

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Aplicación de herramientas de Inteligencia Artificial en el Manejo del
Lenguaje de Patrones para Proyectos Urbanos

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

**Magister en Ingeniería Civil con mención en Construcción y
Saneamiento**

Presentado por:

Ximena Cristina Cuenca Torres

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

A los cimientos de mi vida, mis queridos padres.

A mi madre, Margarita, mi fuerza en la tierra, por su amor y apoyo incondicional que han sido mi gran inspiración.

A mi padre, Sebastián, mi ángel en el cielo, a quién honro su memoria con este paso que lleva su amor, sus enseñanzas y su ejemplo.

Por y para ustedes. Siempre.

A mis hermanos, Patricio, Silvia y Marco, por ser un apoyo constante.

A Luis, por caminar siempre a mi lado.

Y a mi pequeño Lucas, mi compañero silencioso y leal.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral y en particular a la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la tierra, por la sólida e integral formación académica que brinda a sus estudiantes.

De manera especial, al Arq. Carlos Pampliega, por su guía y apoyo en el desarrollo de este proyecto de investigación. Su orientación y conocimiento fueron importantes para alcanzar los objetivos del proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Ximena Cristina Cuenca Torres acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 05 de diciembre del 2024



Ximena Cristina Cuenca Torres

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
NADIA ROSAURA
QUIJANO ARTEAGA

Ing. Nadia Quijano Arteaga, MSc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Arq. Carlos Pampliega García, PMP.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente trabajo de investigación analiza la integración de herramientas basadas en inteligencia artificial y el software Revit para automatizar la recomendación y adaptación del Lenguaje de Patrones de Christopher Alexander en proyectos urbanos. Se enfoca en mejorar la calidad y sostenibilidad del diseño urbano al abordar la ausencia de herramientas avanzadas que faciliten la implementación de patrones en entornos urbanos actuales, ofreciendo soluciones personalizadas y eficientes.

El desarrollo se estructuró en cuatro fases principales: análisis, modelado, integración y evaluación. En la primera fase, se seleccionaron los patrones relevantes, centrándose en el patrón 16, relacionado con redes de transporte público. Posteriormente, se modeló un entorno urbano en Revit, que incluye una plaza central como nodo de transbordo para maximizar la accesibilidad. Durante la fase de integración, se emplearon herramientas como modelos GPT, LookX y Autodesk Forma para analizar y optimizar el diseño. Finalmente, se evaluó la coherencia, aplicabilidad y sostenibilidad de las soluciones generadas.

Los resultados destacaron la capacidad de las herramientas en crear propuestas alineadas con los principios de Alexander, destacando la sostenibilidad y funcionalidad. Las imágenes y análisis ambientales mejoraron el diseño visual y funcional del modelo urbano, aunque se identificaron limitaciones en la interoperabilidad y representación dinámica del entorno.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial, Lenguaje de Patrones, Diseño Urbano, BIM, Sostenibilidad.

ABSTRACT

This research analyzes the integration of artificial intelligence tools with BIM Revit software to automate the recommendation and adaptation of Christopher Alexander's Pattern Language in urban projects. It focuses on enhancing the quality and sustainability of urban design by addressing the lack of advanced tools that facilitate the implementation of patterns in current urban environments, offering customized and efficient solutions.

The development was structured into four main phases: analysis, modeling, integration, and evaluation. Relevant patterns were selected in the analysis phase, with a focus on Pattern 16, which addresses public transportation networks. An urban environment was modeled in Revit, featuring a central plaza as a transit hub to maximize accessibility. During the integration phase, tools such as GPT models, LookX.ai, and Autodesk Forma were employed to analyze and optimize the design. Finally, the solutions were evaluated in terms of coherence, applicability, and sustainability.

The results demonstrated the capability of the tools to create proposals aligned with Alexander's principles, emphasizing sustainability and functionality. Environmental analyses and rendered images enhanced the visual and functional design of the urban model, although limitations were identified in interoperability and dynamic representation.

Keywords: Artificial Intelligence, Pattern Language, Urban Design, BIM, Sustainability.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
CAPÍTULO 1.....	8
Introducción.....	8
1.1 Antecedentes	9
1.2 Problemática que resolver.....	11
1.3 Justificación.....	11
1.4 Objetivos	12
1.4.1 Objetivo General.....	12
1.4.2 Objetivos Específicos.....	12
CAPÍTULO 2.....	14
2.1 Marco Conceptual	14
2.1.1 Lenguaje de Patrones.....	14
2.1.2 Inteligencia Artificial en Proyectos Urbanos.....	14
2.1.3 Modelado de Información de Construcción (BIM - Building Information Modeling)	15
2.1.4 Ingeniería de Prompts (Prompt Engineering).....	16
2.1.5 Herramientas de Inteligencia Artificial.....	18
2.2 Marco metodológico	19

2.2.1	Diseño de Investigación	19
2.3	Procedimiento	20
2.3.1	Fase de Análisis.....	20
2.3.2	Fase de Modelado	20
2.3.3	Fase de Integración	21
2.3.4	Fase de Evaluación	33
CAPÍTULO 3.....		37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		37
3.1	Resultados de los modelos GPT	37
3.2	Resultados de LookX.ai.....	38
3.3	Resultados de Autodesk Forma	39
3.4	Análisis de Resultados de los modelos GPT	44
3.5	Análisis de Resultados de LookX.ai	46
3.6	Análisis de Resultados de Autodesk Forma	47
3.7	Limitaciones en la Integración de las herramientas.....	49
3.8	Desempeño en la Integración de las herramientas	50
CAPÍTULO 4.....		52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		52
Conclusiones.....		52
Recomendaciones.....		53
BIBLIOGRAFÍA.....		54
ANEXOS.....		57
Anexo A.....		58
Evaluaciones de las herramientas basadas en Inteligencia Artificial.....		58
Anexo B.....		71
Imágenes Generadas por las herramientas basadas en Inteligencia Artificial		71

ABREVIATURAS

AI	Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial)
BIM	Building Information Modeling (Modelado de Información de Construcción)
CAD	Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
GPT	Generative Pre-trained Transformer (Transformador Generativo Pre entrenado)
IFC	Industry Foundation Classes (Clases de Fundación Industrial)
GPT-4	Cuarta generación del modelo de lenguaje generativo desarrollado por OpenAI
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Interfaz y componentes del GPT My Generative AI Design Assistant	22
Figura 2. 2 Estructura RTF de Prompt.....	22
Figura 2. 3 Interfaz y componentes del GPT Innovator Architect	23
Figura 2. 4 Estructura RTF de Prompt.....	24
Figura 2. 5 Vista del archivo IFC original en BIM Vision	25
Figura 2. 6 Vista de ejemplo de prompt	26
Figura 2. 7 Vista aérea de la plaza central	27
Figura 2. 8 Perspectiva peatonal	27
Figura 2. 9 Vista de las paradas de autobuses.....	28
Figura 2. 10 Render final vista aérea de la plaza central.....	29
Figura 2. 11 Render final vista de las paradas de autobuses	29
Figura 2. 12 Render final perspectiva peatonal	30
Figura 2. 13 Ubicación geográfica de diseño Zona 1	31
Figura 2. 14 Ubicación geográfica de diseño Zona 2	31
Figura 2. 15 Distribución urbana en el área de estudio Zona 1	32
Figura 2. 16 Distribución urbana en el área de estudio Zona 2	32
Figura 2. 17 Área de interés Zona 1	33
Figura 2. 18 Área de interés Zona 2	33
Figura 2. 19 Análisis de exposición solar Zona 1	39
Figura 2. 20 Análisis de exposición solar Zona 2	40
Figura 2. 21 Análisis de potencial de luz diurna Zona 1	41
Figura 2. 22 Análisis de potencial de luz diurna Zona 2	42
Figura 2. 23 Análisis de viento Zona 1	43
Figura 2. 24 Análisis inicial del impacto del viento Zona 2	43
Figura 2. 25 Análisis de confort peatonal y viento Zona 2	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Evaluación resumen del desempeño de las herramientas integradas.....	50
---	----

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El Lenguaje de Patrones desarrollado por Christopher Alexander en la década de 1970, se destaca como una metodología que proporciona soluciones recurrentes a problemas de diseño comunes, estableciendo un marco teórico coherente para la planificación de espacios habitables. Este enfoque se basa en 253 patrones que abarcan desde la planificación de ciudades hasta detalles en la construcción de edificios, estableciendo condiciones esenciales para cualquier entorno habitable (Pérez, 2019). Permite que los individuos participen activamente en la configuración de su entorno, tomando en cuenta factores como la ubicación, la cultura, las rutinas del día a día, el medio ambiente y los materiales disponibles (Giraldo, 2022).

Aunque el Lenguaje de Patrones sea adaptable ampliamente, su implementación en proyectos urbanos actuales sigue siendo un reto. Los patrones propuestos por Alexander, aunque basados en la experiencia y en continuo desarrollo, requieren de una interpretación y adaptación precisas según sea el contexto, lo que puede resultar un proceso complicado y que consume recursos. En este sentido, la integración de tecnologías como la inteligencia artificial ofrece una oportunidad para automatizar y mejorar este proceso. La evolución de la investigación en IA ha avanzado significativamente, creando modelos cada vez más avanzados y rápidos, capaces de procesar grandes volúmenes de información y generar soluciones personalizadas en tiempo real (García et al., 2023).

A pesar de los avances logrados no existe actualmente herramientas integrales que permitan automatizar la recomendación y adaptación del lenguaje de patrones de Alexander en proyectos de construcción y urbanismo. Modelos de IA, como GPT-4 junto a herramientas basadas en IA, tienen el potencial de agilizar y facilitar las distintas etapas de este proceso, facilitando una aplicación personalizada y más específica de los patrones en distintos entornos urbanos.

Esta investigación surge en respuesta a la necesidad de herramientas más avanzadas que ayuden a los profesionales tanto de la construcción como del urbanismo a aplicar el lenguaje de patrones de una manera más eficaz. Siendo el enfoque principal la aplicación de herramientas de inteligencia artificial en un modelo realizado en Revit, software reconocido y usado para modelado de información de construcción, con el fin de gestionar y aplicar estos patrones de diseño de forma efectiva. Al integrar inteligencia avanzada con Revit, se busca crear un entorno que facilite la creación, la generación visual y el análisis de sostenibilidad de diseños urbanos basados en patrones establecidos, lo que podría contribuir a mejorar la calidad y coherencia en los proyectos relacionados con urbanismo.

1.1 Antecedentes

El lenguaje de patrones de Christopher Alexander constituye un marco teórico que busca resolver problemas recurrentes en el diseño urbano mediante un conjunto organizado de patrones (Yu & Min, 2022). Los patrones se dividen en tres niveles: globales, específicos y detallados, abarcando aspectos que van desde la planificación de ciudades hasta el diseño interior de edificios (Iwańczak & Lewicka, 2020). Cada patrón incluye una ilustración del problema, una descripción del contexto, la esencia del problema y una solución basada en dinámicas físicas y sociales necesarias para resolverlo.

El enfoque de Alexander parte de ciertos supuestos sobre las necesidades humanas en espacios urbanos, como la importancia de pertenencia a una comunidad diversa y la búsqueda de equilibrio entre privacidad y socialización. Algunos ejemplos incluyen patrones que abordan la integración generacional y étnica, la identificación con el territorio y la disposición espacial que favorece a la privacidad y la comunidad (Iwańczak & Lewicka, 2020).

A pesar de ser ampliamente utilizado, el lenguaje de patrones presenta limitaciones en su implementación en proyectos urbanos modernos. La metodología del autor

es basada en la comprensión intuitiva y empírica de los espacios habitables, pero carece de elementos digitales que fomenten la participación voluntaria en la planificación urbana (Lee & Lee, 2022). La ausencia de componentes interactivos hace que sea menos adaptable a las necesidades actuales que presenta la planificación urbana participativa.

Además, aunque Alexander desarrolló esta metodología para guiar a los diseñadores en la creación de espacios coherentes, su intención no estaba destinado a establecer un sistema automatizado de diseño. Su objetivo era asegurar que los diseños fueran más humanos e integrados, evitando la creación de soluciones regimentadas y mecánicas (Mehaffy, 2019).

El sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción se encuentra en una fase de rápida evolución debido a la necesidad de alinearse con desafíos emergentes como la sostenibilidad y la digitalización (Piras et al., 2024). Sin embargo, la adopción de tecnologías digitales en esta industria ha sido más lenta en comparación con otros sectores, debido a la resistencia al cambio y a la falta de estandarización e interoperabilidad entre los diferentes plataformas y software utilizados (Piras et al., 2024).

La inteligencia artificial se presenta como una herramienta que puede transformar y facilitar la toma de decisiones informadas en la planificación urbana (Cong et al., 2024). Lo cual es esencial en la urbanización futura que debe equilibrar oportunidades económicas con equidad, sostenibilidad ambiental y necesidades de infraestructura (Sanchez, 2023). A medida que el uso de IA continúa expandiéndose, se hace evidente la necesidad de integrar estas tecnologías en prácticas de diseño urbano que aún dependen de métodos más tradicionales y menos adaptables a los cambios del entorno construido.

Los avances recientes en inteligencia artificial abren nuevas posibilidades para superar estas limitaciones y desafíos, ya que tales herramientas de IA pueden automatizar la recomendación y adaptación del lenguaje de patrones, facilitando

así su aplicación ante características de diferentes contextos urbanos. Sin embargo, no existe aún una herramienta completa que abarque este propósito, lo cual destaca la necesidad de investigar soluciones que integren IA con software BIM por ejemplo Revit, con el fin de mejorar la calidad de los proyectos urbanos a realizarse en la actualidad y futuro.

1.2 Problemática que resolver

Si bien la tecnología ha avanzado considerablemente en el sector de la construcción y el urbanismo, persiste la ausencia de una herramienta que facilite la efectiva automatización en la recomendación y adaptación del lenguaje de patrones de Alexander a través de la integración de herramientas de inteligencia artificial y software BIM, esta limitación afecta negativamente la precisión, personalización y eficiencia en la aplicación de estos patrones en proyectos. Se ha demostrado que la IA puede mejorar la precisión y eficiencia en procesos arquitectónicos y de ingeniería, pero su potencial para aportar en la aplicación del lenguaje de patrones no se ha explorado completamente, esto genera una brecha importante ya que actualmente el contexto urbano demanda de soluciones innovadoras y sostenibles. Por esta razón la presente investigación surge de la necesidad de explorar, analizar y evaluar herramientas ya existentes que integren tecnologías de IA, para automatizar los patrones de diseño. Logrando esto, el estudio busca cerrar esta brecha explorando y evaluando las capacidades que estas tecnologías pueden contribuir proporcionando un marco teórico y práctico que ayude en proyectos de construcción y urbanismo.

1.3 Justificación

Esta investigación busca contribuir académicamente ampliando el conocimiento sobre la aplicación de tecnologías avanzadas en la planificación urbana y la construcción, proporcionando un enfoque para la integración de patrones arquitectónicos en el diseño urbano. Desde una perspectiva social, comprender como las herramientas actuales pueden facilitar la implementación de los patrones mejorando significativamente la calidad de vida urbana, al permitir la creación de entornos más adaptados a las necesidades de las comunidades. Además, la

posibilidad de incluir a diversos actores en el proceso de diseño, mediante estas herramientas, promueve una mayor participación ciudadana y una planificación urbana más inclusiva.

En el ámbito práctico, la aplicación y evaluación de herramientas basadas en IA puede mejorar la eficiencia en la fase de diseño, reduciendo tiempos y costos asociados con la construcción y la planificación urbana, ya que, al automatizar procesos, se liberan recursos que pueden ser destinados a otras áreas del proyecto, como la sostenibilidad y la elección en materiales y métodos constructivos.

Este proyecto de investigación se alinea principalmente con dos de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). En primer lugar, contribuye al ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, al impulsar la modernización del sector de la construcción mediante la innovación tecnológica que promueve infraestructuras más sostenibles y eficientes. Asimismo, se alinea con el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, ya que busca mejorar la planificación urbana para desarrollar espacios más inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar la integración de herramientas basadas en inteligencia artificial con el software BIM Revit, para automatizar la recomendación y adaptación del lenguaje de patrones en proyectos urbanos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar los patrones que son más relevantes para proyectos urbanos modernos, para la determinación de cómo pueden ser automatizados utilizando herramientas de IA.
- Modelar los patrones en Revit para la representación adecuada de las características y relaciones espaciales que definen estos patrones en el contexto urbano.

- Integrar los modelos en formato IFC en herramientas basadas en IA para la aplicación automatizada de los patrones en diferentes escenarios de diseño urbano, permitiendo una adaptación dinámica y precisa según los requisitos específicos del proyecto.
- Evaluar la eficacia de la herramienta de inteligencia artificial en la aplicación de los patrones, para la validación de su impacto en la mejora de la coherencia y calidad de los proyectos urbanos.

CAPÍTULO 2

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Lenguaje de Patrones

En el ámbito del diseño, los patrones desempeñan un papel fundamental al estructurar espacios que se alinean con las necesidades humanas y del entorno específico. Según Lee y Lee (2022), los patrones de diseño arquitectónico se desarrollan mediante una metodología que abarca 253 pasos, enfocados en aspectos ambientales que influyen en el comportamiento humano. Esta metodología se organiza en tres categorías principales dentro del lenguaje de patrones: 94 patrones urbanos, 109 patrones arquitectónicos y 50 patrones de redes de subestructuras de pequeña escala, demostrando la interconexión detallada entre los patrones en cada jerarquía (Lee & Lee, 2022).

El enfoque de Christopher Alexander, pionero en la conceptualización de los patrones de diseño, resalta la importancia de una arquitectura contextualizada y que responda a las características del lugar. Su obra fundamental, *A Pattern Language* (1977), escrita en colaboración con otros investigadores, propone un modelo que destaca las cualidades del entorno construido, promoviendo una experiencia humana completa y una conexión con el lugar (Kaplan et al., 2019; Seamon, 2019). Alexander denominó a estas cualidades bajo el término de "patrones" y junto a sus colaboradores identificaron y describieron más de 250 de ellos. Algunos ejemplos de estos patrones incluyen "red de transporte público", "puertas principales", "grupo de casas", "andenes elevados" y "jerarquía de espacios abiertos" entre otros (Seamon, 2019).

2.1.2 Inteligencia Artificial en Proyectos Urbanos

La inteligencia artificial ha surgido como una fuerza transformadora en la planificación y el desarrollo urbano del siglo XXI. Inicialmente limitada al ámbito de la ciencia ficción y los experimentos tecnológicos, la IA actualmente influye diversos

aspectos de la vida urbana, de los cuales se incluye la gobernanza, el transporte y la gestión de la infraestructura (Cugurullo et al., 2023). Su integración se ha acelerado gracias al avance de la conectividad digital, el uso creciente de big data y las aplicaciones de IA, que han contribuido significativamente los estudios y prácticas urbanas (Cong et al., 2024). La IA tiene aplicaciones en diversas áreas, como la estimación del consumo de energía en edificios, la automatización de la generación de redes de viales y la facilitación de la gobernanza participativa (Cong et al., 2024).

Además, la IA incluye una variedad de tecnologías clave que están redefiniendo la planificación urbana moderna. Entre estas se encuentran la realidad aumentada, la automatización, el análisis masivo de datos, la biometría, los gemelos digitales, y las plataformas de aprendizaje automático (Yigitcanlar et al., 2020). Estas tecnologías no solo permiten una mayor precisión y rapidez en la toma de decisiones urbanas, sino que a medida que las ciudades enfrentan una urbanización acelerada y desafíos ambientales cada vez más complejos, la integración de IA en la planificación urbana se convierte en un elemento clave para avanzar hacia vías de desarrollo más inteligentes y sostenibles (Bibri et al., 2024).

2.1.3 Modelado de Información de Construcción (BIM - Building Information Modeling)

El Modelado de información para la construcción, se ha convertido en una tecnología fundamental para la transformación digital en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción. Desde sus inicios a principios del siglo XXI como una evolución del CAD, BIM ha sido objeto de extensa investigación y gradualmente aplicado en distintas etapas del ciclo de vida de los proyectos, desempeñando un papel crucial en el diseño arquitectónico, la gestión de la construcción y el mantenimiento operativo en entornos urbanos (Li et al., 2024).

BIM se define como una herramienta basada en la representación digital colaborativa de un objeto construido, destinada a facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, proporcionando así una base confiable para la toma de

decisiones (Ilgar et al., 2024). En base a este enfoque se desarrollan modelos tridimensionales detallados, que mejoran la precisión en el diseño, la eficiencia en la planificación y la colaboración entre los diferentes involucrados del proyecto (Ametepey et al., 2024).

Además de mejorar la gestión de proyectos, BIM ha permitido la integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el procesamiento del lenguaje natural, que incrementan su utilidad y alcance. Un ejemplo claro de esta integración es Check to Build, una plataforma innovadora que utiliza modelos BIM y tecnologías de captura de realidad que compara automáticamente el diseño digital con el estado real de la obra, aplicando visión computacional y algoritmos de IA para detectar posibles discrepancias entre el modelo y la construcción física en tiempo real, generando informes que mejoran la supervisión y la gestión de proyectos en entornos urbanos de alta complejidad (Check to Build, 2024).

La integración facilita la interacción con los modelos BIM de manera más natural y comprensible, permitiendo que usuarios con distintos niveles de experiencia técnica accedan y gestionen datos complejos sin requerir conocimientos avanzados en software especializados (Fernandes et al., 2024).

2.1.4 Ingeniería de Prompts (Prompt Engineering)

La ingeniería de prompts consiste en crear instrucciones claras y estructuradas llamadas “prompts”, con el objetivo de guiar a los modelos generativos de lenguaje hacia respuestas precisas y útiles para tareas concretas y específicas (PMI, 2024).

Métodos de Ingeniería de Prompts

En la actualidad existen varios métodos efectivos para estructurar los prompts con los modelos de inteligencia artificial. Entre los enfoques más empleados para diseñar prompts son los métodos RTF y CREATE, que se describen a continuación.

- **Método RTF:** Este enfoque se basa en tres elementos clave: el Rol (Role), la Tarea (Task) y el Formato (Format). El prompt debe especificar de manera

clara el rol del modelo de IA como puede ser diseñador, analista, entre otros, la tarea a realizar y el formato deseado para presentar el resultado como gráficos o reportes, etc.

Este método resulta de gran utilidad en escenarios donde la claridad y la estructura son fundamentales para que la IA entregue resultados alineados con las expectativas del usuario (PMI, 2024).

- **Método CREATE:** Este método es completo y estructurado, y en comparación al anterior está compuesto por seis elementos: Carácter (Character), Solicitud (Request), Ejemplos (Examples), Ajustes y Restricciones (Adjustments & Constraints), Tipos de Salida (Types of Output) y Evaluación (Evaluation & Steps).

Este enfoque es adecuado para abordar tareas complejas, donde es necesario proporcionar contexto adicional, ejemplos y criterios de evaluación específicos, es ideal para proyectos que requieran un análisis más profundo y respuestas detalladas (PMI, 2024).

Patrones Avanzados de Prompting

Los patrones avanzados de prompting facilitan la gestión de tareas complejas y la obtención de respuestas más detalladas y específicas. Dos de los patrones más destacados en este ámbito son la Cadena de Pensamiento (Chain of Thought) y el Refinamiento Iterativo de Prompts (Iterative Prompt Refinement).

- **Cadena de Pensamiento:** Este patrón descompone problemas complejos en subtarefas más sencillas, facilitando que el modelo de IA siga un proceso lógico y estructurado. Al dividir el problema en pasos, se garantiza que el modelo siga un razonamiento coherente y pueda abordar cada parte del problema generando soluciones efectivas, lo que es especialmente útil en proyectos de construcción (PMI, 2024).
- **Refinamiento Iterativo de Prompts:** Este patrón permite refinar progresivamente los prompts para con el fin de obtener mejores resultados generados por el modelo de IA. En cada iteración, el prompt se basa en la respuesta anterior, ajustando e incorporando detalles para obtener

resultados más exactos. Este enfoque es fundamental en escenarios dinámicos donde las necesidades del proyecto evolucionan con el tiempo, como en la planificación o en proyectos de infraestructura, donde los detalles pueden cambiar según los avances de la obra (PMI, 2024).

2.1.5 Herramientas de Inteligencia Artificial

Las herramientas basadas en Inteligencia Artificial (IA) se han convertido en un recurso fundamental para el desarrollo de proyectos de ingeniería, arquitectónicos, y urbanos, al permitir una mayor precisión, rapidez y capacidad de análisis en comparación con los métodos tradicionales.

GPT My Generative AI Design Assistant: es una herramienta de IA enfocada en la conceptualización y desarrollo de diseños innovadores, con un enfoque en la sostenibilidad y la creatividad. Esta herramienta no solo permite generar propuestas estéticas alineadas con los principios arquitectónicos y urbanos, sino que también se adapta a los requisitos específicos de cada proyecto. Aunque no tiene la capacidad de procesar archivos IFC directamente, este GPT puede interpretar información relevante extraída de dichos archivos para asistir en la creación de soluciones de diseño sostenibles y viables.

GPT Innovator Architect / Arquitecto Innovador: está diseñado para facilitar la integración de conceptos innovadores en proyectos de ingeniería y arquitectura, con un fuerte énfasis en la sostenibilidad y la eficiencia. Sus capacidades abarcan desde el diseño de infraestructuras sostenibles hasta la creación de productos electrónicos energéticamente eficientes y vehículos ecológicos. Este GPT tiene la capacidad de colaborar con otros sistemas para generar soluciones prácticas y creativas que se ajusten a las demandas del entorno urbano, brindando un enfoque holístico que combina viabilidad técnica, estética y sustentabilidad.

GPT IFC Modificador Avanzado: es una herramienta basada en Inteligencia Artificial desarrollada para analizar y modificar archivos IFC. Su objetivo principal es efectuar cambios específicos en las propiedades y parámetros de las entidades

contenidas en estos archivos, sin emplear bibliotecas externas. El GPT permite la edición avanzada de atributos, manteniendo el nombre original del archivo modificado y enfocándose en consultas técnicas relacionadas con la estructura y los parámetros de los archivos IFC.

LookX.AI: es un robot de inteligencia artificial diseñado para integrar la tecnología de IA en el diseño arquitectónico, generando logotipos con características visuales distintivas basadas en principios arquitectónicos y con alta calidad visual (Kara et al., 2024).

Autodesk Forma: es una herramienta avanzada que facilita el análisis temprano en proyectos de diseño arquitectónico y urbano permitiendo ejecutar simulaciones instantáneas para evaluar cómo el análisis ambiental se ven influenciado por los diseños propuestos, cuya accesibilidad y funcionalidad la convierten en una solución efectiva para investigar y optimizar el confort peatonal en las etapas iniciales de planificación, proporcionando una base sólida para decisiones más informadas y sostenibles (Gür & Karadag, 2024).

2.2 Marco metodológico

2.2.1 Diseño de Investigación

El presente proyecto de investigación emplea un análisis cualitativo basado en simulaciones y análisis del modelo urbano mediante BIM, con el objetivo de abordar la aplicación de herramientas de inteligencia artificial en el manejo del lenguaje de patrones en proyectos urbanos, evaluando como la integración de distintas tecnologías tales como modelos GPT, LookX y Autodesk Forma contribuyen a automatizar la aplicación de patrones y mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en el diseño urbano.

El estudio se caracteriza por ser tipo exploratorio y descriptivo. La fase exploratoria se centra en identificar y analizar el patrón relevante para proyectos urbanos actuales y la viabilidad de su integración eficaz con herramientas de IA. La fase descriptiva se encargará de modelar y automatizar el patrón seleccionado en Revit,

describiendo tanto el proceso y los resultados obtenidos, así como su incorporación con herramientas de IA.

2.3 Procedimiento

El procedimiento de la investigación se estructura en cuatro fases principales que incluyen análisis, modelado, integración y finalmente la fase de evaluación.

2.3.1 Fase de Análisis

En esta primera fase se llevó a cabo una revisión detallada de los patrones de diseño propuestos por Christopher Alexander, con el objetivo de identificar aquel que sea más relevante para la aplicación en proyectos urbanos modernos.

Cada patrón fue analizado, enfocándose en las características principales de cada uno, su potencial impacto en el entorno urbano y su capacidad de adaptación a distintos escenarios. Además, se identificaron parámetros propios que orientan la implementación de cada patrón, tales como la densidad poblacional, la conectividad entre áreas, la organización de los espacios públicos y la integración de infraestructuras.

Como resultado de esta fase inicial, se seleccionó el patrón número 16, relacionado con redes de transporte público, debido a su enfoque en la optimización de enlaces entre los medios de transporte y la mejora en la accesibilidad. Este patrón sirvió como base para las fases posteriores a desarrollar.

2.3.2 Fase de Modelado

Durante la fase de modelado, se llevó a cabo la creación de un entorno urbano basado en los principios del Patrón 16 que se titula Red de Transporte Público de Christopher Alexander, diseñado para facilitar la integración eficaz de distintos sistemas de transporte público, y a su vez generar espacios que no solo mejoren la accesibilidad de los usuarios finales, sino que también sean espacios más ecológicos y armoniosos. El modelo se realizó utilizando el software Revit 2024, lo que permitió la construcción de un modelo tridimensional detallado. El diseño se enfocó en una plaza central que actúa como nodo principal de transbordo, integrando paradas de buses y taxis situadas estratégicamente a una distancia menor de 200 metros, alineado con las recomendaciones del patrón.

El diseño incluyó la incorporación de caminos peatonales para conectar las paradas de buses y taxis, mejorando y facilitando el desplazamiento de los usuarios entre los diferentes sistemas de transporte y uso de la plaza para distintos fines. Se analizó la distribución del espacio para asegurar que los usuarios puedan cambiar de un modo de transporte a otro de manera eficiente, minimizando las distancias de caminata y el tiempo de espera. La representación gráfica de estos elementos busca optimizar la experiencia de los usuarios en el sistema.

Para garantizar la interoperabilidad del modelo, se lo exportó en los formatos IFC y OBJ, lo que permitió la compatibilidad del archivo con otras plataformas y herramientas de análisis. Estas exportaciones permitieron el intercambio de información entre diferentes disciplinas y plataformas, asegurando que el modelo pueda ser utilizado para análisis posteriores, simulaciones y optimización en la fase de integración. Como herramienta adicional para visualizar y validar la información exportada, se utilizó BIM Vision, la cual ayudó a explorar e identificar ajustes de los detalles del modelo de forma más interactiva.

2.3.3 Fase de Integración

Durante la fase de integración, el modelo desarrollado en Revit fue procesado mediante herramientas basadas en inteligencia artificial, con el fin de mejorar el diseño urbano y facilitar la aplicación del patrón. La integración principal se llevó a cabo utilizando modelos GPT que forman parte de la plataforma OpenAI y que han sido personalizados por usuarios independientes y además herramientas especializadas tales como Lookx.ai y Autodesk Forma, que permitieron analizar el modelo y proponer ajustes o mejoras según la información del entorno.

GPT My Generative AI Design Assistant: El GPT se utilizó como una herramienta para generar recomendaciones en tiempo real, orientadas a la sostenibilidad y la funcionalidad del diseño.

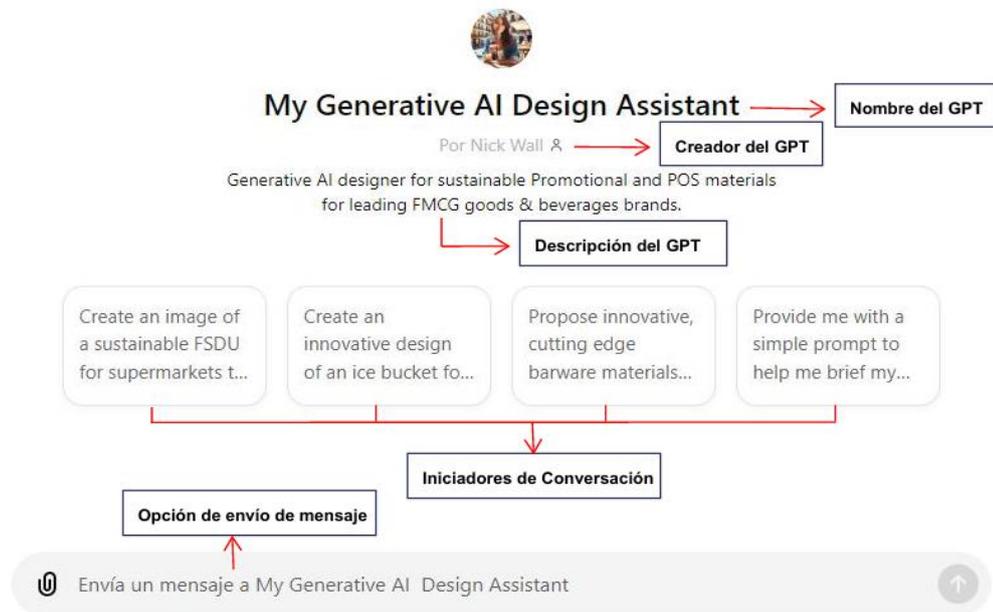


Figura 2. 1 Interfaz y componentes del GPT My Generative AI Design Assistant

La integración del GPT se llevó a cabo a través de una serie de 10 prompts siguiendo cadena de pensamiento, aplicando la fórmula RTF (ver Figura 2.2), cada uno diseñado para a obtener respuestas específicas en relación con los nodos de transbordo, la accesibilidad, la sostenibilidad, y la optimización del diseño basado en el patrón, que se resumen en el Anexo A.

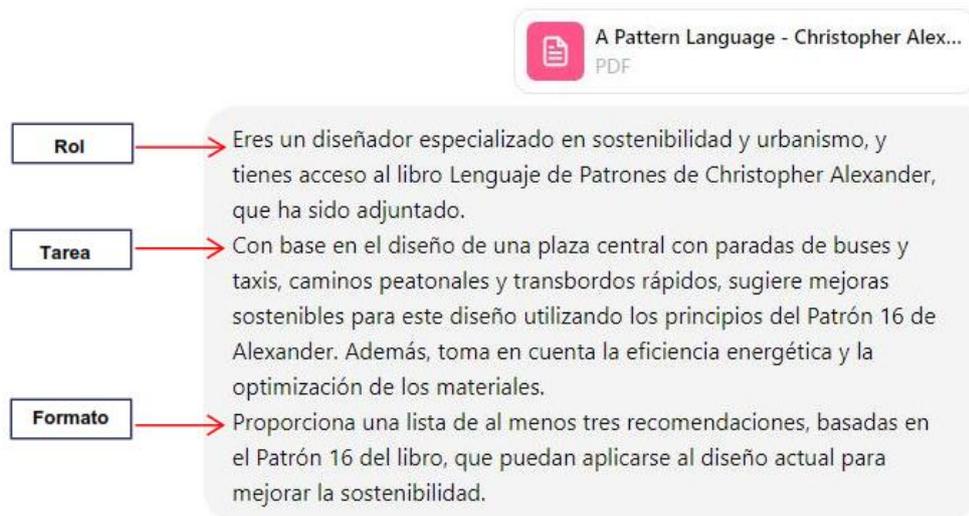


Figura 2. 2 Estructura RTF de Prompt

La cadena de prompts se desarrolló de manera progresiva, empezando por la conceptualización de mejoras sostenibles y avanzando hacia la implementación de estas sugerencias en el modelo urbano.

Primero, se verificó que las respuestas del GPT estuvieran alineadas con los principios de Alexander, como la eficiencia en la red de transporte y proximidad de los nodos de transbordo. En segundo lugar, se priorizó la aplicabilidad en Revit, asegurando que las sugerencias generadas por el GPT fueran directamente implementables en el entorno BIM. Por último, se consideró criterios sobre sostenibilidad en diversos prompts, integrando elementos como la energía solar, tecnologías verdes y la gestión eficiente del espacio urbano creando un entorno urbano más eficiente y ecológico.

GPT Innovator Architect / Arquitecto Innovador: El proceso de integración del GPT se estructuró mediante la generación de una serie de prompts, que se resumen en el Anexo A, específicamente diseñados para explorar las capacidades del GPT y obtener resultados que pudieran aplicarse al modelo urbano diseñado en base al patrón.



Figura 2. 3 Interfaz y componentes del GPT Innovator Architect

Estos prompts, elaborados bajo la fórmula RTF (Ver Figura 2.4), se centraron en aspectos clave del diseño urbano, como la accesibilidad, la sostenibilidad, la gestión de recursos hídricos y la mejora del flujo peatonal y vehicular.

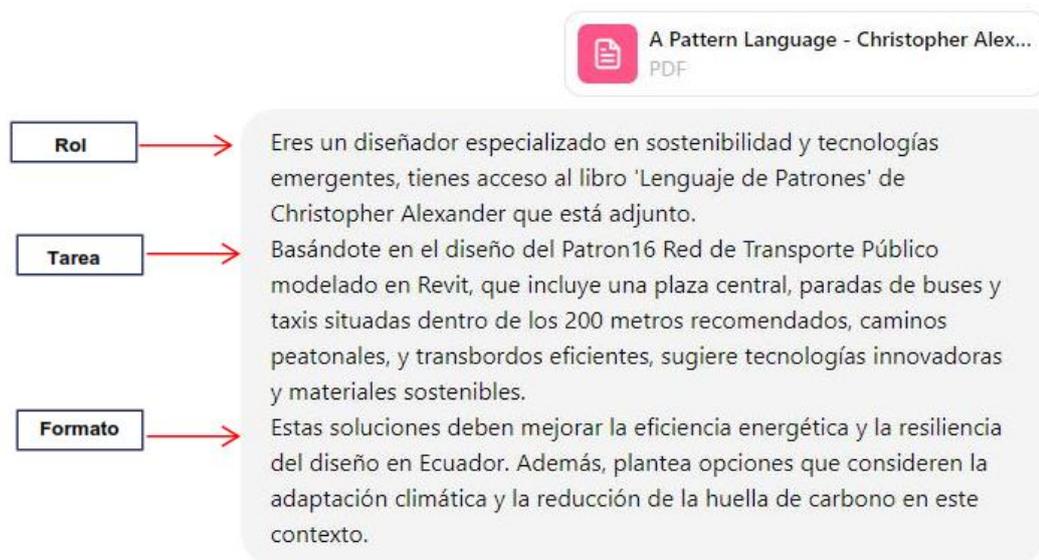


Figura 2. 4 Estructura RTF de Prompt

Cada prompt planteó una tarea específica relacionada con los desafíos del diseño urbano en entornos de transporte público. Por ejemplo, propuestas para la mejora de puntos de transbordo, la recolección de aguas pluviales, el diseño de áreas de espera y descanso, y la implementación de sistemas de iluminación pública inteligente. A través de cada respuesta generada, se evaluaron criterios como coherencia con los principios del Lenguaje de Patrones, aplicabilidad en el entorno urbano ecuatoriano, sostenibilidad de los materiales propuestos, y claridad en la explicación de las soluciones

IFC Modificador Avanzado: Se enfocó en realizar modificaciones y ajustes precisos en las propiedades geométricas y de ubicación de los elementos arquitectónicos modelados en Revit y exportados en formato IFC.

El GPT fue utilizado para modificar atributos como la altura, el ancho, la longitud y la elevación de las entidades del modelo, lo que facilitó la adaptación de las características del diseño urbano a las especificaciones requeridas por el proyecto.

El proceso de integración comenzó con la identificación de las entidades específicas que debían ser modificadas dentro del archivo IFC. Para ello, se seleccionaron elementos como `IfcWallStandardCase` y `IfcFurnishingElement`, que representan tanto estructuras arquitectónicas como mobiliario urbano. Cada entidad fue registrada con su identificador único (GUID) y sus propiedades actuales. Las propiedades analizadas incluyeron la altura de la caja delimitadora (Bounding Box Height), ancho de la caja delimitadora (Bounding Box Width), longitud de la caja delimitadora (Bounding Box Length), elevación superior (Top Elevation) y elevación global superior (Global Top Elevation). Estas propiedades sirvieron como base para las modificaciones, con el fin de garantizar que los cambios fueran aplicados exclusivamente a las entidades seleccionadas y que no afectaran a otras partes del modelo.

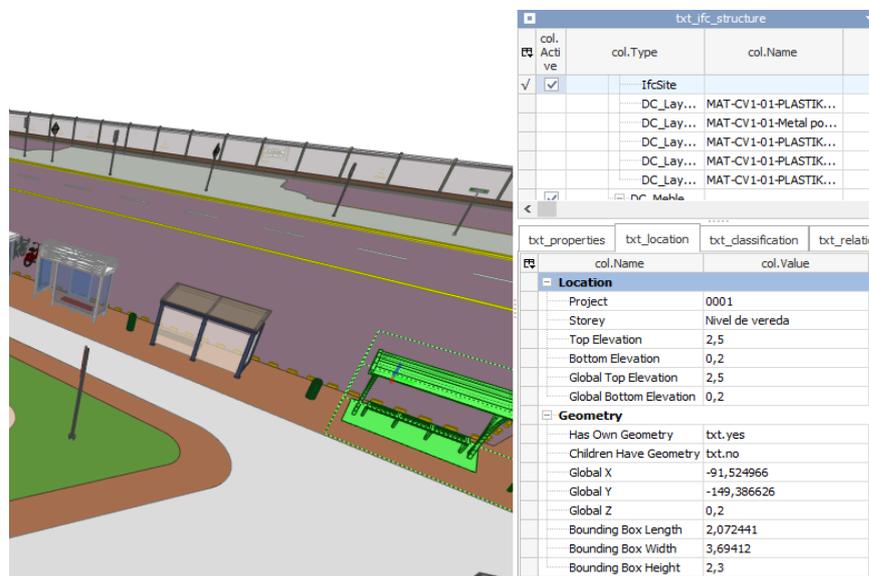


Figura 2. 5 Vista del archivo IFC original en BIM Vision

Posteriormente, se elaboraron los prompts detallados que describían con precisión los cambios que debían realizarse en cada propiedad. Las instrucciones incluyeron

información sobre el valor actual y el nuevo valor deseado para cada propiedad de la entidad. Un ejemplo de prompt diseñado se observa en la Figura 2.6.

```
Modify the entity `IfcSite` with GUID `3PjFXaJZ5D3APS9y$jZEXH` to change the following pro  
1. Bounding Box Length:  
- New value: 3.0 meters.  
2. Bounding Box Width:  
- New value: 4.0 meters.  
3. Bounding Box Height:  
- New value: 3.5 meters.
```

Figura 2. 6 Vista de ejemplo de prompt

Luego de redactar las instrucciones, se ingresaron los prompts en el entorno de procesamiento del GPT. El sistema generó un archivo IFC modificado, el cual se revisó mediante BIM Vision. En esta etapa, se cargó el archivo modificado y se compararon las propiedades con el archivo original para verificar que las modificaciones se hubieran aplicado correctamente.

LookX.ai: Fue empleado para generar renders detallados del diseño propuesto, proporcionando una visualización realista del entorno urbano, permitiendo evaluar el impacto estético del modelo y realizar ajustes visuales en base a las recomendaciones generadas por la IA.

El primer paso consistió en la generación de imágenes utilizando la opción de cámara en Revit. Estas capturas proporcionaron una representación precisa del entorno modelado, enfocándose en los aspectos más relevantes del diseño urbano, tales como la disposición de las paradas de transporte, los caminos peatonales y la plaza central, que actúa como el principal nodo de intercambio de transporte público.

Las imágenes se capturaron desde distintas perspectivas, para obtener una visión integral y detallada del modelo. Las principales áreas capturadas fueron:

- **Vista aérea de la plaza central:** Esta captura se utilizó para representar cómo se distribuyen los elementos principales del punto de transbordo.

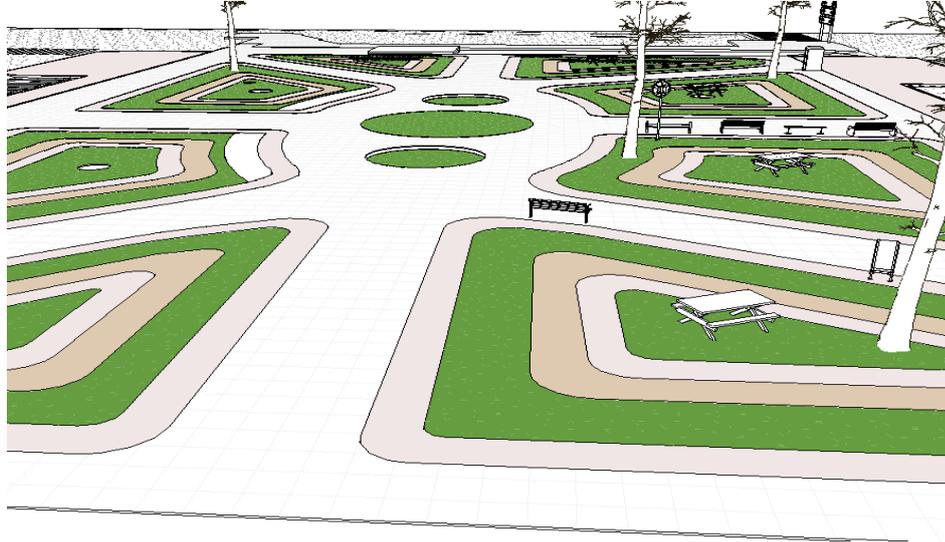


Figura 2. 7 Vista aérea de la plaza central

- **Perspectiva peatonal:** Se capturaron imágenes que simulan la experiencia visual de los usuarios al caminar por los caminos peatonales conectados a la plaza central.

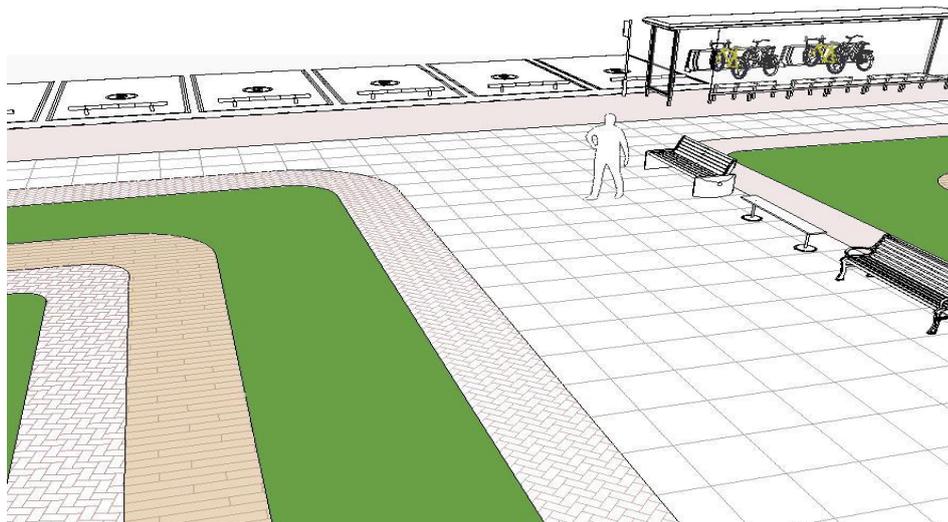


Figura 2. 8 Perspectiva peatonal

- **Vista de las paradas de autobuses:** Se seleccionaron puntos de vista que muestran claramente la disposición y accesibilidad de las paradas en relación con la plaza.

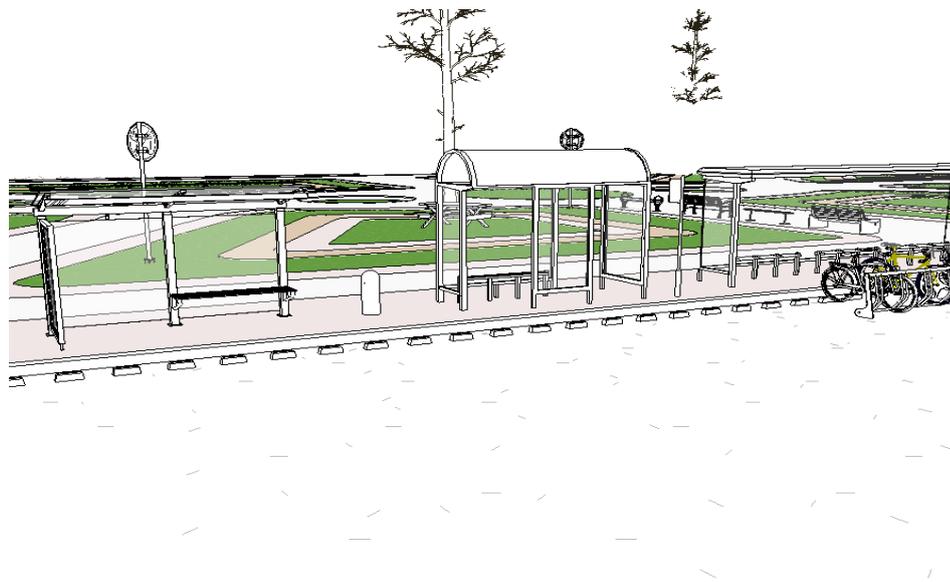


Figura 2. 9 Vista de las paradas de autobuses

Cada una de las capturas generadas se subió a la plataforma LookX.ai utilizando la opción de "Render Mode", que permite transformar imágenes base en renders fotorrealistas. Se seleccionó la categoría de arquitectura y el tipo de imagen "3D Massing" como entrada, lo que permitió que el software identificara las geometrías, texturas y elementos presentes en la imagen para generar una interpretación precisa y realista del entorno.

Durante el proceso de renderizado en LookX, se ajustaron los parámetros de iluminación, perspectiva y materialidad para reflejar de manera más fiel el entorno real de un proyecto urbano. La iluminación diurna se utilizó para generar sombras suaves y coherentes con la orientación de los elementos en el modelo, resaltando las texturas de pavimentos, áreas verdes y mobiliario urbano. Se configuraron detalles específicos como la textura del pavimento en las vías y caminos peatonales, así como las texturas diferenciadas en áreas verdes para garantizar un mayor realismo.

Los renders generados se analizaron para verificar la coherencia visual y la integración de todos los elementos modelados en Revit. Durante este proceso, se aseguraron proporciones adecuadas y una relación visual consistente entre los

elementos del primer plano (paradas, bancos, bicicletas) y los del fondo (plaza central, caminos peatonales).

Tras la revisión de los renders iniciales, se realizaron ajustes para corregir aspectos como la escala y proporción de algunos elementos. Se mejoraron texturas y materiales para reflejar de manera más precisa la interacción entre los caminos peatonales y las áreas verdes circundantes. Estos ajustes finales permitieron obtener renders que reflejan de manera fiel y atractiva la experiencia visual de los usuarios en el entorno urbano simulado.



Figura 2. 10 Render final vista aérea de la plaza central



Figura 2. 11 Render final vista de las paradas de autobuses



Figura 2. 12 Render final perspectiva peatonal

Autodesk Forma: Se empleó como herramienta de análisis para evaluar el diseño de la plaza central y paradas de transporte en un entorno urbano modelado previamente en Autodesk Revit. Esta integración se realizó con el propósito de analizar y optimizar la exposición solar, la iluminación natural y la ventilación en el área de estudio, fundamentando así la eficiencia y sostenibilidad del diseño conforme a los principios del patrón 16. La fase se llevó a cabo en dos ubicaciones específicas: inicialmente en la avenida Universitaria y Colón en la ciudad de Loja (Zona 1) y posteriormente en la intersección de la avenida 9 de Octubre y avenida Pedro Carbo, en Guayaquil (Zona 2).

Inicialmente, el modelo en Revit, que incluye la plaza central y paradas de transporte, fue exportado en formato OBJ para su posterior análisis en Autodesk Forma. Este proceso implicó ajustar las configuraciones de resolución y unidades de medida en metros, permitiendo así una transferencia adecuada del diseño a la plataforma de análisis.

Se creó un nuevo proyecto, especificando la ubicación geográfica del sitio del diseño para utilizar datos ambientales precisos como se muestra en la Figura 2.13 y Figura 2.14. Esta configuración permitió que el análisis de exposición solar y

viento reflejara las condiciones reales del contexto urbano, fundamentales para evaluar la sostenibilidad del diseño en condiciones específicas.

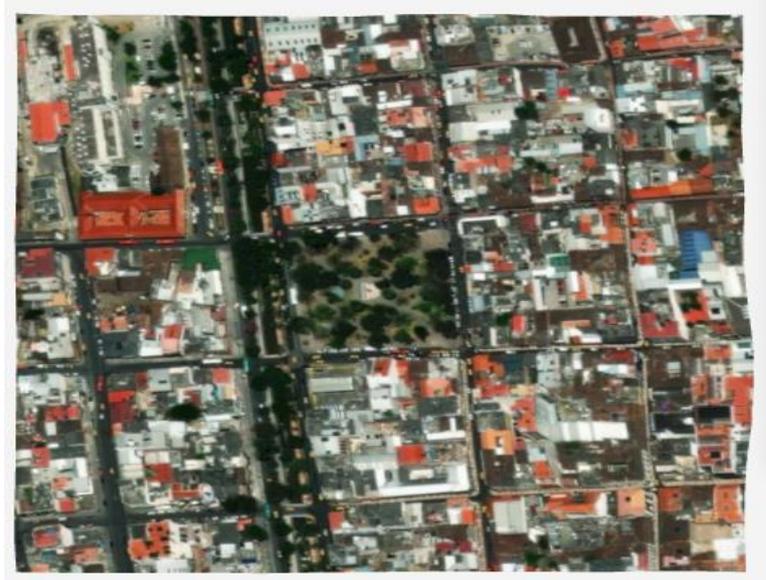


Figura 2. 13 Ubicación geográfica de diseño Zona 1

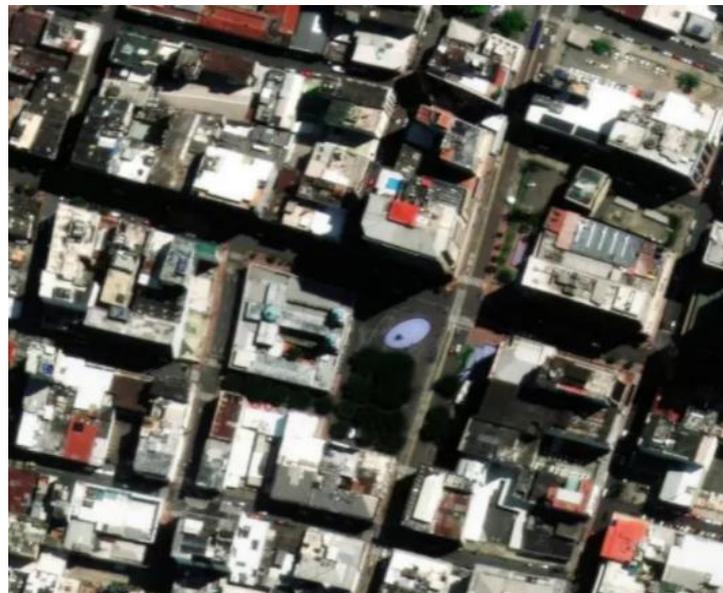


Figura 2. 14 Ubicación geográfica de diseño Zona 2

Se procedió a cargar elementos clave en ambos contextos urbanos, tales como edificios circundantes, carreteras y terreno, que rodean la plaza y las paradas de transporte como se muestra en la Figura 2.15 y Figura 2.16.



Figura 2. 15 Distribución urbana en el área de estudio Zona 1



Figura 2. 16 Distribución urbana en el área de estudio Zona 2

Para maximizar la precisión del análisis, se definió un área de interés que incluya la plaza y las paradas de transporte (ver Figura 2.17 y Figura 2.18). En Loja, la plaza y sus alrededores se estudiaron considerando un entorno menos denso. En Guayaquil, la intersección seleccionada implicó evaluar edificios altos y un entorno urbano más denso. Este ajuste es fundamental para evaluar el confort térmico y la accesibilidad en relación con el entorno, asegurando que las decisiones de diseño atendieran las condiciones ambientales específicas del sitio.



Figura 2. 17 Área de interés Zona 1

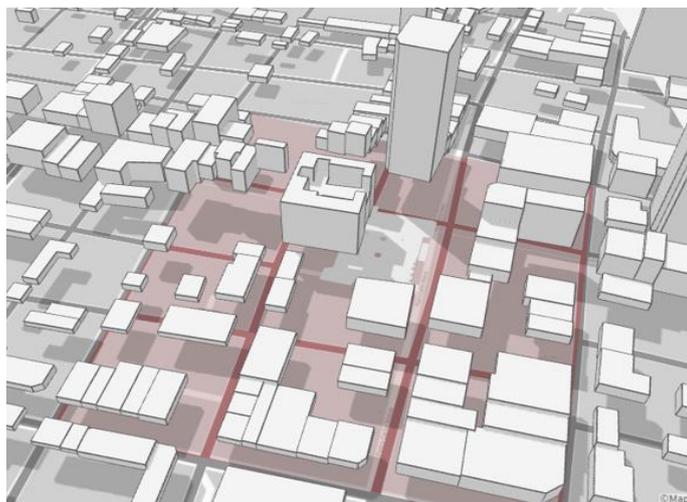


Figura 2. 18 Área de interés Zona 2

2.3.4 Fase de Evaluación

La fase de evaluación se centró en analizar el desempeño y la efectividad de las herramientas de inteligencia artificial integradas en el proceso de modelado y diseño urbano, así como la coherencia de los resultados generados con los principios del patrón de red de transporte público de Alexander.

2.3.4.1 Evaluación de los modelos GPT

Durante esta fase, se evaluaron los resultados obtenidos por cada GPT en relación con los objetivos establecidos, a través de criterios predefinidos, tales como la coherencia con los principios de sostenibilidad, la aplicabilidad de las propuestas

en el entorno urbano, y la claridad en la implementación de las soluciones sugeridas.

Para facilitar un análisis estructurado y sistemático, se emplearon tablas de evaluación que permitieron organizar las respuestas generadas por los GPTs según diversos parámetros clave.

Criterios de Evaluación

Para garantizar la objetividad y uniformidad en la evaluación de los resultados, se establecieron los siguientes criterios, aplicables a todas las soluciones generadas por los GPTs:

- **Coherencia:** Se evaluó la alineación de las soluciones propuestas con los principios del patrón 16 de Alexander. Este criterio asegura que las propuestas respondan a las necesidades de conectividad, transbordo y sostenibilidad establecidas en el patrón.
- **Sostenibilidad:** Se analizó el grado de sostenibilidad de las soluciones, en términos de uso eficiente de recursos naturales (como agua y energía), y la integración de tecnologías limpias (paneles solares, techos verdes, recolección de aguas pluviales).
- **Aplicabilidad:** Este criterio midió la viabilidad práctica de implementar las soluciones en el contexto urbano, considerando factores como la adaptabilidad de las infraestructuras, el uso de materiales locales y la coherencia con las normativas urbanas.
- **Claridad:** Finalmente, se valoró la claridad en la presentación de las soluciones, con especial énfasis en la comprensión y aplicabilidad de las respuestas por parte de profesionales del sector.

En cada criterio, se emplearon niveles de calificación específicos, con el objetivo de facilitar la comparación entre las diferentes respuestas generadas por los GPTs. Estos niveles permitieron categorizar las soluciones según su grado de alineación,

sostenibilidad, aplicabilidad y claridad, proporcionando una visión integral del desempeño de cada herramienta.

2.3.4.2 Evaluación de LookX.ai

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos con LookX.ai, se empleó una tabla de evaluación que permitió calificar cada render generado en función de varios criterios específicos.

Criterios de Evaluación

La tabla de evaluación contiene las siguientes categorías de análisis:

- **Coherencia con el Diseño y Principios de Sostenibilidad:** Este criterio evalúa qué tan bien se alinea cada render con el diseño general y los principios de sostenibilidad planteados en el proyecto. En este apartado se valoró si los elementos de diseño, como las áreas verdes, las zonas de descanso y los caminos peatonales, se integran de manera coherente con la infraestructura de transporte público y promueven prácticas sostenibles.
- **Realismo Visual y Detalles Estéticos:** En esta sección se calificó el nivel de detalle y realismo de los renders, tomando en cuenta aspectos como la iluminación, las sombras, las texturas y la materialidad de los elementos urbanos.
- **Claridad y Percepción del Entorno:** Este criterio se enfocó en la claridad con la que cada render representa los diferentes elementos del entorno urbano y su percepción desde la perspectiva del usuario. La claridad visual es esencial para que los renders transmitan una idea precisa de la disposición espacial, accesibilidad y funcionalidad de la plaza central y sus áreas adyacentes.

2.3.4.3 Evaluación de Autodesk Forma

Para evaluar la sostenibilidad del diseño en términos de confort y eficiencia energética, se realizaron los siguientes análisis:

- **Análisis de Horas de Sol:** Este análisis permitió determinar la exposición solar diaria en diversas zonas de la plaza y las paradas de transporte.

- **Análisis de Potencial de Luz Natural:** Se evaluó la iluminación natural en las áreas peatonales y de espera para determinar si estas reciben suficiente luz durante el día.
- **Análisis de Viento:** Finalmente, se realizó un análisis de viento para observar cómo las corrientes de aire afectan el área de tránsito y espera en la plaza.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación abordó la integración de herramientas de inteligencia artificial siguiendo los fundamentos aportados por Christopher Alexander, específicamente en la mejora de la red de transporte público y la accesibilidad. Durante el estudio, se utilizaron tres transformadores generativos pre-entrenados: My Generative AI Design Assistant, Innovator Architect / Arquitecto Innovador e IFC Modificador Avanzado junto a las plataformas basadas en IA, LookX.ai y Autodesk Forma.

A continuación, se presentan los resultados y su respectivo análisis, obtenidos dentro del estudio.

3.1 Resultados de los modelos GPT

GPT My Generative AI Design Assistant: Demostró una alta coherencia en la generación de propuestas que optimizaban la red peatonal mediante la incorporación de senderos y materiales permeables, integrando soluciones sostenibles como jardines y materiales reciclados para mobiliario urbano. La implementación de techos verdes en las paradas de transporte público, así como la integración de paneles solares y señalización inteligente, se alinearon perfectamente con los principios del patrón 16, que prioriza la eficiencia y coordinación en los nodos de transporte. Además, el uso de tecnologías de recolección de aguas pluviales y sistemas de monitoreo inteligente contribuyó a la sostenibilidad y mejoró la gestión del flujo de usuarios en tiempo real.

En términos de aplicabilidad, las propuestas fueron realistas y adaptables al contexto ecuatoriano. La utilización de materiales locales reciclados y tecnologías solares en la infraestructura pública fueron considerados viables para su implementación en Revit. Asimismo, la claridad de las respuestas proporcionadas

por el GPT fue destacable, presentando detalles técnicos que facilitaban la comprensión y aplicación de las sugerencias. La integración de tecnologías como cruces peatonales inteligentes y estaciones de hidratación sostenible mejoró tanto la accesibilidad como la eficiencia operativa de la plaza central.

GPT Innovator Architect / Arquitecto Innovador: Este GPT propuso soluciones modulares y adaptables para los puntos de transbordo, integrando elementos sostenibles. La propuesta de sistemas de señalización inteligente con energía renovable y pantallas informativas resaltó su enfoque novedoso e innovador en la mejora de la seguridad y la eficiencia del transporte público. Además, la inclusión de estaciones de carga solar para bicicletas y scooters eléctricos contribuyó hacia una movilidad sostenible.

GPT Modificador Avanzado: Mostró comprensión de las instrucciones que se detallaban en los prompts, identificó correctamente los elementos a modificar generando un archivo respuesta con todas las modificaciones finales. Sin embargo, al validar los resultados en plataformas como BIM Vision no se observan tales ajustes realizados por el GPT, lo que indica limitaciones en el proceso de integración.

3.2 Resultados de LookX.ai

La integración de la herramienta LookX.ai permitió generar renders fotorrealistas del diseño urbano de la plaza central de transporte público como se muestra en el Anexo B, Figura B2. Estos renders facilitaron una visualización detallada de elementos clave del entorno, como áreas verdes, caminos peatonales, paradas de transporte y la disposición general de la plaza central, proporcionando una representación realista y visualmente coherente del modelo.

Durante el proceso de renderizado, se detectaron oportunidades de mejora en aspectos específicos, como la altura y consistencia de las áreas verdes, la textura de los pavimentos y la falta de elementos de actividad, como personas y vehículos. Estos ajustes fueron incorporados en las iteraciones sucesivas, logrando una representación visual más completa y alineada con los objetivos de diseño del

proyecto. En los renders finales, se destaca un entorno estéticamente atractivo, con áreas verdes bien definidas, caminos peatonales accesibles y una organización que invita a la interacción y el uso del espacio.

3.3 Resultados de Autodesk Forma

Análisis de exposición solar

Zona de Análisis 1

Se obtuvo un mapa de horas de insolación para la plaza central y sus alrededores. La visualización muestra una escala de colores que va de 1 a 9 horas de exposición solar, lo cual permitió identificar las zonas de mayor y menor radiación en el diseño urbano propuesto.

La mayor parte de la plaza central recibe entre 8 y 9 horas de luz solar directa, lo que indica una alta exposición durante la mayor parte del día. En contraste, la zona situada en el borde izquierdo del modelo, donde se ubican las paradas de transporte, presenta una exposición solar significativamente menor, con un rango de 1 a 3 horas de sol. Esto sugiere que las paradas de transporte están ubicadas en un área donde la radiación solar es menor, generando condiciones de sombra natural que contribuyen al confort de los usuarios que esperan en esas zonas.

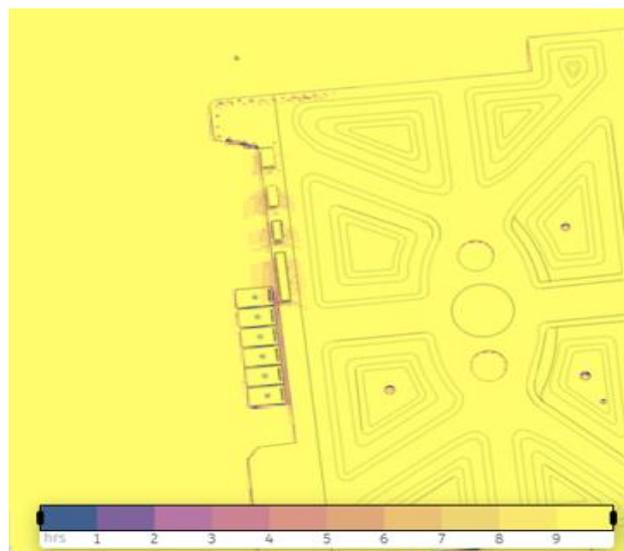


Figura 2. 19 Análisis de exposición solar Zona 1

Zona de Análisis 2

Como se muestra en la Figura, se observó que la mayor parte de la plaza central presenta una exposición solar moderada, con ciertas áreas que permanecieron sombreadas durante gran parte del día, las sombras son generadas principalmente por los edificios altos situados junto a la plaza.

Los caminos peatonales que conectan la plaza con las paradas de transporte mostraron variaciones en la exposición solar. Las zonas más cercanas a los edificios altos presentaron menor incidencia de luz directa.

Las paradas de transporte cercanas a la plaza recibieron una incidencia solar más uniforme en comparación con las áreas interiores de la plaza, lo cual podría influir en el confort de los usuarios.

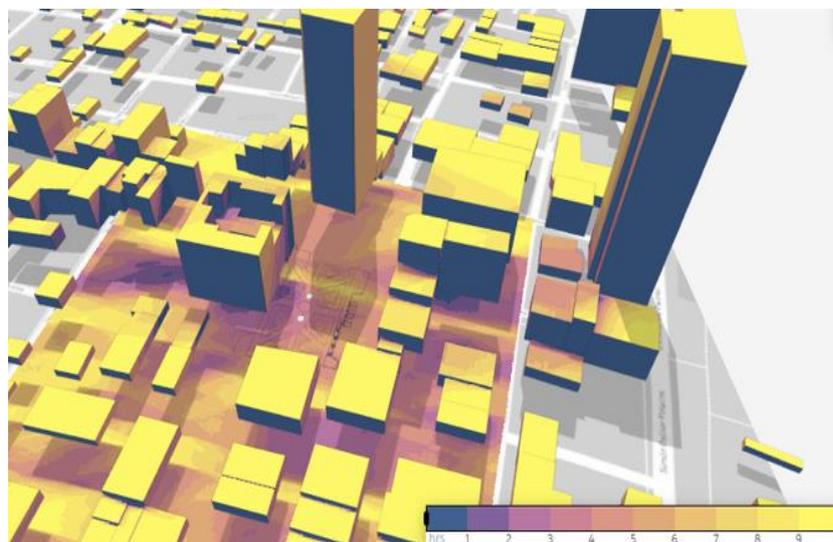


Figura 2. 20 Análisis de exposición solar Zona 2

Análisis de potencial de luz diurna

Zona de Análisis 1

Autodesk Forma permitió evaluar la cantidad de luz natural que las distintas áreas de la plaza reciben durante el día. La visualización obtenida muestra una escala de valores que va de 5 a 27, representada en tonos de azul a verde claro, donde las áreas con valores más altos indican un mayor acceso a la luz diurna. Este análisis fue fundamental para comprender cómo se ilumina naturalmente el espacio y para identificar las oportunidades de optimización en términos de luz natural.

La plaza central, en su mayoría, presentó un alto potencial de luz diurna, con valores cercanos a 27 en la escala. Estas áreas, representadas en tonos verdes claros, reciben una gran cantidad de luz natural a lo largo del día, lo cual contribuye a mejorar el confort visual y reduce la necesidad de iluminación artificial en estas zonas. En contraste, las zonas ubicadas en el borde izquierdo, donde se encuentran las paradas de transporte, mostraron un potencial de luz diurna significativamente menor, con valores entre 5 y 15 en la escala. Esto sugiere que estas áreas permanecen en sombra o reciben luz de manera reducida, lo cual puede ser beneficioso en términos de confort térmico para los usuarios que esperan en dichas paradas.



Figura 2. 21 Análisis de potencial de luz diurna Zona 1

Zona de Análisis 2

Como se observa en las Figura 2.22, reveló que la mayor parte del área central de la plaza presenta un alto potencial de luz diurna, con puntuaciones superiores a 27. Este resultado confirma que la ubicación y diseño de la plaza maximizan la incidencia de luz natural en la zona principal.

Por otro lado, las áreas adyacentes a los bordes, donde se encuentran los caminos peatonales y algunas paradas de transporte, presentaron valores significativamente menores, con puntuaciones que varían entre 5 y 15. Esto es consecuencia de las sombras proyectadas por los edificios altos ubicados al norte y al este de la plaza.

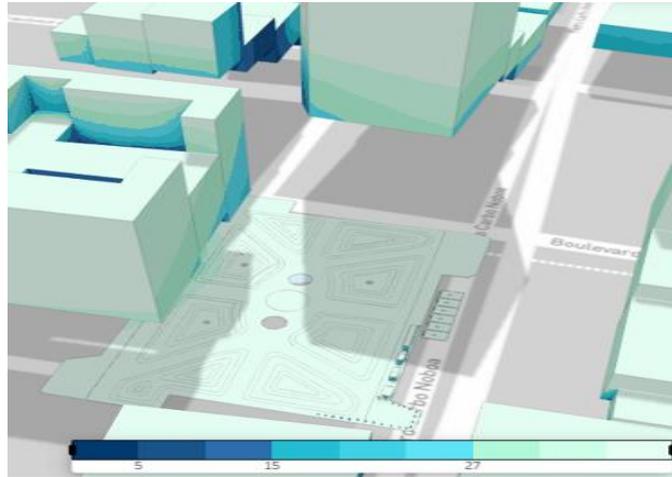


Figura 2. 22 Análisis de potencial de luz diurna Zona 2

Análisis de viento

Zona de Análisis 1

Permitió evaluar las condiciones de confort en la zona de las paradas de transporte y en la plaza adyacente, en función de la velocidad del viento. La visualización obtenida utiliza una escala de colores que clasifica las áreas según el nivel de comodidad para diferentes actividades, sentado (sitting), de pie (standing), paseando (strolling), caminando (walking) e incómodo (uncomfortable).

Los resultados muestran que gran parte de la plaza y la zona de paradas de transporte presentan condiciones de incomodidad debido a las altas velocidades del viento, señaladas en color rojo. Estas áreas, clasificadas como "incómodas", representan un reto para la permanencia prolongada, especialmente en las paradas de transporte, donde los usuarios suelen esperar en posición de pie o sentados. En contraste, se identificaron algunas áreas cercanas a las paradas y en sectores específicos de la plaza que presentan condiciones de viento más moderadas, representadas en tonos verde y amarillo, las cuales resultan adecuadas para actividades como caminar o estar de pie sin experimentar incomodidad.

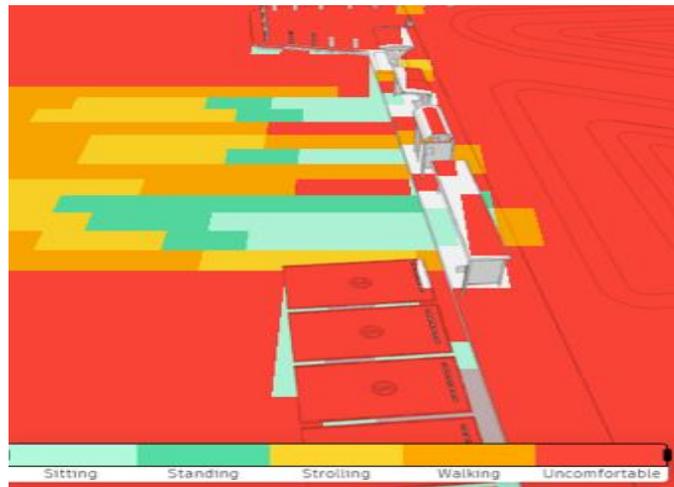


Figura 2. 23 Análisis de viento Zona 1

Zona de Análisis 2

En las zonas centrales se presentan condiciones moderadas de viento, con velocidades promedio de 2-4 m/s, que favorecen actividades como estar sentado, de pie o caminando. Estas áreas son óptimas para el confort de los usuarios, debido a la protección proporcionada por los edificios circundantes.

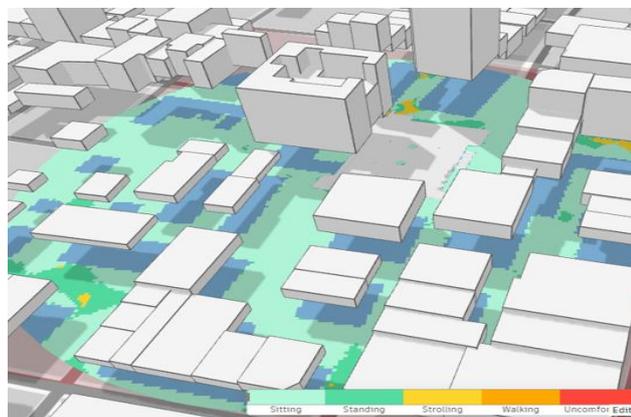


Figura 2. 24 Análisis inicial del impacto del viento Zona 2

Las áreas cercanas a los bordes de la plaza y las paradas de transporte muestran velocidades de viento más altas, alcanzando valores de 6-8 m/s en algunos puntos crítico, generando condiciones de incomodidad para actividades como caminar o permanecer estático, especialmente en la zona norte donde la dirección predominante del viento proviene del Noreste.

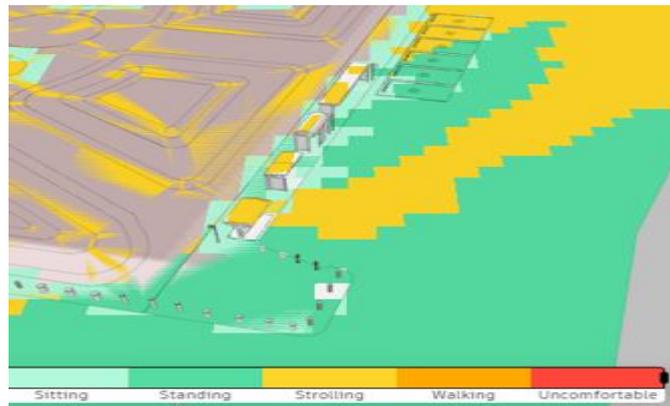


Figura 2. 25 Análisis de confort peatonal y viento Zona 2

El 62% del área analizada es apta para actividades de estancia, mientras que el 38% presenta limitaciones significativas, especialmente en las zonas de tránsito peatonal.

3.4 Análisis de Resultados de los modelos GPT

El análisis de los resultados obtenidos revela que la integración de herramientas de IA en el diseño urbano puede facilitar significativamente el manejo y la interpretación del Lenguaje de Patrones, especialmente en contextos donde se busca mejorar la red de transporte público y la accesibilidad.

La evaluación de las respuestas generadas por el **GPT My Generative AI Design Assistant** (ver Anexo A, Tabla A1), mostró un desempeño consistente en términos de coherencia, sostenibilidad, aplicabilidad y claridad en sus respuestas. La mayoría de las soluciones generadas se alinearon adecuadamente con los principios de Alexander, especialmente en aspectos relacionados con la optimización de la red peatonal, la integración de espacios verdes y el uso de materiales reciclados. Sin embargo, en algunos casos específicos, la coherencia fue moderada, indicando la necesidad de ajustes para lograr una alineación completa.

En cuanto a la sostenibilidad, todas las propuestas fueron calificadas como altas, reflejando una adecuada integración de prácticas sostenibles y tecnologías limpias,

como techos verdes, recolección de agua pluvial y paneles solares. Esto evidencia la capacidad del GPT para considerar el impacto ambiental de las intervenciones a largo plazo.

Las soluciones propuestas también demostraron una alta aplicabilidad al contexto urbano ecuatoriano, incorporando tecnologías y elementos prácticos, como la señalización inteligente y el mobiliario modular. La claridad de las respuestas fue consistente, facilitando su comprensión e implementación por parte de los profesionales del sector.

El **GPT Innovator Architect / Arquitecto Innovador** demostró consistencia en las propuestas generadas (ver Anexo A, Tabla A2), reflejando una alta alineación con los principios de diseño sostenible y funcionalidad en entornos urbanos. A lo largo de los diferentes prompts evaluados, las respuestas del GPT fueron calificadas como alineadas, lo que evidenció que las soluciones ofrecidas respondieron de manera coherente a los desafíos planteados en el diseño de infraestructura urbana.

En términos de sostenibilidad, todas las soluciones alcanzaron un nivel alto, integrando de manera eficaz tecnologías limpias, como la energía solar, jardines verticales, techos verdes y la gestión eficiente de recursos, como el agua y la energía. Estas soluciones son especialmente relevantes en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que contribuyen directamente a los ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles).

La aplicabilidad de las soluciones también fue calificada como alta en todos los prompts, lo cual sugirió que las propuestas eran viables en el contexto urbano real. El uso de módulos adaptables y tecnologías inteligentes demostró que las soluciones fueron flexibles y podían implementarse de manera eficiente en diversas áreas urbanas, mejorando la conectividad y accesibilidad de los usuarios.

En cuanto a la claridad, todas las respuestas fueron calificadas como claras, mostrando una capacidad del GPT para articular soluciones comprensibles y bien estructuradas, lo que facilitó su interpretación por profesionales del sector.

Las imágenes generadas (ver Anexo B, Figura B1) ilustraron visualmente las soluciones propuestas por el GPT, complementando la interpretación de los resultados. Estas representaciones gráficas reforzaron la coherencia entre las soluciones conceptuales y la visualización de un entorno urbano sostenible y accesible.

El **GPT Modificador Avanzado** mostró un buen nivel de comprensión de las indicaciones proporcionadas en los prompt, logrando reconocer los elementos específicos tales como altura, largo, ancho, etc., a modificar y creó un archivo IFC con dichos ajustes. No obstante, los cambios no se visualizaron en el modelo final descargado, indicando posibles restricciones en el proceso de transferencia de datos al modelo IFC generado.

3.5 Análisis de Resultados de LookX.ai

El análisis de los resultados obtenidos mediante LookX.ai se realizó utilizando tablas de evaluación que permitieron calificar cada render en función de criterios clave.

Coherencia con el Diseño y Principios de Sostenibilidad: Los renders que obtuvieron altas calificaciones en esta categoría fueron aquellos que presentaron una disposición armónica de las áreas verdes y el mobiliario urbano en relación con la infraestructura de transporte. En los primeros renders, la ausencia de actividad en el entorno (personas, vehículos) limitaba la percepción de accesibilidad y dinamismo, lo que se corrigió en iteraciones posteriores para asegurar un espacio que promoviera el uso sostenible y la interacción.

Realismo Visual y Detalles Estéticos: Algunos renders iniciales presentaron inconsistencias en la altura y textura de las áreas verdes, lo cual afectaba el realismo del entorno. Estas inconsistencias fueron abordadas en las siguientes

iteraciones, mejorando significativamente la percepción de coherencia visual y la calidad estética del modelo urbano.

Claridad y Percepción del Entorno: Aquellos renders que lograron una organización clara y bien estructurada del entorno obtuvieron las calificaciones más altas. Sin embargo, en algunos casos, la falta de elementos dinámicos, como personas en movimiento, restó sensación de interacción, lo cual se mejoró progresivamente.

3.6 Análisis de Resultados de Autodesk Forma

El análisis de exposición solar evidencia una adecuada distribución de las áreas en función de sus características de uso y necesidades de confort. En la zona de estudio 1, la alta exposición solar en el área central de la plaza puede ser aprovechada para actividades al aire libre que requieran o se beneficien de la luz solar directa. No obstante, esta característica sugiere la necesidad de integrar elementos de sombra en estas áreas para mitigar el impacto de la radiación en horas pico, mejorando así el confort térmico para los usuarios y promoviendo una estancia prolongada en la plaza.

Las paradas de transporte ubicadas en el borde izquierdo del modelo, su baja exposición solar resulta beneficiosa en términos de confort, ya que proporciona un área de espera protegida del calor excesivo. Esta ubicación estratégica permite que los usuarios de transporte público dispongan de una zona de sombra natural, lo cual es particularmente útil en un contexto urbano donde la espera puede prolongarse.

En cuanto a la zona de estudio 2, los resultados obtenidos de exposición solar mostraron un comportamiento distinto debido a la densidad mayor de edificios colindantes. En la plaza central se presentó una exposición de luz solar moderada, con áreas que reciben entre 7 a 8 horas de sol al día. Estas sombras son generadas por las edificaciones situadas al norte y al este de la plaza, creando zonas con menor exposición solar. Las paradas de transporte, se evidencian valores entre 2 a 5 horas de exposición, lo que podría ocasionar malestar en el confort de los usuarios, en especial en horas cálidas del día.

Los resultados obtenidos del análisis de potencial de luz diurna indican una distribución adecuada de la iluminación natural en función de las actividades planificadas para cada área de la plaza. La alta exposición a la luz diurna en las zonas centrales es ideal para actividades que requieren buena visibilidad, como el tránsito peatonal y las actividades recreativas. Estas áreas bien iluminadas maximizan el aprovechamiento de la luz natural y reducen la dependencia de iluminación artificial durante el día, lo que resulta en un uso energético más eficiente y refuerza los principios de sostenibilidad.

En el caso de las paradas de transporte situadas en el borde izquierdo de la plaza, la menor exposición a la luz diurna contribuye a crear un entorno más fresco y confortable para los usuarios en espera. Además, al situarse en una zona con menor potencial de luz diurna, las áreas no requieren estructuras adicionales para sombreado, lo cual optimiza el diseño y minimiza el uso de recursos.

En el caso de la zona de estudio 2, el análisis demuestra patrones similares, pero con mayor variabilidad debido a la influencia de la densidad urbana. El área central de la plaza presentó un alto valor de luz diurna, lo que garantiza un entorno bien iluminado apto para actividades recreativas y peatonales. Mientras los caminos peatonales cercanos a los bordes de la plaza registraron valores menores, como resultado de las sombras generadas por los edificios, lo cual evidencia la necesidad de optimizar el diseño para garantizar una iluminación adecuada en las zonas de mayor tránsito, sin comprometer el confort térmico en las paradas de transporte.

Los resultados del análisis de viento destacan la importancia de considerar la influencia de la velocidad del viento en el diseño de espacios urbanos, especialmente en las áreas destinadas a la espera de transporte público. En la zona 1, la incomodidad generada por el viento en las zonas de paradas puede afectar negativamente la experiencia del usuario, reduciendo el confort y el uso del espacio. Estas áreas expuestas, donde se concentran las actividades de espera, requieren intervenciones específicas para mitigar el impacto del viento y mejorar las

condiciones para los usuarios. La presencia de zonas con menor velocidad del viento en las inmediaciones de las paradas y en partes de la plaza sugiere oportunidades para la optimización del diseño, permitiendo que los usuarios puedan caminar o estar de pie con mayor comodidad.

En la zona 2, la zona central mostró velocidades similares a la zona 1, esto se debe por la protección de los edificios aledaños, pero en las áreas cerca a los bordes de la plaza y en las paradas de transporte estuvieron más expuestas, generando malestar en los usuarios. Los resultados indicaron que el 62% del área analizada es apta para actividades de espera, mientras que el 38% restante requiere de mejoras para aumentar el confort.

3.7 Limitaciones en la Integración de las herramientas

- El desempeño de los modelos GPT utilizados, dependió en gran medida de la claridad y precisión de los prompts diseñados. Aunque se obtuvieron respuestas coherentes y alineadas con los principios del patrón estudiado, en ocasiones fue necesario realizar varias iteraciones para obtener propuestas completamente alineadas.
- Los modelos GPT trabajaron de manera independiente, y no se logró una integración directa entre ellos ni con otras plataformas como LookX o Autodesk Forma. Esto limitó la posibilidad de generar propuestas completamente interconectadas que aprovecharan el potencial combinado de todas las herramientas.
- Se observaron limitaciones en la representación dinámica del entorno en LookX, como la incorporación de personas, vehículos y elementos de actividad. Estas carencias iniciales redujeron la percepción de realismo e interacción en los diseños presentados.
- Autodesk Forma no permitió la importación directa de archivos IFC generados en Revit, lo que restringió la capacidad de analizar modelos más complejos o realizar evaluaciones integradas de los diseños. Esto obligó a trabajar con representaciones simplificadas del entorno urbano en un peso máximo de 100 MB y en formato OBJ.

- Para la visualización y validación de los archivos IFC generados, fue necesario utilizar software adicional, como BIM Vision, que sirvió como herramienta complementaria para corroborar que la información del modelo.
- La herramienta Autodesk Forma no permite modelar directamente plazas y más elementos del diseño, ya que está estandarizada para la creación y análisis de edificaciones, obligando en este caso a utilizar el modelo exportado desde Revit, lo que redujo la precisión del análisis.
- El análisis ambiental realizado por Autodesk Forma funciona de manera más efectiva en entornos urbanos con alta densidad de edificaciones ya que en zonas con baja densidad o sin edificios cercanos, los resultados pueden no reflejar con precisión las condiciones reales del entorno limitando la utilidad de la herramienta para este tipo de proyectos.

3.8 Desempeño en la Integración de las herramientas

En forma de resumen se muestra a continuación el desempeño general de cada herramienta durante la fase de integración categorizándolo en tres niveles. Esta evaluación identifica sus aspectos positivos y negativos (Ver Tabla 3.1), considerando su impacto en el proyecto.

Tabla 3. 1 Evaluación resumen del desempeño de las herramientas integradas

Herramienta	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos	Nivel de Desempeño
GPT My Generative AI Design Assistant	1. Generación de soluciones alineadas con principios del Patrón 2. Alta sostenibilidad en las propuestas (techos verdes, paneles solares, etc.) 3. Alta claridad y aplicabilidad al contexto ecuatoriano	1. Algunas propuestas no estuvieron completamente alineadas con los principios del patrón 2. Dependencia de iteraciones para ajustes	 Medio

Herramienta	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos	Nivel de Desempeño
GPT Innovator Architect / Arquitecto Innovador	<ol style="list-style-type: none"> 1. Soluciones modulares y adaptativas 2. Enfoque en sostenibilidad (jardines verticales, gestión de aguas pluviales) 3. Alta claridad en las respuestas 4. Alta aplicabilidad y alineación con los ODS 9 y 11. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de integración directa con otras herramientas para maximizar el potencial de diseño colaborativo. 	● Medio
IFC Modificador Avanzado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación precisa de elementos a modificar 2. Generación de archivos IFC 3. Respuestas claras y específicas a los prompts 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limitaciones técnicas al reflejar cambios en los modelos finales 2. Necesidad de validación adicional en plataformas externas 	● Bajo
LookX.ai	<ol style="list-style-type: none"> 1. Generación de renders realistas que permiten evaluar la percepción del entorno 2. Detalle en áreas verdes y texturas en iteraciones finales 3. Claridad en la representación de elementos clave 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inconsistencias iniciales en texturas y proporciones 2. Representación limitada de elementos dinámicos como personas y vehículos 	● Medio
Autodesk Forma	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis ambiental detallado (exposición solar, luz diurna, viento) 2. Efectivo en entornos con alta densidad de edificaciones 3. Aporte valioso para optimizar el confort térmico 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No permite modelar plazas ni elementos no estandarizados directamente 2. Limitaciones en entornos con baja densidad de edificaciones 3. Requiere exportar modelos en formato OBJ, limitando precisión 	● Medio

Nota. Los niveles de desempeño se definen: ● Alto (contribuciones significativas), ● Medio (resultados aceptables que requieren mejora en algunos aspectos) y ● Bajo (limitaciones significativas que afectaron su utilidad).

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación logró integrar herramientas de Inteligencia Artificial en el diseño urbano basado en el Lenguaje de Patrones de Christopher Alexander, destacando la efectividad de los modelos generativos para optimizar aspectos del diseño de espacios públicos. Los resultados obtenidos mediante la implementación de modelos GPT y plataformas como LookX.ai y Autodesk Forma proporcionan conclusiones clave sobre el impacto y las posibilidades futuras de la IA en el manejo y adaptación de patrones de diseño.

Conclusiones

- La aplicación de herramientas de IA, como los modelos GPT en Revit, permitió una automatización efectiva del proceso de diseño, generando soluciones específicas y adaptativas alineadas con los principios del patrón 16. En particular, se observó que las propuestas de diseño generadas por los modelos GPT alcanzaron una alta coherencia con los principios de Alexander y lograron un balance entre la sostenibilidad y la aplicabilidad en un contexto urbano ecuatoriano. Esta automatización no solo optimizó la organización de elementos clave, como paradas de transporte, sino que también facilitó la incorporación de tecnologías limpias y materiales sostenibles.
- Las propuestas generadas a través de los modelos GPT y LookX.ai destacaron en términos de sostenibilidad, demostrando la capacidad de la IA para sugerir prácticas que contribuyen al uso eficiente de recursos naturales, tales como techos verdes, recolección de aguas pluviales, y sistemas de monitoreo ambiental, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 y 11. La evaluación de estos elementos evidenció que la IA puede generar soluciones no solo innovadoras, sino también sostenibles, mejorando la resiliencia y el confort en entornos urbanos.
- LookX.ai fue fundamental en la generación de representaciones visuales detalladas y realistas de los espacios urbanos, permitiendo una revisión visual del

impacto estético y funcional de cada propuesta de diseño. A través de los renders generados, fue posible identificar ajustes necesarios en aspectos como la disposición de áreas verdes y la optimización de la luz natural, lo que resultó en mejoras significativas en la percepción del entorno urbano.

- Los análisis realizados en Autodesk Forma demostraron que el uso de IA en la evaluación de condiciones ambientales, como la exposición solar y la velocidad del viento, es una herramienta poderosa para optimizar el confort de los usuarios. Las áreas de mayor exposición solar en la plaza central fueron aprovechadas para actividades al aire libre, mientras que las paradas de transporte, ubicadas estratégicamente en zonas de sombra, mejoraron el confort térmico de los usuarios.
- No se logró una integración directa entre las herramientas utilizadas, lo que limitó la capacidad de generar propuestas interconectadas y coordinadas.
- La dependencia de formatos de exportación específicos, como OBJ, y la necesidad de herramientas complementarias como BIM Vision para validar modelos, restringieron la interoperabilidad y la precisión en los análisis.

Recomendaciones

- La colaboración entre herramientas de IA y software BIM podría ser más efectiva si se desarrollan integraciones nativas que permitan la actualización automática de modelos en tiempo real. Se recomienda que los desarrolladores de software BIM exploren la posibilidad de incorporar algoritmos generativos dentro del propio software, permitiendo así una optimización continua y adaptativa de los modelos urbanos sin la necesidad de procesos manuales de exportación e importación.
- Dado que los modelos y herramientas de IA se han adaptado exitosamente, se recomienda la capacitación de profesionales locales en el uso de estas tecnologías. Esto permitiría que futuros proyectos aprovechen al máximo estas herramientas, promoviendo la implementación de soluciones innovadoras que respondan a los requerimientos del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Ametepey, S. O., Aigbavboa, C., Addy, H., & Thwala, W. D. (2024). A Bibliometric Review of the Trends of Construction Digitalization Research in the Past Ten Years. *Buildings*, 14(9), 2729. <https://doi.org/10.3390/buildings14092729>

Bibri, S. E., Huang, J., Jagatheesaperumal, S. K., & Krogstie, J. (2024). The Synergistic Interplay of Artificial Intelligence and Digital Twin in Environmentally Planning Sustainable Smart Cities: A Comprehensive Systematic Review. *Environmental Science And Ecotechnology*, 20, 100433. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2024.100433>

Check to Build. (2024). *Construcción digital y automatización con Check to Build*. <https://checktobuild.com/es/>

Cong, C., Page, J., Kwak, Y., Deal, B., & Kalantari, Z. (2024). AI Analytics for Carbon-Neutral City Planning: A Systematic Review of Applications. *Urban Science*, 8(3), 104. <https://doi.org/10.3390/urbansci8030104>

Cugurullo, F., Caprotti, F., Cook, M., Karvonen, A., McGuirk, P., & Marvin, S. (2023). The rise of AI urbanism in post-smart cities: A critical commentary on urban artificial intelligence. *Urban Studies*. <https://doi.org/10.1177/00420980231203386>

Fernandes, D., Garg, S., Nikkel, M., & Guven, G. (2024b). A GPT-Powered Assistant for Real-Time Interaction with Building Information Models. *Buildings*, 14(8), 2499. <https://doi.org/10.3390/buildings14082499>

García Peñalvo, F. J., Llorens-Largo, F., & Vidal, J. (2023). La nueva realidad de la educación ante los avances de la inteligencia artificial generativa. *Revista Iberoamericana de Educación A Distancia*, 27(1), 9-39. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37716>

Giraldo, H. G. (2022). *Producción social, proceso participativo e intervención sostenible en el espacio público de centros históricos*. <https://doi.org/10.20868/upm.thesis.39253>

Gür, M., & Karadag, I. (2024). Machine Learning for Pedestrian-Level Wind Comfort Analysis. *Buildings*, 14(6), 1845. <https://doi.org/10.3390/buildings14061845>

Ilgar, A., Kara, A., & Çağdaş, V. (2024). Identifying Legal, BIM Data and Visualization Requirements to Form Legal Spaces and Developing a Web-Based 3D Cadastre Prototype: A Case Study of Condominium Building. *Land*, 13(9), 1380. <https://doi.org/10.3390/land13091380>

Iwańczak, B., & Lewicka, M. (2020). Affective map of Warsaw: Testing Alexander's pattern language theory in an urban landscape. *Landscape And Urban Planning*, 204, 103910. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103910>

Kaplan, A., Diver, K., Sandin, K., & Mill, S. K. (2019). Homeless Interactions with the Built Environment: A Spatial Pattern Language of Abandoned Housing. *Urban Science*, 3(2), 65. <https://doi.org/10.3390/urbansci3020065>

Kara, K., Ergin, E. A., Yalçın, G. C., Çelik, T., Devenci, M., & Kadry, S. (2024). Sustainable brand logo selection using an AI-Supported PF-WENSLO-ARLON hybrid method. *Expert Systems With Applications*, 125382. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125382>

Lee, D., & Lee, S. (2022). Investigating Media-User Interaction for Public Play Space in a Smart City. *Applied Sciences*, 12(23), 11882. <https://doi.org/10.3390/app122311882>

Li, Y., Lai, Y., & Lin, Y. (2024). The Role of Diversified Geo-Information Technologies in Urban Governance: A Literature Review. *Land*, 13(9), 1408. <https://doi.org/10.3390/land13091408>

Mehaffy, M. W. (2019). Assessing Alexander's Later Contributions to a Science of Cities. *Urban Science*, 3(2), 59. <https://doi.org/10.3390/urbansci3020059>

Pérez, A. H. (2019). Diseño y habitabilidad: una aproximación basada en los lenguajes de patrones. *Laocoonte*, 6, 199. <https://doi.org/10.7203/laocoonte.0.6.15323>

Piras, G., Muzi, F., & Tiburcio, V. A. (2024). Digital Management Methodology for Building Production Optimization through Digital Twin and Artificial Intelligence Integration. *Buildings*, 14(7), 2110. <https://doi.org/10.3390/buildings14072110>

Project Management Institute. (2024). *Talking to AI: Prompt Engineering for Project Managers*. Project Management Institute.

Sanchez, T. W. (2023). Planning on the Verge of AI, or AI on the Verge of Planning. *Urban Science*, 7(3), 70. <https://doi.org/10.3390/urbansci7030070>

Seamon, D. (2019). Christopher Alexander's Theory of Wholeness as a Tetrad of Creative Activity: The Examples of A New Theory of Urban Design and The Nature of Order. *Urban Science*, 3(2), 46. <https://doi.org/10.3390/urbansci3020046>

Yigitcanlar, T., Kankanamge, N., Regona, M., Maldonado, A., Rowan, B., Ryu, A., Desouza, K. C., Corchado, J. M., Mehmood, R., & Li, R. y. M. (2020). Artificial Intelligence Technologies and Related Urban Planning and Development Concepts: How Are They Perceived and Utilized in Australia? *Journal Of Open Innovation Technology Market And Complexity*, 6(4), 187. <https://doi.org/10.3390/joitmc6040187>

Yu, J., & Min, D. (2022). PL-System: Visual Representation of Pattern Language using L-System. *Proceedings Of The International Conference On Computer-Aided Architectural Design Research In Asia*. <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2022.1.201>

ANEXOS

Anexo A

Evaluaciones de las herramientas basadas en Inteligencia Artificial

Tabla A 1. Resultados de la evaluación del GPT My Generative AI Design Assistant

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
1	Proporciona una lista de al menos tres recomendaciones, basadas en el Patrón 16 del libro, que puedan aplicarse al diseño actual para mejorar la sostenibilidad.	<ol style="list-style-type: none">1. Optimizar la red peatonal2. Integrar espacios verdes3. Materiales reciclados	Alineada	Alta	Alta	Clara
2	¿Cómo podrías mejorar los nodos de transbordo entre autobuses y taxis?	<ol style="list-style-type: none">1. Techos Verdes con Paneles Solares2. Señalización Inteligente y LED3. Mobiliario Modular con Puertos de Carga Solar	Alineada	Alta	Alta	Cara
3	¿Cómo podríamos optimizar el flujo de peatones en la plaza central para reducir los tiempos de caminata y mejorar la accesibilidad sin comprometer la sostenibilidad?	<ol style="list-style-type: none">1. Caminos peatonales directos y accesibles2. Cruces peatonales inteligentes con energía solar3. Puntos de interacción digital con información en tiempo real	Moderada	Alta	Alta	Clara

Número	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
4	¿Qué elementos adicionales podríamos agregar para mejorar la experiencia del usuario en la plaza central, asegurando que las intervenciones sean sostenibles y funcionales?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistemas de sombreado natural y artificial 2. Mobiliario urbano multifuncional y ecológico 3. Pavimentos térmicos y permeables 4. Puntos de agua y estaciones de hidratación 5. Áreas verdes 6. Tecnología de información en tiempo real 	Alineada	Alta	Alta	Clara
5	¿Cómo podríamos integrar eficientemente estos nuevos elementos (sistemas de sombra, mobiliario modular, estaciones de hidratación, etc.) con los sistemas de transporte público?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistemas de sombra integrados 2. Mobiliario urbano cercano a las paradas 3. Estaciones de hidratación en zonas de espera 4. Pantallas informativas en tiempo real 5. Caminos peatonales directos con señalización táctil y energía solar 	Alineada	Alta	Alta	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
6	Describe cómo podríamos integrar un sistema de monitoreo inteligente que mida la eficiencia del flujo de usuarios y el impacto ambiental de las intervenciones.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensores de conteo de personas y cámaras inteligentes 2. Estaciones meteorológicas y monitoreo del confort térmico 3. Medición del impacto ambiental y energético 4. Plataforma centralizada de análisis de datos 5. Tecnología IoT para gestión de mobiliario urbano 	Alineada	Alta	Alta	Clara
7	¿Cómo podríamos involucrar activamente a los usuarios en el sistema de monitoreo y gestión sostenible?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicación móvil interactiva 2. Kioscos interactivos con retroalimentación 3. Gamificación para fomentar comportamientos sostenibles 4. Monitoreo participativo 5. Sensores personales y datos anónimos 	Moderada	Alta	Alta	Clara

Número	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
8	¿Cómo podría la información recopilada a través de la participación de los usuarios y el sistema de monitoreo impactar en las futuras decisiones de diseño y gestión de la plaza?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Optimización del flujo peatonal 2. Redistribución del mobiliario urbano 3. Ajustes en el sistema de sombra y confort térmico 4. Mejora de la eficiencia energética 5. Gestión de recursos hídricos 6. Planificación de eventos y aglomeraciones 7. Monitoreo de la huella de carbono y calidad del aire 	Alineada	Alta	Alta	Clara
9	¿Cómo podemos evaluar el impacto económico de las intervenciones sostenibles en la plaza a largo plazo?	<p>Explicación detallada de cómo calcular el ROI de intervenciones como paneles solares, iluminación LED y sistemas de recolección de agua. También considera la mejora en la calidad de vida y la afluencia de visitantes.</p>	Alineada	Alta	Alta	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
10	¿Cómo podemos comunicar eficazmente los beneficios económicos, sociales y ambientales de las intervenciones sostenibles a inversores o autoridades locales en Ecuador para asegurar su apoyo?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presentación del ROI y ahorros a largo plazo 2. Impacto social y mejora de la accesibilidad 3. Beneficios ambientales y adaptación climática 	Alineada	Alta	Alta	Clara

Nota. Las categorías de evaluación incluyen: Coherencia (Desalineada, Moderada, Alineada), Sostenibilidad (Baja, Moderada, Alta), Aplicabilidad (Baja, Moderada, Alta) y Claridad (Confusa, Moderada, Clara).

Tabla A 2. Resultados de la evaluación del GPT Innovator Architect / Arquitecto Innovador

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
1	Mejora conceptual para optimizar la accesibilidad y el flujo de peatones.	<ol style="list-style-type: none"> 1.Reconfiguración de rutas peatonales con IA 2. Puntos de transbordo mejorados 3. Integración de paisajismo funcional 4. Accesibilidad universal 5. Optimización de cruces peatonales 	Alineada	Alta	Alta	Clara
2	Diseña un concepto modular para hubs de transporte.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estructura modular adaptable con materiales reciclables. 2. Techos verdes y paneles solares 	Alineada	Alta	Alta	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
3	Describe cómo la IA mejora la eficiencia y seguridad en hubs modulares.	<p>integrados.</p> <p>3. Recolección de agua pluvial para riego y limpieza.</p> <p>4. Áreas de espera cubiertas con asientos ergonómicos y pantallas informativas.</p> <p>5. Configuración flexible que se ajusta a las necesidades de transporte.</p> <p>1. Gestión y Optimización del Tráfico</p> <p>2. Optimización de Tiempos de Espera y Servicios en el Hub</p> <p>3. Seguridad Inteligente y Monitoreo del Hub</p> <p>4. Optimización Energética y Sostenibilidad</p>	Alineada	Alta	Alta	Clara
4	Proporciona un diseño para las áreas de espera y descanso.	<p>1. Asientos ergonómicos de materiales reciclados.</p> <p>2. Zonas de sombra natural con pérgolas y plantas nativas.</p> <p>3. Estaciones de carga solar para dispositivos móviles.</p> <p>4. Pantallas digitales informativas operadas con energía solar.</p>	Alineada	Alta	Alta	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
5	Diseña un sistema de señalización inteligente en áreas de espera y conexiones peatonales.	<p>5. Jardines verticales en paredes y maceteros verdes.</p> <p>6. Iluminación ambiental con energía solar y sensores de movimiento.</p> <p>7. Mobiliario inclusivo y caminos antideslizantes.</p> <p>1. Paneles solares fotovoltaicos y baterías de almacenamiento.</p> <p>2. Información de transporte y alertas de seguridad actualizadas automáticamente.</p> <p>3. Señales táctiles y accesibilidad para personas con discapacidad visual.</p> <p>4. Tótems multifuncionales con estaciones de carga y materiales resilientes.</p> <p>5. Iluminación LED con sensores de movimiento y señalética inclusiva.</p> <p>6. Red de IoT y monitoreo ambiental.</p>	Alineada	Alta	Alta	Clara
6	Diseña un estacionamiento para bicicletas y scooters eléctricos.	<p>1. Módulos adaptables para bicicletas y scooters eléctricos.</p> <p>2. Espacios configurables en diferentes formas para maximizar el uso del espacio.</p> <p>3. Cámaras conectadas a IA y candados</p>	Alineada	Alta	Alta	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
		<p>electrónicos controlados por aplicación móvil.</p> <p>4. Iluminación LED automatizada por sensores de movimiento.</p> <p>5. Estaciones de carga solar con puertos de carga rápida y baterías de respaldo.</p> <p>6. Gestión de carga mediante aplicación móvil.</p> <p>7. Techos verdes y jardines verticales para mejorar el microclima.</p> <p>8. Áreas de descanso sombreadas para los usuarios.</p> <p>10. Pantallas informativas sobre rutas y beneficios del transporte ecológico.</p> <p>11. Espacios para talleres de autoreparación.</p>				

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
7	Diseña un sistema de recolección y gestión de aguas pluviales.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Techos inclinados y pavimentos permeables 2. Tanques subterráneos modulares 3. Riego automatizado y fuentes solares 4. Diseño armonioso y paneles educativos 5. Sensores de calidad del agua. 	Alineada	Alta	Alta	Clara
8	Diseña un espacio público multifuncional para diferentes usos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Plataforma modular permeable 2. Pérgolas retráctiles y jardines verticales 3. Puntos eléctricos inteligentes, iluminación LED y pantallas móviles 4. Mobiliario portátil y adaptable 5. Diseño estético y áreas verdes. 	Alineada	Alta	Alta	Clara
9	Diseña un sistema de iluminación pública inteligente y eficiente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Paneles solares integrados 2. Tecnología LED de bajo consumo 3. Sensores de movimiento y sistema IoT 4. Sistema de alertas de emergencia 5. Diseño minimalista y materiales reciclables. 	Alineada	Alta	Alta	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta GPT	Coherencia	Sostenibilidad	Aplicabilidad	Claridad
10	Diseña paradas de buses accesibles y sostenibles.	1. Techos verdes y recolección de aguas pluviales 2. Rampas suaves y plataformas elevadas 3. Pantallas informativas y sistemas de voz 4. Bancos ergonómicos y ventilación natural 5. Iluminación LED inteligente y estaciones de carga USB.	Alineada	Alta	Alta	Clara

Nota. Las categorías de evaluación incluyen: Coherencia (Desalineada, Moderada, Alineada), Sostenibilidad (Baja, Moderada, Alta), Aplicabilidad (Baja, Moderada, Alta) y Claridad (Confusa, Moderada, Clara).

Tabla A 3. Resultados de la evaluación de la herramienta LookX.ai

Número de Prompt	Prompt	Respuesta de LookX.ai	Coherencia con Diseño	Realismo Visual y Detalles Estéticos	Claridad y Percepción del Entorno
------------------	--------	-----------------------	-----------------------	--------------------------------------	-----------------------------------

Número de Prompt	Prompt	Respuesta de LookX.ai	Coherencia con Diseño	Realismo Visual y Detalles Estéticos	Claridad y Percepción del Entorno
1	Generar un render realista de la parada de transporte público con énfasis en materiales de pavimento, iluminación suave y elementos de interacción	Render muestra una parada de transporte con pavimento, sombras y detalles en señalización, pero sin personas adicionales o interacción visible entre usuarios	Moderada	Alto	Clara
2	Generar un render realista de la parada de transporte público con integración de la plaza central y detalles de áreas verdes, caminos peatonales y bancos	El render muestra la parada de transporte conectada visualmente con la plaza, con áreas verdes y caminos peatonales. La iluminación es cálida, con sombras suaves.	Alineada	Alto	Clara
3	Generar un render de la perspectiva peatonal que capture la experiencia visual de los usuarios en los caminos peatonales conectados a la plaza central	El render muestra la perspectiva peatonal con caminos, bancos y áreas verdes visibles. Un usuario camina en el entorno.	Alineada	Alto	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta de LookX.ai	Coherencia con Diseño	Realismo Visual y Detalles Estéticos	Claridad y Percepción del Entorno
4	Generar un render realista que muestre interacción en el espacio público, con personas, bicicletas, y áreas verdes detalladas	El render muestra los elementos principales como bancos, bicicletas y áreas verdes exageradas y con iluminación suave. Solo hay una persona visible.	Moderada	Moderado	Moderada
5	Crear un render realista de una plaza central con un hub de transporte público, áreas verdes, caminos geométricos, bancos y mesas	El render muestra la plaza central con áreas verdes y caminos geométricos. La iluminación es adecuada, con sombras suaves de árboles y mobiliario. Sin embargo, las áreas verdes presentan inconsistencias.	Moderada	Moderado	Moderada
6	Crear un render realista de una plaza central de transporte público con áreas verdes, caminos peatonales geométricos, bancos y mesas	El render muestra la plaza central con áreas verdes y caminos. La iluminación es adecuada, con sombras suaves, y los materiales tienen texturas optimizadas.	Alineada	Alto	Clara

Número de Prompt	Prompt	Respuesta de LookX.ai	Coherencia con Diseño	Realismo Visual y Detalles Estéticos	Claridad y Percepción del Entorno
7	Mejorar el render para mostrar una plaza central de transporte con áreas verdes, caminos peatonales geométricos, bancos, y mesas	El render muestra la plaza con una buena separación entre áreas pavimentadas y verdes, texturas mejoradas en pavimento y vegetación más densa en las áreas centrales.	Moderada	Moderado	Clara

Nota. Las categorías de evaluación incluyen: Coherencia (Desalineada, Moderada, Alineada), Realismo (Bajo, Moderado, Alto), Claridad (Confusa, Moderada, Clara).

Anexo B

Imágenes Generadas por las herramientas basadas en Inteligencia Artificial



Figura B 1. Imágenes Generadas por GPT Innovator Architect / Arquitecto Innovador



Prompt 1



Prompt 2



Prompt 3



Prompt 4



Prompt 5



Prompt 6



Prompt 7

Figura B 2. Imágenes Generadas por LookX.ai

España, 06 de diciembre de 2024

Ph. D.
Priscila Valverde Armas
Coordinadora Académica
Programa de Maestría en Ingeniería Civil con mención en Construcción y Saneamiento
En su Despacho

Yo, Carlos Javier Pampliega García, de nacionalidad española, portador del pasaporte No. PAF529884, en mi calidad de Tutor del Proyecto de Graduación de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Construcción y Saneamiento, IV Cohorte, de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), certifico lo siguiente:

Con fecha 18 de junio del 2024, acepté la tutoría del estudiante Ximena Cristina Cuenca Torres con identificación No. 1105675852, para el desarrollo del proyecto de titulación denominado: "Aplicación de herramientas de Inteligencia Artificial en el Manejo del Lenguaje de Patrones para Proyectos Urbanos".

Certifico que este trabajo de titulación fue supervisado de manera continua a lo largo de su desarrollo, revisado en cada una de sus etapas y finalmente, el proyecto fue aprobado por mi persona en su versión final, recibida el día 06 de diciembre del 2024.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines pertinentes.

Atentamente,



Carlos Pampliega García
Tutor del Proyecto de Graduación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Firmado por PAMPLIEGA GARCIA CARLOS JAVIER - ***6187**
el día 07/12/2024 con un certificado emitido por AC
FNMT Usuarios