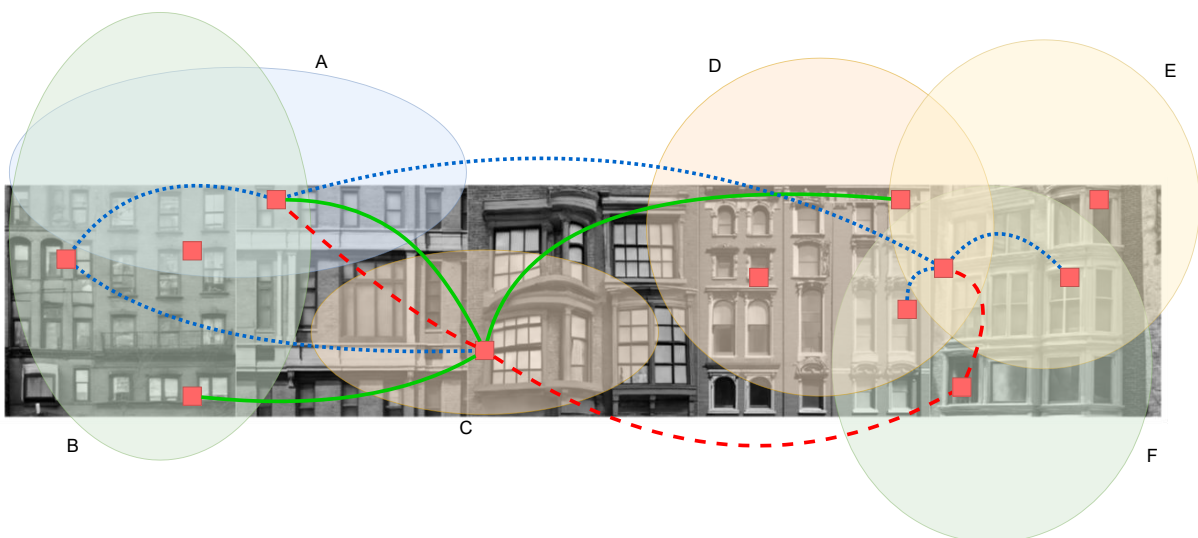


X CONVOCATORIA BECA DE INVESTIGACIÓN
Fundación Arquia
Real Academia de Bellas Artes de San Fernando

NYC HERITAGE-BIM:

Estrategias Innovadoras para la Toma de Decisiones y
Gestión del Patrimonio Arquitectónico en la ciudad de
Nueva York

Laura Fernández Resta





1. Objeto y Ámbito de Estudio

La presente propuesta de investigación se centra en la conservación y gestión sostenible de edificios patrimoniales en la ciudad de Nueva York, específicamente aquellos reconocidos como Monumentos Históricos Nacionales y los catalogados por Docomomo International [1] en su registro de edificios del Movimiento Moderno.

El objetivo principal de este proyecto es la integración de los procesos de conservación y toma de decisiones en un marco BIM (Building Information Management) para lograr la toma de decisiones eficaz en la gestión de patrimonio.

Nueva York y su Patrimonio:

La ciudad de Nueva York, con su impresionante paisaje urbano, alberga más de 100 edificios y monumentos de relevancia histórica, que revela un escenario dinámico donde la preservación de patrimonio se enfrenta a desafíos significativos. Dos de ellos han sido distinguidos por la UNESCO como parte integral del patrimonio histórico mundial, consolidando así la importancia cultural de esta metrópolis. En particular el proyecto de investigación se enfoca en los Monumentos Históricos Nacionales y los edificios catalogados por Docomomo Internacional, entidad que clasifica más de 50 estructuras en la ciudad como Amenazadas, Salvadas o Perdidas, subrayando la urgencia de abordar la conservación y la toma de decisiones eficientes.

Desafíos:

La conservación y gestión sostenible de edificios patrimoniales en la ciudad de Nueva York se enfrenta a diversos desafíos, cada uno de los cuales influye en la toma de decisiones y en la implementación de estrategias efectivas.

- Uno de los obstáculos fundamentales es la necesidad de colaboración entre grupos multidisciplinares, que incluyen expertos en arquitectura, historia, ingeniería y autoridades públicas. La integración exitosa de estas perspectivas diversas permite abordar la complejidad inherente a la conservación de monumentos históricos.
- Otro desafío significativo surge de la dispersión de la información relevante [2] en archivos a menudo no digitalizados [3], lo que dificulta el acceso eficiente y contribuye a la redundancia de procesos [4]. La falta de una plataforma centralizada de datos complica la toma de decisiones informada y destaca la necesidad urgente de estrategias de gestión de información más efectivas.
- Además, la participación del público general [3] se convierte en un elemento crítico, dado el impacto social de estos edificios. La concienciación y educación sobre la importancia de la conservación del patrimonio histórico son esenciales para lograr una colaboración efectiva.
- La falta de procesos estandarizados y la multitud de herramientas existentes a las que los procesos existentes deben adaptarse, añaden capas de complejidad [5]. La regulación y estandarización de procesos se presentan como requisitos para garantizar la coherencia y eficacia de la toma de decisiones en la conservación de edificios.

Toma de Decisiones

Los procesos de toma de decisiones son métodos que consisten en reunir la información, evaluar alternativas y, luego, tomar la mejor decisión final posible. Estos procesos se pueden aplicar en diferentes contextos, incluido el de la planificación y el diseño arquitectónico, donde la elección de opciones óptimas puede determinar el éxito y la eficacia de un proyecto.

En el contexto de edificios históricos o protegidos, los procesos de toma de decisiones consideran diversos factores, como el valor cultural, el impacto ambiental, el marco legal, el presupuesto disponible y las expectativas de los usuarios o beneficiarios. Estos factores pueden generar conflictos o dilemas entre las distintas opciones de intervención, restauración, rehabilitación, adaptación o demolición de los edificios.

Para resolver estos conflictos se requiere un análisis riguroso y participativo de las alternativas, basado en criterios técnicos, éticos, estéticos y sociales. Además, se debe tener en cuenta la visión a largo plazo y el interés público de preservar el patrimonio arquitectónico y cultural.

Heritage Building Information Management:

La metodología Heritage Building Information Management (HBIM) surge como un enfoque especializado de Building Information Management (BIM) para abordar las complejidades únicas asociadas a la conservación de edificios históricos [6]. Con un énfasis en la integración de datos no solo geométricos y constructivos, sino también históricos y culturales, HBIM se erige como una herramienta de gestión eficiente de la información patrimonial [7], [8].

La implementación de HBIM ofrece además la capacidad de analizar diferentes alternativas de intervención. La estandarización de la información, regida por normas y leyes específicas, facilitaría el uso efectivo de HBIM y fomentaría la participación de expertos en conservación en los procesos de renovación y mantenimiento. La digitalización y gestión de información dentro del marco HBIM no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también añade valor a la propiedad, destacando la importancia de la digitalización en el contexto actual.

Estrategias de Conservación:

El proyecto de investigación propone un análisis detallado de los edificios patrimoniales de la ciudad de Nueva York con el objetivo de mejorar las estrategias de conservación existentes. Este enfoque implica identificar áreas de oportunidad y desarrollar enfoques más efectivos mediante la integración de la metodología HBIM. Al hacerlo, se pretende superar los desafíos actuales en la toma de decisiones para la preservación del patrimonio arquitectónico.

Este proyecto se sumerge en la comprensión de la toma de decisiones en el ámbito del patrimonio histórico, desentrañando el conocimiento implícito y los procesos a menudo pasados por alto. Al hacer explícitos estos procesos y conocimientos, se busca proporcionar una base sólida para una toma de decisiones informada y eficaz. La investigación se adentra en las complejidades inherentes a estos procesos, destacando la importancia de hacer accesible y comprensible el conocimiento tácito que guía las decisiones en la gestión de patrimonio.



2. Marco Teórico y Conceptual

La gestión y preservación de edificios patrimoniales se enfrenta a desafíos derivados de la complejidad inherente a estas estructuras y a la necesidad de equilibrar conservación histórica con requisitos modernos. La falta de herramientas específicas y procesos estandarizados en este campo resalta la urgencia de explorar enfoques innovadores, donde la metodología HBIM se presenta como posible solución.

La conservación de edificios históricos involucra la preservación de características arquitectónicas, culturales e históricas, enfrentándose a desafíos como la escasez de documentación as-built precisa y la variabilidad geométrica no estándar. Esto contribuye a la complejidad de gestión patrimonial, donde la toma de decisiones informada se ve limitada por la insuficiencia de datos y la falta de herramientas adecuadas.

El problema central radica en la carencia de métodos eficientes para gestionar edificaciones patrimoniales, lo que se traduce en decisiones subóptimas. La necesidad de intervenir en este escenario se fundamenta en el impulso hacia un desarrollo sostenible que considere tanto la herencia histórica como las demandas contemporáneas [9].

HBIM:

Las políticas actuales de ahorro energético están orientadas hacia un futuro centrado en la renovación energética de edificios ya construidos y cambios de uso. Para ello se deben adaptar los procesos, incluyendo la implementación de BIM para la renovación. Los edificios protegidos son los primeros en ser considerados para renovación en lugar de sustitución, dado que su eliminación no es una opción viable.

La metodología BIM ha demostrado ser una herramienta poderosa en diversas áreas de la construcción, pero su implementación en la gestión de edificios patrimoniales presenta desafíos específicos. En este contexto existe la necesidad de preservar elementos arquitectónicos únicos, pero también hay una limitada disponibilidad de información. Al explorar herramientas de modelado como Revit, ArchiCAD y Allplan en el contexto patrimonial, se observa que todas ellas tienen una orientación predominante hacia proyectos de nueva construcción [10], evidenciando la necesidad de adaptar estas herramientas para abordar proyectos de conservación.

La estandarización de procesos se presenta como un paso necesario para facilitar la adaptación de las herramientas BIM disponibles, permitiendo que estas se integren en el contexto de conservación. Una transformación en el escenario actual, donde las herramientas se adapten a los procesos en lugar de los procesos a las herramientas, es necesaria.

Un gran volumen de la literatura actual sobre HBIM se centra en la creación de modelos detallados (gemelos digitales) que también pueden ser utilizados para experiencias de realidad virtual o aumentada. Sin embargo, para la gestión de patrimonio y la toma de decisiones, es posible trabajar con un cierto nivel de abstracción de la geometría, optimizando recursos de personal, tiempo y equipamiento, y permitiendo la inclusión de información relevante en forma de texto o enlaces a documentos e imágenes [3].

El proceso de creación de un modelo HBIM implica un enfoque de ingeniería inversa (*Figura 1*). Se parte del objeto existente, se obtiene la documentación geométrica, se crea el modelo geométrico y se incorpora la información semántica [11]. Inicialmente, la información tanto geométrica como semántica es limitada, utilizando planos antiguos, nubes de puntos y documentos de archivos. El modelo resultante de esta primera

aproximación se puede considerar un “modelo de expectativas BIM” que sirve como base para la toma de decisiones iniciales (*Figura 2*). A medida que se decide intervenir en el edificio, se recopila más información geométrica y semántica a través de catas, investigaciones y planos de instalaciones que se implementan en el modelo de manera iterativa, acercándose gradualmente a un gemelo digital.

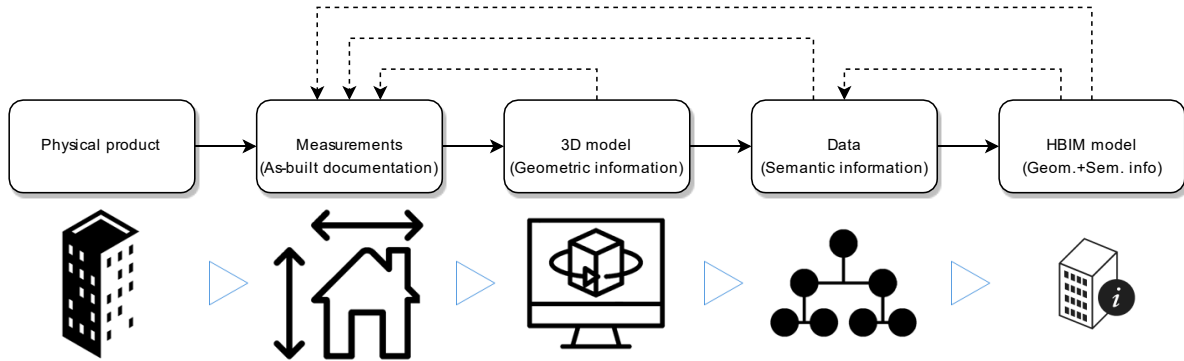


Figura 1: Ingeniería inversa del proceso HBIM

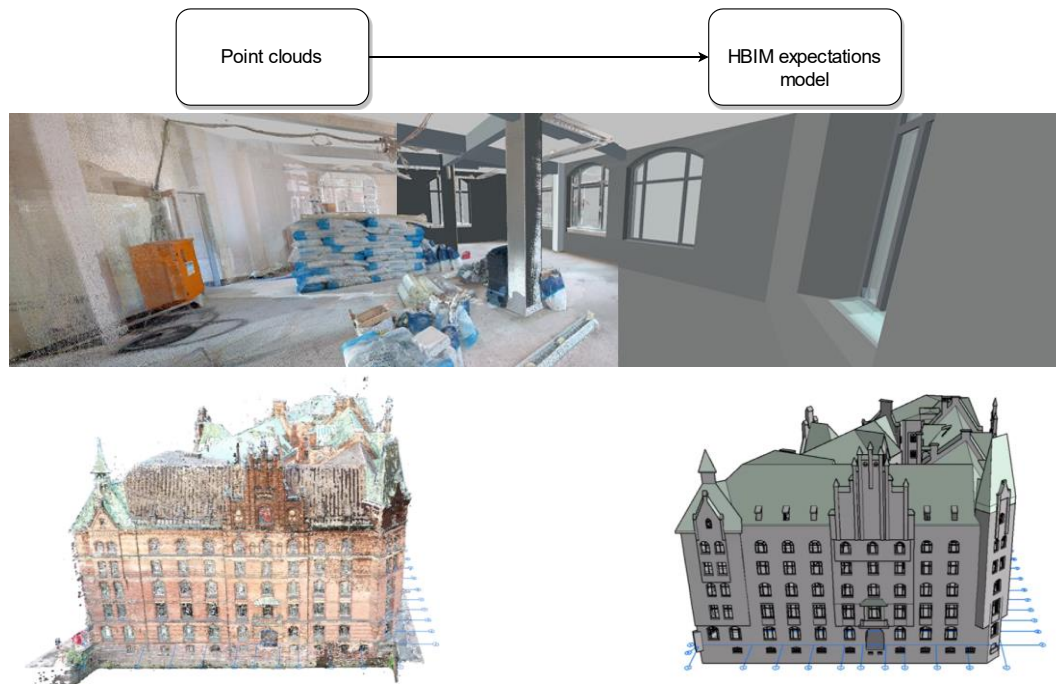


Figura 2: De nubes de puntos a modelos de expectativas HBIM

Todo modelo BIM consta de una parte geométrica, representada por el modelo 3D, y otra semántica, organizada según el esquema IFC de buildingSMART International (bSI) (*Figura 3*) [12]. La gestión de información se puede simplificar abstrayendo la parte semántica y trabajar directamente con propiedades y relaciones.

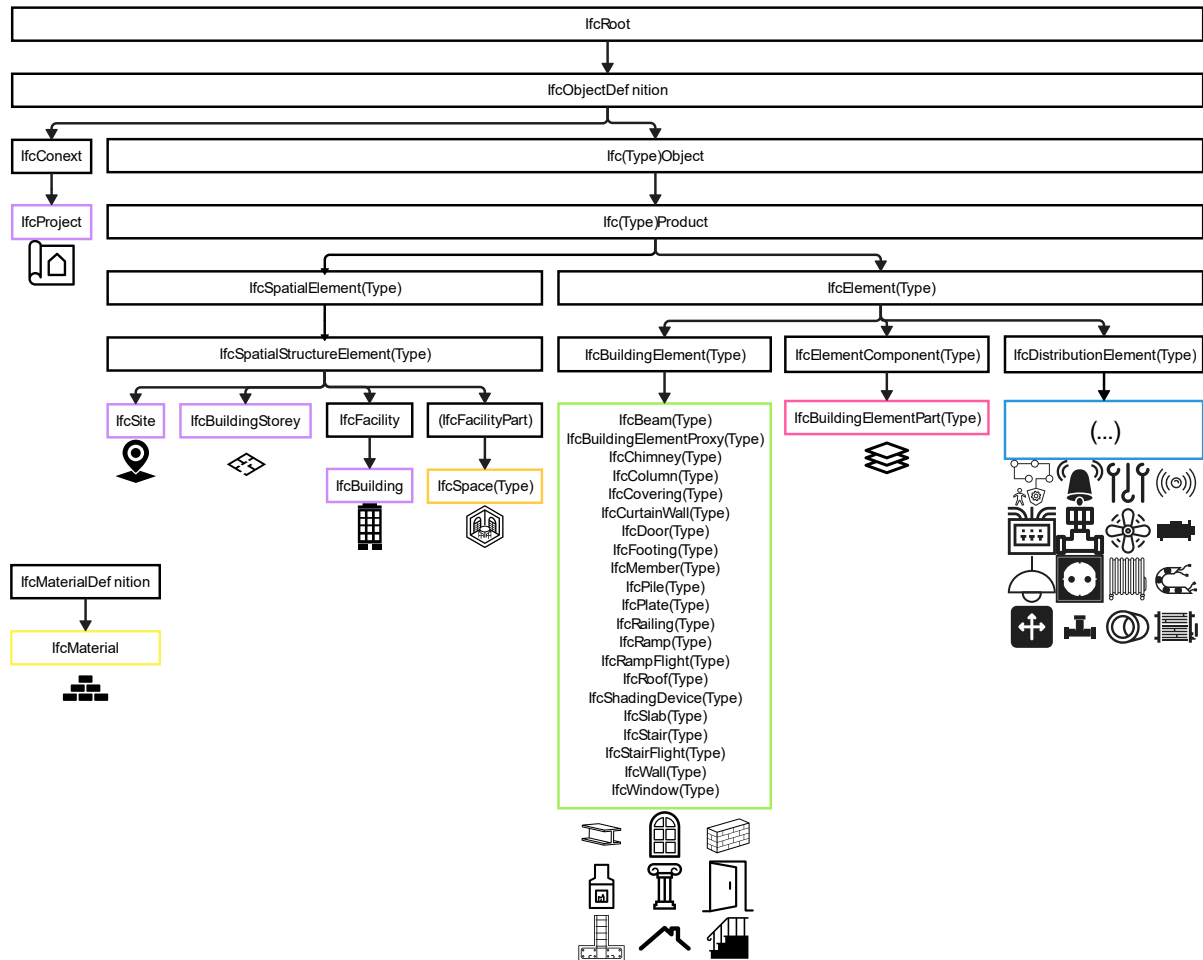


Figura 3: Simplificación del esquema IFC de bSI

En el contexto de la gestión de patrimonio, la implementación efectiva de HBIM implica adaptaciones integrales. La introducción de HBIM aborda las singularidades y desafíos específicos de la gestión de edificios históricos. El objetivo principal de HBIM es crear modelos digitales que capturen no solo la geometría y la información asociada, sino también la esencia histórica y cultural, adaptándose a los cambios en el tiempo

La participación activa de todas las partes interesadas en los procesos de digitalización y el uso de metodologías HBIM es necesaria para el éxito de su implementación. Esto abarca desde expertos en conservación hasta administradores y autoridades reguladoras, independientemente de sus conocimientos sobre HBIM [13], lo que destaca la necesidad de programas educativos y de sensibilización [4].

El desarrollo de modelos HBIM no se limita a la creación de representaciones digitales, sino que implica su aplicación práctica en la gestión diaria de los edificios históricos. Esto incluye el análisis de diversas alternativas de intervención para tomar decisiones informadas sobre conservación, mantenimiento o posibles renovaciones [14]. La integración efectiva del conocimiento del patrimonio en modelos HBIM requiere una rigurosa estandarización de los requisitos de información, guiada por normas y directrices, con la participación activa de todas las partes interesadas para garantizar la representación precisa de sus necesidades [3].

Limitaciones:

Para la implementación de la metodología HBIM es necesaria la interoperabilidad, que se basa en la colaboración y el intercambio eficiente de información entre diversas plataformas y herramientas. El formato independiente de fabricantes y estandarizado IFC [12] se destaca como la única solución actual que fomenta la interoperabilidad entre herramientas [15]. Sin embargo, existe un gran desfase entre la actualización de los estándares IFC por parte de bSI y su implementación por parte del software y herramientas de autor [16]. Las herramientas Open-Source tienden a adaptarse con mayor rapidez, pero aún enfrentan limitaciones, ya que dependen del tiempo libre de los colaboradores y las sugerencias de los usuarios. La interoperabilidad es esencial, ya que los programas deben importar y exportar correspondientemente las propiedades requeridas en formato IFC para establecer un repositorio único que facilite la gestión integral [17].

La falta de directrices, la necesidad de actualizar los procedimientos anticuados y de gestionar la incertidumbre de los datos en edificaciones patrimoniales son limitaciones identificadas en la investigación previa. Además, se suman otras limitaciones adicionales de colaboración, integración de información y problemas de precisión.

En este contexto, se puede observar que es preciso optimizar los procesos administrativos en el ámbito del patrimonio histórico, lo que ha motivado la expansión geográfica de la investigación a la ciudad de Nueva York.

Modelo HBIM como Repositorio Central:

Existen estudios en el ámbito de HBIM donde a partir de entrevistas a distintas partes interesadas se intentan comprender las prioridades de cada una de ellas y formular pautas mínimas de desarrollo según los objetivos y recursos de cada parte [13]. Para superar las limitaciones anteriormente mencionadas, es preciso abordar el nivel de detalle y de información, pero también de abstracción y de conocimiento sobre el edificio [13]. En edificios históricos es fundamental definir los mínimos necesarios y considerar cómo se va a obtener y a mostrar la información según los recursos disponibles. La administración pública desempeña un papel fundamental en este contexto al implementar políticas para la gestión de patrimonio, pero también debe involucrarse en la metodología HBIM, regulando propiedades necesarias para casos específicos.

La gestión y preservación del patrimonio arquitectónico requiere un enfoque interdisciplinario que sintetice sostenibilidad y conservación histórica. La interacción entre disciplinas enriquece la toma de decisiones, abordando no solo conocimientos técnicos sino también dimensiones culturales, sociales y éticas. La forma más efectiva de que las partes interesadas aporten sus conocimientos y necesidades es centralizar la información en un repositorio accesible para todos. El uso del modelo HBIM como repositorio central [18] elimina la necesidad de transferencia e interpretación por parte de intermediarios, fomentando la colaboración directa [19]. Este repositorio central se puede conectar con otras plataformas, como sistemas de información geográfica (GIS) y bases de datos históricas.

En el proyecto “CO2 neutrales Weltkulturerbe Speicherstadt” (0-CO2-WSHH) en el que trabajo actualmente, como parte del BIMLab de la HafenCity Universität (HCU) de Hamburgo, mis compañeros y yo investigamos herramientas para el uso colaborativo de modelos HBIM, evaluando la integración en programas de simulación para lograr neutralidad de emisiones. Reconociendo la falta de conocimientos BIM de las partes interesadas y la limitada interoperabilidad del software existente, estamos desarrollando una interfaz web que permite acceder y modificar información directamente en el archivo IFC del modelo HBIM sin necesidad de gestionar la geometría, tratando los archivos IFC como bases de datos interrelacionados. El modelo HBIM actúa como un eje central para

el intercambio de datos y la interfaz como el cuadro de mandos que facilita a las partes interesadas el acceso a la información contenida en él (*Figura 4*).

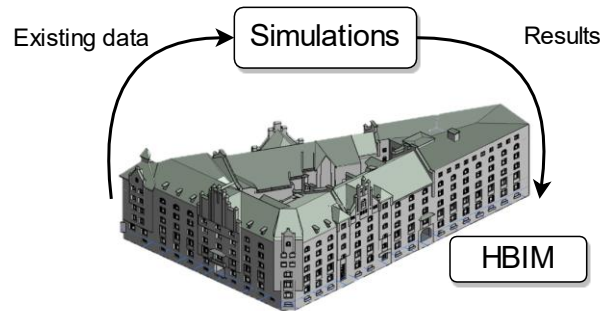


Figura 4: Flujo de intercambio de datos circular entre modelo HBIM y simulaciones

Toma de Decisiones y MCDM:

La gestión del patrimonio arquitectónico involucra procesos de toma de decisiones. En este contexto, la capacidad de HBIM para centralizar datos y la aplicación de métodos Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) para evaluar alternativas se fusionan para ofrecer un enfoque informado y estratégico [20].

Los métodos MCDM ofrecen una evaluación integral de alternativas al permitir la ponderación de diversos criterios de manera simultánea [21]. Aspectos como la viabilidad técnica, el impacto cultural, la sostenibilidad y el costo económico pueden ser considerados en este proceso. La integración de HBIM y MCDM busca potenciar la toma de decisiones, proporcionando datos concretos y detallados a través del modelo HBIM, mientras que MCDM ofrece un marco analítico para comparar y evaluar alternativas.

HBIM, actuando como un repositorio central, se posiciona como un facilitador de información para la toma de decisiones en la gestión del patrimonio arquitectónico. Esto permite a los gestores y conservadores acceder a datos detallados sobre las condiciones actuales de los edificios históricos, facilitando la evaluación del estado de conservación, la simulación de intervenciones y la anticipación de posibles impactos influyendo así en el proceso de toma de decisiones.

La colaboración con la Oficina de Protección de Patrimonio (Denkmalschutzamt) de Hamburgo en el proyecto 0-CO2-WSHH me proporciona una perspectiva directa de los procesos de toma de decisiones en la gestión del patrimonio de Hamburgo. La propuesta actual pretende extender estos conocimientos al contexto específico de la ciudad de Nueva York para poder compararlos y analizar tanto sus puntos en común como los puntos en los que difieren.

Esta propuesta busca generar un flujo de trabajo e información global que incorpore mejores prácticas adaptadas a cada contexto histórico y urbano. El objetivo es destacar la importancia de la síntesis entre sostenibilidad, conservación histórica y desarrollo urbano en un marco cohesivo de toma de decisiones. En este sentido, la combinación de herramientas como HBIM y MCDM se presenta como un enfoque estratégico para realizar análisis precisos, anticipar impactos a largo plazo y seleccionar estrategias de conservación equilibradas que consideren diversos factores.



3. Objetivos

La presente propuesta de investigación se embarca en la tarea de mejorar significativamente el proceso de toma de decisiones para edificaciones protegidas de la ciudad de Nueva York. A través de un enfoque integral, se propone la implementación de un flujo de trabajo orientado al usuario en el contexto de HBIM. Este proyecto se erige como una iniciativa innovadora que busca fusionar la rica historia arquitectónica de la ciudad de Nueva York con las tecnologías de vanguardia.

Objetivo General:

El objetivo principal de esta propuesta es abordar los desafíos inherentes a la conservación de patrimonio arquitectónico, utilizando la metodología HBIM como marco central.

Pregunta de Investigación: ¿Cómo puede mejorarse el proceso de toma de decisiones para edificaciones protegidas en la ciudad de Nueva York mediante la implementación de un flujo de trabajo HBIM orientado al usuario?

Objetivos Específicos:

Para alcanzar el objetivo general, se han delineado objetivos específicos que se sumergen en aspectos clave de la gestión y preservación de patrimonio. Estos objetivos se centran en la ciudad de Nueva York, reconociendo la diversidad cultural y los desafíos únicos que presenta este entorno urbano.

La investigación se estructura en torno a tres bloques temáticos:

- Comprender los procesos de toma de decisiones actuales.
- Adaptar eficazmente estos procesos a HBIM.
- Desarrollar estrategias eficientes para gestionar estos procesos.

En este contexto, la propuesta de investigación debe involucrar a las diversas partes interesadas en los procesos de toma de decisiones, desde arquitectos e ingenieros, a autoridades públicas y comunidades locales. La investigación busca identificar patrones, desafíos y oportunidades que se traduzcan en un proceso de toma de decisiones más eficiente y sostenible para la conservación del patrimonio arquitectónico en la ciudad de Nueva York.

1. Comprender los Procesos de Toma de Decisiones Actuales

Primera Subpregunta de Investigación: ¿Cuáles son los procesos de toma de decisiones actuales en la conservación de edificaciones patrimoniales en la ciudad de Nueva York, y cómo se pueden identificar y comprender de manera integral?

Para abordar esta pregunta se requiere:

- Identificar Edificios Históricos en la Ciudad de Nueva York: Con el fin de establecer una base sólida, se ha de llevar a cabo un inventario de edificios históricos en la ciudad de Nueva York, revisando fuentes gubernamentales y de conservación de patrimonio para obtener una lista detallada de estos edificios.
- Investigar Procesos de Toma de Decisiones en la Conservación de Edificios Históricos de la Ciudad de Nueva York: La exploración de los procesos actuales de toma de decisiones es fundamental para comprender la complejidad inherente a la conservación de edificaciones históricas en la ciudad. No sólo implica la

descripción de los procedimientos existentes, sino también el análisis de los desafíos y oportunidades que surgen en la integración de la toma de decisiones sobre el patrimonio. A través de un análisis de casos se puede entender las dinámicas actuales y las interacciones entre las diversas partes interesadas involucradas en estos procesos.

- Examinar Conocimientos y Procesos Implícitos en las Actividades de Toma de Decisiones sobre Patrimonio Histórico de la Ciudad de Nueva York: Para captar la complejidad más allá de los procedimientos documentados, es necesario entender los conocimientos implícitos y procesos subyacentes en las actividades de toma de decisiones sobre el patrimonio histórico en la ciudad de Nueva York. El objetivo es identificar matices que a menudo se pasan por alto y que pueden tener un impacto significativo en el proceso de toma de decisiones. Al hacer explícitos estos conocimientos, se contribuye a una comprensión más profunda y contextualizada de los desafíos y oportunidades en juego.

2. Integrar los Procesos de Toma de Decisiones Actuales en la Metodología HBIM

Segunda Subpregunta de Investigación: ¿Cómo se puede implementar de manera efectiva un flujo de trabajo HBIM para satisfacer las necesidades de diferentes contextos culturales en la toma de decisiones para la conservación del patrimonio arquitectónico?

La adaptación de estos procesos a la metodología HBIM implica:

- Adaptar el Flujo de Trabajo a Diferentes Contextos Culturales: Una vez establecido un flujo de trabajo HBIM, éste se debe ajustar a las particularidades culturales de cada contexto dentro de la ciudad de Nueva York. Aspectos clave como regulaciones locales, prácticas de conservación específicas y preferencias culturales en las tomas de decisiones deben ser analizados. El objetivo es que la integración se realice de manera efectiva y respetuosa en el contexto local, adaptando el flujo de trabajo en consecuencia.
- Gestionar la Incertidumbre de Datos: Abordar las dificultades asociadas a la falta de datos y a la incertidumbre inherente en la gestión de edificios históricos es esencial para la implementación exitosa de HBIM. Para ello son precisos estrategias y protocolos prácticos de gestión de la incertidumbre, asegurando la calidad y precisión de los modelos HBIM.

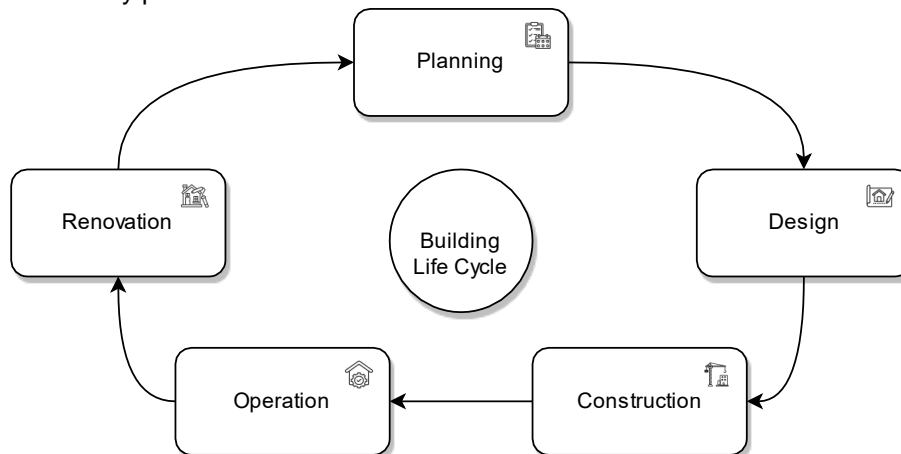


Figura 5: Ciclo de vida de los edificios

- Actualizar el Modelo HBIM durante el Ciclo de Vida del Edificio: La implementación de un enfoque dinámico garantiza la relevancia continua del modelo HBIM a lo largo del ciclo de vida del edificio (Figura 5). Esto incluye el desarrollo de protocolos y procedimientos para la incorporación efectiva de nueva información, considerando la evolución del edificio y su entorno. Se deben abordar preguntas

como quién será responsable de la actualización, cómo se gestionará y con qué frecuencia se debe llevar a cabo, para asegurar la vigencia y utilidad continua del modelo HBIM.

3. Estrategias Eficientes y Orientadas al Usuario para la Implementación de los Nuevos Procesos de Toma de Decisiones

Tercera Subpregunta de Investigación: ¿Cuáles son las estrategias más eficientes para gestionar los datos dentro del modelo HBIM para la toma de decisiones relacionadas con la conservación de edificaciones protegidas, y cómo se pueden implementar en los flujos de trabajo de las partes interesadas?

Para la mejora de la colaboración entre las partes interesadas, se deben proponer estrategias específicas de toma de decisiones, lo que involucra:

- Mejorar la Colaboración entre las Partes Interesadas para Alcanzar una Conservación Eficaz: Para el desarrollo de estrategias y directrices específicas para fomentar la colaboración efectiva entre las diversas partes interesadas, como arquitectos, historiadores, ingenieros y autoridades públicas, se deben explorar enfoques concretos, como la creación de plataformas de comunicación y los talleres comunicativos, entre otros.
- Proponer Estrategias de Toma de Decisiones: Se deben formular estrategias específicas de toma de decisiones que equilibren la conservación del patrimonio con las necesidades contemporáneas. Para ello se debe detallar cómo verificar la precisión de la información recopilada, presentar recomendaciones formales, y planificar la implementación práctica de estas estrategias.
- Involucrar a las Partes Interesadas y a las Comunidades en el Diálogo sobre la Reutilización Adaptativa: Es necesario el desarrollo de un enfoque participativo que incluya a las partes interesadas y comunidades locales en el proceso de toma de decisiones sobre la reutilización adaptativa de los edificios históricos. Para ello se debe establecer la forma de facilitar el diálogo inclusivo con el objetivo de integrar diversas perspectivas.
- Validar Resultados: Se debe evaluar la eficacia y aplicabilidad de las mejoras propuestas en los procesos de toma de decisiones, garantizando la robustez y confiabilidad de los resultados obtenidos.



4. Metodología a Seguir

La metodología propuesta para el proyecto se presenta con un enfoque integral, dividido en fases secuenciales diseñadas para aportar información clave para la mejora del proceso de toma de decisiones para edificaciones protegidas. Este enfoque se basa en un flujo de trabajo HBIM orientado al usuario.

Esta metodología garantiza un enfoque holístico, desde la investigación inicial hasta la aplicación práctica, asegurando que los procesos de toma de decisiones para la conservación del patrimonio arquitectónico en la ciudad de Nueva York sean efectivos y replicables en diversos contextos.



1. Revisión Bibliográfica:

La revisión bibliográfica constituye el fundamento teórico de todo proyecto de investigación. Hasta el momento, dentro del marco de mi proyecto de doctorado, he llevado a cabo una revisión de la literatura centrada en HBIM, teoría de toma de decisiones, específicamente en Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), y su implementación con modelos BIM. A partir de este punto, este enfoque se amplía para investigar sobre métodos de análisis cualitativos, con el fin de obtener datos relevantes para la investigación.

La revisión bibliográfica no constituye un punto estático en la progresión de la investigación, sino un proceso iterativo que evoluciona de manera constante. Su función es la de proporcionar una base teórica y conceptual para la investigación, adaptándose conforme se avanza en las diferentes fases del proyecto.



2. Análisis Contextual:

El análisis contextual detallado de los edificios históricos de la ciudad de Nueva York constituye el primer paso práctico del proyecto. Esta fase tiene como objetivo proporcionar una comprensión detallada del entorno histórico, identificar edificios protegidos o relevantes históricamente y establecer un primer contacto con las partes interesadas relacionadas con ellos.

Para ello primero se realizará una revisión de la lista de edificios protegidos en la ciudad de Nueva York, utilizando fuentes como registros gubernamentales y organizaciones de conservación de patrimonio. Como resultado se obtendrá una lista detallada de estos edificios, incluyendo información relevante como fechas de construcción y rehabilitación, detalles de su estatus de protección y oficinas de ingeniería y arquitectura, conservacionistas, planificadores urbanos, autoridades públicas (como el United States National Historic Landmark program), organizaciones relevantes (como Docomomo) y otras partes interesadas involucradas en los proyectos.

Una vez identificadas las partes interesadas en la conservación de estos edificios, se creará un filtro adicional que aporte datos sobre las partes interesadas involucradas en proyectos de conservación desde el año 2000. Esto permitirá identificar partes interesadas que probablemente sigan en activo y que estén familiarizadas con la metodología BIM o al menos tengan conocimientos básicos al respecto.

Para la primera toma de contacto con las partes interesadas, se redactará un e-mail personalizable pidiendo colaboración y explicando de manera concisa el propósito del

proyecto, los objetivos de la investigación conjunta y la garantía de anonimización de datos para la publicación de resultados.

Se recopilará información adicional sobre las partes interesadas contactadas, como sus roles específicos, experiencias previas en proyectos similares y enfoques adoptados en la conservación de patrimonio. Además, se prepararán cuestionarios y guías para las entrevistas de las fases posteriores, asegurando que aborden aspectos relevantes del uso de metodología BIM en la toma de decisiones para edificaciones protegidas.



3. Entrevistas Cualitativas:

Las entrevistas cualitativas están destinadas a obtener perspectivas detalladas sobre los roles, conocimientos y procesos de tomas de decisiones de las partes interesadas en los proyectos de conservación de patrimonio.

Tras haber recibido la confirmación de participación de distintas oficinas y organizaciones, se procederá a una primera ronda de entrevistas, preferiblemente de forma presencial, pero con la posibilidad de hacerlas por videollamada. En esta ronda se abordarán cuestiones generales sobre los roles desempeñados por cada parte interesada en los proyectos de conservación. Se buscará comprender el conocimiento y/o la experiencia previa con la metodología BIM, y, en su caso, las expectativas para su integración en sus procesos de trabajo. También se busca empezar a explorar los procesos de toma de decisiones, incluyendo quiénes están involucrados en ellos, cómo y sobre qué se toman las decisiones y qué factores influyen en ellas.

En una segunda ronda de entrevistas se busca la profundización en los procesos de toma de decisiones, tomando como base los resultados de la primera ronda de entrevistas. Para ello se identificarán los flujos de trabajo específicos de cada parte interesada, así como los criterios clave utilizados en la toma de decisiones, teniendo en cuenta las particularidades de cada proyecto, reconociendo que cada edificación histórica puede presentar desafíos únicos. El objetivo final es examinar la posibilidad de estandarizar ciertas decisiones, buscando patrones comunes que puedan aplicarse a diferentes contextos.

Ambas rondas de entrevistas se llevarán a cabo siguiendo un enfoque de “Teoría Fundamentada” o “Grounded Theory”, un enfoque de investigación cualitativa que busca generar teoría directamente a partir de los datos recopilados sin imponer preconcepciones. En lugar de partir de hipótesis previas, permite que los patrones y temas emerjan inductivamente a lo largo del proceso de análisis, proporcionando una comprensión más profunda y contextualizada de los fenómenos estudiados. Este método implica una constante comparación de datos y la construcción de teoría basada en la realidad observada por los participantes.



4. Observación Participativa:

La observación participativa es una estrategia de investigación cualitativa que implica la inmersión activa de los investigadores en el entorno natural de estudio, participando en las actividades diarias. En este caso, el objetivo es comprender a fondo los procesos de toma de decisiones relacionados con la conservación de patrimonio arquitectónico.

Para ello me integraré de manera activa en la oficina u organización que acepte la colaboración, participando en reuniones, discusiones y otras actividades cotidianas, de manera silenciosa. Así se obtiene una comprensión profunda de la dinámica laboral, la cultura organizacional y los desafíos específicos relacionados con la conservación de patrimonio.

Durante la observación se registrarán detalladamente las prácticas reales de toma de decisiones, incluyendo la interacción entre diferentes partes interesadas, uso de herramientas y tecnologías, y cualquier desafío identificado en el proceso.

Se tomarán anotaciones precisas y se documentarán las observaciones de manera sistemática para garantizar la validez de los datos recopilados.

Siempre que sea posible, y bajo consentimiento de las partes involucradas, se llevará a cabo la grabación de interacciones que servirán para un análisis más profundo de las dinámicas y decisiones tomadas.



5. Recopilación y Análisis de Datos:

El proceso de recopilación y análisis de datos proporciona la base empírica necesaria para el proyecto de investigación. Esta etapa se llevará a cabo de manera y metódica, uniendo la obtención de datos a través de entrevistas y observaciones con un análisis profundo utilizando técnicas específicas.

Todas las entrevistas cualitativas serán grabadas para capturar de manera precisa las opiniones de las partes interesadas. Posteriormente, se procederá a la transcripción completa de estas grabaciones. Esta transcripción garantiza una documentación detallada y facilita el análisis posterior.

Las grabaciones de la observación participativa también son transcritas. Estas transcripciones junto con las anotaciones de las observaciones serán a su vez analizadas usando los mismos métodos cualitativos que para el análisis de las entrevistas.

Para este análisis se realizará una codificación temática. Este enfoque implica identificar, analizar y reportar patrones temáticos dentro de las transcripciones.

Una vez hecha la codificación temática se procederá a hacer un análisis comparativo de los temas identificados. Esto implica examinar similitudes y diferencias entre las respuestas de las diversas partes interesadas. Este paso proporciona una comprensión más profunda de las experiencias y perspectivas individuales.

Por último, se llevará a cabo una triangulación de resultados, que implica la validación de datos a través de la combinación de diferentes métodos y fuentes. En este caso, se combinarán los resultados de las dos rondas de entrevistas, de la observación participativa y de la revisión bibliográfica, fortaleciendo la confiabilidad y validez de los hallazgos.

Todo el material recopilado, incluyendo anotaciones y grabaciones, se maneja de manera anonimizada, para preservar la confidencialidad de las partes involucradas.



6. Integración HBIM:

La integración de la toma de decisiones en HBIM permite la optimización de los procesos. Para ello se debe incorporar de manera efectiva la gestión de información de edificios con la toma de decisiones.

Se llevará a cabo un análisis de las herramientas BIM existentes para identificar puntos de integración potenciales. Este análisis proporcionará información sobre las capacidades actuales de las herramientas BIM y cómo pueden alinearse con los procesos de tomas de decisiones identificados en las fases anteriores del proyecto.

Como resultado se obtendrá un flujo de trabajo propuesto y unas directrices para ciertos casos de uso.

7. Continuidad del Proyecto:

Es esencial considerar las etapas posteriores al proyecto, ya que éste se enfoca como un subproyecto que forma parte de un proyecto de doctorado que continuará una vez finalizados los 6 meses en la ciudad de Nueva York.

Una vez alcanzada la propuesta de integración de los procesos de toma de decisiones dentro de la metodología HBIM, objetivo principal del proyecto que aquí se presenta, se procederá a la validación de los resultados mediante la realización de talleres en Hamburgo con expertos de conservación y especialistas BIM. Estas interacciones profundizarán en la comprensión de los nuevos procesos propuestos y proporcionarán retroalimentación. Así se garantiza la aplicabilidad y viabilidad de los flujos de trabajo en un contexto más amplio.

Además, se propondrá un proyecto prototipo que servirá como prueba de campo para evaluar la efectividad y eficiencia de los procesos propuestos en un entorno real. Los resultados contribuirán a refinar y ajustar los flujos de trabajo antes de su implementación a mayor escala.

A lo largo del proyecto y una vez finalizado, se publicarán resultados en conferencias, eventos y revistas científicas. Esta es otra forma de validación de los resultados por parte de la comunidad científica y profesional. Este intercambio continuo contribuirá a la mejora constante de los procesos propuestos.



Marco Temporal Propuesto:

Se propone el siguiente marco temporal para el desarrollo del proyecto a lo largo de los 6 meses de duración (*Figura 6*). Hay que tener en cuenta que se trata de un subproyecto dentro de mi tesis de doctorado, por lo que no empieza y acaba abruptamente con mi llegada y partida a y de la ciudad de Nueva York. La revisión bibliográfica ya ha comenzado con el inicio de mi tesis y una vez recibida la aceptación de la beca, comenzaría a realizar los listados de edificios y contactos pertinentes.

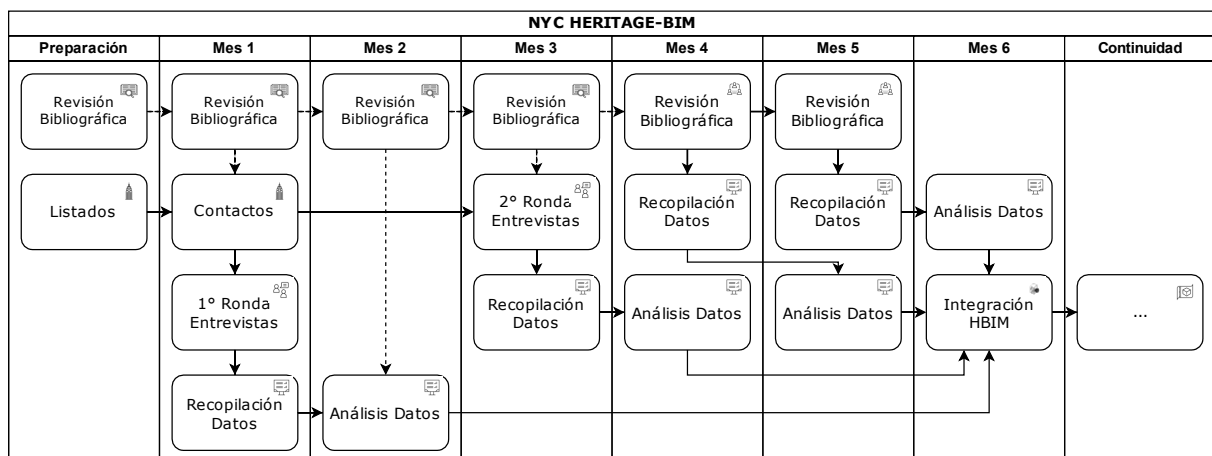


Figura 6: Marco temporal del proyecto de investigación NYCHBIM

A lo largo del mes 1, la revisión bibliográfica continúa y se contacta con posibles partes interesadas para la realización de una primera ronda de entrevistas de la que se recopilarán datos.

Durante el mes 2, esos datos se analizarán, se continuará la revisión bibliográfica y se prepararán en detalle la segunda ronda de entrevistas más detallada sobre los procesos de toma de decisiones y la observación participativa.

En el mes 3 se llevará a cabo la segunda ronda de entrevistas y se recopilarán datos de ella. En paralelo se continuará con la revisión bibliográfica

A lo largo del mes 4, se comenzará la observación participativa con su correspondiente recopilación de datos. Además, se analizarán los datos recopilados de las entrevistas del mes anterior.

Durante el mes 5 se continuará con la recopilación de datos de la participación participativa y se comentará con el análisis de los datos del mes anterior.

En el mes 6 se concluirá el análisis de datos de la observación participativa. Una vez se hayan finalizado todos los análisis particulares de los datos de cada fase, se harán análisis comparativos, obteniendo como resultado una propuesta de integración de MCDM en HBIM.

Una vez finalizada la estancia en la ciudad de Nueva York, regresaré a mi posición en la HafenCity Universität de Hamburgo para continuar mejorando y validando la integración MCDM en HBIM y comparando los resultados con los obtenidos de procesos similares en Hamburgo como parte de mi tesis de doctorado.



5. Otros Aspectos de Interés

Trayectoria Laboral y Especialización en HBIM:

A lo largo de mi carrera, he evolucionado en el ámbito de Building Information Management (BIM) hacia una especialización en Heritage BIM (HBIM). Actualmente mi trabajo de investigación se centra en la aplicación de metodologías BIM en proyectos de preservación del patrimonio arquitectónico, destacando la importancia de la digitalización en la gestión eficiente de edificaciones históricas.

Cuento con experiencia internacional, incluyendo un año de estudios en Italia (Politecnico di Milano) y 10 años de experiencia laboral en arquitectura y construcción en España (con proyectos en Colombia), y Alemania. Esto ha ampliado mi perspectiva global en el campo de la preservación del patrimonio e influye significativamente en mi enfoque hacia la integración de tecnologías innovadoras en la arquitectura.

Trayectoria Académica e Investigación:

A pesar de que mi ingreso en el mundo de la investigación se ha producido hace dos años, nunca me he apartado del mundo académico, formándome de manera continua con cursos enfocados en BIM y estudiando el Grado en Ingeniería Informática de la UNED, del que he superado ya 60 ECTS de un total de 240.

En el transcurso del año 2024, tengo previsto participar en conferencias relevantes para mi investigación, donde mi objetivo es compartir y adquirir conocimientos en el ámbito de la sostenibilidad y la preservación de edificios históricos. En marzo, asistiré como segunda autora, junto a Lena Teichmann de la Universität Stuttgart, a los Bauphysikstage de la Bauhaus-Universität de Weimar, presentando nuestro artículo “Sustainable Development in Listed Districts: CO2-Neutral World Heritage Speicherstadt Hamburg”. También he sido invitada como ponente a la conferencia “Urban Futures – Cultural Pasts: Sustainable Cities, Cultures & Crafts” en julio, organizada por AMPS (Architecture, Media, Politics, Society) en la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, donde presentaré y publicaré el artículo “Structuring the Past: Leveraging HBIM and Decision-Making for Heritage Conservation”.

Además, he superado la primera fase para participar como ponente en la conferencia BauSIM de septiembre en la Technische Universität de Viena con el artículo “Sustainable Heritage Transformation: Bridging BIM and Simulation Processes”. También he superado la primera fase para participar como ponente en la conferencia SMAR (Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures) en septiembre en la Università degli Studi di Salerno con el artículo “Enhancing Heritage Building Preservation with MCDM and HBIM: A Research Proposal”. En la actualidad, me encuentro inmersa en la siguiente fase de redacción de ambos artículos para ambas conferencias.

Por otra parte, y dado que no tengo experiencia en la investigación con métodos cualitativos y análisis de datos, antes del comienzo de la beca, tengo planeado asistir al curso intensivo de una semana “Qualitative Research Methods & Data Analysis” en la escuela de verano de la “Global School in Empirical Research Methods” (GSERM) de St. Gallen, Suiza y/o a uno o varios talleres impartidos por “GESIS – Leibniz Institute for the Social Sciences” en Mannheim o Colonia, Alemania. En estos cursos podré comenzar a aprender estrategias prácticas para analizar datos cualitativos en diversos campos, cubriendo desde el diseño de investigación hasta técnicas de recopilación y análisis de datos.

Proyecto Actual en el BIMLab de la HCU:

Mi actual papel como asistente de investigación en el proyecto “0-CO2-WSHH” en el BIMLab de la HafenCity Universität (HCU) de Hamburgo me permite profundizar en BIM y HBIM y en iniciativas prácticas de reducción de emisiones de CO2 en la preservación de patrimonio. Este proyecto transcurre en paralelo a mi investigación doctoral, proporcionando un contexto práctico para la aplicación de la metodología. Aquí también tengo la oportunidad de participar activamente en la vida académica asistiendo a eventos y presentaciones científicas, exponiendo mi investigación, trabajando con estudiantes en seminarios sobre escaneados low-cost de edificios históricos, participando en comités de internacionalización, y, sobre todo, intercambiando ideas con otros investigadores, no solo de la HCU, sino también de otros ambientes, como la Universität Stuttgart y la RWTH Aachen Universität.

Objetivos de Investigación:

Gracias a mi supervisora de doctorado y jefa, la doctora Annette Bögle, Vicepresidenta de Investigación e Internacionalización, puedo establecer un contacto valioso para el proyecto de investigación en la ciudad de Nueva York: la historiadora de arquitectura, conservadora, educadora, escritora y consultora en fabricación urbana Nina Rappaport, fundadora de Docomomo US y actualmente vicepresidenta de la primera sección estadounidense en la ciudad de Nueva York. Este contacto junto con la lista de posibles contactos adicionales en la ciudad en la que trabajaré a partir de la aceptación de la beca puede enriquecer mi perspectiva y contribuir al éxito de mi proyecto.

La investigación propuesta aborda diversos aspectos de gran relevancia en el ámbito de la gestión del patrimonio arquitectónico, destacando su aplicabilidad práctica y su enfoque integral mediante el uso de la metodología HBIM. En el proyecto no sólo busco entender los desafíos existentes y generar conocimiento teórico, sino también proponer soluciones efectivas y mejoras concretas para la gestión y preservación estableciendo reglas claras para el proceso de toma de decisiones.

Existe en la propuesta un compromiso activo con la comunidad. Se aborda la importancia de concienciar y fomentar la participación de las partes interesadas, ofreciendo recomendaciones para mejorar políticas y fortalecer la preservación en diversos contextos culturales.

Áreas de Interés:

Mi investigación se enfoca en comprender y perfeccionar los procesos de toma de decisiones relacionados con la preservación de patrimonio. Abordo desafíos específicos en este contexto, buscando no solo entender los obstáculos existentes, sino también proponer soluciones efectivas y mejoras concretas.

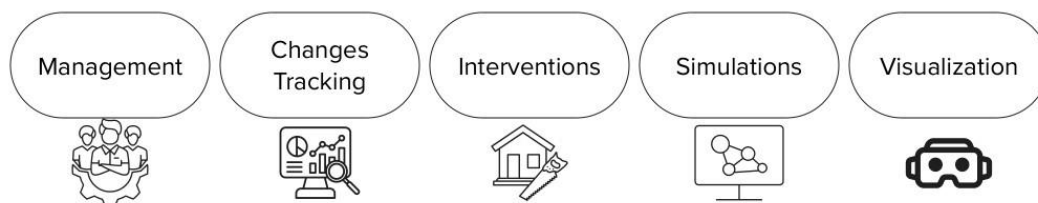


Figura 7: Ejemplos de casos de uso de modelos BIM en gestión de patrimonio

Además, exploro los desafíos vinculados con la integración BIM en la gestión de edificaciones históricas. Identifico áreas de mejora y evalúo las herramientas BIM existentes, proponiendo mejoras específicas adaptadas al caso de uso de la gestión del

patrimonio (*Figura 7*). Mi objetivo es facilitar la incorporación efectiva de la tecnología BIM en proyectos de conservación.

Analizo también la colaboración entre diversas partes interesadas, reconociendo la importancia de una perspectiva multidisciplinar en la preservación del patrimonio. Busco así comprender cómo la sinergia entre diferentes actores puede fortalecer la eficacia de las iniciativas de preservación y generar un impacto positivo en la gestión sostenible del patrimonio arquitectónico.

Explorando aspectos vinculados a la cognición arquitectónica y los procesos de toma de decisiones interdisciplinarios, pretendo generar ideas innovadoras para mejorar la colaboración entre disciplinas, promoviendo un enfoque integral en la gestión del patrimonio. Busco enriquecer la comprensión de los procesos cognitivos involucrados en la toma de decisiones arquitectónicas y fomentar la colaboración efectiva en proyectos interdisciplinarios de preservación.

Resultados Esperados:

Se presentará un informe que analizará en profundidad los procesos de toma de decisiones en la preservación de patrimonio. Este documento proporcionará una visión detallada de los desafíos existentes, así como soluciones efectivas y mejoras concretas para fortalecer la gestión y conservación del patrimonio arquitectónico.

Se desarrollarán directrices prácticas destinadas a integrar eficazmente la toma de decisiones en los procesos BIM. Estas directrices se enfocarán en facilitar la incorporación de la tecnología BIM en procesos de preservación, mejorando la eficiencia y la efectividad de los procesos de toma de decisiones.

Además, se prepararán talleres y material educativo con el propósito de capacitar a las partes interesadas en la implementación de las mejoras propuestas. Estos recursos educativos buscarán adaptarse a diversos contextos culturales, reconociendo la importancia de la diversidad cultural y del compromiso comunitario en la enseñanza y preservación del patrimonio histórico.

Como parte integral de la investigación, se ofrecerán también recomendaciones específicas para mejorar las políticas que respaldan la conservación del patrimonio mediante BIM. Estas recomendaciones se centrarán en aumentar la concienciación y la participación de las partes interesadas contribuyendo así a un enfoque más sólido y sostenible en la gestión de patrimonio arquitectónico.



6. Bibliografía

- [1] "Organization – Docomomo International." Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: https://docomomo-com.translate.google/organization/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sc
- [2] N. Lasarte, P. Elguezabal, M. Sagarna, I. Leon, and J. P. Otaduy, "Challenges for Digitalisation in Building Renovation to Enhance the Efficiency of the Process: A Spanish Case Study," *Sustainability*, vol. 13, no. 21, p. 12139, Nov. 2021, doi: 10.3390/su132112139.
- [3] B. Daniotti, S. Lupica Spagnolo, A. Pavan, and C. M. Bolognesi, Eds., *Innovative Tools and Methods Using BIM for an Efficient Renovation in Buildings*. in SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Cham: Springer International Publishing, 2022. doi: 10.1007/978-3-031-04670-4.
- [4] M. A. Hossain and J. K. W. Yeoh, "BIM for Existing Buildings: Potential Opportunities and Barriers," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Jun. 2018, p. 012051. doi: 10.1088/1757-899X/371/1/012051.
- [5] L. E. Mansuri *et al.*, "A Systematic Mapping of BIM and Digital Technologies for Architectural Heritage," *SASBE*, vol. 11, no. 4, pp. 1060–1080, Dec. 2022, doi: 10.1108/SASBE-11-2020-0171.
- [6] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, "Historic Building Information Modelling (HBIM)," *Structural Survey*, vol. 27, no. 4, pp. 311–327, Aug. 2009, doi: 10.1108/02630800910985108.
- [7] W. Andrich, B. Daniotti, A. Pavan, and C. Mirarchi, "Check and Validation of Building Information Models in Detailed Design Phase: A Check Flow to Pave the Way for BIM Based Renovation and Construction Processes," *Buildings*, vol. 12, no. 2, p. 154, Feb. 2022, doi: 10.3390/buildings12020154.
- [8] A. Barontini, C. Alarcon, H. S. Sousa, D. V. Oliveira, M. G. Masciotta, and M. Azenha, "Development and Demonstration of an HBIM Framework for the Preventive Conservation of Cultural Heritage," *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 16, no. 10, pp. 1451–1473, Oct. 2022, doi: 10.1080/15583058.2021.1894502.
- [9] S. Vitasek, "The use of the BIM method for sustainable care of historic buildings: Methodological framework," in *SHS Web of Conferences*, J. Horák, T. Lee, and E. Dolejšová, Eds., 2022, p. 01023. doi: 10.1051/shsconf/202213201023.
- [10] T. Saricaoglu and G. Saygi, "Data-Driven Conservation Actions of Heritage Places Curated with HBIM," *Virtual Archaeol. Rev.*, vol. 13, no. 27, pp. 17–32, Jul. 2022, doi: 10.4995/var.2022.17370.
- [11] M. S. Taher Tolou Del, B. Saleh Sedghpour, and S. Kamali Tabrizi, "The Semantic Conservation of Architectural Heritage: the Missing Values," *Herit Sci*, vol. 8, no. 1, p. 70, Dec. 2020, doi: 10.1186/s40494-020-00416-w.
- [12] A. Borrmann, J. Beetz, C. Koch, and T. Liebich, "Industry Foundation Classes – A Standardized Data Model for the Vendor-Neutral Exchange of Digital Building Models," in *Building Information Modeling*, 2018.
- [13] J. Liu, G. Foreman, A. Sattineni, and B. Li, "Integrating Stakeholders' Priorities into Level of Development Supplemental Guidelines for HBIM Implementation," *Buildings*, vol. 13, no. 2, p. 530, Feb. 2023, doi: 10.3390/buildings13020530.
- [14] A. B. A. Altohami, N. A. Haron, A. H. Ales@Alias, and T. H. Law, "Investigating Approaches of Integrating BIM, IoT, and Facility Management for Renovating Existing Buildings: A Review," *Sustainability*, vol. 13, no. 7, p. 3930, Apr. 2021, doi: 10.3390/su13073930.
- [15] M. Khan, M. Khan, M. Bughio, B. Talpur, I. Kim, and J. Seo, "An Integrated HBIM Framework for the Management of Heritage Buildings," *Buildings*, vol. 12, no. 7, p. 964, Jul. 2022, doi: 10.3390/buildings12070964.
- [16] S. Gerbino, L. Cieri, C. Rainieri, and G. Fabbrocino, "On BIM Interoperability via the IFC Standard: An Assessment from the Structural Engineering and Design Viewpoint," vol. 11, no. 23, p. 11430, 2021.
- [17] K. Menzel, S. Törmä, K. Markku, K. Tsatsakis, A. Hryshchenko, and M. N. Lucky, "Linked Data and Ontologies for Semantic Interoperability," in *Innovative Tools and Methods Using BIM for an Efficient Renovation in Buildings*, B. Daniotti, S. Lupica Spagnolo, A. Pavan, and C. M. Bolognesi, Eds., in SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. , Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 17–28. doi: 10.1007/978-3-031-04670-4_2.
- [18] M. Coli, A. L. Ciuffreda, E. Marchetti, D. Morandi, G. Luceretti, and Z. Lippi, "3D HBIM Model and Full Contactless GPR Tomography: An Experimental Application on the Historic Walls That Support Giotto's Mural Paintings, Santa Croce Basilica, Florence—Italy," *Heritage*, vol. 5, no. 3, pp. 2534–2546, Sep. 2022, doi: 10.3390/heritage5030132.
- [19] M. Sagarna, J. P. Otaduy, F. Mora, and I. Leon, "Analysis of the State of Building Conservation through Study of Damage and Its Evolution with the State of Conservation Assessment BIM Model (SCABIM)," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 14, p. 7259, Jul. 2022, doi: 10.3390/app12147259.
- [20] T. Tan, G. Mills, E. Papadonikolaki, and Z. Liu, "Combining Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods with Building Information Modelling (BIM): A Review," *Automation in Construction*, vol. 121, p. 103451, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103451.
- [21] S. Santini, V. Borghese, and C. Baggio, "HBIM-Based Decision-Making Approach for Sustainable Diagnosis and Conservation of Historical Timber Structures," *Sustainability*, vol. 15, no. 4, p. 3003, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15043003.