

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)**



**GRADO EN INGENIERÍA MATEMÁTICA E
INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

**ANEXO B
MARCO DE ORQUESTACIÓN MULTI-AGENTE
PARA AUTOMATIZACIÓN BIM/CAD
MEDIANTE LANGGRAPH Y MCP**

Autor: Nicolás del Val Álvarez

Director: Álvaro Lopez Lopez

Madrid
Noviembre 2025

Índice

1. Introducción	2
2. Estado de la cuestión	2
2.1. Soluciones de automatización BIM disponibles en el mercado	3
2.2. Propuestas emergentes basadas en IA	3
3. Motivación	4
4. Objetivos del proyecto	5
4.1. Objetivo 1: Implementar capa de integración MCP para herramientas BIM/CAD	5
4.2. Objetivo 2: Diseñar orquestador multi-agente basado en LangGraph con razonamiento ToT	5
4.3. Objetivo 3: Diseñar una memoria operativa con trazabilidad básica	5
4.4. Objetivo 4: Validar marco mediante casos de uso AEC representativos	6
5. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	6
5.1. ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura	6
5.2. ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles	7
5.3. ODS 12: Producción y Consumo Responsables	7
6. Metodología de Trabajo	7
7. Recursos a emplear	8
7.1. Recursos materiales	8
7.2. Recursos software	8

1. Introducción

El sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) utiliza Building Information Modeling (BIM) como estándar para gestión de información. El mercado de BIM alcanzó 8,85 mil millones de dólares en 2024 y crecerá hasta 25,60 mil millones para 2034 (CAGR: 11,2 %). Sin embargo, aunque la adopción de BIM varía significativamente por región (32-70 % según zona geográfica), acceder a la información de modelos BIM (IFC, Revit) y CAD (DWG, DXF) de forma automatizada, semántica y fiable sigue siendo un desafío. La verificación manual de modelos requiere horas acumuladas frente a minutos con automatización, y la detección de interferencias es citada como uno de los casos de uso más críticos.

En paralelo, sistemas multi-agente basados en Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) experimentan una adopción explosiva, el 43 % de las organizaciones que trabajan con LangSmith implementan frameworks de orquestación como LangGraph, y el 21,9 % de interacciones con LLMs involucran herramientas externas (incremento 43x desde 2023). Además, investigaciones demuestran que los agentes LLM pueden interactuar con modelos BIM mediante lenguaje natural, sin embargo, el salto a sistemas productivos enfrenta obstáculos: (i) fragmentación de APIs propietarias sin abstracción común, (ii) sistemas que operan como “cajas negras” sin razonamiento auditável, (iii) ausencia de memoria versionada para iteraciones de diseño.

Tres desarrollos tecnológicos recientes abren una oportunidad: (1) **Model Context Protocol (MCP)** (Anthropic, noviembre de 2024) proporciona un estándar abierto para descubrimiento de herramientas y tipificación declarativa, demostrando viabilidad mediante IFC MCP Server; (2) **LangGraph** permite modelar flujos multi-agente como grafos stateful con auditoría inherente; (3) **Tree-of-Thought (ToT)** extiende el razonamiento al explorar múltiples rutas antes de ejecutar acciones, aportando verificabilidad.

Este proyecto integra estas tecnologías en un marco de orquestación que provea garantías operativas exigibles en ingeniería: trazabilidad completa, reproducibilidad, control de costes. Se valida mediante casos de uso AEC representativos: consulta semántica sobre IFC/Revit, verificación de normativa, extracción de cantidades y coordinación BIMCAD.

2. Estado de la cuestión

Actualmente, la automatización de tareas sobre sistemas BIM y CAD es un objetivo clave en la industria AEC, donde se busca optimizar tanto la modelización como la coordinación y la verificación normativa. Las soluciones tecnológicas pueden agruparse en dos grandes bloques: tecnologías disponibles en el mercado y propuestas emergentes basadas en inteligencia artificial.

2.1 Soluciones de automatización BIM disponibles en el mercado

La mayoría de los modelos BIM (Revit, IFC) se automatizan mediante programación visual, combinando nodos gráficos y scripting en Python para implementar flujos de trabajo personalizados. Dynamo, integrado en Revit 2024+, es el estándar de facto para la automatización del modelado paramétrico, la generación de documentación y la extracción de datos. Permite, por ejemplo, calcular automáticamente superficies, detectar conflictos o generar informes de cantidades. Sin embargo, su adopción real en estudios de arquitectura e ingeniería ha puesto de manifiesto ciertos límites: (i) sufre problemas de compatibilidad entre versiones de Revit, (ii) requiere mantenimiento frecuente de scripts, (iii) la lógica es específica de cada entorno software y difícilmente transferible.

La automatización de la coordinación y detección de interferencias se centraliza en plataformas como Navisworks y Autodesk Construction Cloud (BIM 360/ACC). Navisworks permite la federación de modelos multidisciplinares, detección avanzada de conflictos y simulaciones 4D/5D. BIM 360/ACC facilita la coordinación en la nube en grandes equipos y la detección automática de interferencias tras cada actualización de modelo. Ambos sistemas ahorran tiempo, pero dependen de reglas configuradas manualmente y son reactivos: detectan problemas existentes, pero no pueden prever errores ni razonar sobre el significado técnico de los choques detectados.

A nivel de CAD, la automatización se apoya en AutoLISP para AutoCAD y, más recientemente, en scripting Python mediante librerías como pyautocad o pythoncom. En el entorno open source destacan FreeCAD, que se puede automatizar completamente mediante Python. Las tareas más habituales automatizadas son: generación de planos, extracciones geométricas, validaciones topológicas y conversión de formatos. La aplicación aún depende mucho del conocimiento del usuario y está lejos del “no-code”. Este trabajo aborda precisamente estos límites sustituyendo buena parte del scripting explícito por agentes impulsados por lenguaje natural.

2.2 Propuestas emergentes basadas en IA

En los últimos dos años han surgido propuestas que combinan modelos de lenguaje de gran escala (LLM) y agentes inteligentes para automatizar tareas BIM/CAD. Estas propuestas pueden clasificarse en tres líneas principales:

Interacción mediante lenguaje natural con modelos BIM. BIM-GPT [4] introduce un framework de asistente virtual basado en prompts para recuperación de información BIM mediante consultas en lenguaje natural. Text2BIM [1] extiende este enfoque permitiendo la generación completa de modelos 3D a partir de descripciones textuales, empleando un sistema multi-agente donde distintos agentes colaboran para traducir texto en código ejecutable que invoca APIs BIM. Hellin et al. [3] proponen un sistema de dos agentes (Triage y ReAct) que procesa consultas sobre modelos IFC sin requerir ontologías predefinidas, alcanzando precisiones del 80-95 % en tareas de recuperación de información.

Agentes autónomos operando interfaces gráficas. BIMgent [2] demuestra la viabilidad de agentes capaces de operar herramientas BIM directamente a través de su interfaz gráfica, automatizando flujos de modelado sin acceso a APIs. Aunque esta línea abre nuevas posibilidades para automatización sin integraciones técnicas, los sistemas actuales presentan limitaciones de velocidad (operación paso a paso sobre GUI) y robustez (fragilidad ante cambios de interfaz).

Verificación normativa y diseño generativo. Sistemas de verificación automática de cumplimiento normativo [11] integran agentes LLM con motores de reglas (RASE, Solibri, IDS) para automatizar chequeos de código de edificación, aunque aún requieren configuración experta significativa. En diseño generativo, trabajos como 3D-GPT [8], SceneCraft [9] y CAD-Assistant [10] demuestran que agentes LLM pueden generar modelos 3D y CAD proceduralmente mediante síntesis de código ejecutable (Python/Blender, FreeCAD API), empleando paradigmas de tool-augmentation donde el LLM actúa como planificador y módulos especializados ejecutan operaciones geométricas.

3. Motivación

La revisión de soluciones actuales evidencia que, aunque la industria AEC dispone de herramientas consolidadas para automatización BIM/CAD (Dynamo, Navisworks, scripting en Python), estas presentan limitaciones que motivan este proyecto.

Fragmentación y acoplamiento. Las herramientas existentes operan mediante integraciones ad-hoc específicas de cada plataforma (Revit API, AutoCAD .NET, IfcOpenShell). Cada actualización de software requiere mantenimiento manual de scripts y grafos de nodos, y la lógica desarrollada para un entorno (Revit) no es directamente transferible a otros (ArchiCAD, Tekla, etc.). El 44 % de las organizaciones citan los “datos inaccesibles” como barrera principal para la adopción de IA, lo que evidencia la necesidad de una capa de abstracción más estándar que desacople la lógica de los agentes de los backends propietarios.

Dependencia de scripting y mantenimiento manual. La automatización actual se apoya fuertemente en programación visual y scripting (Dynamo + Python), lo que exige perfiles técnicamente especializados y genera soluciones frágiles: pequeños cambios en familias, plantillas o versiones de Revit pueden invalidar grafos completos.

Costes de coordinación y retrabajo por fragmentación multidisciplinar. La coordinación entre disciplinas (arquitectura, estructura, MEP) en proyectos BIM complejos genera costes significativos de retrabajo, siendo la coordinación deficiente una de las causas principales de errores en fase de diseño. Las herramientas actuales abordan este problema de forma insuficiente: Dynamo automatiza tareas dentro de una disciplina pero no coordina entre disciplinas. Navisworks detecta interferencias de forma reactiva tras actualización de modelos, sin prever conflictos ni razonar sobre su severidad; la interoperabilidad mediante IFC entre plataformas heterogéneas (Revit ↔ Tekla ↔ software MEP) genera pérdidas de información semántica y requiere re-chequeos manuales completos tras cada cambio. Este problema es especialmente

crítico para pequeñas y medianas empresas que carecen de recursos para BIM Coordinators dedicados y expertise interno para implementar flujos de coordinación robustos.

4. Objetivos del proyecto

Este proyecto persigue cinco objetivos concretos y medibles que abordan las brechas identificadas en los apartados anteriores:

4.1 Objetivo 1: Implementar capa de integración MCP para herramientas BIM/CAD

Desarrollar servidores MCP que expongan capacidades de herramientas BIM/CAD heterogéneas mediante protocolo estandarizado. Los servidores implementarán tipificación declarativa de entradas/salidas mediante JSON Schema, encapsulación de permisos, y registro completo de invocaciones para auditoría.

4.2 Objetivo 2: Diseñar orquestador multi-agente basado en LangGraph con razonamiento ToT

Implementar un orquestador que modele flujos de trabajo AEC como grafos stateful mediante LangGraph, donde nodos representan agentes especializados (extractor IFC, verificador normativo, coordinador BIMCAD) y aristas condicionales definen transiciones validadas. Integrar estrategia Tree-of-Thought que, ante consultas complejas, genere múltiples ramas de razonamiento en paralelo, evalúe viabilidad mediante heurísticas de dominio, y ejecute la ruta validada con mayor confianza.

Medible mediante: (a) capacidad de descomponer tarea compleja en ≥ 3 subtareas validables, (b) generación de ≥ 2 rutas alternativas ToT por consulta ambigua, (c) trazabilidad completa del grafo de ejecución con timestamps y estados intermedios persistidos.

4.3 Objetivo 3: Diseñar una memoria operativa con trazabilidad básica

Implementar una capa ligera de persistencia que registre: (i) las instrucciones en lenguaje natural formuladas por el usuario y la intención detectada, (ii) la secuencia de agentes y herramientas invocadas (incluyendo parámetros principales y resultados resumidos), y (iii) referencias al modelo BIM/CAD consultado (por ejemplo, identificador de fichero y timestamp). Esta memoria permitirá, a posteriori, inspeccionar cómo se ha llegado a una determinada respuesta o modificación sobre el modelo mediante consultas del tipo: “¿qué agentes y herramientas intervieron en la respuesta R al caso de uso U?”

Medible mediante: (a) capacidad de reconstruir la secuencia de pasos (agentes, herramientas, parámetros) para ejecuciones registradas, (b) tiempo de respuesta al recuperar una traza completa

de un caso de uso, (c) evaluación cualitativa de la claridad de dichas trazas por parte de un usuario técnico.

4.4 Objetivo 4: Validar marco mediante casos de uso AEC representativos

El sistema no se limita a un conjunto cerrado de tareas, sino que está diseñado como una interfaz de lenguaje natural capaz de manejar consultas generales sobre modelos BIM/CAD dentro del espacio de operaciones expuestas como herramientas (consulta, filtrado, agregación, resaltado, modificación de propiedades, etc.). Para acotar y evaluar empíricamente este comportamiento, Se seleccionan cuatro escenarios representativos del dominio AEC: (i) consulta semántica sobre modelos IFC (p. ej., “extraer válvulas tipo corta-fuego de zonas de riesgo alto”), (ii) verificación automática de un subconjunto de requisitos de protección contra incendios según CTE DB-SI, (iii) extracción de cantidades de obra (volúmenes y superficies) desde modelos Revit, y (iv) coordinación geométrica entre un modelo BIM estructural y planos CAD arquitectónicos. A partir de estos escenarios se formulan múltiples consultas en lenguaje natural, con variaciones en su redacción, para evaluar la robustez del sistema.

Medible mediante: (i) tasa de éxito al responder correctamente consultas en lenguaje natural instanciadas sobre estos cuatro escenarios (incluyendo variaciones de formulación), (ii) número medio de pasos/agentes/herramientas necesarios por consulta, (iii) comparación cualitativa y, cuando sea posible, cuantitativa frente a *baselines* como: flujos manuales basados en Dynamo/Python y un agente LLM único integrado directamente con la API de Revit/IFC sin MCP ni orquestación multi-agente explícita.

5. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este proyecto contribuye directamente a tres Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas:

5.1 ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

Meta 9.5: “Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales, fomentando la innovación”.

Este proyecto se alinea con la meta 9.5 al mejorar la capacidad tecnológica del sector de la construcción (AEC) mediante una arquitectura reproducible para integrar IA generativa en flujos BIM/CAD. Al apoyarse en estándares abiertos (IFC) y componentes reutilizables, la solución es independiente de proveedores concretos y puede ser adaptada por estudios de ingeniería, universidades o administraciones con recursos limitados, incluidas las de países en desarrollo. Además, el trabajo constituye una actividad de investigación y desarrollo aplicada: explora nuevas combinaciones de modelos de lenguaje y herramientas de ingeniería, genera código y documentación reutilizables y facilita la formación de más personas en la intersección entre IA

y AEC. Finalmente, al ofrecer una arquitectura de referencia, permite que futuros proyectos concentren su gasto en I+D en validar nuevos casos de uso, haciendo un uso más eficiente de los recursos dedicados a investigación en el sector.

5.2 ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

Meta 11.3: “Aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles”.

La automatización de verificación de cumplimiento normativo mediante agentes LLM con razonamiento verificable mejora directamente la calidad, seguridad y sostenibilidad de edificaciones e infraestructuras urbanas. El sistema propuesto permite verificar automáticamente regulaciones de protección contra incendios, accesibilidad universal y eficiencia energética. La capacidad de auditar decisiones de diseño de forma completa (qué datos del modelo se consultaron, qué razonamiento se aplicó, qué versión de normativa se verificó) garantiza transparencia en procesos constructivos que impactan directamente en comunidades. Esto es especialmente relevante en edificación pública (escuelas, hospitales, vivienda social), donde el cumplimiento riguroso de estándares de seguridad y accesibilidad es un derecho ciudadano fundamental. Al reducir tiempos de verificación de horas a minutos, el marco propuesto acelera ciclos de iteración de diseño, permitiendo que equipos AEC exploren múltiples alternativas y seleccionen aquellas con mejor desempeño en criterios de sostenibilidad (consumo energético, huella de carbono de materiales).

5.3 ODS 12: Producción y Consumo Responsables

Meta 12.2: “Lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales”.

La extracción automatizada de cantidades de obra desde modelos BIM mediante agentes LLM con verificación ToT permite cuantificar con precisión materiales necesarios en fase de diseño, reduciendo sobrecompras y desperdicio. Este proyecto, al integrar múltiples fuentes de datos heterogéneas mediante MCP, habilita análisis de ciclo de vida automatizados que informan decisiones de diseño: ¿qué alternativa de material tiene menor huella de carbono? ¿qué componentes son reciclables al final de vida útil del edificio? La coordinación automatizada entre modelos BIM y planos CAD reduce discrepancias que generan desperdicio de materiales en obra.

6. Metodología de Trabajo

La metodología seguida en este proyecto es fundamentalmente incremental y experimental. El trabajo se ha planificado en fases cronológicas, con validación parcial y justificación técnica en cada etapa. Las principales etapas han sido:

1. **Diseño e implementación del sistema de orquestación:** Desarrollo del core del orquestador, sentando la arquitectura base (sin agentes). Priorización del desacoplamiento de módulos según principios de ingeniería de software robusta.
2. **Integración del protocolo MCP y adaptación a entorno Autodesk:** Implementación y despliegue de un servidor MCP funcional y su integración con herramientas Autodesk. Establecimiento de pruebas iniciales con modelos reales y verificación de interoperabilidad.
3. **Desarrollo y validación de agentes inteligentes:** Implementación incremental de la lógica de agentes (desde wrappers básicos hasta agentes LLM complejos). Pruebas de razonamiento y benchmarking frente a flujos de trabajo convencionales.
4. **Fundamentos teóricos y justificación académica:** Simultáneamente, revisión bibliográfica dinámica y validación teórica de cada decisión arquitectónica, con documentación exhaustiva razonando cada elección basada en literatura y estándares internacionales.

El desarrollo ha sido iterativo, con 1 reunión cada dos semanas con el director de TFG para revisión y reorientaciones.

7. Recursos a emplear

Para la realización de este proyecto se emplean recursos materiales, software y servicios cloud necesarios para el desarrollo, implementación y validación del marco propuesto.

7.1 Recursos materiales

Equipos de desarrollo:

- **Ordenador personal de desarrollo:** MacBook Pro/PC con capacidad suficiente para ejecución local de Python, gestión de bases de datos y pruebas del orquestador multi-agente.

Modelos BIM de referencia:

- **Modelos Autodesk:** Proyectos de prueba en formato nativo de Autodesk (Revit, AutoCAD) para validación de casos de uso BIM/CAD.

7.2 Recursos software

Lenguajes y frameworks de desarrollo:

- **Python 3.11+:** Lenguaje principal para implementación del orquestador, y lógica de agentes.
- **LangChain ≥ 0.3.0:** Framework para construcción de aplicaciones LLM
- **LangGraph ≥ 0.6.0:** Librería para modelado de flujos multi-agente mediante grafos

- **MCP SDK Python ≤ 1.18:** Kit de desarrollo oficial de Anthropic para implementación de servidores Model Context Protocol.

Herramientas BIM/CAD:

- **Autodesk Revit/AutoCAD:** Herramientas BIM/CAD de Autodesk
- **Autodesk API/SDK:** Interfaces de programación para integración automatizada con software Autodesk (Revit API, AutoCAD .NET API) mediante MCP.

Infraestructura de persistencia:

- **MySQL/PostgreSQL:** Base de datos relacional SQL para almacenamiento estructurado de metadatos de modelos BIM, historial de decisiones de agentes y configuración del sistema.
- **MongoDB:** Base de datos NoSQL orientada a documentos
- **Neo4j:** Base de datos de grafos para representación de relaciones semánticas entre elementos BIM y jerarquías de componentes

Servicios de LLM:

- **OpenAI GPT-4o (API):** Modelo LLM principal para razonamiento de agentes, generación de respuestas y ejecución de tareas complejas en el orquestador multi-agente. Presupuesto estimado: \$100-150 en créditos de API.
- **Anthropic Claude Sonnet 4.5:** Asistente de desarrollo para programación asistida, revisión de código y depuración

Control de versiones:

- **Git + GitHub:** Control de versiones con repositorio remoto

Referencias

- [1] C. Du, S. Esser, S. Nousias, and A. Borrmann, “Text2BIM: Generating Building Models Using a Large Language Model-based Multi-Agent Framework,” Available: <https://arxiv.org/abs/2408.08054>
- [2] Z. Deng, C. Du, S. Nousias, and A. Borrmann, “BIMgent: Towards Autonomous Building Modeling via Computer-use Agents,” in ICML 2024 Workshop on Agentic AI, Vienna, Jul. 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2506.07217>
- [3] S. Hellin, S. Nousias, and A. Borrmann, “Natural Language Information Retrieval from BIM Models: An LLM-Based Multi-Agent System Approach,” in Proc. European Conference on Computing in Construction (EC3) & CIB W78 Conference on IT in Construction, Porto, Jul. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.35490/EC3.2025.265>

- [4] J. Zheng and M. Fischer, “BIM-GPT: a Prompt-Based Virtual Assistant Framework for BIM Information Retrieval,” arXiv preprint arXiv:2304.09333, Apr. 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2304.09333>
- [5] G. Lee, S. Jang, and S. Hyun, “A Generalized LLM-Augmented BIM Framework: Application to a Speech-to-BIM System,” in Proceedings of the 41st International Conference of CIB W78, Marrakech, Morocco, Sep. 2024. [Online]. Available: <http://itc.scix.net/paper/w78-2024-155>
- [6] Zion Market Research, “Building Information Modeling (BIM) Market Size, Share and Outlook 2024–2034,” Oct. 2025. [Online]. Available: <https://www.zionmarketresearch.com/report/building-information-modeling-market>
- [7] S. Zheng, Y. Huang, J. Zhang, Y. Li, and Z. Li, “Enhancing Stakeholder Communication in Urban Design through Real-Time Visual Feedback and Large Language Models,” in ARCHITECTURAL INFORMATICS – Proceedings of the 30th CAADRIA Conference, Tokyo, Mar. 2025, vol. 4, pp. 183–192. [Online]. Available: https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2025_215
- [8] C. Sun, J. Han, W. Deng, X. Wang, Z. Qin, and S. Gould, “3D-GPT: Procedural 3D Modeling with Large Language Models,” arXiv preprint arXiv:2310.12945, May 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2310.12945>
- [9] Z. Hu, A. Iscen, A. Jain, T. Kipf, Y. Yue, D. A. Ross, C. Schmid, and A. Fathi, “SceneCraft: An LLM Agent for Synthesizing 3D Scene as Blender Code,” arXiv preprint arXiv:2403.01248, Mar. 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2403.01248>
- [10] D. Mallis, A. S. Karadeniz, S. Cavada, D. Rukhovich, N. Foteinopoulou, K. Cherenkova, A. Kacem, and D. Aouada, “CAD-Assistant: Tool-Augmented VLLMs as Generic CAD Task Solvers,” arXiv preprint arXiv:2412.13810, Aug. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2412.13810>
- [11] H. Wan, W. Xu, M. Rosenberg, J. Zhang, and A. Siddika, “Automatic Building Code Review: A Case Study,” arXiv preprint arXiv:2510.02634, Oct. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2510.02634>
- [12] B. T. Jones, F. Hähnlein, Z. Zhang, M. Ahmad, V. Kim, and A. Schulz, “A Solver-Aided Hierarchical Language for LLM-Driven CAD Design,” arXiv preprint arXiv:2502.09819, Feb. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2502.09819>
- [13] W. R. Para, S. F. Bhat, P. Guerrero, T. Kelly, N. Mitra, L. Guibas, and P. Wonka, “SketchGen: Generating Constrained CAD Sketches,” in Advances in Neural Information Processing

Systems (NeurIPS), vol. 34, pp. 5077–5088, Dec. 2021. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2106.02711>

- [14] M. Jung, J. Kim, and M. Kim, “ContrastCAD: Contrastive Learning-Based Representation Learning for Computer-Aided Design Models,” arXiv preprint arXiv:2404.01645, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2404.01645>
- [15] Z. Peng, X. Chen, Z. Chen, Y. Liu, and L. Liu, “BRepFormer: Transformer-Based B-rep Geometric Feature Recognition,” in Proc. ACM International Conference on Multimedia Retrieval (ICMR), 2025, pp. 155-163. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2504.07378>
- [16] Y. Chen, H. Zhang, and J. Wu, “Towards a copilot in BIM authoring tool using large language model based agent for intelligent human-machine interaction,” arXiv preprint arXiv:2406.16903, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2406.16903>
- [17] W. Seff, K. Olszewski, S. Sinha, and A. Sud, “SketchGraphs: A Large-Scale Dataset for Modeling Relational Geometry in Computer-Aided Design,” arXiv preprint arXiv:2007.08506, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2007.08506>
- [18] T. Guo, X. Chen, Y. Wang, R. Chang, S. Pei, N. V. Chawla, O. Wiest, and X. Zhang, “Large Language Model based Multi-Agents: A Survey of Progress and Challenges,” arXiv preprint arXiv:2402.01680, Apr. 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2402.01680>
- [19] S. Yao, D. Yu, J. Zhao, I. Shafran, T. L. Griffiths, Y. Cao, and K. Narasimhan, “Tree of Thoughts: Deliberate Problem Solving with Large Language Models,” arXiv preprint arXiv:2305.10601, Dec. 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2305.10601>
- [20] X. Zhang, C. Du, T. Pang, Q. Liu, W. Gao, and M. Lin, “Chain of Preference Optimization: Improving Chain-of-Thought Reasoning in LLMs,” in Proc. Neural Information Processing Systems (NeurIPS), Dec. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.52202/079017-0011>
- [21] S. Qiao et al., “Agent Planning with World Knowledge Model,” in Proc. Neural Information Processing Systems (NeurIPS), Dec. 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2405.14205>
- [22] F. Haji, M. Bethany, M. Tabar, J. Chiang, A. Rios, and P. Najafirad, “Improving LLM Reasoning with Multi-Agent Tree-of-Thought Validator Agent,” arXiv:2409.11527, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2409.11527>

- [23] Z. Ling, Y. Fang, X. Li, Z. Huang, M. Lee, R. Memisevic, and H. Su, “Deductive Verification of Chain-of-Thought Reasoning,” in NeurIPS 2023, Montreal, Dec. 2023. [Online]. Available: <https://openreview.net/forum?id=I5rsM4CY2z>
- [24] Anthropic, “Model Context Protocol Specification v1.0,” Technical Documentation, Nov. 2024. [Online]. Available: <https://modelcontextprotocol.io>
- [25] J.-R. Lin, “IFC MCP Server: Bridging AI and BIM via Model Context Protocol,” TU Munich Technical Report, Oct. 2025. [Online]. Available: <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/>
- [26] buildingSMART International, “Industry Foundation Classes (IFC) – ISO 16739-1:2018,” International Organization for Standardization, Geneva, 2018. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>
- [27] IfcOpenShell Contributors, “IfcOpenShell: The Open Source IFC Toolkit and Geometry Engine,” version 0.8.0, 2024. [Online]. Available: <https://ifcopenshell.org>
- [28] FreeCAD Documentation Contributors, “Automating FreeCAD with Python,” FreeCAD Wiki, 2024. [Online]. Available: https://wiki.freecad.org/Scripted_objects
- [29] Autodesk, “Revit 2024: What’s New - Dynamo for Revit,” Autodesk Docs, 2024. [Online]. Available: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/>
- [30] Autodesk, “Navisworks Features,” Autodesk Official Web, 2024. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/features/>
- [31] Autodesk, “BIM 360: Next-Generation Construction Management,” Autodesk Official, 2024. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/bim-360/>
- [32] LangChain, “LangGraph: Multi-Agent Workflows,” LangChain Blog, 2025. [Online]. Available: <https://blog.langchain.com/langgraph-multi-agent-workflows/>
- [33] United Nations, “Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development,” UN General Assembly Resolution A/RES/70/1, Sep. 2015. [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/2030agenda>