Seleccionamos la Fundación Iberê Camargo y el Centro Gallego de Arte Contemporáneo de Galicia, ubicados en contextos urbanos distintos y con características constructivas diferenciadas, pero con programas arquitectónicos similares.

Los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto SizaATLAS constituyen la base metodológica de este trabajo. A partir de la experiencia en el modelado de obras nacionales, se propone aquí una línea de continuidad enfocada en proyectos internacionales, con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre la obra de Álvaro Siza en contextos culturales y socioeconómicos diversos. Esta disertación adopta los principios del proyecto SizaATLAS en cuanto a precisión documental, rigor constructivo y representación digital como base para el estudio de los casos seleccionados.

CoVHer

A medida que las tecnologías digitales siguen dando forma a la investigación arquitectónica, los talleres internacionales ofrecen valiosas oportunidades para explorar metodologías emergentes en un entorno de colaboración. Una de esas experiencias fue mi participación en el 2º TALLER INTERNACIONAL SOBRE PATRIMONIO CULTURAL DIGITAL 3D: Exploración del modelado 3D en la educación, la documentación y la divulgación (CoVHer), en el que arquitectos, investigadores y estudiantes de distintos ámbitos se reunieron para investigar cómo pueden utilizarse las herramientas digitales para analizar, documentar y reconstruir edificios históricos. El taller introdujo un flujo de trabajo estructurado, haciendo hincapié en la importancia de la investigación de archivos, las técnicas de modelado en 3D y marcos metodológicos como la Carta de Londres y las directrices CoVHer Erasmus+. Mediante actividades prácticas, exploramos los retos de reconstruir obras arquitectónicas perdidas o incompletas, equilibrando la precisión histórica con la interpretación y las herramientas digitales.

Uno de los proyectos desarrollados durante este taller fue la reconstrucción en 3D de la fase no construida de 1978 del Complejo de Viviendas Bouça de Álvaro Siza, una obra significativa pero incompleta que refleja las iniciativas de vivienda social del Portugal posrevolucionario.⁴⁰ Mi equipo, conformado por Marco Aurelio Reschetti y el acompañamiento de la profesora Doctora Clara Pimenta do Vale, trabajó con materiales de archivo, incluidos planimetría histórica, fotografías y documentación de la oficina de Álvaro Siza, para crear un modelo digital de los elementos no construidos del proyecto utilizando Autodesk Revit. Sin embargo, el proceso no estuvo exento de dificultades: muchos elementos carecían de registros precisos, lo que requirió una metodología de evaluación de la incertidumbre para categorizar y cuantificar la fiabilidad de los distintos componentes reconstruidos. Aplicando el enfoque estructurado de CoVHer, fueron asignados distintos niveles de incerteza a cada parte del modelo, visualizados mediante una representación en falso color, garantizando la transparencia del proceso de reconstrucción.⁴¹

La participación en el taller CoVHer aportó enseñanzas fundamentales sobre el uso crítico y metodológico de las herramientas digitales en la investigación arquitectónica, particularmente en contextos de construcción digital de edificios de carácter patrimonial y patrimonio arquitectónico moderno, abarcando también proyectos inacabados o alterados durante su fase de construcción. El enfoque estructurado del taller —basado en la investigación de archivos, el modelado 3D y la evaluación de la incertidumbre— permitió abordar con rigor la complejidad de trabajar con documentación incompleta y recrear digitalmente edificios no construidos. La aplicación de niveles de incerteza visualizados mediante representación en

⁴⁰ Pimenta Do Vale, C., "The social rise of a housing intervention: Álvaro Siza's project for Bouça Neighbourhood", *42nd IAHS WORLD CONGRESS - The housing for the dignity of mankind*, Naples, p. 1, 2018.

⁴¹ Reschetti, M. A., Pimenta do Vale, C., "3D reconstruction of 1978 unbuilt phase and uncertainty level assessment of Álvaro Siza's Bouça Housing Complex", *SIZATLAS, Filling the Gaps for World Heritage*, 2024

diferentes colores introdujo un método transparente y replicable para enfrentar los límites entre interpretación y fidelidad histórica en el modelado digital.

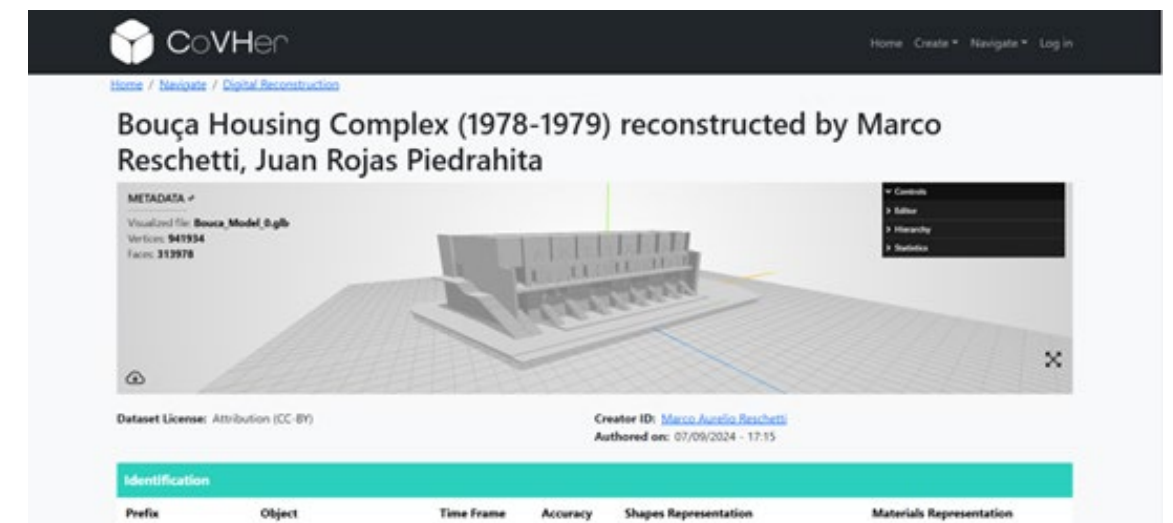


Figura 17. Repositorio digital de CoVHer. Fuente: <https://repository.covher.eu/wisski/navigate/1513/view>

Este ejercicio no solo fortaleció las capacidades técnicas en programas 3D como Autodesk Revit, sino que también ofreció un marco conceptual que ha sido transferido directamente a este trabajo, con la participación de investigadores fundamentales en cuestiones de construcción digital y documentación de patrimonio arquitectónico. En consecuencia, esta experiencia consolidó una postura crítica ante el uso de tecnologías digitales, orientando su aplicación en la presente investigación hacia criterios de rigurosidad documental, trazabilidad y reflexión historiográfica.

GRAFT Arquitectos Berlín

El periodo de pasantía realizado en el estudio GRAFT Arquitectos Berlín representó una instancia clave para el fortalecimiento del vínculo entre la teoría y la práctica arquitectónica en el contexto contemporáneo. Esta oficina es reconocida por su enfoque interdisciplinar, diseño exploratorio, ambiente internacional y su apertura hacia el uso de tecnologías digitales avanzadas, lo cual ofreció un entorno profesional idóneo para explorar el papel que desempeñan las herramientas digitales, en particular el modelado 3D, la metodología BIM, Realidad Virtual e Inteligencia Artificial, dentro del proceso de diseño y ejecución del proyecto arquitectónico.

Durante esta experiencia fue posible observar de manera directa cómo los procesos de diseño arquitectónico contemporáneo integran recursos tecnológicos complejos, no solo para fines representativos, sino también como catalizadores de innovación formal, funcional y constructiva. La participación en proyectos reales permitió contrastar los métodos teóricos abordados en el ámbito académico con las exigencias operativas de un estudio de arquitectura, favoreciendo una comprensión crítica del papel de los medios digitales en la toma de decisiones proyectuales.

Uno de los principales objetivos que motivaron la realización de esta pasantía en GRAFT fue la intención de observar de manera directa cómo las tecnologías

digitales son incorporadas en la práctica arquitectónica profesional, más allá del ámbito estrictamente académico. Este interés se centró particularmente en el uso de metodologías avanzadas de diseño y documentación, como el BIM, cuya implementación transforma significativamente los procesos de concepción, desarrollo y gestión de proyectos.

Durante una conversación con el director del departamento BIM de la oficina, fue posible profundizar en el modo en que esta metodología se aplica a los proyectos arquitectónicos, identificando tanto sus ventajas como los desafíos asociados a su implementación. Desde hace algunos años, GRAFT ha iniciado una transición progresiva hacia el uso generalizado de software BIM —principalmente Autodesk Revit y ArchiCAD—, reemplazando gradualmente las herramientas de representación bidimensional tradicional, como AutoCAD. Este cambio implica una transformación estructural en la manera de abordar las distintas fases del proyecto, así como la necesidad de capacitar al equipo de arquitectos en las ventajas y alcances que ofrecen estas herramientas digitales.

La implementación del sistema BIM conlleva un incremento significativo en los costes del proyecto, dado que requiere la participación de personal especializado para coordinar su correcta aplicación y asegurar la interoperabilidad de la información en todas las etapas del diseño y la construcción. Esta dimensión económica ha generado cierta reticencia entre los clientes privados, quienes no siempre están dispuestos a asumir los costes adicionales que esta metodología implica. Cabe señalar que, en el contexto normativo alemán, el uso obligatorio de BIM se limita actualmente a proyectos públicos de gran envergadura, lo que contribuye a una adopción desigual en el sector privado.

En términos operativos, BIM se sustenta en un modelo digital tridimensional que concentra la totalidad de la información relevante del proyecto, desde especificaciones de materiales hasta estimaciones de coste, lo cual supone una reconfiguración conceptual del diseño arquitectónico: del pensamiento bidimensional hacia una lógica integrada y tridimensional. Esta transformación requiere no solo una adaptación técnica, sino también un cambio profundo en los procesos cognitivos y metodológicos del diseño por parte de los arquitectos envueltos en el proyecto.

Frente a este escenario, y como respuesta a la diversidad de exigencias del mercado, GRAFT ha adoptado una estrategia intermedia conocida como “BIM Ready”, que consiste en desarrollar los proyectos bajo los principios estructurales de la metodología BIM, sin llegar a aplicarla en su totalidad. Esta aproximación permite adaptar los proyectos con relativa facilidad a un entorno BIM completo en caso de que el cliente lo requiera en cualquier etapa del desarrollo, conciliando así flexibilidad operativa y preparación técnica avanzada.

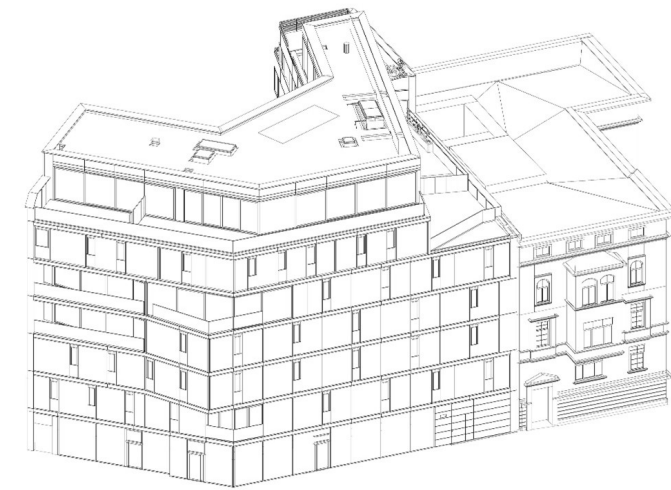


Figura. 18. Modelo 3D del proyecto GRAFTLAB. Fuente: GRAFT Arquitectos Berlín

Otra de las herramientas digitales que ha adquirido una creciente relevancia dentro de la oficina de GRAFT Arquitectos es la Realidad Virtual (RV), cuya implementación ha demostrado ser de gran utilidad tanto para el equipo de diseño como para la comunicación con los clientes. Esta tecnología permite la visualización inmersiva de espacios arquitectónicos, tanto interiores como exteriores, antes de su construcción, facilitando así una evaluación más precisa de las decisiones proyectuales. En el contexto del diseño colaborativo, la RV se configura como una herramienta eficaz para optimizar el proceso de revisión espacial y formal, permitiendo detectar inconsistencias, ajustar proporciones y evaluar la calidad espacial desde una perspectiva cercana a la experiencia real del usuario.

Particularmente en la interacción con clientes, la RV cumple una función clave, pues traduce el lenguaje técnico de los planos arquitectónicos a una experiencia visual accesible, superando la barrera que muchas veces representa la lectura convencional de representaciones bidimensionales para usuarios sin formación técnica. Para la implementación de esta tecnología, es indispensable disponer de un modelo tridimensional, que integre todos los elementos arquitectónicos del proyecto, incluidos materiales, texturas y algunas veces mobiliario. En este sentido, la oficina emplea el software Rhinoceros como principal herramienta de modelado, dado su rendimiento en la manipulación de geometrías complejas y su amplia gama de funciones. La visualización se complementa con el software de renderizado Enscape, seleccionado por su integración eficiente con Rhinoceros y su capacidad para simular con precisión materiales, iluminación y condiciones ambientales.

Las herramientas técnicas requeridas incluyen un computador de alto rendimiento, gafas y mandos de RV, así como un espacio físico específicamente acondicionado para tal fin. En GRAFT, se ha destinado un área exclusiva para la exploración en entornos virtuales, equipada con los dispositivos necesarios y acompañada de un manual de uso accesible para todo el equipo. Esto facilita que cualquier miembro de la oficina pueda interactuar con el modelo arquitectónico en un entorno inmersivo, promoviendo así una cultura de diseño digital abierta, colaborativa y tecnológicamente avanzada.



Figura 19. visualización del proyecto DOXS NKLN. Fuente: GRAFT Arquitectos Berlín

GRAFT se ha consolidado como un referente tanto a nivel nacional como internacional en la adopción e implementación de tecnologías emergentes aplicadas a la arquitectura. Una de las líneas de investigación más recientes y de mayor proyección dentro de la oficina ha sido la incorporación de herramientas basadas en Inteligencia Artificial (IA) en los procesos de diseño arquitectónico y en otras esferas operativas del estudio. Esta iniciativa no solo se ha enfocado en el uso instrumental de la IA, sino también en el análisis crítico de su impacto en la disciplina arquitectónica, a través de la participación en congresos, conferencias especializadas y publicaciones científicas. Desde la dirección de la oficina, se reconoce que estas herramientas van a desempeñar un papel crucial en el futuro de la profesión, lo que hace imprescindible su incorporación progresiva y la formación continua del equipo en su utilización ética y eficaz.

La aplicación de la IA en GRAFT trasciende el ámbito estrictamente proyectual y se extiende a otros dominios clave de la práctica cotidiana, como la planificación de tareas, la redacción de documentos, la preparación de presentaciones y la gestión de reuniones con clientes y colaboradores. Para garantizar la seguridad de la información y proteger la propiedad intelectual, la oficina ha adquirido una herramienta privada de IA que opera en entornos seguros, preservando la confidencialidad de los datos. Asimismo, se han promovido cursos internos orientados a capacitar al personal en el uso responsable de estas tecnologías, fomentando una cultura de innovación digital crítica y consciente.

En el ámbito específicamente proyectual, la herramienta de IA más utilizada durante las fases iniciales del diseño es Midjourney, una plataforma generativa basada en aprendizaje automático que permite explorar variaciones visuales mediante el diálogo entre el arquitecto y la máquina. Este proceso se articula como una fuente de inspiración formal, en la que se investigan tipologías de fachada, configuraciones espaciales y ambientes interiores, sin sustituir la toma de decisiones humana. La interacción con Midjourney se concibe como un instrumento de experimentación

conceptual, donde el arquitecto conserva un rol activo: formula preguntas, selecciona resultados pertinentes y traduce visualmente aquellas propuestas susceptibles de desarrollo posterior e implementación en el proyecto. A pesar de su potencial, se reconoce que, en el estado actual de desarrollo, estas herramientas se utilizan principalmente en las etapas preliminares del proyecto, con un carácter exploratorio y conceptual. La oficina continúa investigando sus posibles aplicaciones en fases más avanzadas del diseño arquitectónico, evaluando críticamente tanto sus aportes como sus limitaciones dentro de un enfoque proyectual contemporáneo y tecnológicamente informado.



Figura 20. Estudio de diferentes variantes en el diseño de fachada con Midjourney para un proyecto en Tbilisi, Georgia.

Fuente: GRAFT Arquitectos Berlin

Las experiencias de investigación y práctica profesional abordadas en este apartado han sido fundamentales para la consolidación del marco conceptual y metodológico de esta investigación. La estancia académica en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Porto, el taller internacional CoVHer y la pasantía en GRAFT Arquitectos Berlín ofrecieron oportunidades complementarias para explorar la aplicación de herramientas digitales en distintos contextos de la práctica arquitectónica. Estas experiencias permitieron confrontar teoría y práctica, así como analizar el papel que desempeñan tecnologías como el modelado 3D, la realidad virtual, la metodología BIM y la inteligencia artificial en la producción, documentación y comunicación de la arquitectura contemporánea.

En conjunto, estos aprendizajes han enriquecido la investigación sobre la obra de Álvaro Siza desde una perspectiva tectónica y construcción digital, al tiempo que han fortalecido una mirada crítica y proyectual sobre el uso de herramientas tecnológicas en la arquitectura contemporánea. Las experiencias recopiladas no solo han permitido aplicar conocimientos técnicos, sino también reflexionar sobre su pertinencia y sus implicaciones éticas, operativas y conceptuales. De este modo, se establece un marco sólido para abordar, en los siguientes capítulos, la reconstrucción digital y el análisis proyectual de los dos casos de estudios seleccionados con criterios tanto teóricos como prácticos.

2.3. Metodología de investigación

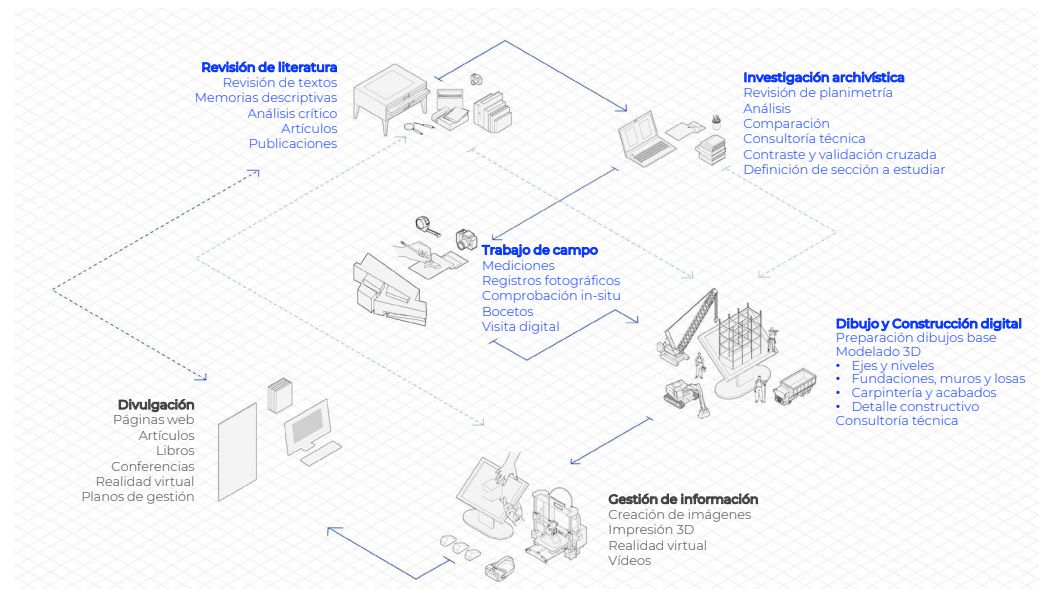


Figura 21. Diagrama de la Metodología de investigación. Fuente: Autor

Esta sección expone el marco metodológico que estructura y orienta el desarrollo de esta investigación. Se ha optado por una metodología de carácter multi-método, que combina estrategias de análisis arquitectónico y constructivo a través de la revisión de literatura, investigación archivística, el trabajo de campo y el uso de herramientas representación análogas y digitales. Esta aproximación responde a la complejidad inherente al estudiar la obra arquitectónica de Álvaro Siza, cuyo análisis demanda una comprensión holística que va desde el discurso teórico, los procesos proyectuales, la materialización constructiva y la experiencia espacial.

La elección de Álvaro Siza como arquitecto central en esta investigación responde a la coherencia profunda entre su pensamiento proyectual, su enfoque tectónico y su modo de proyección en arquitectura. Siza trabaja desde una dimensión del dibujo como instrumento intelectual y de diseño, donde el trazo no es solo una forma de registrar el proyecto, sino una manera de descubrirlo y desenvolverlo conceptualmente desde sus primeras ideas hasta su construcción y realización. Sus obras, lejos de ser únicamente ejercicios formales, se enraízan en una lógica constructiva rigurosa que articula materiales, técnicas locales y sensibilidad contextual.⁴² Esta conjunción entre poética del lugar y precisión constructiva convierte su arquitectura en un campo adecuado para explorar la relación entre representación, construcción y pensamiento tectónico, temas centrales en esta investigación.

La selección del Centro Gallego de Arte Contemporánea en Santiago de Compostela y la Fundación Iberê Camargo en Porto Alegre como casos de estudio, responde a la voluntad de analizar en profundidad cómo Álvaro Siza enfrenta condiciones contextuales,

materiales y constructivas singulares a través de un lenguaje arquitectónico coherente y reconocible que responde a condicionantes propias del lugar. Ambos edificios comparten un programa arquitectónico similar, de museo o centro cultural, que exige un equilibrio entre espacios de exposición, circulación, soluciones constructivas, iluminación controlada y relación con el entorno, lo cual permite establecer una base común para la comparación crítica de ambos edificios y explorar las dificultades al duplicar digitalmente las obras. No obstante, las estrategias proyectuales adoptadas difieren significativamente en su respuesta al entorno: mientras el CGAC se desarrolla de forma más horizontal, respetando y articulándose con el tejido urbano histórico de Santiago, dialogando con el paisaje construido y usando materiales locales (Siza 1998), la Fundación Iberê Camargo se organiza en un sistema vertical, emergiendo como una masa monolítica y escultórica frente al río Guaíba, respondiendo a las exigencias topográficas del terreno y combinando las influencias de la escuela de São Paulo, de Vilanova Artigas, Lina Bo Bardi y Paulo Mendes da Rocha, y de la escuela carioca de Niemeyer.⁴³ Estas diferencias también se expresan en el uso de materiales y técnicas constructivas: piedra y concreto a la vista, respectivamente, cada uno con sus lógicas de ensamble, texturas y expresividad tectónica fuertemente ligadas al lugar de su construcción. El estudio comparado de ambas obras ofrece así una oportunidad para comprender cómo la arquitectura de Siza se adapta, se transforma y mantiene su integridad formal y constructiva mientras se vincula y responde a contextos profundamente distintos.

La metodología adoptada en este trabajo no se basa en un único procedimiento lineal, sino que se construye mediante la articulación transversal de diferentes métodos y fuentes. Esta lógica de cruzamiento metodológico permite contrastar e interrelacionar datos provenientes de diferentes archivos, bibliografía especializada, observaciones in situ, bosquejos y fotografías, generando una lectura estratificada y rigurosa del objeto arquitectónico, para luego ser replicado en un escenario virtual mediante el uso de herramientas construcción digital.

Esta metodología integrada toma como referencia los lineamientos de investigación y salvaguarda de bienes patrimoniales modernos desarrollados y perfeccionados en varios proyectos liderados por la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Oporto, bajo coordinación de la Doctora Profesora Teresa Cunha Ferreira, tales como “Keeping it Modern: Ocean Swimming Pool” (Financiado por Fundación Getty, 2020-2023), “Álvaro Siza’s Works for the World Heritage List” y recientemente en el proyecto “Siza ATLAS: Filling the gaps for World Heritage” (financiado por la Fundación de Ciencia y Tecnología de Portugal 2021-2024), del cual hice parte gracias a una beca de investigador durante más de un año.

En este trabajo, la metodología tiene el objetivo de reconocer las cualidades tectónicas y constructivas de la obra de Álvaro Siza, a través del estudio de los dos casos de estudio, así como de establecer un marco analítico que permita evaluar las implicaciones en el

⁴² Frampton, K., *Álvaro Siza: Complete Works*; London: Phaidon, 2000.

⁴³ Carvalho, R., “Museu para a Fundação Iberê Camargo”, *Jornal dos Arquitectos*, Vol. 220-221, 2005, p. 98.

uso de las herramientas de construcción digital en la traducción a un escenario virtual de edificios de autor con un elevado nivel de pormenorización y la comprensión profunda del proyecto arquitectónico desde una perspectiva constructiva.

Este enfoque metodológico, de carácter multi-método, que articula técnicas tradicionales de representación con herramientas digitales contemporáneas, tiene como objetivo generar una documentación arquitectónica integral, coherente y de amplio alcance, sirviendo como fuente de información estructurada y accesible para una diversidad de públicos, desde especialistas en patrimonio y arquitectura hasta estudiantes.

Revisión de literatura

La revisión de literatura representa una fase fundamental de la metodología de este trabajo, orientada a establecer un marco teórico y crítico consolidado que sustente el análisis de la obra de Álvaro Siza desde una dimensión proyectual, tectónica y constructiva, así como el entendimiento del uso de herramientas digitales en arquitectura y su implementación en el estudio y documentación del patrimonio arquitectónico. Este proceso implicó la consulta de una amplia variedad de fuentes, tanto físicas como digitales, incluyendo tesis de maestría y doctorado, monografías, capítulos de libros, artículos académicos y publicaciones en revistas de arquitectura.

Esta revisión de literatura se estructuró en torno a cuatro ejes temáticos principales: la construcción digital y sus implicancias en los procesos de representación y documentación arquitectónica; la trayectoria arquitectónica de Álvaro Siza, con especial énfasis en las cualidades tectónicas de su obra y los principios constructivos; la idea de tectónica como la poética de la construcción y expresión de identidad cultural; y el estudio detallado de las obras seleccionadas como casos de estudio: el Centro Gallego de Arte Contemporánea de Galicia en Santiago de Compostela y la Fundación Iberê Camargo en Porto Alegre. Esta revisión fue complementada con la consulta de documentos originales disponibles digitalmente en archivos institucionales gran relevancia, tales como el Centro Canadiense de Arquitectura, en donde se alberga gran parte de los archivos de las obras internacionales del arquitecto, o el Museo de Arte Moderno de Nueva York (MoMA), así como los archivos del propio Centro Gallego de Arte Contemporánea y la Fundación Iberê Camargo.

Además de la consulta de fuentes físicas y archivos especializados, se llevó a cabo una búsqueda sistemática en diversas bases de datos digitales, tales como Google Scholar, Scopus y ResearchGate, con el fin de acceder a investigaciones y trabajos académicos recientes sobre los temas relevantes para esta disertación. Se emplearon palabras clave, como “ Álvaro Siza”, “digital”, “construcción” y “tectónica”, que permitieron centrar la búsqueda en la obra de Álvaro Siza, desde una perspectiva constructiva y su relación con las herramientas digitales aplicadas en el estudio de su obra. Los resultados obtenidos proporcionaron una valiosa cantidad de información complementaria, que no solo enriqueció el análisis teórico y técnico de esta investigación, sino que también permitió identificar otros trabajos científicos y académicos de gran relevancia, ampliando el marco conceptual y metodológico.

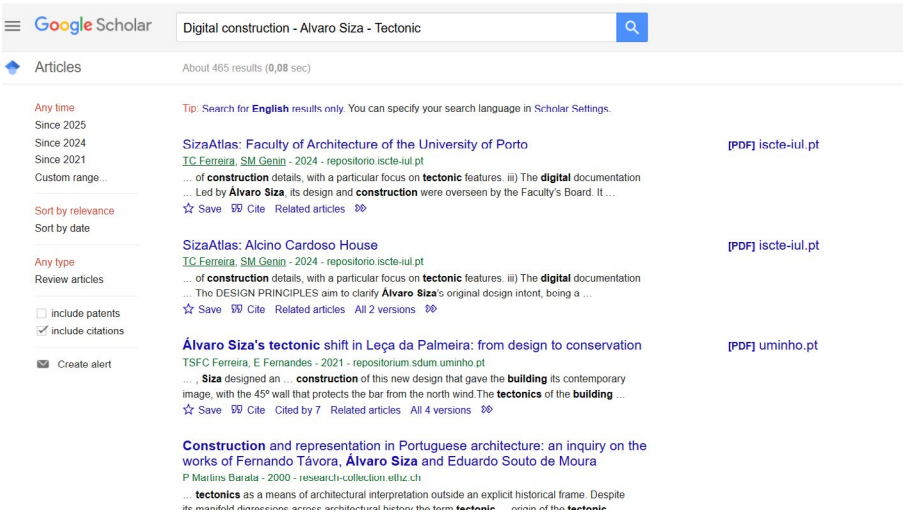


Figura 22. Captura de pantalla búsqueda en Google Scholar. Fuente: Autor

Investigación archivística

La fase de investigación archivística tuvo como objetivo acceder al conjunto de documentos disponibles sobre las obras seleccionadas de Álvaro Siza, con el fin de analizarlos para comprender su desarrollo histórico, principios de diseño, cualidades arquitectónicas, proceso constructivo, lógica tectónica y la opinión crítica desde la academia. La documentación revisada se organizó en dos grandes categorías: piezas gráficas y piezas escritas, permitiendo una lectura integral del proceso proyectual y constructivo, y su posterior análisis crítico.

Dentro de las piezas gráficas se analizaron bosquejos y dibujos a mano, planimetría técnica en diferentes escalas (plantas, cortes, fachadas y detalles constructivos), axonometrías y cortes fugados, fotografías de la obra, fotografías durante el proceso de construcción y registros de maquetas. Las piezas escritas incluyeron memoria de estructuras, memoria de proyecto, memoria de superficie, así como textos incluidos en libros, revistas, artículos científicos y tesis de doctorado y maestría. Cada uno de estos documentos fue clasificado según su tipo (gráfica o escrita), subcategoría documental, número de piezas, procedencia del archivo, fecha de producción y el formato (digital o física), lo que permitió establecer un sistema de cuantificación por obra.

Esta clasificación sistemática facilitó la identificación de patrones proyectuales, variaciones entre versiones, decisiones técnicas relevantes y transformaciones a lo largo del tiempo, así como responder preguntas específicas que surgieron al momento modelar la sección constructiva. Esta clasificación no solo permitió estructurar el análisis a partir del tipo y la función de cada documento, sino también establecer relaciones entre las distintas fuentes, identificando cómo cada una de ellas aporta a la comprensión de la lógica constructiva y arquitectónica, los criterios de diseño y la tectónica de cada una de las obras. La cantidad, variedad y calidad del material consultado refuerzan la validez de una metodología sustentada en el cruzamiento de información proveniente de documentos gráficos y textuales como base para un análisis arquitectónico y constructivo más completo.

Referente al Centro Gallego de Arte Contemporánea de Galicia, se consultaron alrededor de 251 piezas documentales, la mayoría de ellas digitalizadas y disponibles online. De estas, aproximadamente un 70% corresponde a piezas gráficas, siendo el libro “Álvaro Siza, arquitecto: Centro de Arte Contemporánea de Galicia” el documento que incluye la mayor cantidad de planimetría técnica relevante, con un total de 36 elementos. Así mismo, el Centro Canadiense de Arquitectura (CCA) tiene disponible online el mayor archivo digitalizado de bosquejos y dibujos a mano, con un total de 25 elementos. Por otro lado, el 30% restante está compuesto por piezas escritas, disponibles tanto para consulta física como online. La mayoría de estas piezas fueron consultadas en físico, en la biblioteca de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Oporto, y posteriormente digitalizadas, así como en la biblioteca del grupo de investigación atrimonio de la Arquitectura, Ciudad y Territorio del Centro de Estudios de Estudios de Arquitectura y Urbanismo de la misma universidad. Así mismo, el propio Centro Gallego de Arte Contemporánea de Galicia disponibilizó, en formato digital, las memorias de estructura, proyecto y superficies, esenciales para la comprensión integral del edificio y el posterior desarrollo de la sección constructiva.

Obra	Tipo de pieza	Subcategoría documental	Cantidad	Archivo de procedencia	Año o rango de fechas	Formato (Físico/Digital)
CGAC – Santiago de Compostela	Gráfica	Bosquejos y dibujos a mano	25	Centro Canadiense de Arquitectura (CCA)	1988-1993	Digital
CGAC	Gráfica	Fotografías de obra	70	Juan Rojas Piedrahita	2024	Digital
CGAC	Gráfica	Fotografías de obra	45	Fernando Guerra	X	Digital
CGAC	Gráfica	Fotografías de obra	27	Tiago Trinidad Cruz	2018	Digital
CGAC	Gráfica	Maquetas (registros fotográficos)	1	Arquitectura Viva	X	Digital
CGAC	Gráfica	Otros (cortes fugados, axonometrias)	6	Universidad San Pablo CEU	2010	Digital
CGAC	Gráfica	Otros (cortes fugados, axonometrias)	4	Sarp Arditi	2014	Digital
CGAC	Gráfica	Planimetría técnica (plantas, cortes, etc.)	36	Libro: Álvaro Siza, arquitecto: Centro de Arte Contemporánea de Galicia	1993	Digital
CGAC	Escrita	Artículos	2	Biblioteca FAUP	X	Digital y Física
CGAC	Escrita	Catalogo de Exposiones	1	Biblioteca FAUP	2004	Digital y Física
CGAC	Escrita	Disertaciones de Maestría	1	Universidad de Sao Paulo	2001	Digital
CGAC	Escrita	Libros	25	Bibliotec FAUP + Centro Galego de Arte Contemporánea (CGAC)	X	Digital y Física
CGAC	Escrita	Memoria de Estructuras	1	Centro Galego de Arte Contemporánea (CGAC)	X	Digital y Física
CGAC	Escrita	Memoria de Proyecto	1	Centro Galego de Arte Contemporánea (CGAC)	1991	Digital y Física
CGAC	Escrita	Memoria de Superficies	1	Centro Galego de Arte Contemporánea (CGAC)	1991	Digital y Física
CGAC	Escrita	Revistas	5	Biblioteca FAUP	X	Digital y Física

Figura 23. Captura de pantalla tabla de resumen documentación CGAC. Fuente: Autor

En cuanto a la Fundación Iberê Camargo, se consultaron alrededor de 476 piezas documentales, la mayoría de ellas digitalizadas y disponibles online. De estas, aproximadamente un 80% corresponde a piezas gráficas, siendo el sitio web de la Revista de Arquitetura e Urbanismo <https://mdc.arq.br/2010/12/07/fundacao-ibere-camargo-porto-alegre-rs/>, el archivo digital que contiene la mayor cantidad de planimetría técnica relevante, con un total de 109 elementos referentes al proyecto de ejecución, el cual incluye plantas, cortes, fachadas y detalles constructivos, y alrededor de 52 fotos del proceso de construcción de la obra. Así mismo, el libro "Álvaro Siza: Fundação Iberê Camargo", editado por Flávio Kiefer, contiene gran cantidad de información planimetría técnica y fotos de la construcción, al igual que textos explicativos sobre los componentes técnicos y la experiencia durante el proceso de construcción de las diferentes fases del proyecto. Por otro lado, el 20% restante está compuesto por piezas escritas, disponibles tanto para consulta física como online. La mayoría de estas piezas fueron consultadas en físico, en la biblioteca de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Oporto, y posteriormente digitalizadas, así como en la biblioteca del grupo de investigación Patrimonio de la Arquitectura, Ciudad y Territorio del Centro de Estudios de Estudios de Arquitectura y Urbanismo de la misma universidad.

Obra	Tipo de pieza	Subcategoría documental	Cantidad	Archivo de procedencia	Año o rango de fechas	Formato (Físico/Digital)
FIC – Fundación Iberê Camargo	Gráfica	Bosquejos y dibujos a mano	11	Centro Canadiense de Arquitectura (CCA)	1998–2006	Digital
FIC	Gráfica	Bosquejos y dibujos a mano	11	Museo de Arte Moderno de Nueva York (MoMA)	1998–2008	Digital
FIC	Gráfica	Fotografías de obra	52	MDC Revista de Arquitetura e Urbanismo	X	Digital
FIC	Gráfica	Fotografías de obra	215	Fernando Guerra	X	Digital
FIC	Gráfica	Maquetas (registros fotográficos)	5	ArchDaily	X	Digital
FIC	Gráfica	Maquetas (registros fotográficos)	1	Centro Canadiense de Arquitectura (CCA)	1998–2006	Digital
FIC	Gráfica	Maquetas (registros fotográficos)	1	Museo de Arte Moderno de Nueva York (MoMA)	1998–2006	Digital
FIC	Gráfica	Otros (cortes fugados, axonometrias)	1	Libro: Manual of Section	2016	Digital
FIC	Gráfica	Planimetría técnica (plantas, cortes, etc.)	40	Centro Canadiense de Arquitectura (CCA)	1998–2006	Digital
FIC	Gráfica	Planimetría técnica (plantas, cortes, etc.)	3	Museo de Arte Moderno de Nueva York (MoMA)	1998–2008	Digital
FIC	Gráfica	Planimetría técnica (plantas, cortes, etc.)	109	MDC Revista de Arquitetura e Urbanismo	2006	Digital
FIC	Escrita	Artículos	2	Arquitectura revista + ResearchGate	2009-2018	Digital
FIC	Escrita	Libros	21	Biblioteca FAUP	X	Digital y Física
FIC	Escrita	Revistas	4	X	2005-2020	Digital y Física

Figura 24 Captura de pantalla tabla de resumen documentación FIC. Fuente: Autor

Además de la revisión archivística centrada en las obras seleccionadas, se llevó a cabo una lectura de fuentes bibliográficas sobre las herramientas y construcción digital en arquitectura, la obra de Álvaro Siza, y el concepto de tectónica. En total, se recolectaron alrededor de 80 textos sobre estos temas específicos, entre las que se incluyen libros, artículos científicos, tesis de maestría y doctorado y publicaciones institucionales.

Del total, aproximadamente 60 textos estuvieron dedicados al estudio de los casos de estudio y de la obra del arquitecto, con énfasis en su evolución proyectual, pensamiento crítico y el carácter constructivo de su obra; 20 textos trataron sobre herramientas y construcción digital en la arquitectura, incluyendo temas como modelado 3D, CAD, arquitectura paramétrica BIM, documentación digital de patrimonio arquitectónico y el desarrollo histórico de estas tecnologías; y finalmente, fueron los textos “Hacia un regionalismo crítico” de Kenneth Frampton y “El arte de construir en nuestro tiempo” de Paulo Martins Barata los cuales sentaron las bases teóricas para comprender el concepto de tectónica y su relación en la obra la obra de Álvaro Siza.

Trabajo de campo

La visita a las obras de estudio representa una etapa importante en el proceso investigativo, pues permite una aproximación directa, experimental y crítica a la arquitectura, sirviendo como método de comprobación y contraste entre las diferentes fuentes escritas y graficas. Esta experiencia posibilitó no solo la observación detallada de las cualidades espaciales del edificio, sino también la comprensión de su implantación en el tejido urbano, la interacción con el entorno construido y natural, así como la percepción de la luz, los recorridos, los materiales y las atmósferas generadas en cada uno de los espacios, importantes para entender el edificio de forma holística e integral.

Por razones de financiación de esta investigación y la proximidad geográfica, solo fue posible realizar el trabajo de campo en el Centro Gallego de Arte Contemporáneo, ubicado en Santiago de Compostela, España. La visita a la Fundación Iberê Camargo en Porto Alegre, Brasil, no pudo llevarse a cabo debido a los elevados costos de desplazamiento y la logística que supone un viaje de esta magnitud.

El trabajo de campo se estructuró a partir de una metodología planificada, que incluyó la elaboración previa de un plano con puntos estratégicos de captura fotográfica, definiendo recorridos internos y externos del edificio para registrar sistemáticamente y experimentar las relaciones espaciales, visuales y cualidades constructivas de la obra. Durante la visita, se llevaron a cabo registros con cámara digital, anotaciones a mano, mediciones y algunos bosquejos que completaron y se contrastaron con la información obtenida en archivos y fuentes bibliográficas.



Figura 25. Vista exterior del acceso principal al CGAC (izquierda), Vista interior de la circulación principal (derecha).

Fuete: Autor



Figura 26. Vista detalle del muro perimetral de acceso al CGAC. Fuente: Autor

Este contraste entre la documentación textual y gráfica y la experiencia real del edificio reveló algunas discrepancias significativas y hallazgos esenciales: desde detalles constructivos poco percibidos en los planos, hasta espacialidades que se comprenden de mejor forma al recorrer físicamente del edificio. Por ejemplo, la viga metálica, en la cual se apoya el muro suroeste de acabado en granito, está compuesta por varios perfiles metálicos de diferentes dimensiones que eran difícil de entender en la planimetría disponible y pudieron ser confirmados durante la visita al museo. De igual forma, se identificaron transiciones espaciales no evidentes en la planimetría bidimensional, al igual que texturas y acabados fundamentales para comprender el carácter tectónico y material del proyecto, y relaciones visuales con la ciudad que sustentan el carácter contextual de la obra.

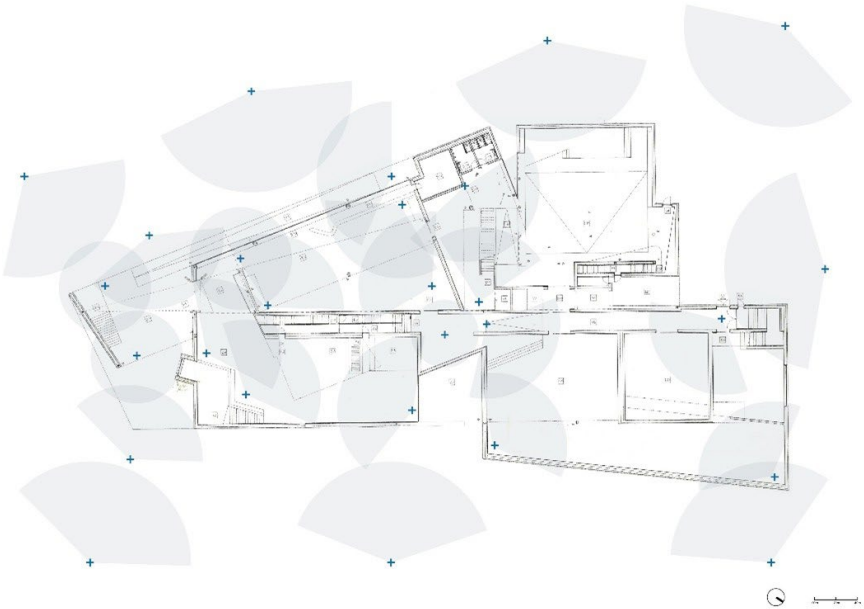


Figura 27. Mapa de puntos de captación registro fotográfico. Fuente: Autor

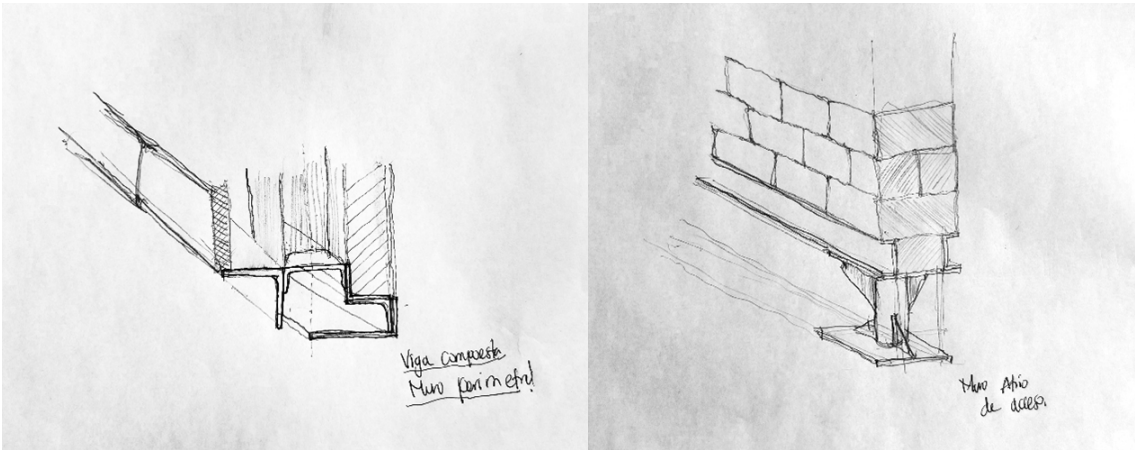


Figura 28. Bosquejos realizados durante el trabajo de campo. Fuente: Autor

Adicionalmente, se incorporaron recorridos virtuales, disponibles en línea, ofrecidos por las instituciones de ambos edificios, como herramienta metodológica complementaria. Tanto el Centro Gallego de Arte Contemporáneo como la Fundación Iberê Camargo disponen de visitas virtuales interactivas que permiten explorar los espacios interiores de los edificios con un alto nivel de detalle. En el caso del CGAC, esta

herramienta fue utilizada para profundizar el análisis posterior a la visita presencial, facilitando la revisión de aspectos tectónicos y constructivos específicos. En el caso de la FIC, cuya visita presencial no fue posible, el recorrido virtual permitió acceder de manera remota a un recorrido digital completo del edificio, facilitando la comprensión de las relaciones espaciales entre niveles y el desarrollo y lógica de las circulaciones verticales. Estas tecnologías digitales, en conjunto con el análisis documental, ofrecieron una alternativa valiosa para la comprensión espacial y constructiva de ambas obras, ampliando los alcances del estudio más allá de las limitaciones geográficas.

El trabajo de campo no se limitó a ser una actividad única de registro, sino que sirvió como herramienta analítica que posibilitó una lectura más profunda e informada del edificio, fortaleciendo el vínculo entre teoría, representación, experiencia y tecnología.



Figura 29. Visita virtual del Centro Gallego de Arte Contemporáneo. Fuente: Sitio web CGAC

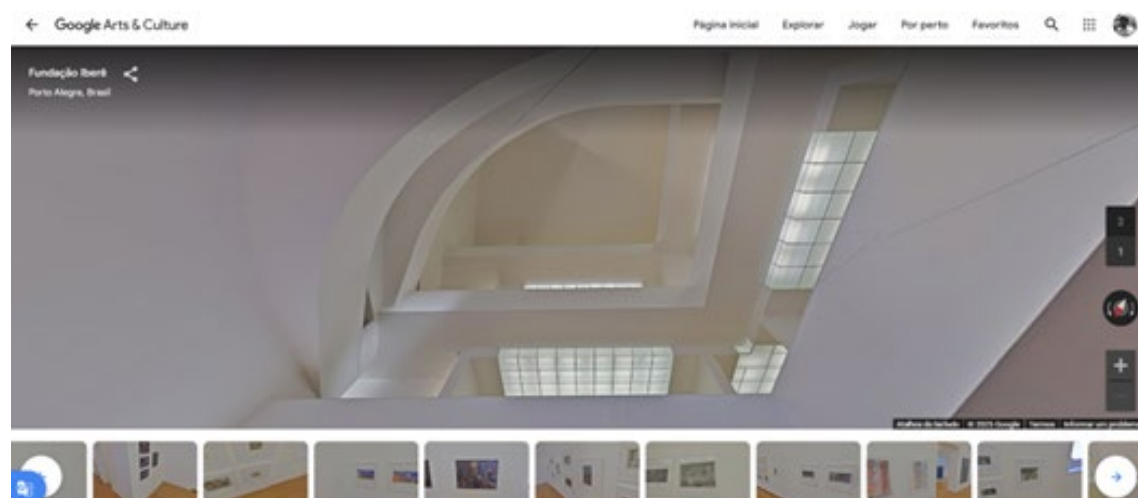


Figura 30. Visita virtual de la Fundación Ibere Camargo. Fuente: Sitio web de FIC

Dibujo (métodos, procesos y herramientas)

El dibujo, entendido no únicamente como un instrumento de representación sino como un mecanismo activo de exploración y reflexión, desempeña un papel fundamental en la metodología de esta investigación. A través de procesos gráficos,

tanto analógicos y digitales, el dibujo permite estudiar la obra a varias escalas de aproximación, verificar hipótesis proyectuales y resolver preguntas que surgen al momento de estudiar la documentación existente sobre edificio. En este sentido, se concibe al dibujo como una herramienta para el pensamiento, en donde cada trazo materializa una idea de forma rápida, creando un espacio de diálogo entre el investigador y la información consultada del objeto arquitectónico.

Al estudiar la obra de Álvaro Siza, se hace evidente la presencia de gran cantidad de bosquejos y dibujos elaborados durante el proceso de diseño, los cuales abarcan cuestiones de diferentes escalas que van desde la integración con el paisaje, el concepto y volumetría del edificio, hasta cuestiones propias de la tectónica y soluciones constructivas. El dibujo no solo actúa como herramienta de representación gráfica, sino como un medio reflexivo e intelectual que acompaña y estructura el pensamiento arquitectónico y el desarrollo del proyecto.

Tal como subraya el autor Edward Robbins en el libro *Why Architects Draw*, los bosquejos de Siza son el lugar donde “el pensamiento toma forma material”, revelando una manera de proyectar que va más allá de ideas preconcebidas, sino que se basan en un diálogo continuo entre la obra y el autor, el cual va construyendo diferentes hipótesis y soluciones a problemas arquitectónicos y constructivos. Este proceso de dibujo secuencial y constante permite que la arquitectura emerja gradualmente, no como un objeto fijo, sino como una construcción abierta a ajustes, reinterpretaciones y variaciones.

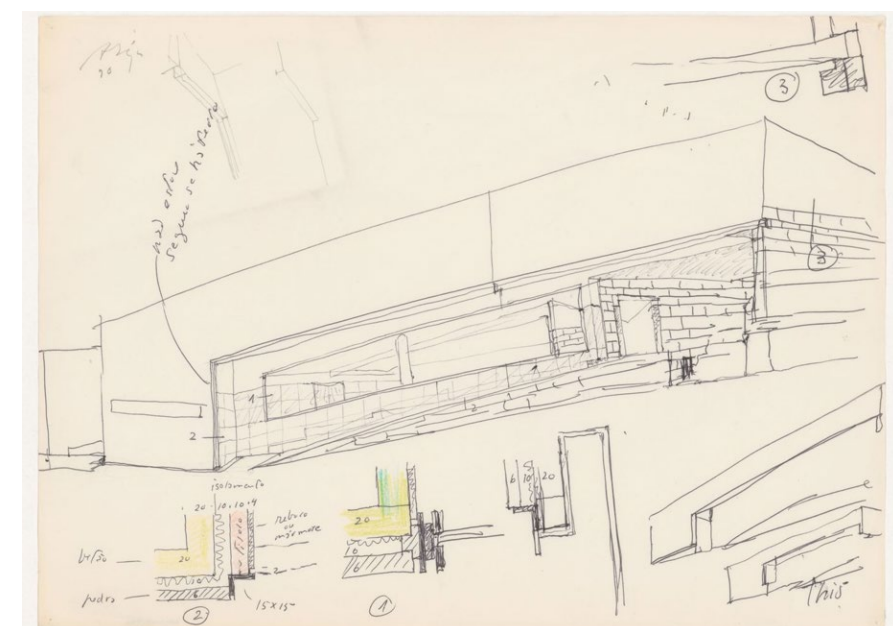


Figura 31. Bosquejos de Siza sobre el Centro Gallego de Arte Contemporáneo. Fuente: CCA

Durante la revisión y análisis crítico de la bibliográfica y la información gráfica consultadas, fueron generados una serie de bosquejos de apoyo que surgían en las reuniones con los directores y los expertos en la obra de Siza, construcción y tectónica. Estos dibujos preliminares, generalmente vinculados a la tectónica de los casos de estudio, funcionan como herramientas de clarificación de dudas al permitir

descomponer y visualizar los elementos constructivos y uniones arquitectónicas (encuentros de materiales, transiciones espaciales) que a menudo permanecen implícitos en los documentos originales o son difíciles de comprender por cuestiones de escala o representación. Gracias a su carácter exploratorio, estos bosquejos facilitan la identificación y resolución de dudas técnicas, así como la formulación de hipótesis que orientan las fases siguientes del trabajo.

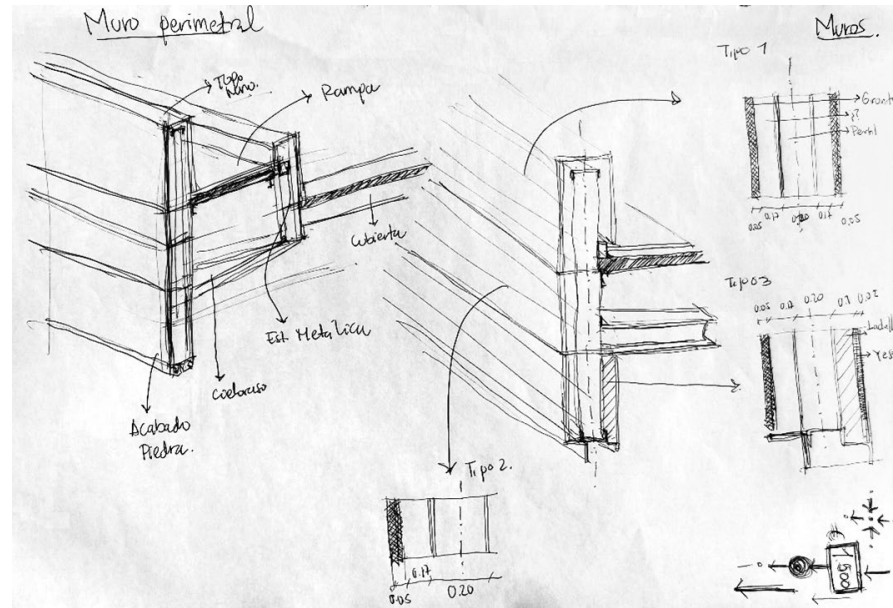


Figura 32. Bosquejos resultados de las reuniones y análisis de las fuentes bibliográficas. Fuente: Autor

Este proceso creación de bosquejos se articula en un ciclo progresivo: lectura → contraste documental → discusión con el equipo supervisor → bosquejo → modelado 3D. En cada repetición del ciclo, los bosquejos se afianzan como registros de las decisiones proyectuales y constructivas en cada obra, sirviendo como guía para el modelado 3D y la reconstrucción digital de las secciones estudiadas. De este modo, el dibujo no solo documenta el avance de la investigación, sino que se presenta en un instrumento metodológico esencial para comprender la lógica tectónica y constructiva de la obra de Álvaro Siza.

Con el fin de condensar y visualizar de manera precisa las cualidades arquitectónicas y constructivas de cada una de las obras analizadas, se optó por desarrollar una sección constructiva tridimensional representativa de cada caso de estudio. La selección de dichas secciones responde a su capacidad para sintetizar los aspectos fundamentales del sistema constructivo y la lógica tectónica de cada proyecto, actuando como una instancia clave de representación que concentra el análisis previo realizado a partir de fuentes planimétricas, bibliográficas y documentales. Estas representaciones en 3D no solo permiten un acercamiento comprensivo a la configuración material y espacial de las obras, sino que también operan como dispositivos de simplificación crítica frente a la dispersión y gran variedad de la información técnica disponible, facilitando una lectura integrada de los elementos esenciales que componen cada edificio.

Para abordar con rigor la representación de la sección constructiva y, al mismo tiempo, convertirla en un modelo didáctico accesible, se optó por una combinación de dibujos técnicos de detalle y modelos tridimensionales orientados al aprendizaje y fácil comprensión de las cualidades constructivas de cada obra. Inspirados los libros "*The Detail Of Modern Architecture*" de Edward Ford, estos modelos son concebidos simultáneamente en sección y perspectiva, permitiendo descomponer la tectónica de estas obras de Siza en sus materiales, componentes constructivos y estructurales, empleando un lenguaje gráfico claro y depurado que facilita su comprensión por parte de un público amplio, desde académicos hasta estudiantes de arquitectura.

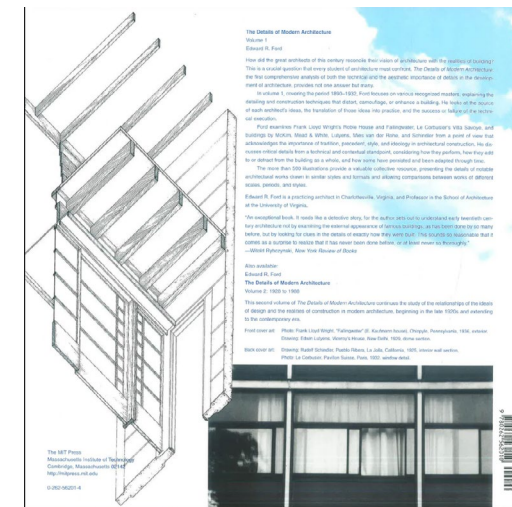


Figura 33. Libro *"The Detail Of Modern Architecture"* de Edward R. Ford. Fuente: Bookxcess

La representación de la sección constructiva adoptada ha sido concebida para conjugar la precisión técnica de la proyección ortogonal con la comprensión espacial que ofrece la visibilidad tridimensional, de modo que cada elemento constructivo y arquitectónico se muestre con la exactitud geométrica necesaria y a la vez conserve su sentido tectónico y contextual. El uso de texturas, tipos de líneas y leyendas integradas facilita la identificación inmediata de los elementos estructurales y cada uno de los materiales, mientras que la claridad gráfica asegura su accesibilidad a una gran variedad de públicos. De este modo, la sección resultante no solo actúa como un diagrama técnico para especialistas, sino también como un modelo didáctico que transmite de forma efectiva la lógica constructiva y tectónica de la arquitectura de Álvaro Siza.

La fase de construcción digital y modelado tridimensional se concibió como la recreación real de la sección representativa, trasladando al entorno digital el mismo orden de montaje que caracteriza el proceso constructivo real. Al ser este un trabajo sobre la obra de Álvaro Siza, tectónica, construcción y herramientas digitales, fue necesario encontrar un software de modelado 3D ligado a la realidad constructiva de un edificio, fue por esto seleccionamos a Revit de Autodesk, entre la gran variedad de programas de modelado 3D disponibles, pues su método de modelado está ligado intrínsecamente a la lógica constructiva y requiere conocimientos previos técnicos en construcción y materiales. Gracias a las herramientas incluidas en el

software Revit, pudimos indagar en metodologías de modelado 3D basadas en la creación de elementos paramétricos, los cuales contienen información detallada sobre materiales, dimensiones y pueden ser actualizados constantemente. Esta metodología de modelado 3D se encuentra fuertemente ligada con la realidad de muchas oficinas de arquitectura, las cuales trabajan actualmente con programas de modelado 3D para la implementación de la metodología BIM en la construcción de nuevos edificios.

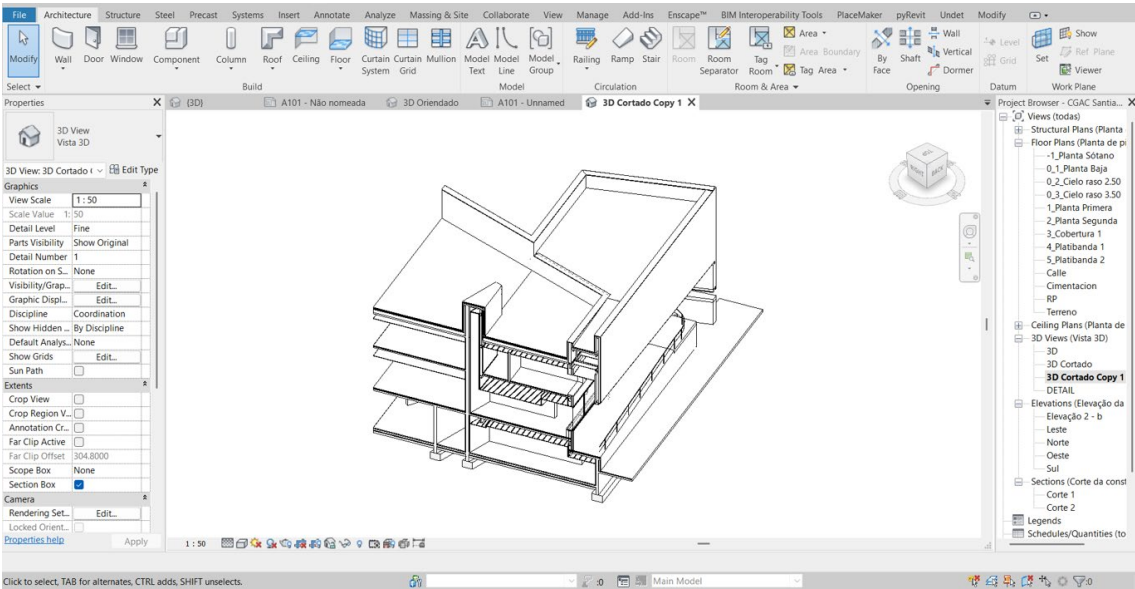


Figura 34. Modelos de construcción digital del CGAC en Revit. Fuente: Autor

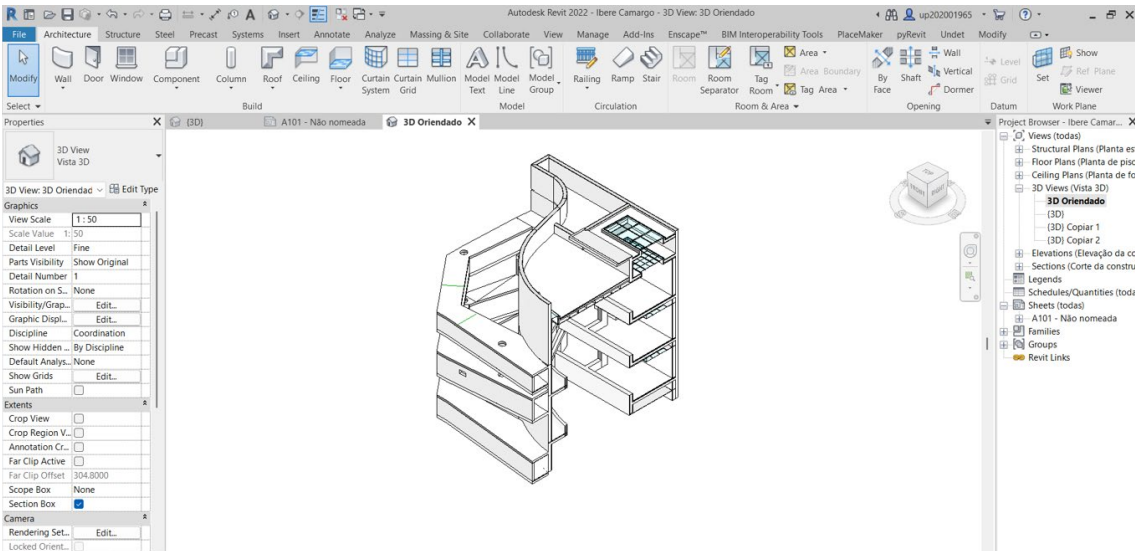


Figura 35. Modelos de construcción digital del FIC en Revit. Fuente: Autor

A partir de la información obtenida en la investigación archivística y en el trabajo de campo, se siguió una lógica constructiva de un edificio, en la cual primero se levantaron las cimentaciones, muros portantes, vigas, losas, cubiertas y muros no estructurales, para incorporar posteriormente las carpinterías y los revestimientos. Esta reconstrucción paramétrica y que sigue la lógica BIM, en la utilización de familias

y adición de información a cada uno de los elementos, se enriqueció con los datos procedentes de la planimetría original, bibliografía disponible y las observaciones in situ, de manera que cada elemento tridimensional reproduce a un gran nivel de detalle las dimensiones, materiales y sistemas estructurales de cada una de las obras.

Una vez finalizado el modelo 3D, se procedió a la generación de imágenes analíticas que evidenciaran las cualidades espaciales y tectónicas de cada una de las secciones. Se definieron perspectivas y cortes estratégicos que permitan apreciar la articulación de los materiales y la lógica constructiva; luego, el modelo se exportó a formato vectorial 2D, donde se llevó a cabo una limpieza meticulosa de líneas y una incorporación sistemática de texturas, códigos de material, leyendas en inglés y portugués y escalas gráficas. Finalmente, las vistas resultantes se exportaron en formatos adecuados para su integración en este trabajo (JPEG para presentación, PDF y DWG para documentación técnica), garantizando una representación clara y didáctica y la posible difusión de la sección constructiva estudiada.

En síntesis, la metodología de investigación ha articulado un enfoque multi-método y transversal que combina la revisión bibliográfica, la investigación archivística, el trabajo de campo, el dibujo analógico y digital, y la reconstrucción tridimensional de secciones constructivas. Gracias al cruzamiento sistemático de fuentes textuales y gráficas —desde tesis, monografías y artículos, hasta bosquejos, planimetría y modelos fotogramétricos—, se ha logrado construir un marco analítico completo, capaz de comprender la lógica tectónica y los procesos constructivos de Álvaro Siza a partir de las dos obras estudiadas. Este método no lineal ha permitido validar hipótesis proyectuales y afinar la representación técnica y didáctica de cada sección estudiada.

Método	Herramientas
Revisión de literatura	Consulta virtual (base de datos digital) - Consulta física
Investigación archivística	Consulta del archivo digital de: MoMA - CCA - Centro Gallego de Arte Contemporáneo (CGAC) - Fundación Iberê Camargo
Trabajo de campo	Visita a la obra - mediciones in situ - fotografías
Dibujo y Modelos de construcción digital	Bosquejos - AutoCAD - Revit (BIM) - Adobe Illustrator (Ai)

Figura 36. Método vs Herramienta usada en el desarrollo del trabajo. Fuente: Autor

Asimismo, la elección de modelar en 3D una sección representativa de cada edificio y de generar modelos didácticos ha proporcionado una herramienta de síntesis que concentra la complejidad documental en una instancia visual accesible y rigurosa. Al conjugar la precisión geométrica de la proyección ortogonal con la claridad espacial de la perspectiva tridimensional, se facilita la comprensión integral de los sistemas

estructurales y las articulaciones materiales de cada una de las obras. Además, estos modelos funcionan como elementos dinámicos que contienen información accesible y extensible: pueden ser completados y evolucionar en el tiempo, sirviendo de punto de partida para futuras investigaciones y fortaleciendo su valor como recurso pedagógico y de difusión y protección de la obra de Álvaro Siza.

3. Casos de estudio

Este capítulo presenta los dos casos de estudio siguiendo una narrativa que comienza con una visión general de la obra, proporcionando una contextualización inicial que luego se enfoca en las áreas específicas del edificio a estudiar. Se inicia con un análisis histórico de la obra, considerando el momento y lugar de su construcción, así como el contexto del encargo. Asimismo, se examinan las características del entorno urbano y paisajístico en el que se ubica el edificio, describiendo su composición volumétrica y geometría para, finalmente, comprender su contenido programático y su organización funcional. De igual forma, se reconocen los sistemas constructivos empleados en el edificio, así como los materiales y elementos constructivos que definen el carácter tectónico de la obra. Por último, se hace una mención a los premios y reconocimientos atribuidos, los cuales evidencian las cualidades arquitectónicas, paisajísticas y constructivas de estas obras.

Luego de una lectura de contextualización, se acerca a una sección específica del edificio representada a través de secciones constructivas desarrolladas en el software Revit 2022 en su versión educacional. Estas secciones fueron el resultado de una discusión y análisis con expertos en la obra Álvaro Siza y el campo de la construcción, puesto que son consideradas representativas de cada uno de los edificios, las cuales muestran la relación interior – exterior y evidencian las cualidades arquitectónicas y las relaciones espaciales y volumétricas de la obra. Estas secciones representan, principalmente, las soluciones constructivas particulares implementadas que, aunque no demuestran la totalidad del edificio, dan comprensión amplia de la obra.

Este tipo de obras evidencian especial atención en las soluciones tecnológicas constructivas implementadas y la aplicación de detalles constructivos y acabado de los materiales, los cuales exponen las dificultades presentes al reconstruir digitalmente este tipo de obras de autor, puesto que requieren conocimiento técnico previo, no solo desde un punto de vista constructivo, sino también la habilidad en el manejo de las herramientas digitales implementadas. Mediante el ejercicio de reconstruir digitalmente estas obras, nos interesa identificar cuáles son las soluciones constructivas que, por su singularidad, representan desafíos al momento de ser modeladas en un programa que utiliza elementos paramétricos y disponibles comercialmente. De igual forma, estos modelos sirven para ampliar conocimientos en construcción, probar herramientas digitales usadas en la metodología BIM y aportar nuevos registros de información que sirvan de apoyo a futuras investigaciones sobre estos edificios y la obra de Álvaro Siza.

Las formas de representación seleccionadas se utilizaron para facilitar una comprensión más profunda de las interacciones entre los distintos espacios y elementos que componen el edificio. Este tipo de presentación permite ver más allá de lo visible, explorando la constitución del organismo arquitectónico a través de sus elementos estructurales y constructivos. En este contexto, fueron seleccionadas dos tipos de secciones que varían en relación con la escala y nivel de detalle a ser representado.

La primera, corresponde a una axonometría vista desde un punto más alejado y de escala mayor, la cual permite ver las diferentes relaciones espaciales de los diferentes espacios del edificio y su conexión con el exterior. Cuando el tamaño del edificio lo permite, se muestran todos los pisos, desde las fundaciones hasta la cubierta dando una comprensión general de las relaciones horizontales y verticales de los espacios del edificio. De igual forma, esta axonometría evidencia la gran mayoría de elementos estructurales y la lógica constructiva de los sistemas implementados. Asimismo, permite observar los materiales de acabado de los espacios exteriores e interiores y elementos arquitectónicos como puertas, ventanas, claraboyas, rampas, escaleras, etc.

El segundo tipo de axonometría corresponde a una vista ampliada de un punto específico del edificio, principalmente una ventana, que permite ver de forma más detallada los elementos constructivos implementados. Este tipo de vista permite observar de cerca los elementos estructurales que no son visibles a simple vista, así como los materiales implementados para aislamiento y confort térmico y acústico. De igual forma, es posible observar los elementos de anclaje de las ventanas y los materiales de acabado, ayudando a un mejor entendimiento de la lógica tectónica de estas obras.

Estos modelos constructivos digitales sirven como intermediario entre el ejercicio de pensar y la realidad tangible y deben ser entendidos como un documento de reproducción digital de la realidad observable que resulta del estudio cuidadoso de diferentes tipos de información y su análisis crítica. Estos modelos integran la interpretación de los datos geométricos y dimensionales, junto con los valores formales, figurativos, arquitectónicos y espaciales, ofreciendo un análisis profundo de las características materiales y estructurales.⁴⁴ Así, el modelo no solo recopila historia, descubrimientos, debates, y conocimientos sobre materiales, elementos y sistemas constructivos, sino que también plantea interrogantes abiertas y ofrece una perspectiva complementaria para el estudio de la obra de Álvaro Siza.

⁴⁴ Centofanti, M., et al., "Architectural Heritage and 3D Models", *Computational Modeling of Objects Presented in Images, Fundamentals, Methods and Applications*, Vol. 15. Springer International Publishing Switzerland, 2014, p. 33.



3.1. Centro Gallego de Arte Contemporáneo, Santiago de Compostela, España

3.1.1. Contextualización

El Centro Gallego de Arte Contemporáneo (CGAC), proyectado por Álvaro Siza entre 1988 y 1993, afronta el reto de insertar una arquitectura moderna en el núcleo histórico de Santiago de Compostela, junto al convento de Santo Domingo de Bonaval. La estrategia de integración se apoya en el uso del granito local, material profundamente vinculado en la tradición constructiva de Galicia y capaz de establecer una continuidad visual con el tejido urbano preexistente. Para Siza, esta elección trasciende lo meramente estético: al envejecer, la piedra comparte con los edificios históricos la huella del tiempo, lo que permite que la obra no solo dialogue con su contexto, sino que se transforme en parte activa de él.⁴⁵ Más allá de esta dimensión material, el arquitecto reinterpreta la cualidad planar de las losas de granito como un recurso simbólico, evocando la solidez de la construcción tradicional al mismo tiempo que afirma una tectónica inscrita en la modernidad.⁴⁶

La paradoja surge cuando la apariencia de un volumen pétreo y macizo se revela como una envolvente de piedra despojada de función estructural, sostenida por una estructura híbrida de concreto y acero cuidadosamente oculta.⁴⁷ Este recurso no constituye un simple artificio técnico, sino una toma de posición crítica: lo esencial no es exhibir el soporte, sino articular la tensión entre lo visible y lo oculto, entre tradición y contemporaneidad. El granito deja de ser portador de carga para convertirse en revestimiento expresivo, y es precisamente en este desplazamiento donde Siza redefine la noción de tectónica. Su arquitectura no busca mimetizarse pasivamente con lo existente, sino producir un nuevo orden de continuidad, en el que materialidad, detalle y construcción se conjugan como fundamentos de una obra que se reconoce simultáneamente como parte del pasado y del presente.

El edificio se encuentra localizado en el centro histórico de Santiago de Compostela, al interior del recinto de la antigua huerta del convento San Domingos de Bonaval, paralelo a la calle de Valle-Inclán. Este proyecto sirve como elemento unificador de una operación urbanística mayor que comprende el convento de San Roque, los jardines de acceso y el convento de San Domingos de Bonaval, la Puerta del Camino y el grupo de edificios localizados entre la calle de Valle-Inclán y Rodas.⁴⁸ El CGAC a su vez funciona como edificio mediador en una zona de la ciudad compleja debido a la presencia de edificios de diferentes escalas y espacios abiertos que no siguen un plan de organización integral, logrando un equilibrio entre lo contemporáneo e histórico.

⁴⁵ Milheiro, A., et al., Álvaro Siza, *Candidatura ao Prémio UIA Gold Medal 2005*; Lisboa: Centro Editor Livreiro da Ordem dos Arquitectos, 2007, p. 210

⁴⁶ Wang, Wilfried, *Centre for Contemporary Art in Santiago de Compostela*; Domus, no. 760, 1994, p. 15.

⁴⁷ Weston, R., *Plans, Sections and Elevations: Key Buildings of the Twentieth Century*; Great Britain: Laurence King Publishing, 2005, p. 210

⁴⁸ Siza, Á., "CENTRO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE GALICIA EN SANTIAGO DE COMPOSTELA (GALICIA, ESPAÑA)", *Informes de la Construcción*, Vol. 47, no. 439, 1995, p. 44



Figura 38. Vista norte del CGAC y convento San Domingos de Bonaval. Fuente: Fernando Guerra

El CGAC fue construido por encargo de la Xunta de Galicia como parte de la iniciativa del Plan Especial de Protección y Rehabilitación para la ciudad, haciendo frente a la idea de que las nuevas construcciones debían situarse en la periferia del planeamiento especial. En este contexto, afirma Siza: "...me pidieron que 'escondiera' el museo.", por esta razón, fue evaluada la posibilidad de relocalizar el CGAC en los terrenos al norte del recinto con el fin de liberar completamente la fachada oeste del convento, declarado monumento nacional, y no comprometer su integridad. Sin embargo, esta opción fue descartada debido a que el arquitecto argumentó la importancia cívica de un nuevo edificio de arte, su capacidad para ordenar y revitalizar una zona actualmente confusa y degradada, y la intención de recuperar el orden original del paisaje urbano e histórico del convento.

En paralelo a la construcción del museo, el ayuntamiento de Santiago de Compostela le encarga a Álvaro Siza la recuperación del antiguo cementerio municipal y la huerta conventual de los dominicos para ser transformados en un parque de acceso público. En este proyecto para el parque Bonaval, en el que Siza colabora con la arquitecta paisajista Isabel Aguirre de Úrcola, fueron de gran importancia los trabajos de excavación, que permitieron preservar los muros de contención, y la búsqueda de archivos históricos que trajo a la luz una planta del XVIII la cual mostraba la lógica de articulación de los espacios exteriores. Este parque se articula por medio de una serie de rampas y escaleras, mediante un recorrido escalonado que asciende la pendiente hasta llegar al lugar elevado en la zona del bosque, llegando a ser considerado por Siza como "...una maquina perfecta de utilización de la naturaleza."

El museo está organizado aproximadamente según un eje norte-sur, su fachada oeste se encuentra alienada con la vía Valle-Inclán y su fachada este, donde se localiza el acceso principal y opuesta a las entradas del convento y la iglesia, se localiza de forma paralela al cementerio de Bonaval. El frente oeste establece un ángulo de 16° con la fachada del convento e iglesia de San Domingos y otro ángulo de 21° con

la fachada este, lo cual define el área de emplazamiento del edificio. El norte del edificio está condicionado por el muro perimetral del colegio La Salle y por la vía de Caramoniña y al sur por la vía de acceso al convento e iglesia de San Domingos.⁴⁹

Este emplazamiento, que responde a su contexto urbano y preexistencias, da como resultado dos cuerpos en forma de L y de tres pisos, cuyas alturas siguen como referencia el remate de las portadas del convento y de la iglesia de San Domingos. El primero localizado al este, se disponen, en el sótano y el primer piso, las salas de exposiciones permanentes, exposiciones temporales y espacios de apoyo de las salas. En la planta baja se localizan las zonas de acceso público no condicionado como la librería, la cafetería y la terraza de la cafetería que se abre hacia los jardines. El segundo cuerpo localizado al oeste, se disponen, en la planta baja, el pórtico de acceso, los mostradores de control, vestuario, recepción, el vestíbulo de acceso a la primera planta y el auditorio. En la primera planta, se localizan las áreas administrativas, centro de documentación y la biblioteca.

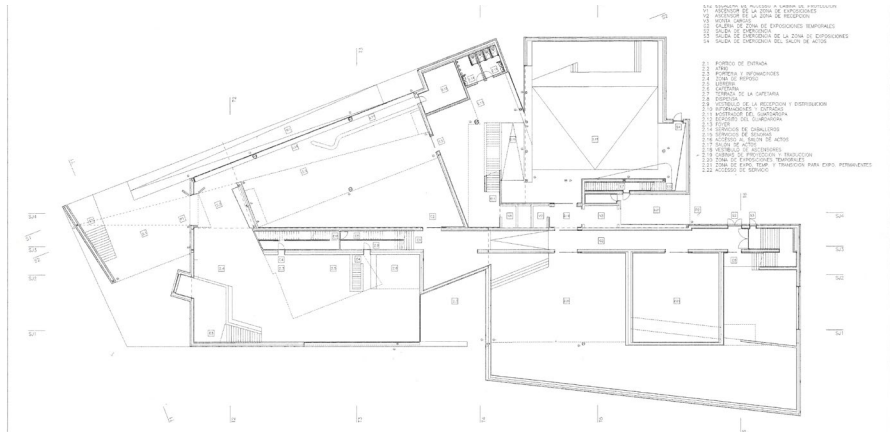


Figura 39. Planta del proyecto básico y de ejecución del nivel de acceso al edificio. Fuente: Álvaro Siza

La intersección de estos dos volúmenes, en el costado sur, crea un espacio interior de forma triangular, de doble altura y sirve como atrio receptor, espacio de transición y distribuir de luz natural en la zona central del museo. Este espacio también puede ser usado como lugar de exposición y se dispone el control del acceso a las salas de exposiciones permanentes y temporales.

La cubierta del edificio fue proyectada para ser una terraza transitable y abierta al público desde la cual se puede apreciar una vista panorámica de la ciudad y de las áreas verdes circundantes. Este espacio sirve como área de exposición de esculturas y posee un espacio de almacenamiento y apoyo a la biblioteca del museo.

Según la Memoria de Estructuras del proyecto (1991), el CGAC fue construido implementando una estructura combinada que responde a la geometría singular del edificio. Está compuesta de un conjunto de muros de concreto armado que responden

⁴⁹ Siza, Á., "CENTRO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE GALICIA EN SANTIAGO DE COMPOSTELA (GALICIA, ESPAÑA)", *Informes de la Construcción*, Vol. 47, no. 439, 1995, p. 44

a las cargas verticales y una serie de vigas de diferentes dimensiones que cubren el vano existente entre los muros. En algunos puntos, estos muros se han reforzado con pilares metálicos embebidos en el concreto, lo que ha resultado en una reducción en la dimensión de estos elementos. La estructura horizontal está compuesta por un sistema mixto de concreto – acero, formado por vigas de metálicas y losas macizas de concreto reforzado, vinculadas mediante conectores metálicos soldados a las vigas. Esta solución permite una mejor respuesta a las deformaciones y vibraciones, lo que permite una reducción del peso y materiales empleados.

En el cerramiento frontal y en aquellas zonas donde existen grandes vanos, se emplea una estructura metálica, compuesta por una gran cercha apoyada en los pilares o muros, como es el caso del muro de la fachada oeste que acompaña la rampa de acceso al edificio o la ventana de la biblioteca.



Figura 40. Vista del vestíbulo forma triangular y diferentes alturas. Fuente: Fernando Guerra

Fueron construidas tres claraboyas longitudinales en la cubierta del edificio que corresponden a las salas de exposiciones permanentes localizadas en el primer piso. El ingreso y distribución de la luz natural en estos espacios se realiza mediante “mesas invertidas” construidas en perfiles metálicos y acabado en yeso acartonado blanco. El interior de edificio es característico por presencia del color blanco que encuentra su expresión en la utilización de mármol griegos en los pisos de las áreas públicas, revoque y yeso acartonado pintados de blanco en las paredes. En las salas de exposición, la biblioteca, el auditorio y algunas áreas de circulación, fueron utilizados pisos de madera.

Según la Memoria del Proyecto, en su tercera fase en1991, los criterios de preservación y transformación definidos, con relación al entorno inmediato, influyeron en la cuidadosa selección de los materiales de revestimiento. Se optó por utilizar placas de granito, de proporciones rectangulares, en las fachadas del edificio, algunas veces variando el color de este material para permitir una clara distinción de sus diferentes volúmenes. Esta elección tuvo en cuenta las particularidades del clima de Santiago de Compostela, así como la tradición en el uso de estos materiales.

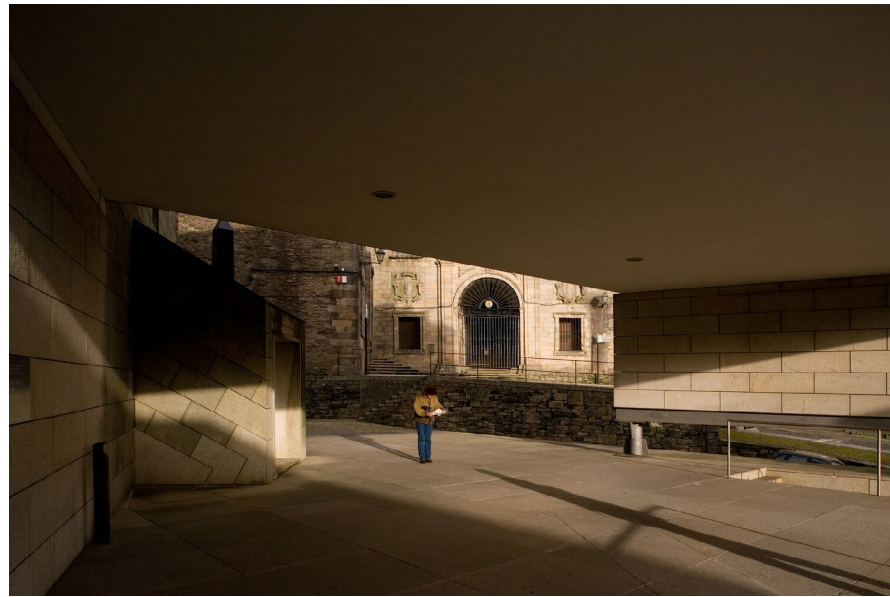


Figura 41. Acceso al CGAC, iglesia y convento de San Domingos de Bonaval. Fuente: Fernando Guerra

Los materiales de revestimiento usados en las fachadas y la cubierta permiten una mejor integración con los edificios circundantes característicos del centro histórico de Santiago de Compostela, en contraste con los tonos claros del yeso y mármol implementados en el interior del museo, los cuales son adecuados para acoger las exposiciones, además, estos espacios están iluminados naturalmente, directa e indirectamente, por aberturas en las fachadas y claraboyas en las cubiertas.

Las soluciones implementadas en la organización del sistema de exposición, el tratamiento de la luz natural y sombras controladas mediante las mesas invertidas y las claraboyas de la cubierta, servirán como referencia y se implementarán a una escala mayor y más compleja en el Museo de Arte Contemporánea de Serralves en la ciudad de Porto. Por otra parte, Álvaro Siza e Isabel Aguirre de Úrcola reciben el Premio Nacional de Arquitectura Manuel de la Dehesa en 1997, por la intervención paisajística del parque Bonaval.

El CGAC se destaca por la integración arquitectónica en un contexto histórico complejo en la ciudad de Santiago de Compostela, mediante una lectura consiente del entorno y la revitalización y ordenación de espacios públicos y edificios patrimoniales adyacentes. Este edificio demuestra la forma de combinar sistemas constructivos modernos, como las estructuras metálicas y elementos de concreto, con materiales presentes en la historia constructiva de la ciudad, como la piedra de granito, sin dejar de lado un carácter atemporal al interior expresado a través de los materiales y el ingreso de la luz natural.

3.1.2. Construcción digital

Muro perimetral de granito

El muro perimetral de granito, localizado en el costado suroeste y que acompaña el recorrido de la rampa de acceso, es considerado uno de los elementos más característicos del edificio, no solo por sus dimensiones y geometría, sino

también por su acabado en granito, el cual crea una relación por mimesis con los edificios históricos del entorno. A simple vista, podemos asumir que este muro fue construido en su totalidad por bloques de granito, sin embargo, al revistar la información planimétrica disponible, descubrimos que los elementos de granito sirven únicamente como material de revestimiento y la estructura principal de soporte está constituida por una cercha metálica que recorre toda la longitud del muro. Aunque la información planimétrica disponible permite identificar en planta los perfiles metálicos de la cercha, no existe información sobre los elementos diagonales de refuerzo o del sistema de anclaje del revestimiento en granito, por esta razón, decidimos únicamente representar en el modelo los elementos de este muro de los cuales tuviéramos información planimétrica.



Figura 42. Vista suroeste de la rampa y muro de acceso al CGAC. Fuente: Fernando Guerra

Debido a las dimensiones de este muro, tanto en su desarrollo horizontal como vertical, lo convierten en un elemento en la lectura volumétrica y general del edificio, así como en la caracterización de diferentes espacios al interior del museo. Este muro está presente en tres diferentes espacios al interior del edificio como; el recorrido de la rampa de acceso al museo y los espacios para oficinas artísticas localizados en el primer piso, el espacio de transición entre el primer piso y la terraza transitable y la rampa de acceso a la terraza exterior. Teniendo en cuenta lo anterior, podemos percibir que el desarrollo vertical de los materiales de este muro varía en relación con los espacios interiores del edificio, aunque se mantiene el acabado en granito al exterior. El muro está posado en una viga inferior compuesta de diferentes ángulos y perfiles metálicos de varias dimensiones. La primera sección interior de este muro está compuesta por un muro en mampostería de ladrillo con un acabado en yeso acartonado pintado de blanco, el cual se conecta con el cielorraso de la rampa. La segunda sección interior de este muro es donde podemos apreciar cómo se conecta a la estructura principal del edificio, esta sección no presenta ningún tipo de acabado, únicamente la ligación con las vigas metálicas de la losa del segundo piso

que se prolongan. La última sección interior de este muro está compuesta por un acabado en elementos de granito, igual al acabado implementado en la fachada, el cual acompaña el recorrido de la rampa exterior de la terraza.

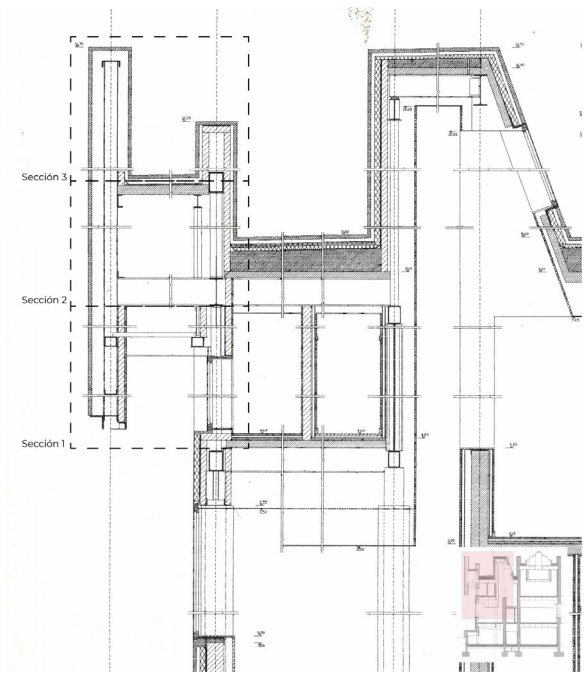


Figura 43. Corte fachada identificando el muro suroeste y sus secciones verticales. Fuente: Autor sobre dibujo de Álvaro Siza

La situación expuesta anteriormente nos obligó a encontrar la solución más adecuada para representar de forma más exacta la composición vertical, exterior e interior, de este muro. Decidimos representar los perfiles metálicos de la cercha como un elemento independiente, separado de los materiales interiores y exteriores de acabado, ya que, al momento de modelar de este proyecto, Revit no permite construir una cercha con materiales de acabado. De igual forma, al separar la cercha de los materiales de acabado, tenemos mayor independencia y flexibilidad de ajustarlos.

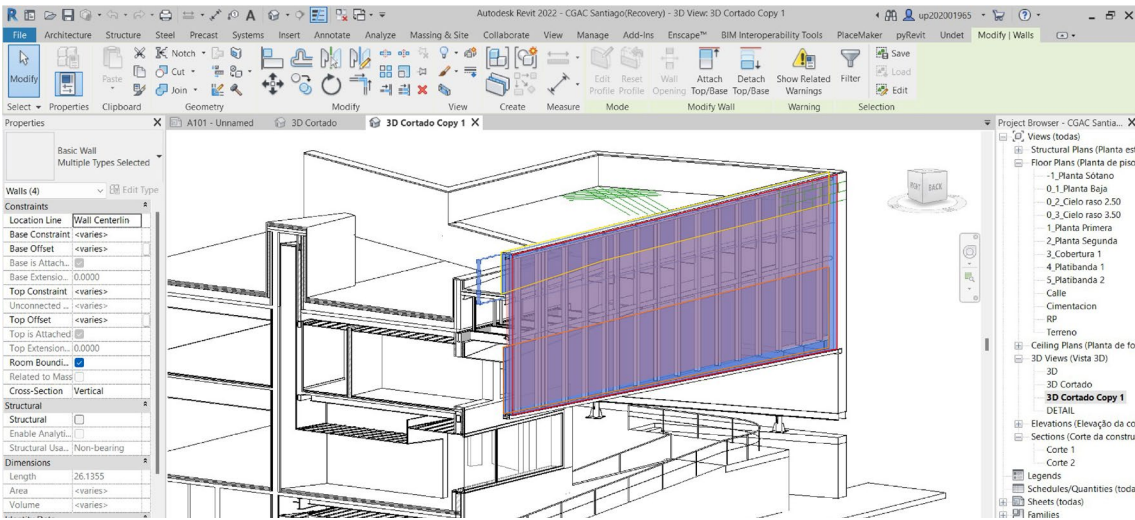


Figura 44. Identificación del plano de trabajo estructural base del muro suroeste exterior. Fuente: Autor

Para los acabados, optamos por un muro en granito continuo en el costado exterior del muro, ya que este no presenta variaciones en su desarrollo vertical. En costado inferior interior, optamos por modelar un muro de mampostería en ladrillo con acabado en yeso acartonado pintado de blanco, el cual acompaña el recorrido de la rampa de acceso al edificio. En el costado superior interior, duplicamos el muro de granito implementado en el costado exterior y ajustamos su nivel base al piso 2 siguiendo la pendiente de la rampa.

Como resultado, tenemos que el muro suroeste de acabado en granito está compuesto por 4 elementos diferentes, una cercha metálica y tres muros independientes de materiales que varían para representar los diferentes tipos acabados del desarrollo vertical del muro.

Definición nombres familia de muros

Durante el desarrollo del modelo digital, identificamos una notable diversidad de tipos de muros, tanto exteriores como interiores, utilizados en este proyecto. Para organizar mejor estos elementos y facilitar la comprensión del modelo por parte de futuros investigadores, decidimos nombrar las familias de muros siguiendo ciertos criterios específicos. Primero, clasificamos cada muro según su material principal, como granito, ladrillo, concreto, entre otros. Luego, determinamos si se trataba de un muro exterior o interior, y en algunos casos, incluimos el grosor del muro, expresado en metros. Esta metodología busca aplicar los principios del BIM con el objetivo de crear un modelo inteligente y dinámico, capaz de almacenar información numérica que puede ser actualizada continuamente, integrando diversos parámetros y sirviendo como una herramienta útil para el estudio y posible intervención en el edificio.

Definición de planos de referencia



Figura 45. Vista noroeste del muro y rampa de acceso al edificio. Fuente: Fernando Guerra

El muro exterior de granito localizado en el costado suroeste del edificio y el cual acompaña el recorrido de la rampa de acceso al museo, presenta singularidades en su desarrollo geométrico. La parte inferior del muro posee una inclinación en el nivel inferior que desciende a medida que se acerca al atrio de entrada al edificio. Este gesto arquitectónico, crea un efecto de perspectiva desde la calle el cual jerarquiza el acceso al edificio, direccionando a las escaleras exteriores. Adicionalmente, el desarrollo ascendente de la rampa que accede al edificio crea un punto de tensión entre las dos inclinaciones, la del muro y la rampa y a su vez, direcciona a los usuarios por el recorrido y el ingreso al edificio.

Esta singularidad en el muro exterior supuso algunas dificultades al momento de construirlo digitalmente, lo cual nos llevó a encontrar la forma más adecuada para representarlo tridimensionalmente. El proceso de construcción de este muro se llevo a cabo como seria en la vida real, iniciamos con la construcción de la viga metálica inferior, la cual está compuesta por varios perfiles metálicos de diferentes dimensiones. A esta viga se le debía dar la inclinación adecuada, sin embargo, Revit no permite simplemente rotar horizontalmente este tipo de elementos estructurales, por esta razón, fue necesario crear un plano de referencia (representado a modo de línea) alineado con la fachada suroeste que tuviera la inclinación correcta. Posteriormente, fue modelada la viga metálica sin ninguna inclinación, únicamente localizada teniendo en cuenta la altura en donde inicia la inclinación deseada y luego se le asignó un nuevo plano de trabajo (*working plane*)⁵⁰ basado en el plano de referencia dibujado anteriormente.

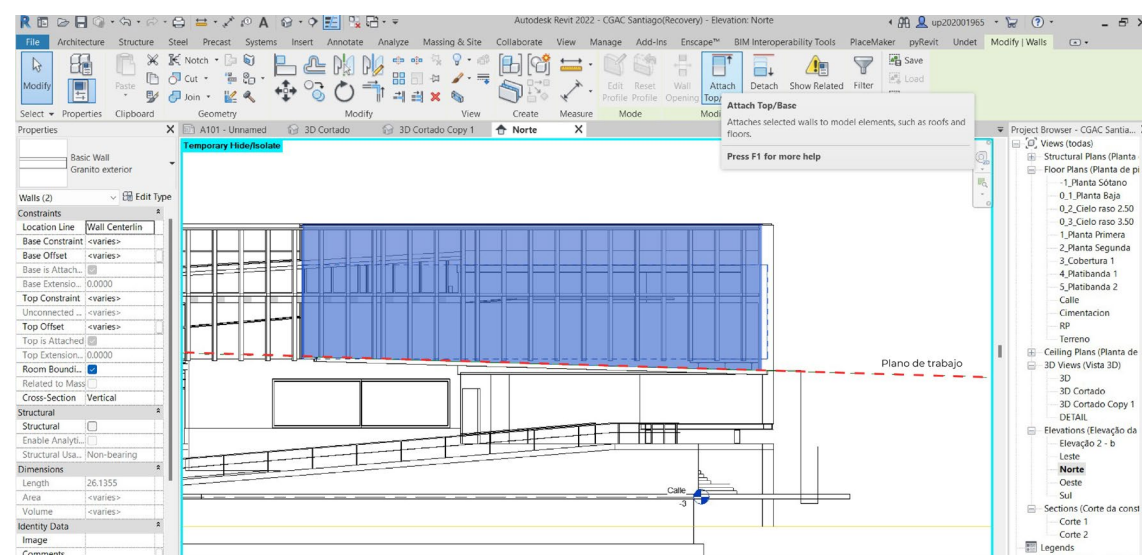


Figura 46. Definición del plano de referencia base del muro exterior. Fuente: Autor

Gracias a este proceso, se logró dar a la viga metálica la inclinación deseada y posteriormente adicionar el resto de los perfiles metálicos que la componen. Para

⁵⁰ En Autodesk Revit, el “working plane” es una superficie de referencia bidimensional utilizada para crear y ubicar elementos en el espacio tridimensional del modelo, sirviendo como base para el dibujo o modelado de objetos en diferentes vistas.

la construcción de los muros de acabado interior y exterior fue necesario modelar los muros en el nivel superior de la inclinación deseada y posteriormente utilizar la opción de “*Attach Top/Base*”⁵¹ para seleccionar como base del muro la viga metálica que ya tenía la inclinación necesaria. De esta forma, si se descubre una inconsistencia en la inclinación, se puede corregir únicamente cambiando el plano de trabajo de la viga y se ajustará automáticamente el nivel base de los muros a la nueva inclinación.

Estereotomía muro en granito

Los materiales seleccionados para el revestimiento del edificio formar parte de una intención de integración con el entorno histórico inmediato y la implementación de materiales de construcción local de la ciudad de Santiago de Compostela. Por esta razón, era de gran importancia representar de forma adecuada los elementos de granito con sus debidas dimensiones horizontales y la forma en la que se disponen los aparejos. Esto represento un desafío en la parte final del desarrollo del modelo, ya que, aunque Revit permite crear y asignar una textura a los materiales, esta textura no tiene capacidades de parametrización, razón por la cual es representada y asignada de forma aleatoria en toda el área que cubre el material.

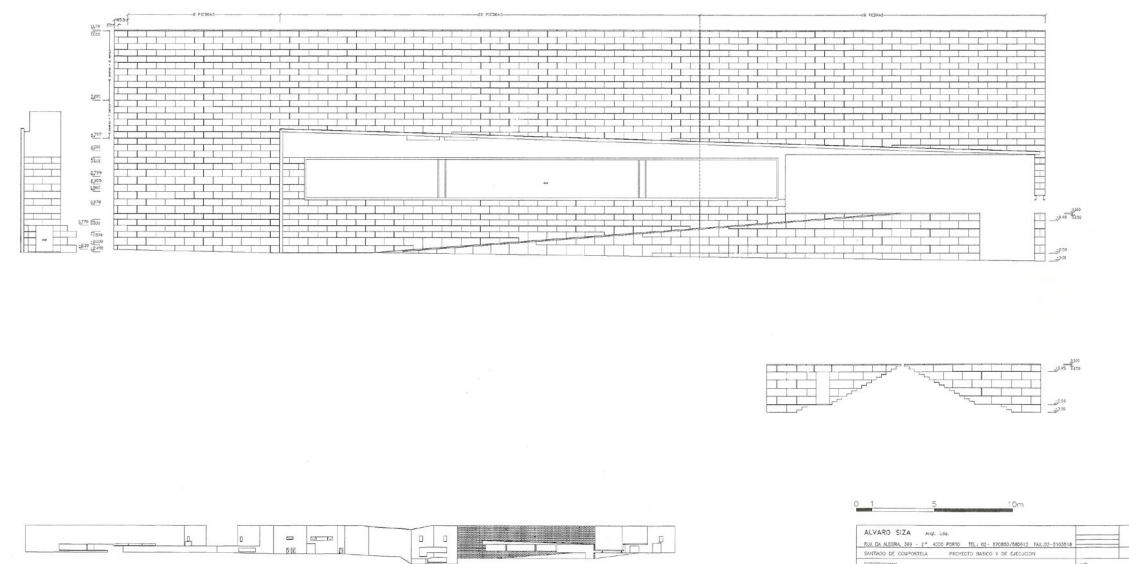


Figura 47. Piezas de granito del muro suroeste. Fuente: Álvaro Siza

Después de varios intentos sin obtener un resultado satisfactorio que ahorrara tiempo y a su vez representara de forma adecuada la estereotomía del acabado en granito, optamos por representar estas cualidades en una siguiente fase denominada “posproducción” la cual se llevó a cabo en el programa AutoCAD basado en la exportación de un archivo 2D vectorial del modelo digital. Aunque la representación de la estereotomía fue realizada en una fase posterior al modelado 3D, fue indispensable dibujar sobre el muro tridimensional los primeros arranques de los elementos en granitos para que sirvieran como referencia y fuera duplicados

⁵¹ En Autodesk Revit, el comando “Attach Top/Base” se utiliza para ajustar la altura o base de un elemento vertical, como un muro o columna, permitiendo que se extienda y se conecte automáticamente a una superficie de referencia, como un techo o un piso.

en el dibujo 2D. Para realizar este proceso, primero fue necesario escalar la fachada de detalle en AutoCAD correspondiente al muro suroeste para poder tomar las medidas necesarias y luego replicarlas en el Revit sobre el muro tridimensional. Este proceso fue aplicado tanto en muro suroeste como las losetas de acabado de los pisos de las terrazas.

Esta situación dejó en evidencia las limitaciones de Revit al momento de representar de forma realista la estereotomía de un elemento, características relevantes en la obra de Álvaro Siza. De igual forma, este tipo de obras de autor, la cuales son pensadas hasta los más mínimos detalles como, por ejemplo, el encaje de los elementos de granito de una fachada y la otra, son difíciles de representar en su totalidad mediante este tipo de programas paramétricos que utilizan soluciones y elementos genéricos comerciales los cuales pocas veces son implementados en este tipo de edificios.

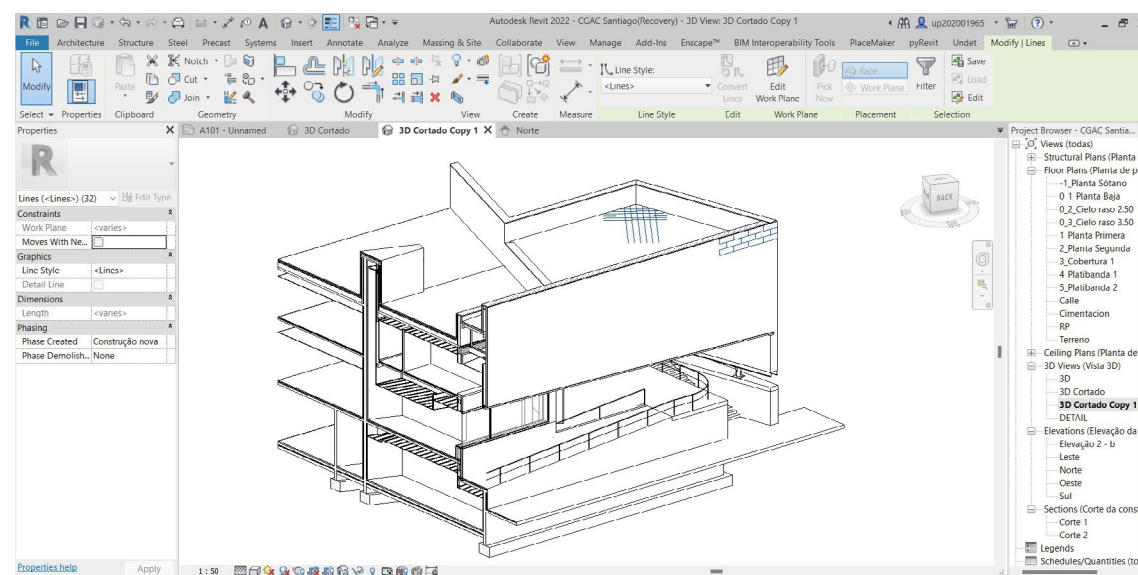


Figura 48. Identificación de los diferentes elementos que componen el muro suroeste. Fuente: Autor

3.1.3. Sección constructiva

La sección constructiva general del Centro Gallego de Arte Contemporánea de Galicia se ubica en el volumen de acceso en el costado suroeste del edificio, junto a la rampa, la escalera exterior y el muro de granito que dirige a la entrada del museo. Esta sección permite comprender las circulaciones de acceso al museo, así como la relación del edificio con la calle. Además, corta a través de cada uno de los niveles, desde el sótano, pasando por el atrio de acceso, las oficinas en el primer piso, hasta llegar a la terraza situada en la cubierta.

La elección de esta sección responde a la intención de destacar las cualidades arquitectónicas y constructivas del edificio, incluyendo detalles específicos de los sistemas constructivos y los materiales utilizados en la edificación del museo. A través de esta sección, se puede entender cómo se soporta y desarrolla estructuralmente el muro de granito en la fachada oeste, el cual acompaña el recorrido de acceso al edificio. Este muro se sostiene mediante una gran cercha metálica, conformada por perfiles verticales, horizontales y diagonales, que contribuyen a su resistencia y

estabilidad. La sección también revela cómo este muro se integra estructuralmente al edificio mediante la prolongación de las vigas metálicas de la terraza, mientras que su base está compuesta por una viga formada por la combinación de distintos perfiles metálicos.

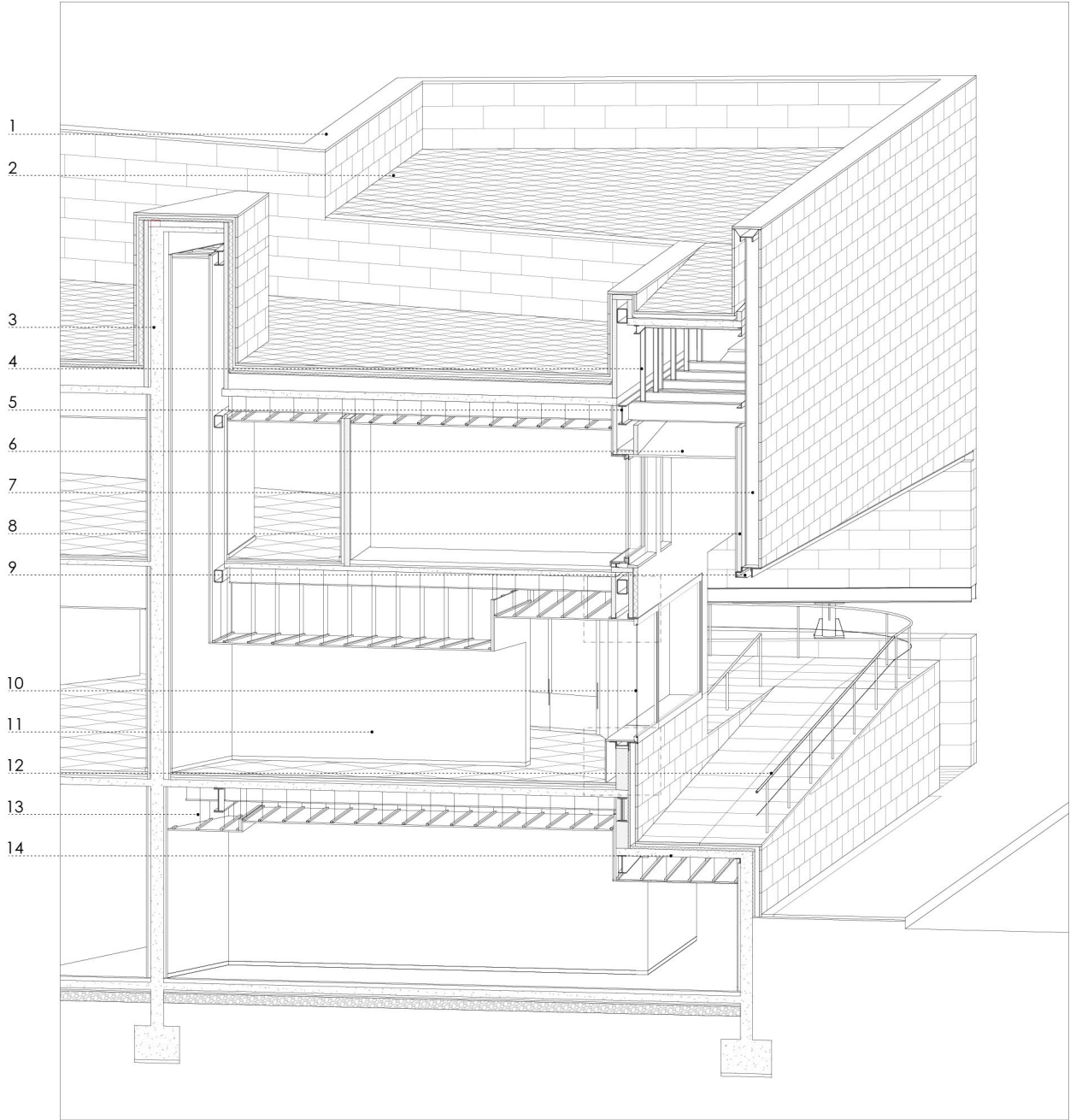
Otro aspecto clave que se destaca en esta sección es la relación espacial y la interacción entre el interior y el exterior del edificio. Se observan diferentes alturas en los espacios interiores del museo, producto de la implementación de cielos rasos a diversas alturas, así como las relaciones geométricas de los volúmenes arquitectónicos. También se evidencian las conexiones espaciales entre los distintos ambientes. En el nivel de acceso, la relación interior-exterior se genera a través de una amplia apertura horizontal que acompaña la fachada y el recorrido de la rampa de entrada y es construida por marcos de madera con acabado en laminas metálicas y paneles de vidrio de grandes dimensiones. Además, se identifican una serie de espacios que, aunque forman parte del edificio, se encuentran en el exterior cubierto y tienen carácter público, como la rampa, la escalera de acceso y el atrio exterior. Estos espacios están definidos por elementos arquitectónicos acabados en granito, en consonancia con los edificios históricos de la zona.

Finalmente, esta sección expone los materiales utilizados y los diferentes acabados de los espacios del museo. El granito se emplea en los acabados exteriores, tanto en los muros como en los pavimentos, y a través de la sección podemos apreciar su forma geométrica y algunas particularidades propias de la estructura del edificio, como la inclinación en la parte inferior del muro oeste, que direcciona al acceso y refleja la pendiente de la rampa. De igual forma, queda en evidencia como en los espacios interiores se opta por un acabado más liso, gracias a la implementación del sistema pladur y paneles de yeso acartonado pintado de blanco.

La sección constructiva de detalle muestra la estructura de la ventana del atrio de acceso, donde se encuentra el mostrador del museo. Esta sección permite observar con precisión la relación entre los distintos elementos constructivos, sean estructurales o no, así como los materiales utilizados en la construcción del edificio.

Uno de los aspectos clave que esta sección revela es la diversidad de sistemas constructivos empleados, como las losas de concreto reforzado y las vigas metálicas. Además, se evidencia el uso de materiales de cerramiento como la mampostería de bloque, que presenta diferentes dimensiones y no mantiene continuidad a lo largo del desarrollo vertical del muro.

La sección en detalle también permite analizar los acabados y su ejecución constructiva. En los techos, se utilizó un sistema de yeso acartonado, vinculado estructuralmente con la ventana mediante un sistema de anclaje suspendido con perfiles metálicos. Asimismo, se aprecia el uso de mármol en los pisos y muros interiores del museo, mientras que el exterior del edificio cuenta con un revestimiento en paneles de granito.



CENTRO GALLEGO DE ARTE
CONTEMPORÁNEO

1. Remate superior en piedra

2. Revestimiento de piedra del pavimento

3. Muro de concreto armado

4. Estructura metálica de la rampa

5. Perfil metálico "I"

6. Falso techo de yeso laminado hidrófugo

7. Perfil metálico "H"

8. Alvbñeria de bloque ligero con acabado en yeso laminado hidrófugo
9. Perfiles metálicos del dintel

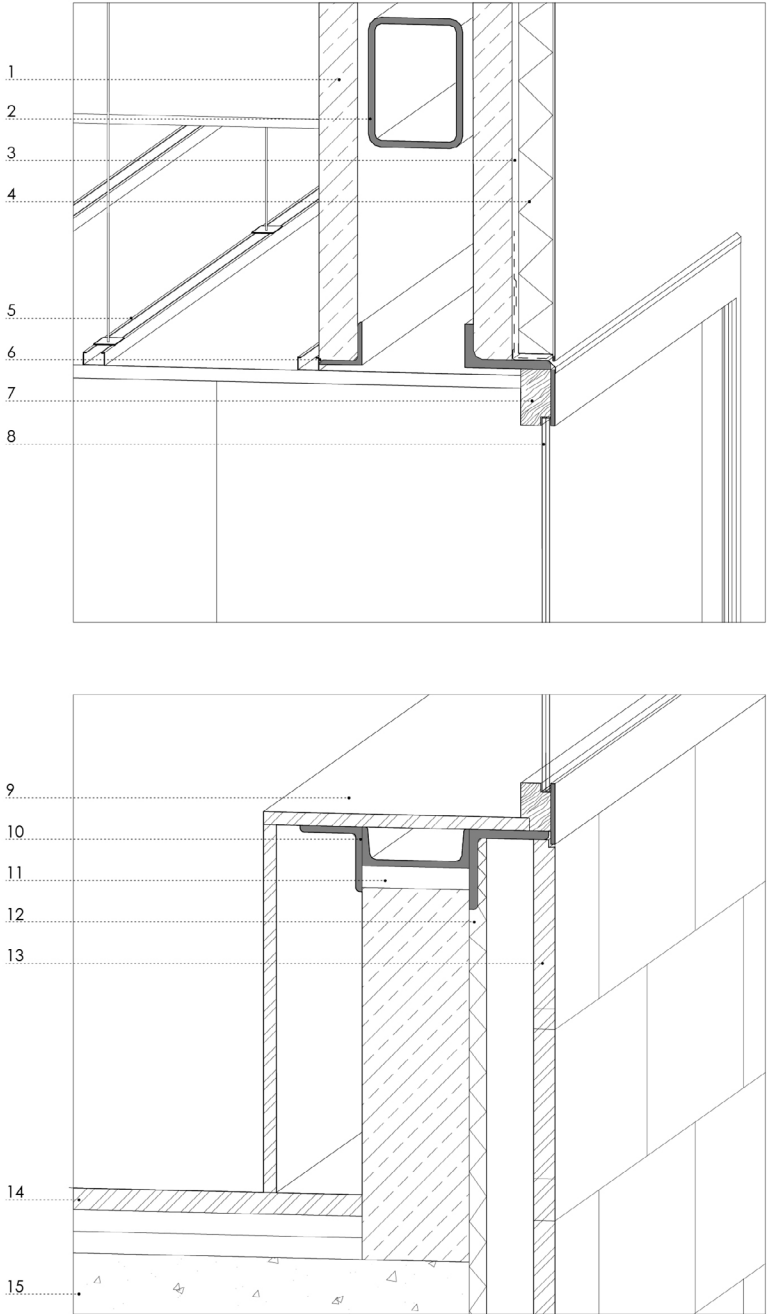
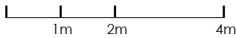
10. Carpintería exterior en hierro y madera con vidrio doble

11. Revestimiento en mármol

12. Barandilla exterior metálica

13. Estructura metálica del falso techo de yeso laminado

14. Losa de concreto armado rampa



CENTRO GALLEGO DE ARTE
CONTEMPORÁNEO

1. Albañería en bloque ligero

2. Perfil metálico tubular rectangular

3. Membrana de impermeabilización

4. Sistema ETICS

5. Estructura metálica del cieloraso falso en yeso laminado

6. Escuadra metálica de apoyo de la albañilería

7. Carpintería exterior en hierro y madera
8. Vidrio doble

9. Remate superior en mármol

10. Perfiles metálicos de apoyo del antepecho

11. Mortero de regularización

11. Aislamiento térmico

12. Revestimiento exterior en granito

13. Revestimiento interior en mármol

14. Losa de concreto armado





3.2. Fundación Iberê Camargo, Puerto Alegre, Brasil

3.2.1. Contextualización

La Fundación Iberê Camargo (FIB), proyectado por Álvaro Siza entre 1998 y 2008, constituye uno de los hitos en la trayectoria de Álvaro Siza y se erige como manifiesto de una arquitectura llevada a un estado de depuración esencial. Su inserción en la ladera frente al río Guaíba no responde a la lógica de la mimesis con el entorno inmediato, sino a la voluntad de generar un espacio autónomo y absoluto, donde la materialidad del concreto blanco se convierte en soporte, límite y lenguaje a la vez.⁵² En esta obra, la tectónica no se expone a través de la literalidad del ensamblaje constructivo, sino mediante una estrategia de ocultamiento y fluidez: las instalaciones desaparecen de la vista, los muros se imponen como volúmenes continuos, y la construcción se reduce a lo estrictamente necesario para intensificar la experiencia espacial. El edificio no busca justificar su presencia a través de ornamentos ni alardes técnicos, sino que plantea una arquitectura existencial, en la que la técnica se somete a la creación de un espacio puro, capaz de sostener tanto la memoria del pintor que honra como la universalidad de la disciplina arquitectónica.

En una entrevista, Álvaro Siza subraya que toda decisión material en arquitectura constituye un lenguaje constructivo, capaz de oscilar entre lo “disonante” y lo “cortés”. Para el arquitecto, la adopción de una estructura, un revestimiento o una técnica no responde al capricho del proyectista, sino a una reflexión crítica sobre el contexto.⁵³ Trabajar en entornos históricos, señala, puede implicar tanto la continuidad con la tradición como la ruptura consciente con ella, pero en ambos casos la opción debe estar cuidadosamente calculada y nunca derivar de un gesto arbitrario. Esta postura evidencia que en la obra de Siza —ya sea mediante la resistencia pétrea del granito en el CGAC o el concreto blanco en la Fundación Iberê Camargo— la materialidad no es un recurso aislado, sino el soporte de un lenguaje tectónico deliberado, donde la elección entre continuidad y fractura se convierte en un acto crítico que articula la relación entre arquitectura, tiempo y lugar.

El edificio para la Fundación Iberê Camargo se encuentra localizada al sur de la ciudad de Porto Alegre, en Brasil, a un costado de la avenida Padre Cacique, la cual recorre el lago Guaíba, y junto a una ladera escarpada y de gran pendiente que antes funcionaba como pedrera. Su entorno circundante es principalmente natural y con pocas construcciones cercanas, convirtiendo al edificio en un elemento que sobresale en el paisaje urbana de la ciudad.

⁵² Moneo, R., “Siza fiel a Siza”, *Cadernos d’Obra Revista Científica Internacional de Construção*, No. 2, 2010, p. 25-26.

⁵³ Siza, Á., entrevista en *Cadernos d’Obra Revista Científica Internacional de Construção*, No. 2, 2010, p. 14.



Figura 52. Vista norte de la Fundación Iberê Camargo. Fuente: Funete: Fernando Guerra

A finales de los años noventa, la Fundación Iberê Camargo, convocó un concurso de arquitectura para la construcción de un nuevo edificio como nueva sede cultural de la Fundación. Su colección alberga los archivos y la obra del pintor brasileño Ibere Camargo, además de acoger exposiciones temporales y actividades educativas y seminarios. La propuesta de Álvaro Siza Vieira ganó el primer premio del concurso en 1998, lo que le permitió construir su primer proyecto en Brasil, siendo un museo bastante singular y escultórico si se compara con las propuestas para los museos europeos, como el Centro Gallego de Arte Contemporánea de Galicia o el museo de Arte Contemporáneo de Serralves. Este proyecto no es ajeno al legado del modernismo brasileño, con una gran libertad y extroversión formal, una arquitectura cuya influencia se deja sentir en su obra desde hace mucho tiempo. Este edificio fusiona las influencias de la escuela de São Paulo, de Vilanova Artigas, Lina Bo Bardi y Paulo Mendes da Rocha, así como de la escuela carioca de Niemeyer. Este proceso de hibridación expresiva también está sujeto a una síntesis formal, personal, que resulta en la cohesión a través de la reducción expresiva de los materiales, en este caso el concreto armado, como ha sido el caso a lo largo de su carrera.⁵⁴



Figura 53. Planta del proyecto de ejecución del nivel tres. Fuente: Álvaro Siza

⁵⁴ Carvalho, R., "Museu para a Fundação Iberê Camargo", *Jornal dos Arquitectos*, Vol. 220-221, 2005, p. 98.

El museo está localizado de forma paralela a la avenida y la ladera sur, acentuando una dialéctica entre su disposición horizontal y marcada verticalidad. El proyecto está compuesto por una plataforma longitudinal, localizada a 0,60 m del nivel del terreno, la cual recorre toda el área del lote y sobre la cual se disponen el resto de los volúmenes programáticos. El volumen principal, de cuatro pisos y de mayor altura, este compuesto por una pared ciega y casi regular en el costado de la ladera, en contraste de la pared curva y ondulante sobre el costado del lago. El muro curvo se levanta en la altura total del edificio y delimita el atrio de acceso y espacio principal. Sobre este costado del edificio se disponen tres rampas que guían la circulación interna del museo, consideras el elemento formal más singular del edificio y brindando características escultóricas al mismo. Estas rampas, que parecen desafiar la gravedad al estar suspendidas del edificio, crean una relación por contraste geométrico con el muro curvo y generan un vacío exterior que define el espacio de acceso y abraza el volumen principal del edificio. En costado norte, se disponen una serie de volúmenes de un solo piso y de formas irregulares que contienen actividades de apoyo a la fundación.

El volumen principal alberga el atrio de acceso, de gran altura, así como las salas de exposiciones permanentes, exposiciones temporales y espacios de apoyo de las salas. Las salas están organizadas alrededor del vacío central del edificio y se encuentran conectadas por dos escaleras localizadas en los extremos del edificio y una serie de rampas interiores y exteriores. Los corredores de todos los pisos pueden ser abiertos o cerrados al vacío central gracias a la disposición de una serie de paneles que permite flexibilidad a estos espacios. En el nivel -1, se dispone de un espacio que funciona como auditorio y de los archivos de la fundación.

Una de las características importantes de este proyecto es el control de la luz natural y artificial que se da a partir de la localización estratégicas de pequeños vanos en el muro curvo y las rampas, o gracias a la disposición de claraboyas en la terraza transitable, que implementa mesas invertidas, solución aplicada en proyectos anteriores como el Centro Gallego de Arte Contemporánea de Galicia o el museo de Arte Contemporáneo de Serralves.

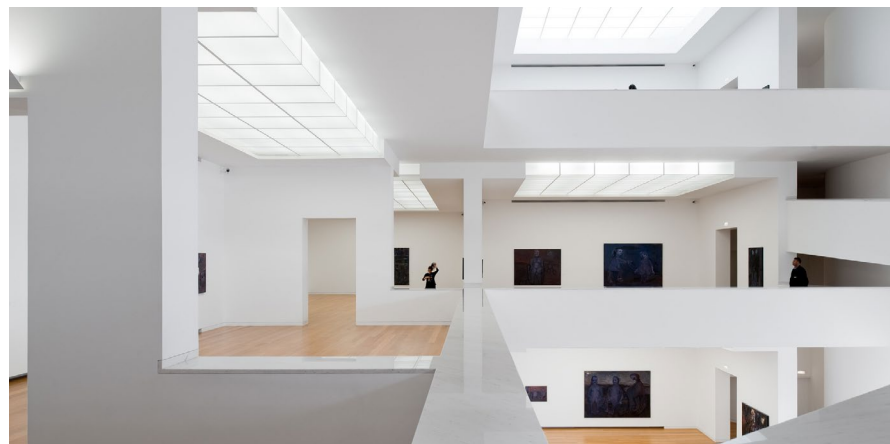


Figura 54. Vista del vacío del atrio de acceso al edificio. Fuente: Fernando Guerra

Los tres volúmenes localizados en el costado norte del proyecto albergan los espacios de apoyo a la fundación, tales como la cafetería y las oficinas de arte. La plataforma localizada al nivel inferior de la cota del terreno y debajo de la avenida circundante, sirve para albergar los parqueadores.

La Fundación Iberê Camargo está construida en fundaciones, losas y paredes estructurales de concreto armado de tonalidades claras, los cuales exhiben los módulos del encofrado como una expresión de su construcción y refuerzos horizontales en perfiles metálicos para las losas. En el nivel subterráneo del parqueadero, se emplearon pilares de concreto reforzado de sección circular para garantizar la estabilidad y resistencia necesarias.

La construcción de esta estructura representó grandes desafíos para los constructores locales, ya que, este tipo de soluciones estructurales presentes en la obra de Álvaro Siza eran comunes en Europa pero no eran utilizados ampliamente en Brasil.⁵⁵ El plano de ejecución desarrollado por el equipo de constructores plantea la elaboración de las paredes y losas interiores en concreto blanco, seguido de los muros del costado del terreno, luego el muro curvo del frente principal y por último las rampas exteriores.



Figura 55. Construcción de la Fundación Iberê Camargo vista desde el atrio y las rampas interiores. Fuente: Archivo FIC

Las rampas exteriores, las cuales funcionan como tubos de concreto, fueron construidas en la fase final del proyecto, ya que, en esta etapa del proyecto, el equipo ya estaba familiarizado con la construcción con concreto blanco a la vista. Para la construcción de la cubierta, fueron utilizados refuerzos horizontales mediante vigas metálicas que alcanza hasta los 18 metros de longitud y 30 centímetros de altura. Debido a ser concreto blanco a la vista, fue necesario un planeamiento adecuado de la modulación de los elementos de encofrado, resultando en 12 niveles de paneles de encofrado de

55 Kiefer, F. (Ed.), *Álvaro Siza: Fundação Iberê Camargo*; São Paulo: Cosac & Naify, 2008, p. 139.

proporciones rectangulares dispuesto en la vertical. Todo el proceso de construcción de la estructura principal del edificio fue completado en doce meses de trabajo continuo.

En el interior, las paredes de concreto se han recubierto con aislamiento térmico mediante una capa de lana de rocha, seguido de un acabado con el sistema “Pladur FON 13”, utilizando paneles de yeso pintados de blanco. Los pavimentos están revestidos con madera en las áreas de circulación y espacios comunes, mientras que en las instalaciones sanitarias y las dos escaleras de emergencia se ha optado por el mármol blanco, característico en la obra de Siza.

La cubierta de los tres edificios anexos y del edificio principal se ha construido con losas de concreto reforzado planas, aisladas térmicamente, con un acabado de gravilla. Sin embargo, destaca la cubierta del edificio principal, que cuenta con cuatro claraboyas que permiten el ingreso de luz natural a las salas de exposición y al atrio central.

Con este proyecto, Álvaro Siza recibe el premio León de Oro de la Bienal de Arquitectura de Venecia en el 2002 y el premio Mies Crown Hall Américas en el 2014. Además de exponer grandes nombres del arte brasileiro, en los últimos años, la Fundación realizó exposiciones en conjunto con otras instituciones, como la Fundación Cisneros y el Museo de Arte Moderno de Nueva York (MoMA).

La Fundación Iberê Camargo se destaca por la integración arquitectónica en un contexto natural y característico de la ciudad de Porto Alegre, mediante una propuesta singular que explora sus ideas escultóricas y formales mediante la integración de referentes nacionales. Este edificio presenta soluciones constructivas innovadoras que permiten la materialización de espacios y elementos singulares únicos de la obra de Álvaro Siza. Este museo es de gran importancia en la trayectoria constructiva del arquitecto, ya que, implementa soluciones constructivas y arquitectónicas presentes en otras obras importantes, tales como el Museo de Arte Contemporáneo de Serralves o la biblioteca pública de Viana do Castelo, y a su vez, permite una gran libertad creativa explorando la relación entre la arquitectura y otras artes.



Figura 56. Acceso al Fundación Iberê Camargo y vacío y rampas exteriores. Fuente: Fernando Guerra

3.2.2. Construcción digital Pendiente cubierta

La Fundación Iberê Camargo se caracteriza por exploración volumétrica y la relación que existe entre una geometría más regular, en el costado sur, y una geometría más orgánica en el costado norte. Estas relaciones geométricas, resultan en una planta irregular presente en todos los pisos del edificio, incluyendo la cubierta transitable, en donde se localizan tres claraboyas para el ingreso y distribución de luz natural. Durante el modelado digital de la cubierta, encontramos grandes dificultades al replicar la pendiente exacta presente en la capa de concreto de nivelación, la cual tiene una pendiente con una diferencia de 21 centímetros entre su lado más alto y su lado más bajo.

El primer desafío al momento de modelar la cubierta fue replicar su forma en planta, para ello fue necesario dibujar en AutoCAD, basado en la planimetría oficial, su forma en planta y luego importarla en Revit para usarla como referencia. Fue utilizada la familia genérica de cubierta, aunque al momento de asignar la pendiente de forma convencional mediante la opción de pendiente (*Slope arrow*) nos dimos cuenta de que era asignada una pendiente uniforme en todos los costados de la cubierta y todos los materiales que la componen. Sin embargo, la pendiente de la cubierta es ejecutada con un concreto de nivelación, es el cual es leve y ligero, para no aumentar el peso propio de la losa.



Figura 57. Vista interior de la cubierta desde el vacío del atrio de acceso. Fuente: Fernando Guerra

Para solucionar este problema, Revit posee otra herramienta que permite modificar la cubierta mediante la adición de puntos de control que sirven para triangular este tipo de superficie y adicionar alturas diferentes a cada punto. De igual forma, esta herramienta permite seleccionar el material al cual se le va a aplicar la modificación de la pendiente, en este caso el concreto de nivelación. Fue necesario crear una serie de puntos de control en el perímetro de la cubierta y asignar la altura deseada al punto que se encontraba bajo del nivel establecido y con la ayuda de una sección de la cubierta, ir localizando los otros puntos y asignándoles la altura correspondiente. Mediante este proceso logramos replicar la forma constructiva de la cubierta,

aunque una desventaja de este método es que, al final, la cubierta muestra las líneas de triangulación de la superficie que luego se deben esconder manualmente o borrar al momento de la posproducción y creación de imágenes finales.

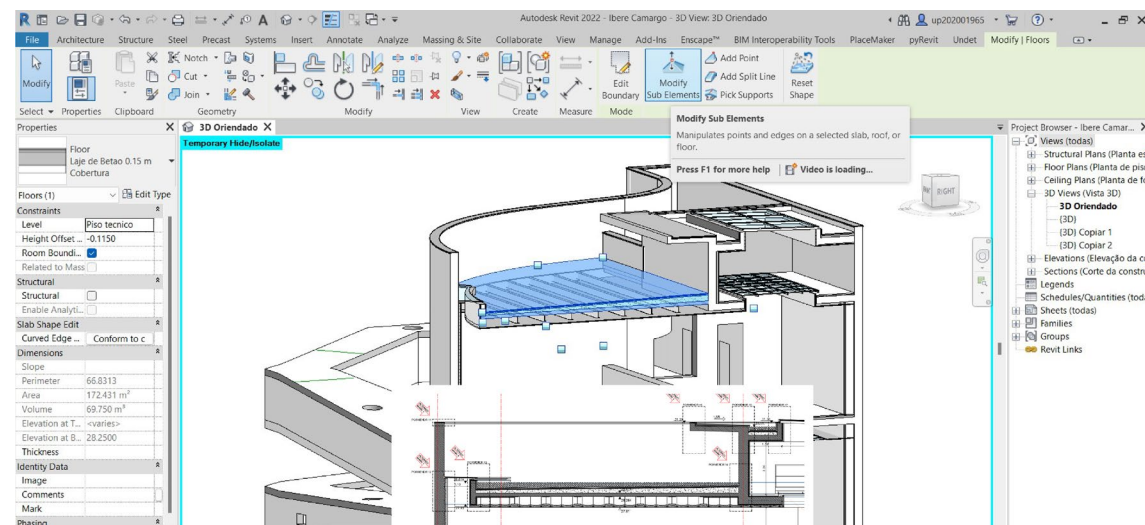


Figura 58. Comparación de la cubierta modelada tridimensionalmente y un corte transversal. Autor

Muros curvos rampas

Una de las características notables del atrio interior del edificio son las rampas que recorren el perímetro del vacío. Estas rampas están definidas por una serie de muros curvos a modo de antepecho que acompañan su corrido. Durante el desarrollo del modelo digital, encontramos dificultades al modelar estos muros que, no solo varían en su geometría en planta, sino también en su altura al estar seguir la pendiente de la rampa.



Figura 59. Vista de las rampas y muros desde el atrio de acceso. Fuente: Fernando Guerra

Para modelar estos elementos fue necesario utilizar otra metodología de modelado presente en Revit denominada “Place mass”, localizada en la ventana “Massing and Site”, la cual permite crear geometrías orgánicas y curvas que son difíciles de alcanzar

mediante los métodos tradicionales. Una vez seleccionada la herramienta, definimos el plano de trabajo, en este caso el nivel donde queremos que inicie el muro, luego dibujamos la forma en planta que queremos mediante una “spline”⁵⁶ siguiendo el costado externo de la rampa. Después asignamos la altura necesaria y creamos el plano que contiene la forma y altura que queremos. Una vez creada la superficie base, en la ventana “Massing and Site”, seleccionamos el tipo de familia que queremos crear, en este caso muro, luego seleccionamos el plano base y automáticamente se crea un muro de la misma forma y altura al plano base.

Una vez realizado este procedimiento, debemos de ajustar la altura y la base del muro, el cual sigue el recorrido de la rampa. Para esto, debemos crear dos vacíos y aplicarlos en la parte superior e inferior del muro respectivamente. Gracias a este procedimiento, podemos replicar la forma exacta de los muros de antepecho de las rampas con sus materiales respectivos. Sin embargo, este proceso no permite hacer otro tipo de modificaciones a los muros resultantes tales como, colocar un elemento superior de remate a modo de capacete o unir el muro con la rampa para crear el encuentro entre los materiales tal como se haría en la construcción real.

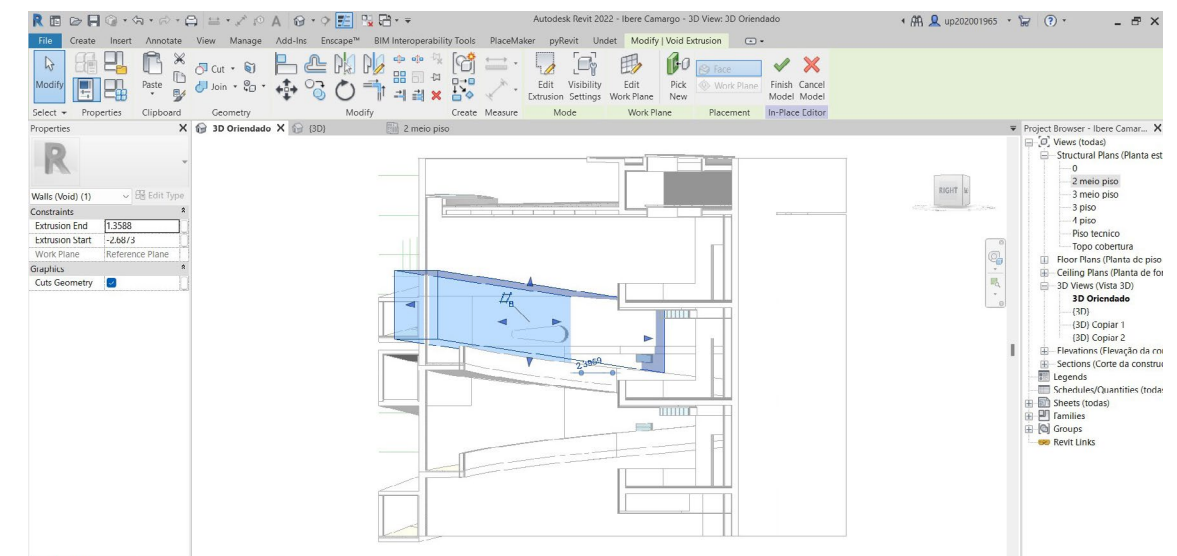


Figura 60. Edición de los muros de las rampas mediante la creación de vacíos. Fuente: Autor

Unión entre muros y losas de piso

Otra de las dificultades que encontramos de forma repetida al momento de desarrollar los modelos digitales, fue la creación de uniones adecuadas y consecuente con la realidad constructiva de los edificios. Esta dificultad estuvo presente entre la unión de elementos horizontales, como losas y cubiertas, con elementos verticales, como muros. Uno de los objetivos de estos modelos es representar los materiales y sistemas constructivos empleados en los proyectos estudiados, razón por la cual era indispensable entender la unión de los materiales y elementos constructivos.

⁵⁶ En Autodesk Revit, una spline es una curva continua y suavemente interpolada que se define mediante un conjunto de puntos de control. Se utiliza para representar trayectorias curvas complejas dentro del entorno de modelado, permitiendo el diseño de geometrías libres u orgánicas con mayor precisión.



Figura 61. Vista de las rampas y muros curvos del perímetro del vacío central. Fuente: Fernando Guerra

Un ejemplo de esta dificultad en la unión de varios elementos se puede ver entre las rampas y los muros de parapeto que acompañan el recorrido de las rampas. Después de consultar algunos blogs sobre Revit e información disponible online, concluimos que la geometría misma de las rampas y los muros dificulta la unión adecuada de estos elementos, cuestión que no se coloca cuando la forma de estos elementos es regular. Adicionalmente, al haber creado los muros de antepecho de las rampas a través de una metodología de modelado diferente a la convencional, creemos que la familia de muros puede perder algunos de sus parámetros y funciones, lo cual se ve reflejado al momento de unir estos elementos con las rampas.

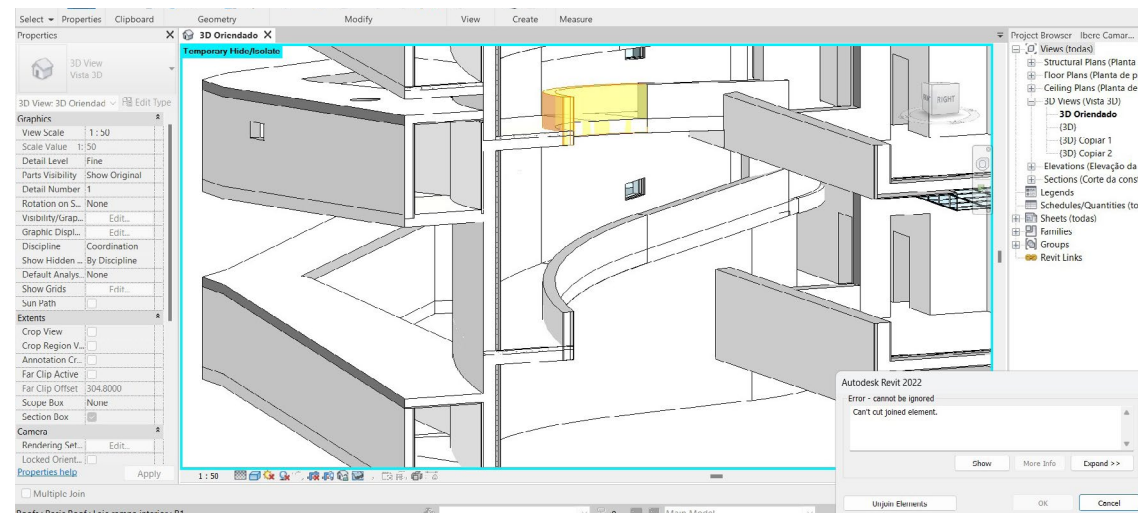


Figura 62. Alerta de la imposibilidad de crear una unión entre la rampa y el muro. Fuente Autor

Teniendo en cuenta la situación presentada anteriormente, optamos por crear estas uniones en una segunda fase de posproducción llevada a cabo en el programa AutoCAD, una vez que el modelo fue exportado en un archivo vectorial 2D. Esta

situación representa una de las desventajas de la utilización de programas de modelado BIM, los cuales aún deben ser desarrollado de tal forma que permitan trabajar con geometrías más complejas y menos regulares.

Líneas del encofrado del concreto a la vista

Una de las características constructivas y arquitectónicas de la Fundación Iberê Camargo es la utilización de concreto a la vista en tonalidades blancas. Por esta razón, era indispensable representar de forma adecuada la geometría de los elementos de encofrado del concreto que dan el carácter a las fachadas del edificio. Esto representó un desafío ya que, aunque Revit permite crear y asignar una textura a los materiales, esta textura no tiene capacidades de parametrización, razón por la cual es representada y asignada de forma aleatoria en toda el área que cubre el material, creando inconsistencias con al momento de representar de forma verídica la geometría del encofrado del concreto.

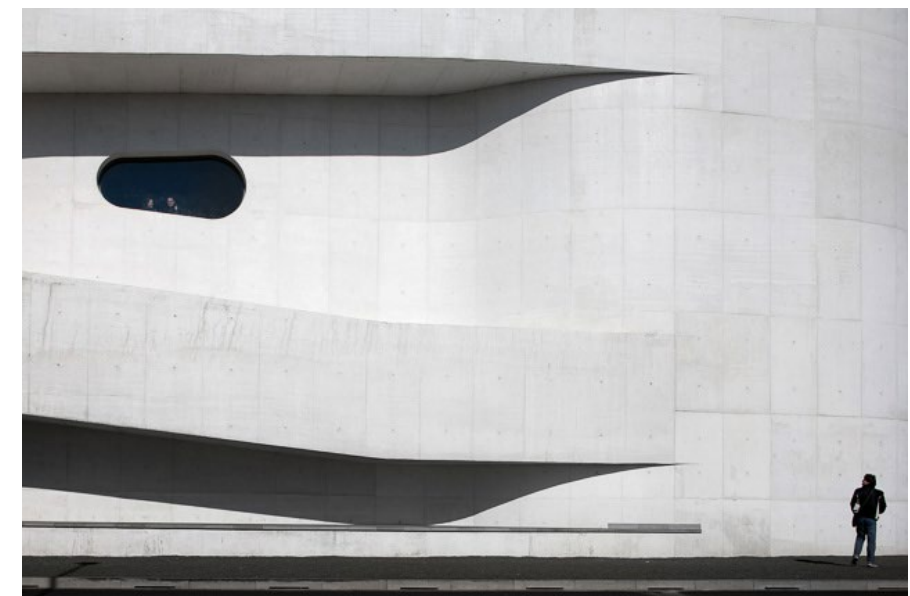


Figura 63. Vista de la fachada norte del edificio. Fuente: Fernando Guerra

Al igual como sucedió con el revestimiento de granito en el Centro Gallego de Arte Contemporáneo de Galicia, después de varios intentos sin obtener un resultado satisfactorio que ahorrara tiempo y a su vez representara de forma adecuada las líneas del concreto a la vista, optamos por representar estas cualidades en una siguiente fase de posproducción la cual se llevó a cabo en el programa AutoCAD basado en la exportación de un archivo 2D vectorial del modelo digital. Aunque la representación de las líneas del encofrado fueron realizadas en una fase posterior al modelado 3D, fue indispensable dibujar sobre los muros de las rampas exteriores primeros algunas líneas base de la subdivisión del encofrado del concreto para que sirvieran como referencia y fueran duplicados en el dibujo 2D. Para realizar este proceso, primero fue necesario escalar la fachada de detalle en AutoCAD correspondiente al muro suroeste para poder tomar las medidas necesarias y luego replicarlas en el Revit sobre el muro tridimensional. Este proceso fue aplicado tanto en muro suroeste como las losetas de acabado de los pisos de las terrazas.

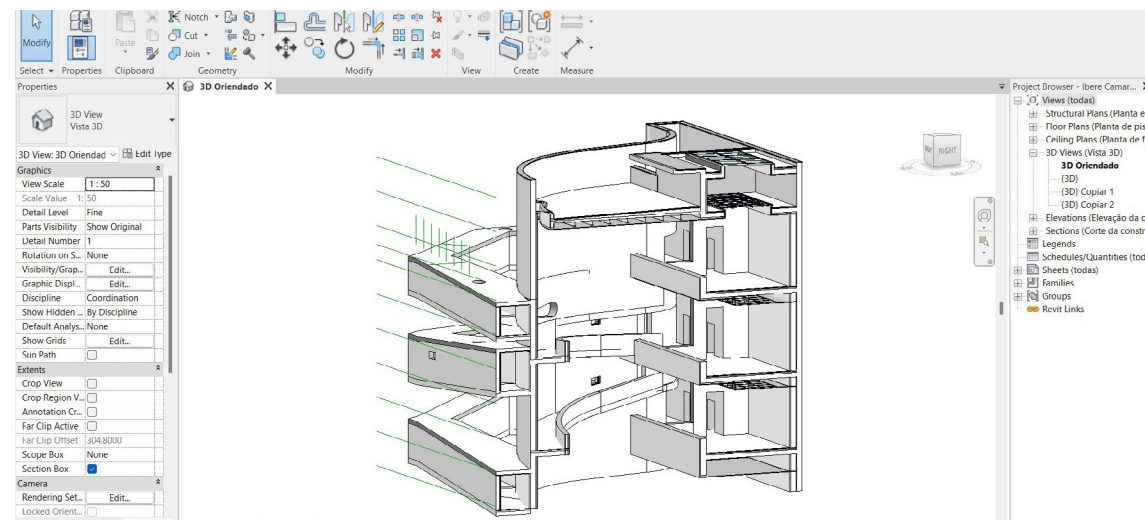


Figura 64. Líneas del referencia dibujada en Revit de los elementos de encofrado del concreto. Fuente: Autor

Esta situación puso de manifiesto las limitaciones de Revit para representar con realismo las líneas del encofrado de los elementos en concreto a la vista, una característica clave en la obra de Álvaro Siza. Asimismo, en este tipo de arquitectura de autor, donde cada detalle, como la geometría de los elementos de encofrado del concreto, es cuidadosamente diseñado, resulta complicado lograr una representación completa mediante programas paramétricos que utilizan soluciones y elementos genéricos comerciales, los cuales rara vez se emplean en edificios de esta naturaleza.

3.2.3. Sección constructiva

La sección constructiva general de la Fundación Iberê Camargo se ubica en el volumen principal más alto de todo el complejo y corta transversalmente el edificio a través de las salas de exposición, el atrio central y las rampas exteriores. Esta sección permite comprender las circulaciones interiores del edificio, mediante las rampas interiores y exteriores, así como las relaciones espaciales de cada uno de los espacios interiores del museo. Además, esta sección corta a través de los cuatro niveles superiores del edificio, desde el primer piso hasta la cubierta.

La elección de esta sección responde a la intención de destacar las cualidades arquitectónicas y constructivas del edificio, incluyendo detalles específicos del sistema constructivo, los elementos estructurales y los materiales utilizados en la edificación del museo.

Mediante esta sección podemos observar la implementación del sistema constructivo compuesto por paredes y losas de concreto reforzado y su continuidad en todo el desarrollo del edificio. En la losa de la cubierta, podemos observar la implementación de vigas metálicas tipo IPE 300, localizadas longitudinalmente, como refuerzo estructural al sistema constructivo principal. De igual forma, una de las cualidades destacadas de este proyecto es la utilización del concreto claro a la vista como acabado exterior del edificio marcando los módulos de los paneles de encofrado utilizados. Su geometría queda en evidencia en las rampas exteriores que, por su pendiente, generan una relación geometría que contrasta con la regularidad de la retícula del encofrado.

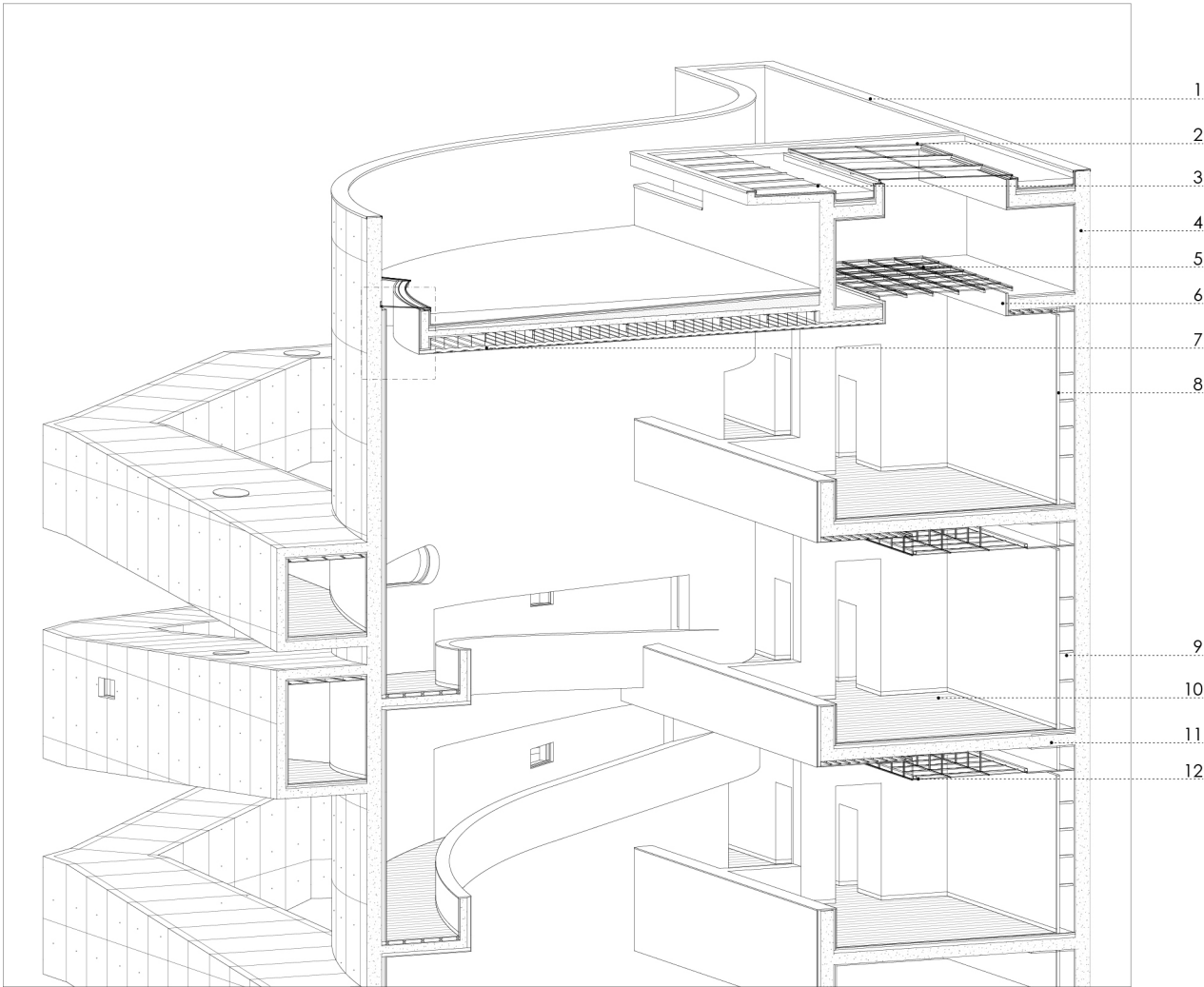
Otro aspecto clave que destaca en esta sección es la implementación de diferentes sistemas de iluminación, tanto natural como artificial. En el nivel superior, se observa una claraboya de dos niveles que permite el controlado ingreso de luz natural hacia las salas de exposición en el nivel superior y el atrio de acceso. En los niveles inferiores, se ha diseñado un sistema de iluminación artificial que replica el diseño de las claraboyas, creando una coherencia visual en todas las salas de exposición.

Asimismo, la sección revela el sistema de circulación interior del edificio, compuesto por una serie de rampas tanto interiores como exteriores. Estas rampas se proyectan desde las fachadas internas del atrio central y se suspenden en la fachada noroeste. Para lograr la construcción de estos elementos singulares, se emplearon losas y muros de concreto reforzado, adosados al muro curvo de la fachada.

Finalmente, esta sección también expone los materiales y acabados empleados en los espacios del museo. El acabado liso de los interiores contrasta con el concreto expuesto en las fachadas exteriores. Este acabado interior se logra mediante la instalación de un sistema de pladur con yeso acartonado, pintado de blanco. Además, se puede apreciar el sistema de anclaje y suspensión de los techos falsos, así como la inclusión de un espacio de servicio en los muros perimetrales de las salas de exposición, diseñado para alojar instalaciones técnicas y el sistema de ventilación artificial del museo.

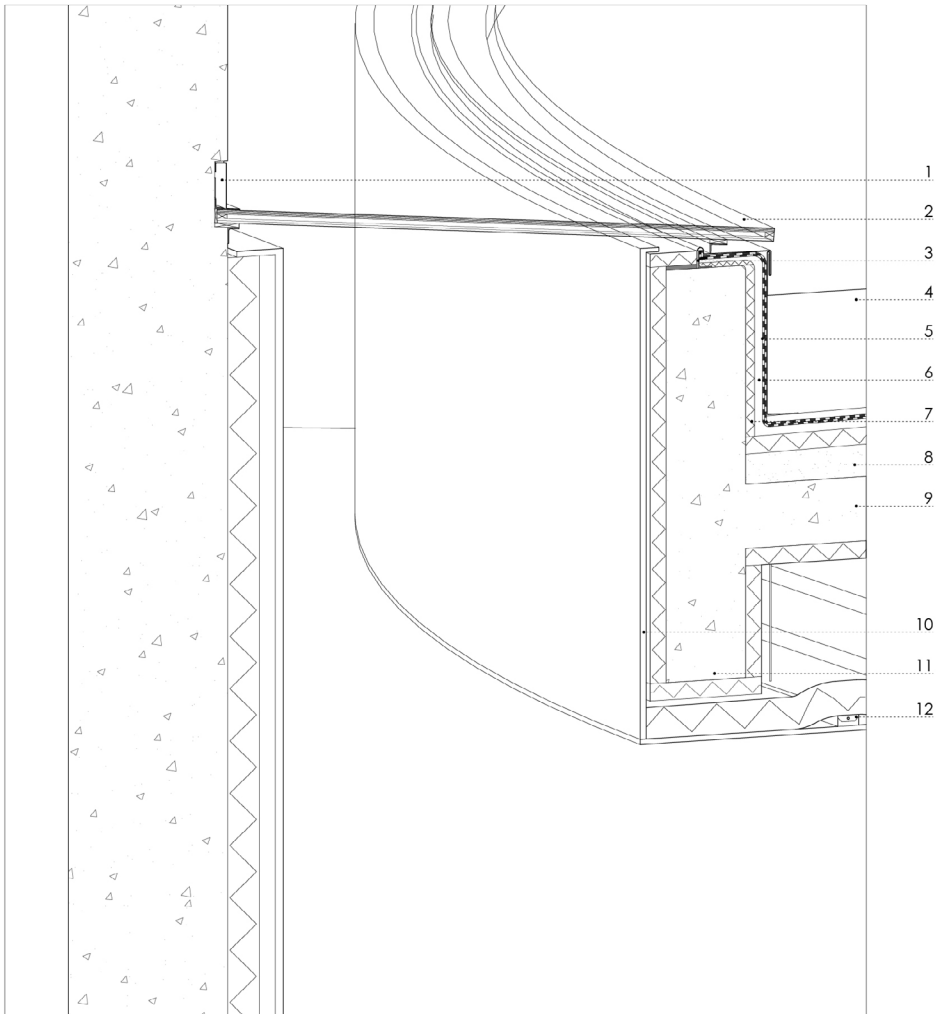
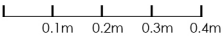
La sección constructiva de detalle muestra la estructura de la claraboya curva, situada en la intersección entre la cubierta y el muro perimetral del edificio, la cual permite el ingreso de luz natural al atrio central del museo. Esta sección permite analizar con precisión la interacción entre los distintos elementos constructivos, tanto estructurales como no estructurales, así como los materiales empleados en la edificación.

Uno de los aspectos más relevantes que revela esta sección es la diversidad de materiales y elementos constructivos utilizados en la obra. Se puede observar la continuidad del sistema de muros y losas de concreto reforzado, con sus distintas dimensiones y características. Asimismo, esta sección ayuda a comprender cómo se integran los materiales de acabado interior, como el sistema de pladur con yeso acartonado, junto con elementos clave para el confort térmico del edificio, como la capa de aislamiento térmico y las telas impermeabilizantes aplicadas en la cubierta.



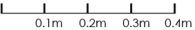
FUNDACIÓN IBERÊ CAMARGO

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. Chapa de zinc | 7. Acabado tipo Pladur |
| 2. Claraboya exterior | 8. Perfiles metálicos 70 mm |
| 3. Cobierta en zinc tipo camarinha | 9. Espacios para instalaciones técnicas |
| 4. Muro de concreto 50 cm | 10. Piso de madera Marfim |
| 5. Claraboya interior | 11. Losa de concreto 30 cm |
| 6. Perfil IPE 300. | 12. Iluminación artificial |



FUNDACIÓN IBERÊ CAMARGO

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| 1. Chapa de zinco | 7. Aislamiento térmico |
| 2. Vidrio doble | 8. Concreto celular |
| 3. Escuadra metálica | 9. Losa de concreto 15 cm |
| 4. Gravilla | 10. Placa de yeso laminado |
| 5. Telas betuminosas | 11. Muro de concreto 20 cm |
| 6. Motero de nivelación | 12. Estructura del cieloraso |



Consideraciones finales

Uno de los principales aportes de esta investigación ha sido visibilizar la importancia de la tectónica en la obra de Álvaro Siza, entendida no solo como el ensamblaje técnico de elementos constructivos, sino como una poética de la materialidad, del detalle y de la articulación entre forma, estructura y contexto.⁵⁷ La arquitectura de Siza no se limita a resolver un programa funcional, sino que se despliega como una construcción sensible que encuentra en la materia su expresión conceptual. Los modelos digitales elaborados han permitido evidenciar esta dimensión tectónica, revelando con precisión la lógica interna de los sistemas constructivos, las relaciones entre los espacios y la coherencia proyectual que caracteriza su obra.

El Centro Galego de Arte Contemporánea y la Fundación Iberê Camargo constituyen dos momentos clave en la obra de Álvaro Siza, separados por casi dos décadas pero unidos por una reflexión común sobre la inserción de lo contemporáneo en contextos de fuerte carga cultural y paisajística. Mientras que en el CGAC la estrategia tectónica se articula a partir del diálogo crítico con la ciudad histórica —donde el granito local opera como mediador simbólico entre tradición y modernidad—, en la Fundación Iberê Camargo la lógica constructiva se radicaliza en la abstracción del concreto blanco, convertido en soporte y lenguaje a la vez. En ambos casos, Siza rechaza la exhibición literal del sistema estructural para situar la tectónica en el plano de la coherencia entre materialidad, detalle y experiencia espacial. Si en Santiago de Compostela la arquitectura se mimetiza progresivamente con el tiempo y con la memoria urbana, en Porto Alegre alcanza un grado de autonomía existencial, donde el edificio se presenta como un volumen que trasciende lo contextual inmediato para afirmar la universalidad del espacio arquitectónico.

Como ha señalado Kenneth Frampton en los escritos de *Estudios sobre la cultura tectónica*, la autenticidad de la arquitectura se manifiesta en su capacidad para articular pensamiento proyectual y ejecución material en un mismo acto poético. La cultura tectónica no se reduce a una cuestión técnica, sino que constituye una expresión cultural donde los materiales, los detalles y el ensamblaje adquieren valor expresivo. El análisis de la obra de Álvaro Siza desarrollado en esta investigación reafirma que su arquitectura se apoya en una lógica tectónica profundamente coherente: cada encuentro material, cada solución constructiva, cada definición espacial responde a un modo particular de pensar la construcción. Desde la precisión con que organiza el corte del granito de los muros en el Centro Gallego de Arte Contemporáneo, hasta la plasticidad expresiva del concreto a la vista en la Fundación Iberê Camargo, la obra de Siza demuestra que la tectónica no es un resultado secundario, sino parte fundamental de su poética proyectual. En este sentido, este trabajo confirma que en la obra de Siza la construcción no se reduce a un recurso técnico, sino que se convierte en un medio a través del cual la arquitectura adquiere significado y consistencia cultural.

Asimismo, esta disertación ha demostrado que las herramientas de construcción digital, lejos de ser únicamente medios de representación visual, se constituyen como

⁵⁷ Frampton, K., *Álvaro Siza: Complete Works*; London: Phaidon, 2000.

instrumentos de investigación arquitectónica con alto valor pedagógico, patrimonial y proyectual. En el campo de la enseñanza, los modelos digitales permiten sintetizar la complejidad constructiva de una obra en un recurso interactivo que facilita la comprensión de su funcionamiento tectónico gracias al uso de la lógica constructiva y elementos basados en la realidad. En el ámbito de la conservación del patrimonio moderno, los modelos digitales constituyen soportes documentales de alta fidelidad que pueden servir de base para futuras intervenciones, diagnósticos técnicos o acciones de difusión.⁵⁸ La utilidad de estos modelos trasciende su condición estática y adquiere valor como archivo activo, capaz de ser actualizado, ampliado y reutilizado en otros contextos académicos y profesionales.

A la luz de la articulación teórica propuesta por Paulo Martins Barata, los resultados de esta investigación confirman que la tectónica en la obra de Álvaro Siza no puede entenderse únicamente como un conjunto de soluciones constructivas, sino como un discurso en el que la materia y la forma expresan el significado constructivo de su obra. En este sentido, la tectónica trasciende la resolución material o técnica para manifestarse como un acto poético en el que la construcción revela y oculta simultáneamente, dotando a la materia de un valor sustancial y representacional. Los modelos digitales tridimensionales desarrollados en esta investigación han permitido visualizar y confrontar, con un alto grado de detalle y trazabilidad documental, las estrategias materiales y las resoluciones constructivas que sustentan dicha poética. En consecuencia, se demuestra que el uso riguroso del modelado digital contribuye no solo al análisis crítico de obras de autor, sino también a la generación de recursos pedagógicos y de preservación patrimonial; al mismo tiempo, subraya las posibilidades y limitaciones de interpretar la tectónica a través de medios digitales, proponiendo un marco metodológico replicable para futuros estudios sobre la construcción y el patrimonio arquitectónico contemporáneo.

El análisis comparado entre el CGAC y la FIC ha permitido identificar diferencias significativas en las estrategias constructivas y proyectuales adoptadas por Álvaro Siza en contextos geográficos, culturales y técnicos diversos. Mientras el CGAC se inscribe en una lógica horizontal que dialoga con la trama urbana histórica de Santiago, empleando piedra y soluciones estructurales en estructura de acero y concreto reforzado, la FIC se erige como un volumen monolítico vertical, realizado en concreto armado a la vista, en respuesta a una topografía compleja y una tradición brasileña expresiva y brutalista, dejando en evidencia como el arquitecto se convierte en residente del lugar donde proyecta. Pese a estas diferencias, ambas obras mantienen una coherencia proyectual que se expresa en la atención al detalle, la articulación entre forma y estructura, y la precisión material de los detalles constructivos. El modelado digital ha permitido profundizar en estas distinciones, estableciendo un marco de análisis riguroso para valorar cómo la obra de Siza se adapta y responde a distintas realidades sin perder su identidad arquitectónica.

⁵⁸ Apollonio, F. I., et al., "3D Modeling and Data Enrichment in Digital Reconstruction of Architectural Heritage", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W2, Strasbourg, 2013, p. 43.

En este sentido, los modelos digitales tridimensionales no deben entenderse únicamente como representaciones gráficas, sino como plataformas abiertas de conocimiento con un potencial de difusión y aplicación en múltiples formatos. Entre ellos, destaca la impresión 3D, que permite transformar los datos digitales en modelos físicos, generando un soporte tangible que complementa la experiencia virtual. A diferencia de las presentaciones únicamente digitales, las maquetas impresas ofrecen una interacción directa con el objeto arquitectónico, facilitando la comprensión de su geometría, escala y proporciones.⁵⁹

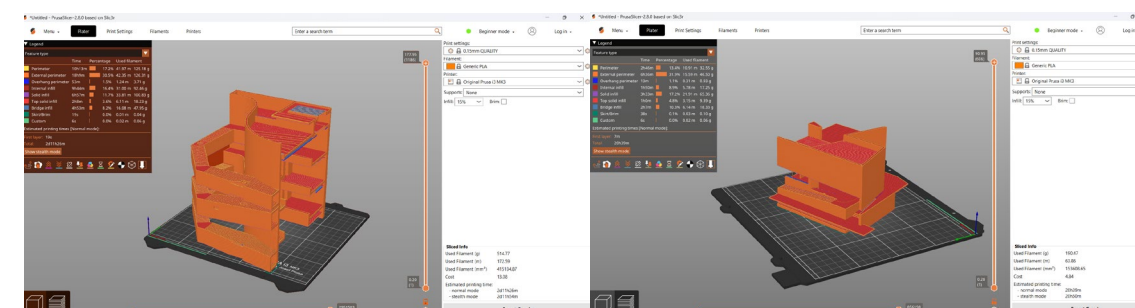


Figura 67. Modelos de impresión 3D basados en los modelos de construcción digital. Fuente: Autor

En el ámbito del diseño, la arquitectura y la educación, este tipo de materialización se convierte en una herramienta de gran valor pedagógico, pues posibilita un acercamiento más inmediato y sensorial a la obra, enriqueciendo tanto los procesos de enseñanza-aprendizaje como las estrategias de comunicación y difusión del conocimiento arquitectónico.

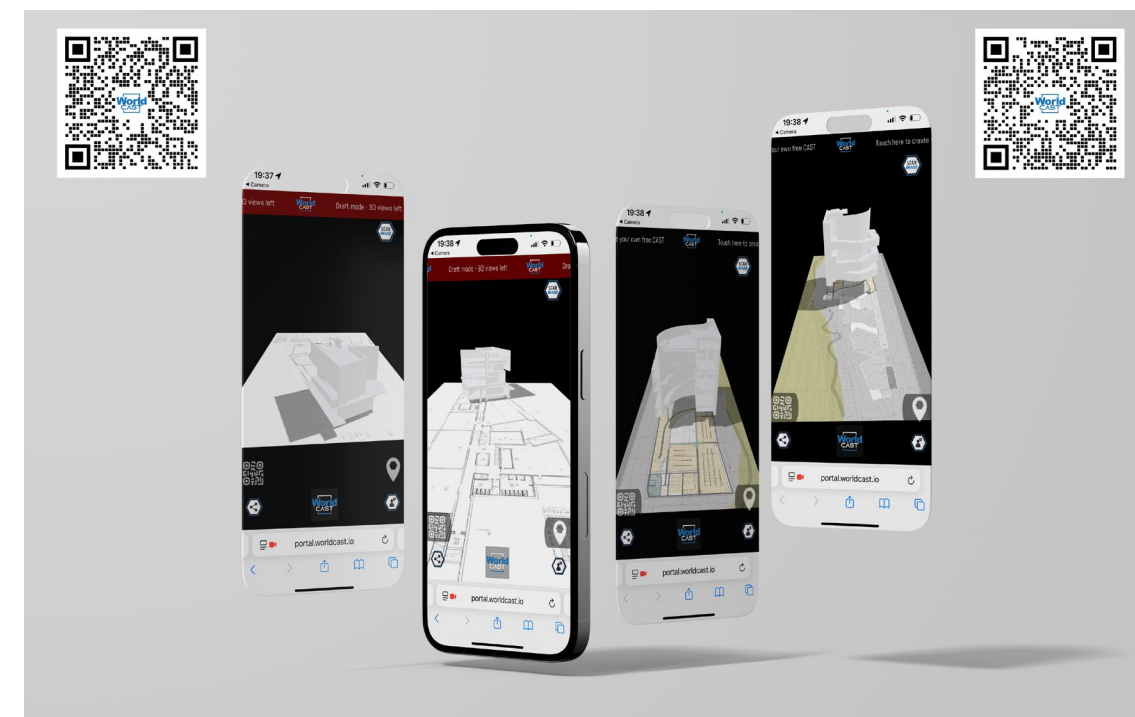


Figura 68. Visualizador digital de los modelos de construcción digitales. Fuente: Autor

⁵⁹ Apollonio, F., et al., *3D ArchiVHR – Good Practices: 3D Architectural Virtual Hypothetical Reconstruction*, 2021, pp. 128.

Asimismo, los modelos desarrollados en esta investigación poseen un gran potencial de difusión a través de plataformas digitales de visualización, lo que amplía considerablemente el alcance de los resultados más allá del entorno académico. En este sentido, la experiencia adquirida en el proyecto europeo CoVHer fue fundamental para reconocer el valor de estas herramientas en la documentación y difusión del patrimonio arquitectónico. Estos recursos no solo facilitan la comprensión de las cualidades tectónicas y constructivas de las obras analizadas, sino que también constituyen un medio eficaz para acercar la investigación a un público más amplio, incluyendo estudiantes, profesionales y personas interesadas en la arquitectura moderna y su preservación. De este modo, la digitalización arquitectónica no se limita a ser un instrumento de análisis, sino que se proyecta como una herramienta de difusión, enseñanza y valorización patrimonial, en consonancia con las tendencias actuales en documentación y democratización del conocimiento arquitectónico.

En términos metodológicos, esta investigación se ha sostenido en un enfoque multi-método que ha combinado el análisis documental, el trabajo de campo, la consulta a expertos, el uso del dibujo como instrumento reflexivo y la elaboración de modelos tridimensionales como síntesis del conocimiento acumulado. Esta metodología ha sido fundamental para garantizar la validez, profundidad y coherencia del estudio. Los modelos didácticos elaborados, especialmente las secciones constructivas desarrolladas en Autodesk Revit, han funcionado como condensadores de información proyectual, tectónica y material. En ellos confluyen múltiples capas de conocimiento, teórico, gráfico, técnico y perceptivo, que permiten una lectura integral del edificio y su sistema constructivo. Lejos de ser una representación final, estos modelos se proponen como dispositivos abiertos, capaces de ser interrogados, modificados y ampliados por futuras investigaciones.

No obstante, el proceso de modelado digital también puso en evidencia una serie de limitaciones técnicas y desafíos metodológicos, particularmente cuando se trabaja con obras de arquitectura de autor caracterizadas por un alto grado de complejidad tectónica y pormenorización, como las de Álvaro Siza. Uno de los principales obstáculos fue la dificultad para representar con fidelidad ciertos detalles constructivos, especialmente la retícula de materiales como el granito o el concreto a la vista, cuya lógica de disposición es esencial en la expresión arquitectónica de estas obras. Herramientas paramétricas como Revit, aunque potentes, presentan restricciones cuando se trata de geometrías irregulares, detalles singulares o uniones complejas que no responden a los estándares comerciales incorporados en las bibliotecas predeterminadas del software. Este fue el caso, por ejemplo, de la pendiente de la cubierta en la Fundación Iberê Camargo, o de la reproducción del aparejo de los muros de granito en el CGAC, los cuales requirieron procesos alternativos de posproducción en programas como AutoCAD para alcanzar un grado de precisión aceptable. Estas dificultades evidencian que la reproducción digital de una arquitectura con una carga tectónica tan elaborada como la de Álvaro Siza no es un proceso meramente técnico, sino una operación crítica que exige una profunda comprensión del lenguaje constructivo, del pensamiento proyectual y de las decisiones materiales del autor. En este sentido, el modelado digital se revela

como una práctica de traducción intelectual, en la que no basta con replicar formas, sino que es necesario interpretar relaciones espaciales, secuencias constructivas y estrategias tectónicas que frecuentemente desbordan los límites preestablecidos por las herramientas implementadas en la metodología BIM.

Finalmente, esta disertación confirma la pertinencia y el potencial de las herramientas digitales en el estudio crítico del patrimonio moderno, y en particular de una figura como Álvaro Siza, cuya arquitectura representa una síntesis excepcional entre pensamiento proyectual, sensibilidad material y rigor tectónico. En un escenario contemporáneo donde la documentación precisa, la transmisión del conocimiento y la innovación pedagógica adquieren un papel decisivo, la articulación entre tecnología digital y análisis constructivo se configura no solo como una oportunidad, sino como una necesidad intelectual para reforzar los vínculos entre historia, técnica y proyecto en la arquitectura contemporánea. Este cruce disciplinar contribuye, además, a garantizar la preservación y difusión crítica del legado arquitectónico, integrando la reflexión teórica con las herramientas digitales que hoy redefinen los modos de investigar, representar y comprender la arquitectura.

Referencias bibliográficas

- Abrantes, V., “Fundação Iberê Camargo: o projecto, a obra, as tecnologias”. *Cadernos d’Obra Revista Científica Internacional de Construção*, No. 2, 2010.
- Apollonio, F. I., et al., "3D Modeling and Data Enrichment in Digital Reconstruction of Architectural Heritage", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W2, Strasbourg, 2013, p. 43.
- Apollonio, F., et al., *3D ArchiVHR – Good Practices: 3D Architectural Virtual Hypothetical Reconstruction*, 2021, p. 128.
- Arteta, J., “BREVE HISTORIA DE LA ARQUITECTURA DIGITAL”, *Revista Diseño Urbano & Paisaje*, no. 42, 2022, p. 32.
- AA., VV., *Álvaro Siza: Expor On Display*; Porto: Fundación de Serralves, 2005.
- AA. VV., *Álvaro Siza [El Croquis, n° 68/69]*; Madrid: El Croquis, 1994.
- AA. VV., *Álvaro Siza 2001–2008 [El Croquis, n° 140]*; Madrid: El Croquis, 2008.
- AA. VV., *Álvaro Siza 2005–2011 [El Croquis, n° 155/156]*; Madrid: El Croquis, 2011.
- Trigueiros, L., *Álvaro Siza: Obra completa [Monografías BLAU]*; Lisboa: Editorial BLAU, 1997.
- Boeykens, S., et al., “Improving Architectural Design Analysis Using 3D Modeling and Visualization Techniques”, *VSM 2008: Digital Heritage – Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Heverlee, 2008, p. 69.
- Carpo, M., *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*; Nueva York: John Wiley & Sons Ltd, 2016, p. 9.
- Carvalho, R., "Museu para a Fundação Iberê Camargo", *Jornal dos Arquitectos*, Vol. 220-221, 2005, p. 98.
- Centofanti, M., et al., "Architectural Heritage and 3D Models", *Computational Modeling of Objects Presented in Images, Fundamentals, Methods and Applications*, Vol. 15. Springer International Publishing Switzerland, 2014, p. 33.
- Ceruzzi, P., “The “Go-Go” Years and the System/360, 1961–1975”, *A History of Modern Computing*, 2nd ed. 2003, p. 144-146.
- Conselleria de Cultura e Xuventude, Xunta de Galicia, *Memoria Centro Galego de Arte Contemporanea (3ª Fase)*; Santiago de Compostela, 1991.
- Curtis, W., Siza, A., et, *Álvaro Siza, Works and Projects. Exhibition Centro Galego de Arte contemporáneo, Santiago de Compostela, April 24 - July 2, 1995*, Madrid: Electa, 1995.
- Davila, J., et al., "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction", *Advanced Engineering Informatics*, no. 45, 2020.
- Dubois, M., et, *Álvaro Siza, Inside the City*; New York: Whitney Library of Design, 1998.
- Dunn, N., *DIGITAL FABRICATION IN ARCHITECTURE*; London: Laurence King Publishing Ltd, 2012, p. 14-15.
- Eastman, C., et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*; Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011, p. 1.

- Ferreira, T. C., et al., "Methodology for the Digital Documentation of Modern Architecture: Applied Research on Álvaro Siza's Works for the World Heritage List", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLVIII-M-2-2023, Florencia: 29º Simposio del CIPA, 2023, p. 541-547.
- Ferreira, T. C., et al., "Tradição e inovação em Alvaro Siza. Uma perspetiva tectónica sobre a casa Beires (1973-1979)", *Atas do 4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira*, Guimarães: 4º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira, 2023, p. 1051-1061.
- Frampton, K., *Álvaro Siza: Complete Works*; London: Phaidon, 2000.
- Frampton, K., *Álvaro Siza: Profissão poética*; Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1998.
- Frampton, K., *Estudios sobre cultura tectónica: poetica de la construccion en la arquitectura de los siglos XIX y XX*; Madrid : Akal, 1999.
- Frampton, K., "Hacia un regionalismo crítico: seis puntos para una arquitectura de resistencia", *Perspecta 20: The Yale Architectural Journal*, Cambridge: MIT Press, 1983.
- Frampton, K., *Introdução ao estudo da cultura tectónica*, Lisboa : A.A.P., 1998.
- Frampton, K., *Towards a Scientific Architecture*; Londres: The MIT Press, 1980.
- Florio, W., "CONTRIBUIÇÕES DO BUILDING INFORMATION MODELING NO PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA", *III Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil - TIC*, 2007.
- Ford, E. R., *The Details of Modern Architecture*; Cambridge: The MIT Press, 1990.
- Gallo, G., Luigi M., "From History to parametric architecture", *Learning Prototyping and Adapting*, 2018.
- Kiefer, F. (Ed.), *Álvaro Siza: Fundação Iberê Camargo*; São Paulo: Cosac & Naify , 2008, p. 139.
- Kuroczyński, P., et al., "Scientific Reference Model – Defining Standards, Methodology and Implementation of Serious 3D Models in Archaeology, Art, and Architectural History", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-M-2, 2023.
- la Biennale di Venezia, *Next 8th International Architecture Exhibition*; Venezia: Marsilio Editore, 2002, p. 74.
- Lewis, P., et al., *Manual of Section*; New York; Princeton Architectural Press, 2016
- Mathews, S., "The Fun Palace: Cedric Price's experiment in architecture and technology", *Techntonic Arts*, no. 3, 2005, p.73-92.
- Martins, A., et al., "Álvaro Siza em Porto Alegre: A Construção do Lugar", *IV JORNADA DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FAU-MACKENZIE*, São Paulo, 2018.
- Martins Barata, P., "A ARTE DE CONSTRUIR NO NOSSO TEMPO", *ÁLVARO SIZA 1954-1976*, Lisboa: Editorial BLAU, 1997, p. 37-41.
- Milheiro, A., et al., *Álvaro Siza, Candidatura ao Prémio UIA Gold Medal 2005*; Lisboa: Centro Editor Livreiro da Ordem dos Arquitectos, 2007, p. 210.
- Moneo, R., "Siza fiel a Siza", *Cadernos d'Obra Revista Científica Internacional de Construção*, No. 2, 2010, p. 25-26.
- Ordem dos Arquitectos – Secção Regional Norte, *Porto Poetic*; Porto; AMAG EDITORIAL SL, 2013.
- Orgaz Garcia, J., *Memoria del Proyecto Estructural, Centro Gallego de Arte Contemporáneo*; Santiago de Compostela, s. f.
- Pask, G., "The Architectural Relevance of Cybernetics", *Architectural Design*, no. 7/6. Londres: John Wiley & Sons Ltd, 1969, p. 494.
- Picon, A., *Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Professions*; Basilea: Birkhäuser, 2010, p. 9.
- Pimenta Do Vale, C., "The social rise of a housing intervention: Álvaro Siza's project for Bouça Neighbourhood", *42nd IAHS WORLD CONGRESS - The housing for the dignity of mankind*, Nápoles, 2018, p. 1.
- Reichardt, J., *Cybernetic Serendipity: The Computer and the Arts*; Londres: LStudio International, 1968, p. 6.
- Reschetti, M. A., Pimenta do Vale, C., "3D reconstruction of 1978 unbuilt phase and uncertainty level assessment of Álvaro Siza's Bouça Housing Complex", *SIZATLAS, Filling the Gaps for World Heritage*, Porto, 2024.
- Sadler, S., *Archigram: Architecture without Architecture*; Londres: The MIT Press, 2005.
- Siza, Á., "CENTRO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE GALICIA EN SANTIAGO DE COMPOSTELA (GALICIA, ESPAÑA)", *Informes de la Construcción*, Vol. 47, no. 439, 1995, p. 44.
- Siza, Á., *Memoria del Proyecto Centro Galego de Arte Contemporánea (3ª Fase)*; Santiago de Compostela, 1991.
- Siza, Á., entrevista en *Cadernos d'Obra Revista Científica Internacional de Construção*, No. 2, 2010, p. 14.
- Sutherland, I., *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*; Cambridge: University of Cambridge Computer Laboratory, 2003.
- Gregotti, V., et, *Álvaro Siza, Imaginar la Evidencia*; Madrid: ABADA Editores, 2003.
- Valji, J., "Artificial intelligence: Practice and profession", *RIBA 2024 AI Report*, Royal Institute of British Architects, 2024, p. 27.
- Wang, W., *Centre for Contemporary Art in Santiago de Compostela*; Domus, no. 760, 1994, p. 15.
- Weston, R., *Plans, Sections and Elevations: Key Buildings of the Twentieth Century*; Great Britain: Laurence King Publishing, 2005, p. 210.

Créditos de las imágenes

Figura 1. Trabajador usando el SAGE (Semi-Automatic Ground Environment). © Computer History Museum, 1959. Recuperado de: <https://www.computerhistory.org/revolution/networking/19/399/2161>

Figura 2. Folleto promocional del Fun Palace de Cedric Price y Joan Littlewood. © Archivo del Centro Canadiense de Arquitectura, 1964. Recuperado de: <https://www.cca.qc.ca/en/articles/issues/2/what-the-future-looked-like/32737/1964-fun-palace>

Figura 3. Área de trabajo de un System/360 Modelo 44. © Archivo IBM, 1966. Recuperado de: <https://www.ibm.com/history/system-360>

Figura 4. Sección del proyecto Plug-in City por Peter Cook de Archigram. © Archivo del MoMA: Peter Cook, Archigram. Plug-in City: Maximum Pressure Area, project (Section), 1964. Recuperado de: <https://www.moma.org/calendar/events/5850>

Figura 5. Sketchpath creado por Ivan Sutherland. © BIMAPLIUS.org. Recuperado de: <https://bimaplius.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>

Figura 6. Interfaz de Autodesk AutoCAD V. 1.0. © John Walker, Autodesk, 1982. Recuperado de: <https://aehistory.wordpress.com/1982/08/04/1982-autocad-v1-0/>

Figura 7. Dibujo digital del Museo Guggenheim Bilbao realizado en el software CATIA. © Museo Guggenheim Bilbao, 1997 Recuperado de: <https://www.guggenheim-bilbao.eus/en/exhibition/airlock>

Figura 8. Interfaz de Rhinoceros Beta. © discourse.mcneel.com, 1982. Recuperado de: <https://discourse.mcneel.com/t/nostalgia-rhino-2/146388/7>

Figura 9. Implementación de BIM en el ciclo de vida del edificio. © Mehmet Yalcinkaya. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/281965883_Whole_Building_Energy_Analysis_using_BIM/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic

Figura 10. Implantación de Realidad Virtual en proyectos arquitectónicos. © Shutterstock. Recuperado de: <https://www.autodesk.com/de/insights/emerging-tech/mobile>

Figura 11. Midjourney Prompt: «Un edificio horizontal con una base de ladrillo y un param». © Michael Schroeder. Recuperado de: <https://>

www.re-thinkingthefuture.com/narratives/a11711-future-horizons-architectural-evolution-unveiled/

Figura 12. Modelo digital de la Villa de Andrea Palladio con nivel de incerteza de cada uno de los elementos constructivos. © Apollonio, F. I., et al. Imagen extraída de: Apollonio, F. I., et al. "3D Modeling and Data Enrichment in Digital Reconstruction of Architectural Heritage", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W2, Strasbourg, 2013, p. 43.

Figura 13. Fotografía y render de la capilla Ronchamp de Le Corbusier. © Boeykens, S., et al. Imagen extraída de: Boeykens, S., et al., IMPROVING ARCHITECTURAL DESIGN ANALYSIS USING 3D MODELING AND VISUALIZATION TECHNIQUES, *Digital Heritage – Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 2008

Figura 14. Modelo de referencia científica (SRM) basado en datos y sus posibles derivaciones. © Kuroczyński, P., et al. Imagen extraída de: Kuroczyński, P., et al. SCIENTIFIC REFERENCE MODEL – DEFINING STANDARDS, METHODOLOGY AND IMPLEMENTATION OF SERIOUS 3D MODELS IN ARCHAEOLOGY, ART AND ARCHITECTURAL HISTORY, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-M-2. 2023

Figura 15. Interfaz de la plataforma colaborativa de SizaATLAS. © ISCTE-UII

Figura 16. Sección general y de detalle constructiva del edificio de viviendas en Schilderswijk-Oeste – Punto y Coma, La Haya, Países Bajos. © Autor

Figura 17. Repositorio digital de CoVHer. Recuperado de: <https://repository.covher.eu/wisski/navigate/1513/view>

Figura 18. Modelo 3D del proyecto GRAFTLAB. © GRAFT Arquitectos Berlín. Recuperado de: https://graftlab.com/GRAFT_Arquitectos_Berlin

Figura 19. visualización del proyecto DOXS NKLN. © GRAFT Arquitectos Berlín. Recuperado de: https://graftlab.com/GRAFT_Arquitectos_Berlin

Figura 20. Estudio de diferentes variantes en el diseño de fachada con Midjourney para un proyecto en Tbilisi, Georgia. © GRAFT Arquitectos Berlín. Recuperado de: https://graftlab.com/GRAFT_Arquitectos_Berlin

Figura 21 Diagrama de la Metodología de

investigación. © Autor

Figura 22. Captura de pantalla búsqueda en Google Scholar. © Autor. Recuperado de: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Digital+construction+-+Alvaro+Siza+-+Tectonic&btnG=&oq=D

Figura 23. Captura de pantalla tabla de resumen documentación CGAC. © Autor

Figura 24. Captura de pantalla tabla de resumen documentación FIC. © Autor

Figura 25. Vista exterior del acceso principal al CGAC (izquierda), Vista interior de la circulación principal (derecha). © Autor

Figura 26. Vista detalle del muro perimetral de acceso al CGAC. © Autor

Figura 27. Mapa de puntos de captación registro fotográfico. © Autor

Figura 28. Bosquejos realizados durante el trabajo de campo. © Autor

Figura 29. Visita virtual del Centro Gallego de Arte Contemporáneo. © Centro Gallego de Arte contemporáneo. Recuperado de: <https://my.matterport.com/w/?m=Sq8NueVumKx&play=1>

Figura 30. Visita virtual de la Fundación Iberé Camargo. Fuente: © Fundación Iberé Camargo. Recuperado de: https://artsandculture.google.com/streetview/funda%C3%A7%C3%A3o-iber%C3%AA-camargo/nQGzgB_jYf5zug?hl=pt-BR&sv_h=-35.43118721413404&sv_p=-34.44081509457229&sv_pid=h6sU5G3gwQ4RxAW7I99teA&sv_lid=1160682781413569545&sv_lng=-51.245726262058575&sv_lat=-30.078005765323063&sv_z=1.0000000000000002

Figura 31. Bosquejos de Siza sobre el Centro Gallego de Arte Contemporáneo. © Álvaro Siza. Imagen extraída de: Siza, Álvaro, CENTRO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE GALICIA EN SANTIAGO DE COMPOSTELA (GALICIA, ESPAÑA), *Informes de la Construcción*, Vol. 47, no. 439, 1995.

Figura 32. Bosquejos resultados de las reuniones y análisis de las fuentes bibliográficas. © Autor

Figura 33. Libro “The Detail Of Modern Architecture” de Edward R. Ford. © Bookscess. Recuperado de: <https://www.bookxcess.com/products/the-details-of-modern-architecture-volume-1-9780262562010?sr>

[sltid=AfmB0ooWS3uk3Uo2mPOUoX_A6Z7GagiQvwFBkMJJhlv1dlXxLhd9yibZ](https://ultimasreportagens.com/en/siza/s9-centro-galego-de-arte-contemporacircnea-art-centre/)

Figura 34. Modelos de construcción digital del CGAC en Revit. © Autor

Figura 35. Modelos de construcción digital del FIC en Revit. © Autor

Figura 36. Método vs Herramienta usada en el desarrollo del trabajo. © Autor

Figura 37. Vista norte del acceso al Centro Gallego de Arte Contemporáneo de Galicia. © Fernando Guerra Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s9-centro-galego-de-arte-contemporacircnea-art-centre/>

Figura 38. Vista norte del CGAC y convento San Domingos de Bonaval. © Fernando Guerra Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s9-centro-galego-de-arte-contemporacircnea-art-centre/>

Figura 39. Planta del proyecto básico y de ejecución del nivel de acceso al edificio. © Álvaro Siza. Imagen extraída de: Siza, Álvaro, CENTRO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE GALICIA EN SANTIAGO DE COMPOSTELA (GALICIA, ESPAÑA), *Informes de la Construcción*, Vol. 47, no. 439, 1995.

Figura 40. Vista del vestíbulo forma triangular y diferentes alturas. © Fernando Guerra Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s9-centro-galego-de-arte-contemporacircnea-art-centre/>

Figura 41. Acceso al CGAC, iglesia y convento de San Domingos de Bonaval. © Fernando Guerra Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s9-centro-galego-de-arte-contemporacircnea-art-centre/>

Figura 42. Vista suroeste de la rampa y muro de acceso al CGAC. © Fernando Guerra Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s9-centro-galego-de-arte-contemporacircnea-art-centre/>

Figura 43. Corte fachada identificando el muro suroeste y sus secciones verticales. © Autor sobre dibujo de Álvaro Siza. Imagen extraída de: Siza, Álvaro, CENTRO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE GALICIA EN SANTIAGO DE COMPOSTELA (GALICIA, ESPAÑA), *Informes de la Construcción*, Vol. 47, no. 439, 1995.

Figura 44. Identificación del plano de trabajo estructural base del muro suroeste exterior. © Autor

Figura 45. Vista noroeste del muro y rampa de acceso al edificio. © Fernando Guerra Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s9-centro-galego-de-arte-contemporacircnea-art-centre/>

Figura 46. Definición del plano de referencia base del muro exterior. © Autor

Figura 47. Piezas de granito del muro suroeste. © Álvaro Siza. Imagen extraída de: Siza, Álvaro, CENTRO DE ARTE CONTEMPORÁNEO DE GALICIA EN SANTIAGO DE COMPOSTELA (GALICIA, ESPAÑA), *Informes de la Construcción*, Vol. 47, no. 439, 1995.

Figura 48. Identificación de los diferentes elementos que componen el muro suroeste. © Autor

Figura 49 Sección constructiva general del Centro Gallego de Arte contemporáneo de Galicia. © Autor

Figura 50. Sección constructiva de detalle del Centro Gallego de Arte contemporáneo de Galicia. © Autor

Figura 51. Vista del acceso principal de la Fundación Iberé Camargo. © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 52. Vista norte de la Fundación Iberé Camargo. © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 53. Planta del proyecto de ejecución del nivel tres. © Álvaro Siza

Figura 54. Vista del vacío del atrio de acceso al edificio. © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 55. Construcción de la Fundación Iberé Camargo vista desde el atrio y las rampas interiores. © Archivo Fundación Iberé Camargo

Figura 56. Acceso al Fundación Iberé Camargo y vacío y rampas exteriores. © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 57. Vista interior de la cubierta desde el

vacío del atrio de acceso. © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 58. Comparación de la cubierta modelada tridimensionalmente y un corte transversal. © Autor

Figura 59. Vista de las rampas y muros desde el atrio de acceso. © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 60. Edición de los muros de las rampas mediante la creación de vacíos. © Autor

Figura 61. Vista de las rampas y muros curvos del perímetro del vacío central. © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 62. Alerta de la imposibilidad de crear una unión entre la rampa y el muro. © Autor

Figura 63. Vista de la fachada norte del edificio. Fuente: © Fernando Guerra. Recuperado de: <https://ultimasreportagens.com/en/siza/s43-fundaccedilatildeo-iberecirc-camargo-ibere-camargo-foundation/>

Figura 64. Líneas del referencia dibujada en Revit de los elementos de encofrado del concreto. © Autor

Figura 65. Sección constructiva general de la Fundación Iberé Camargo. © Autor

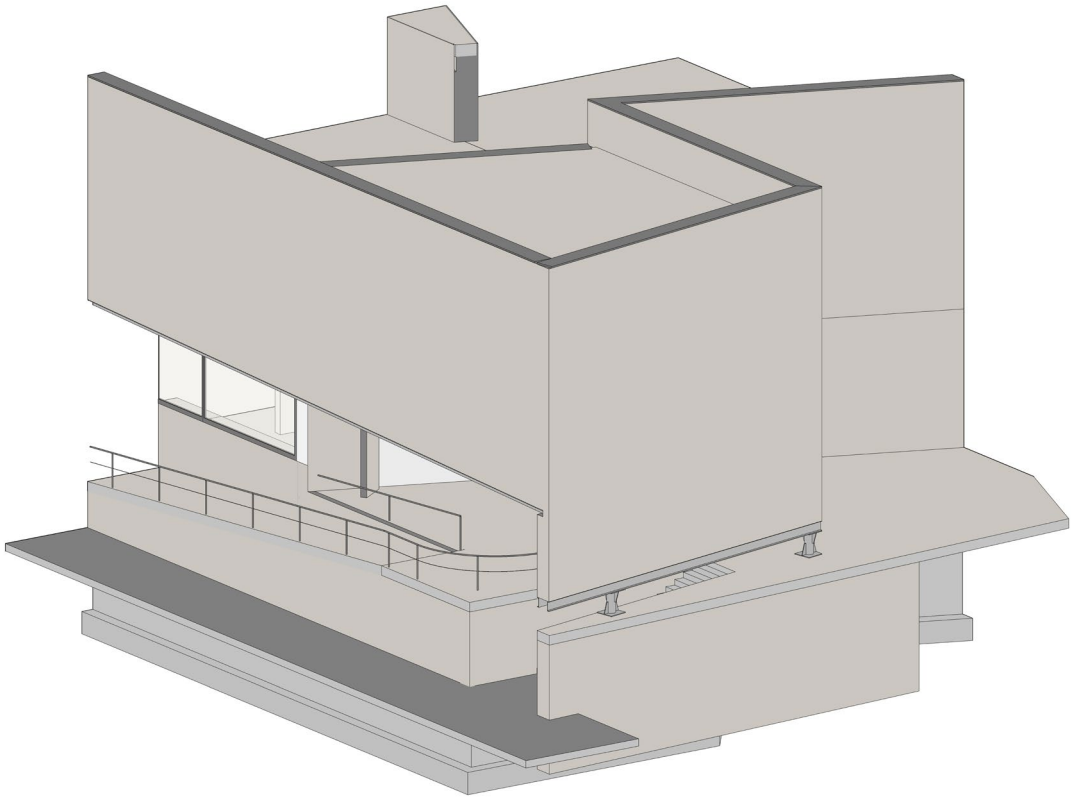
Figura 66. Sección constructiva de detalle de la Fundación Iberé Camargo. © Autor

Figura 67. Modelos de impresión 3D basados en los modelos de construcción digital. © Autor

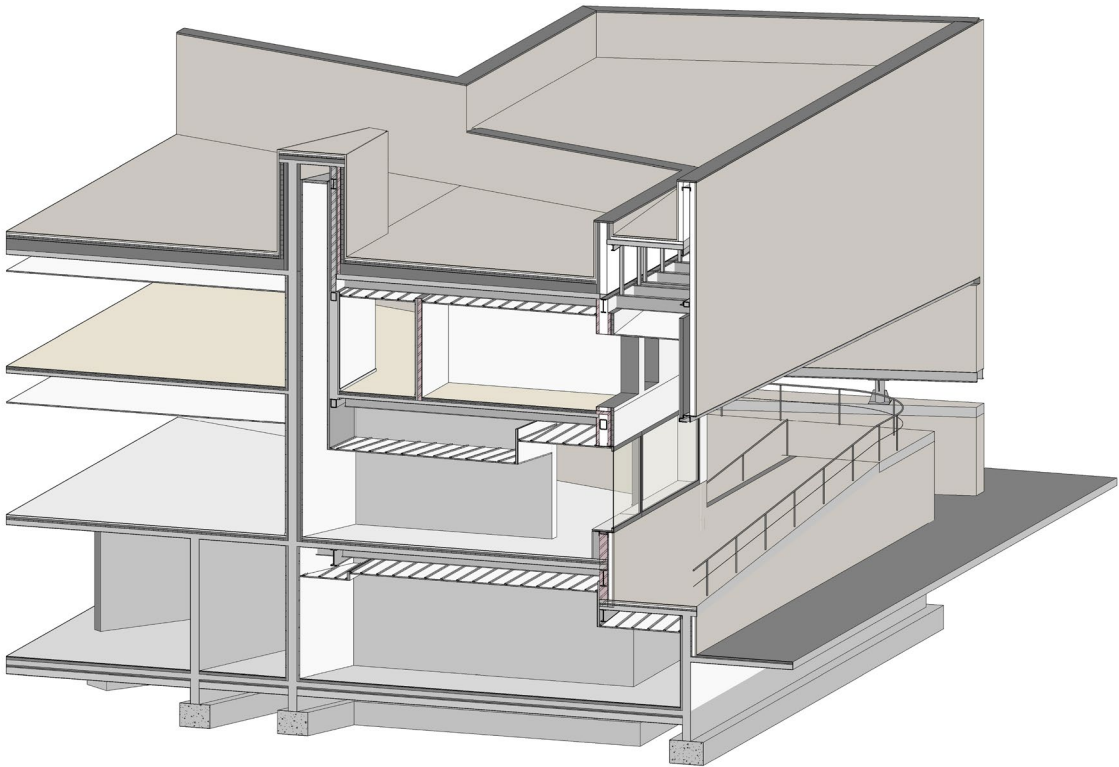
Figura 68. Visualizador digital de los modelos de construcción digitales. © Autor

Anexos

Modelo de reconstrucción digital Centro Gallego de Arte Contemporáneo

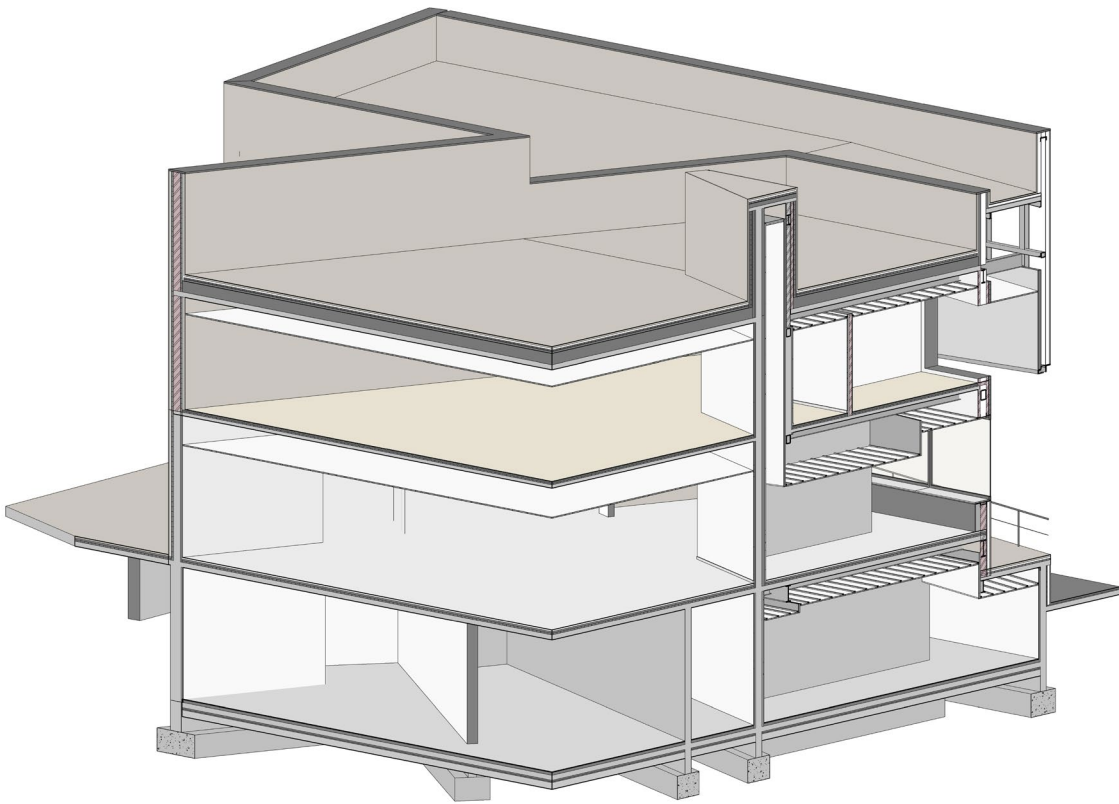


Vista sur del modelo de reconstrucción digital CGAC. Fuente: Autor

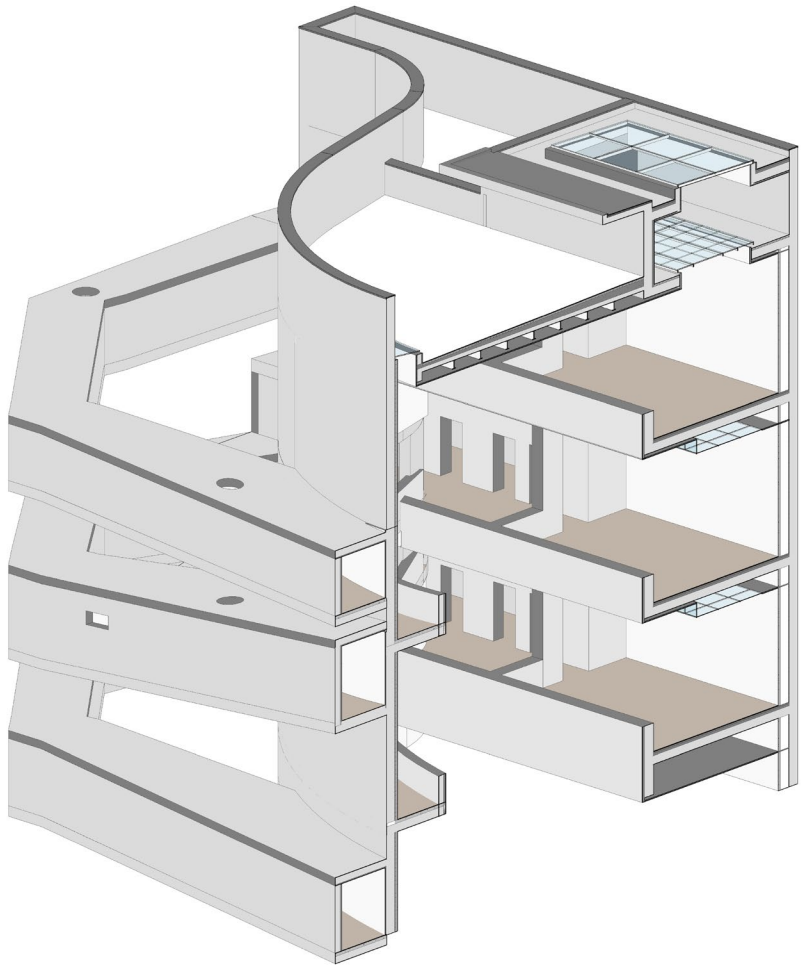


Vista oeste del modelo de reconstrucción digital CGAC. Fuente: Autor

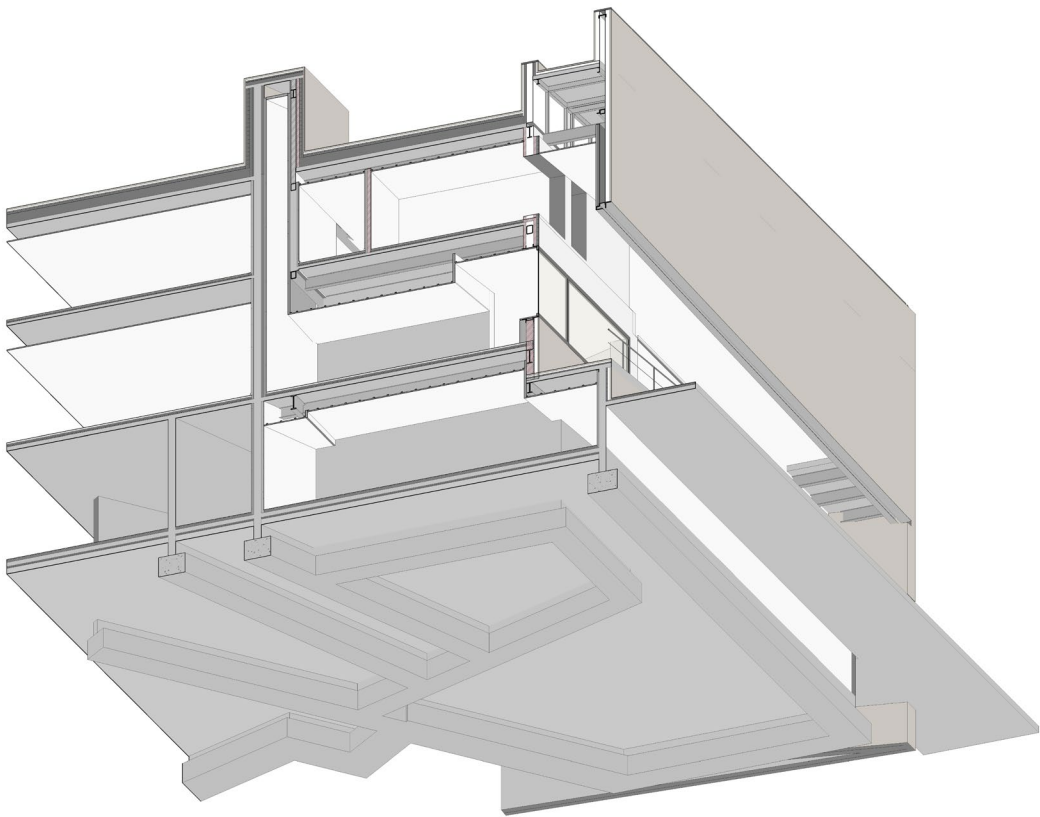
Modelo de reconstrucción digital Fundación Iberê Camargo



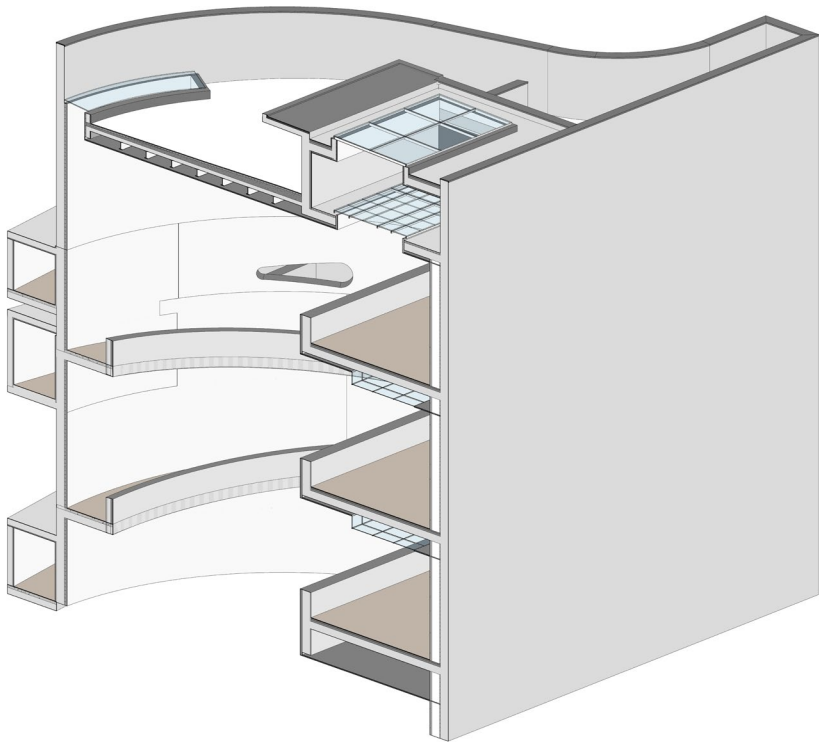
Vista este del modelo de reconstrucción digital CGAC. Fuente: Autor



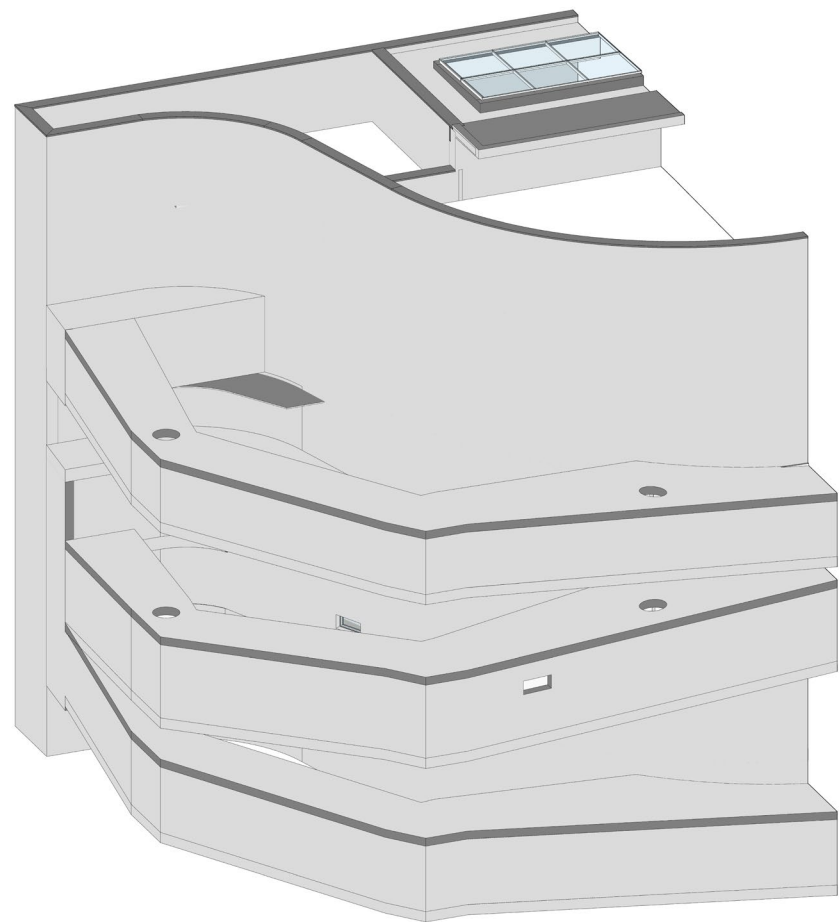
Vista oeste del modelo de reconstrucción digital FIC. Fuente: Autor



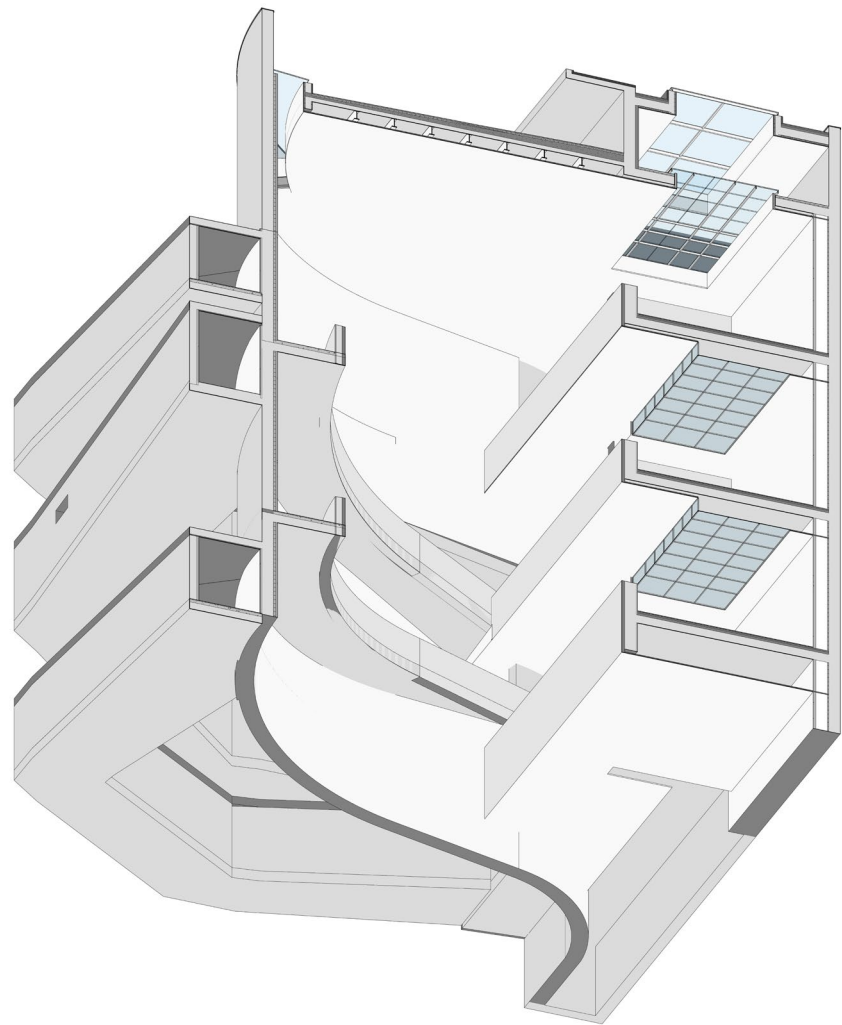
Vista inferior este del modelo de reconstrucción digital CGAC. Fuente: Autor



Vista sur del modelo de reconstrucción digital FIC. Fuente: Autor



Vista norte del modelo de reconstrucción digital FIC. Fuente: Autor

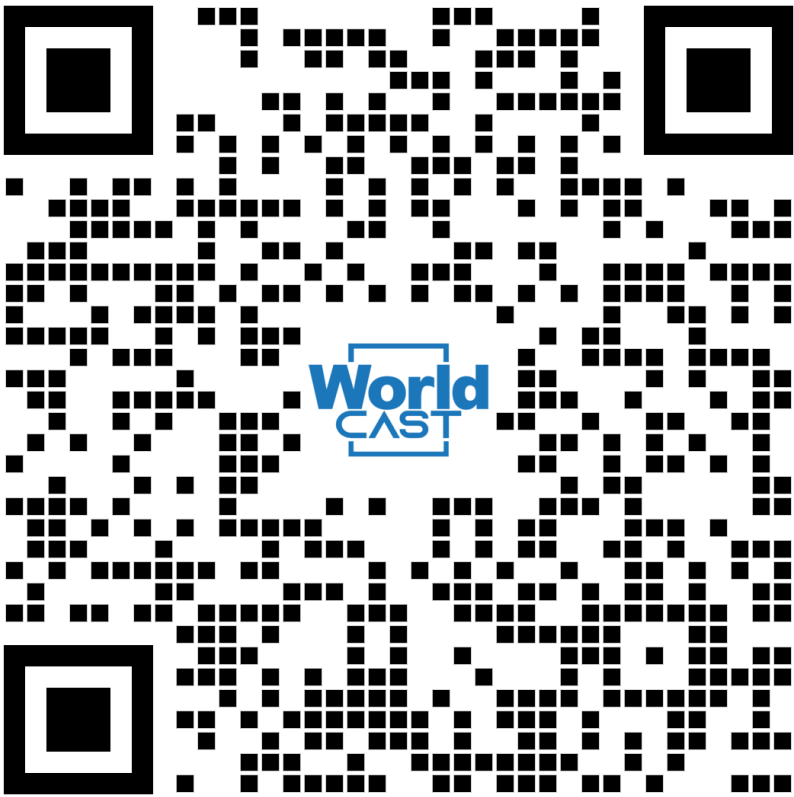


Vista inferior oeste del modelo de reconstrucción digital FIC. Fuente: Autor

Acceso a los modelos de reconstrucción digital
Centro Gallego de Arte Contemporáneo



Fundación Iberê Camargo



Digramas

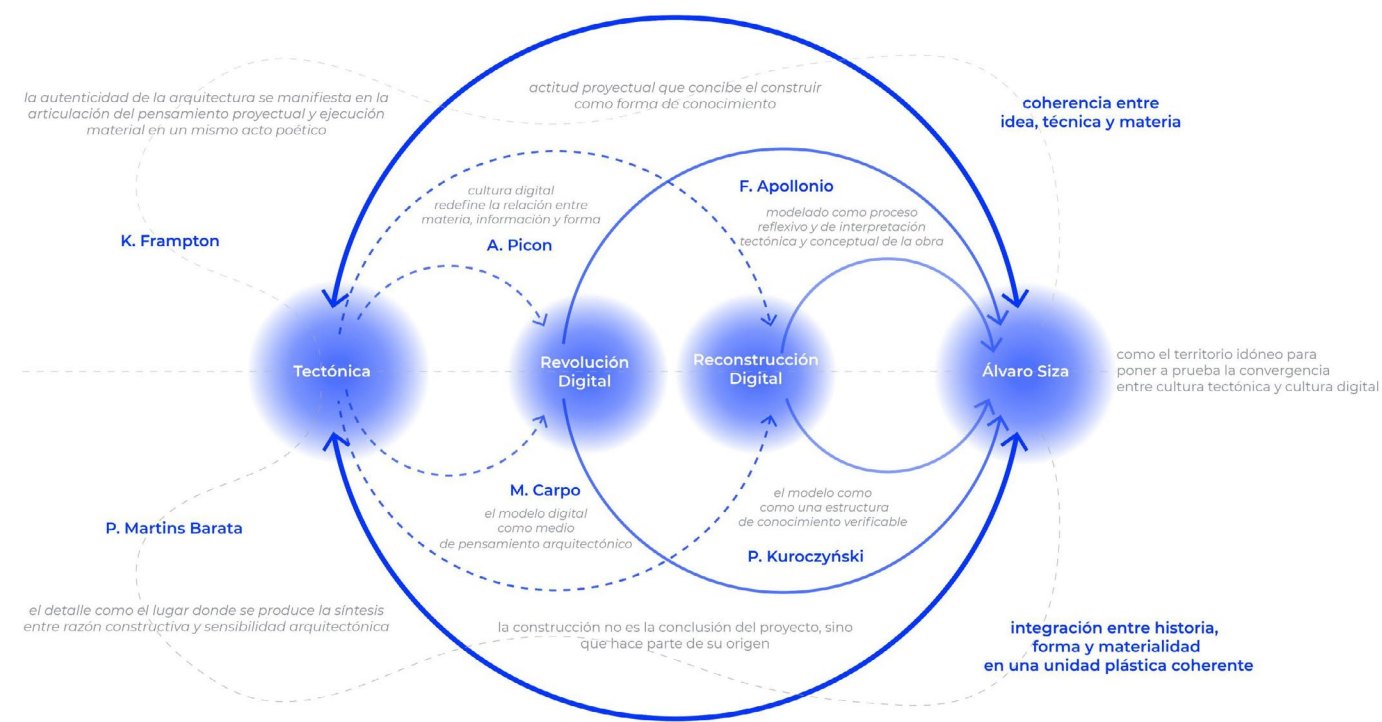


Diagrama del marco teórico y referencias claves. Fuente: Autor

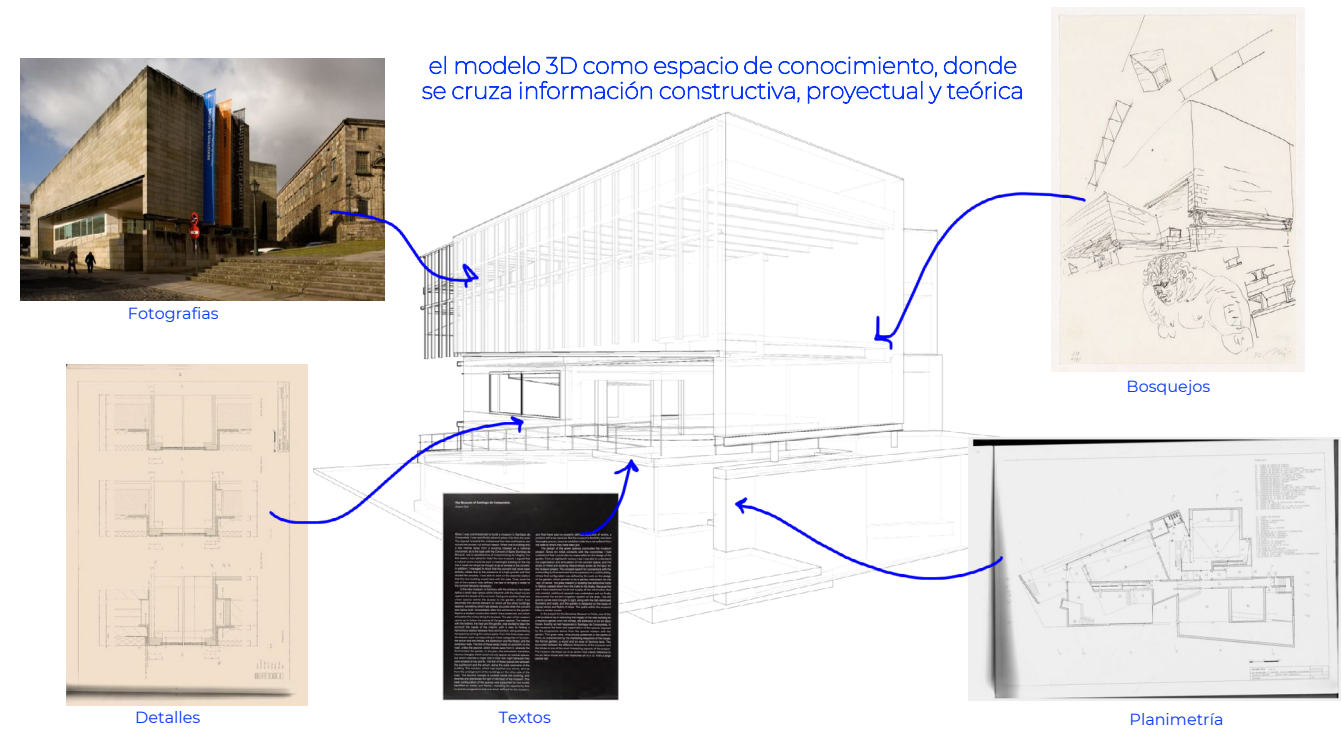


Diagrama de modelos de reconstrucción digital. Fuente: Autor