

## Aplicación de inteligencia artificial en el lenguaje de patrones para proyectos urbanos

## Application of Artificial Intelligence in the Pattern Language for Urban Projects

Ximena Cuenca-Torres<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0008-5740-4993>

<sup>1</sup>*Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador*  
[xccuenca@espol.edu.ec](mailto:xccuenca@espol.edu.ec)



Esta obra está bajo una licencia internacional  
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2025/09/14

Aceptado: 2025/12/02

Publicado: 2026/06/15

### Resumen

La integración de herramientas de inteligencia artificial con el software Building Information Modeling (BIM) Revit se abordó como una estrategia de apoyo para la aplicación del Lenguaje de Patrones de Christopher Alexander en proyectos urbanos. El estudio analizó cómo los modelos generativos de lenguaje (GPT), combinados con plataformas de visualización y simulación ambiental, pueden contribuir a interpretar y reforzar la coherencia, aplicabilidad y sostenibilidad del diseño urbano. La investigación se desarrolló en cuatro fases: análisis, modelado, integración y evaluación. En la primera fase se seleccionaron patrones relevantes, con énfasis en el Patrón 16, orientado a redes de transporte público. Posteriormente, se modeló un entorno urbano en Revit con una plaza central como nodo de transbordo para potenciar la accesibilidad. Durante la fase de integración se aplicaron tres modelos GPT (My Generative AI Design Assistant, Innovator Architect e IFC Modificador Avanzado) para generar recomendaciones cualitativas sobre accesibilidad, sostenibilidad y organización del espacio público, mientras que la plataforma LookX.ai se utilizó para obtener renders fotorrealistas del modelo y Autodesk Forma para realizar simulaciones ambientales en dos contextos urbanos contrastantes. Finalmente, las propuestas se evaluaron en términos de coherencia, aplicabilidad y sostenibilidad. Los resultados mostraron soluciones alineadas con los principios de Alexander, resaltando la sostenibilidad y funcionalidad del diseño. Los análisis ambientales y las representaciones visuales contribuyen a enriquecer la propuesta, aunque se identifican limitaciones en la interoperabilidad y en la representación dinámica del entorno.

**Sumario:** Introducción, Estado del arte, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones.

**Como citar:** Cuenca-Torres, X. (2026). Aplicación de inteligencia artificial en el lenguaje de patrones para proyectos urbanos. *Revista Tecnológica - Espol*, 387(1), 69-86.  
<https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1487>

**Palabras clave:** inteligencia artificial, patrones de diseño, diseño urbano, BIM, desarrollo sostenible.

### Abstract

The integration of artificial intelligence tools with the Building Information Modeling (BIM) software Revit was approached as a support strategy for applying Christopher Alexander's Pattern Language in urban projects. The study analyzed how generative language models (GPT), combined with visualization and environmental simulation platforms, can contribute to interpreting and reinforcing the coherence, applicability, and sustainability of urban design. The research was carried out in four phases: analysis, modeling, integration, and evaluation. In the first phase, relevant patterns were selected, with an emphasis on Pattern 16, which focused on public transportation networks. Subsequently, an urban environment was modeled in Revit, with a central plaza as a transfer node to enhance accessibility. During the integration phase, three GPT models (My Generative AI Design Assistant, Innovator Architect, and Advanced IFC Editor) were applied to generate qualitative recommendations on accessibility, sustainability, and public space organization, while the LookX.ai platform was used to obtain photorealistic renders of the model, and Autodesk Forma for environmental simulations in two contrasting urban contexts. Finally, the proposals were evaluated in terms of coherence, applicability, and sustainability. The results showed solutions aligned with Alexander's principles, highlighting the sustainability and functionality of the design. Environmental analyses and visual representations enriched the proposal, though limitations in interoperability and in the dynamic representation of the environment were identified.

**Keywords:** artificial intelligence, design patterns, urban design, BIM, sustainable development.

### Introducción

El Lenguaje de Patrones, desarrollado por Christopher Alexander en la década de 1970, se ha consolidado como una metodología clave para abordar problemas recurrentes en el diseño de espacios habitables. Esta propuesta teórica, conformada por 253 patrones, abarca desde la planificación de ciudades hasta detalles constructivos, ofreciendo soluciones estructuradas que buscan garantizar la calidad de los entornos urbanos y arquitectónicos (Pérez, 2019). Su principal valor radica en que permite a los individuos participar activamente en la configuración de sus espacios, integrando variables como la cultura, la rutina diaria, el medio ambiente y los materiales disponibles (Giraldo, 2022).

A pesar de su relevancia, la implementación práctica del Lenguaje de Patrones en proyectos urbanos contemporáneos continúa siendo un desafío. La correcta interpretación y adaptación de los patrones exige un esfuerzo considerable en términos de tiempo, recursos y capacidad técnica, lo que ha limitado su aplicación sistemática en el diseño urbano actual. Esta limitación se acentúa ante la ausencia de herramientas digitales que faciliten la automatización del proceso, generando una brecha entre el marco teórico de Alexander y las exigencias de los entornos urbanos modernos (Lee & Lee, 2022; Mehaffy, 2019).

Paralelamente, el sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) atraviesa una etapa de transformación marcada por la necesidad de responder a los desafíos de la sostenibilidad, la digitalización y la eficiencia en los procesos (Piras et al., 2024); sin embargo, la adopción de tecnologías digitales ha sido más lenta en comparación con otros sectores, debido a factores como la resistencia al cambio y la falta de interoperabilidad entre plataformas. Dentro

de este marco, la inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta prometedora para transformar la manera en que se conciben y gestionan los proyectos urbanos. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos, generar soluciones personalizadas en tiempo real y anticipar escenarios complejos ha impulsado su aplicación en ámbitos como la movilidad, el consumo energético y la gobernanza urbana (García et al., 2023; Cong et al., 2024).

La combinación de IA con herramientas de Building Information Modeling (BIM), ampliamente reconocidas en la industria de la construcción, abre nuevas posibilidades para integrar la teoría del Lenguaje de Patrones en la práctica profesional. BIM no solo permite la representación tridimensional y paramétrica de los proyectos, sino que también constituye una plataforma colaborativa que facilita la interoperabilidad y la toma de decisiones informadas (Ilgar et al., 2024); sin embargo, todavía no existe una solución integral que unifique IA y BIM para automatizar la recomendación y adaptación de los patrones de Alexander en proyectos urbanos.

Esta brecha tecnológica y metodológica evidencia la necesidad de desarrollar investigaciones que exploren cómo las herramientas basadas en IA pueden aplicarse de forma efectiva en el diseño urbano, optimizando procesos y fortaleciendo la sostenibilidad. El presente estudio se inscribe en este marco, con el objetivo de analizar la integración de modelos de IA con un entorno BIM en Revit, tomando como base el Patrón 16 de Alexander, “Red de Transporte Público”. Este patrón enfatiza la importancia de los nodos de transbordo y la proximidad entre diferentes sistemas de transporte, elementos fundamentales para promover la accesibilidad y la eficiencia en ciudades contemporáneas.

El propósito central radica en ofrecer soluciones prácticas que respondan a las demandas actuales de sostenibilidad, eficiencia y participación ciudadana en la planificación urbana. Al mismo tiempo, la investigación busca contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), alineando la innovación tecnológica con la necesidad de construir ciudades inclusivas, resilientes y ambientalmente responsables.

En este contexto, el objetivo principal de la investigación fue analizar la integración de herramientas basadas en inteligencia artificial con modelos BIM en Revit, para automatizar la aplicación del Lenguaje de Patrones en proyectos urbanos, con énfasis en la evaluación del impacto de estas tecnologías sobre la coherencia, aplicabilidad y sostenibilidad del diseño.

## Estado del arte

### Lenguaje de patrones

El Lenguaje de Patrones, desarrollado por Christopher Alexander, constituye un marco metodológico que ofrece soluciones recurrentes a problemas de diseño espacial. Su propuesta articula 253 patrones, organizados en tres categorías principales: urbanos (94), arquitectónicos (109) y de subestructuras a pequeña escala (50), reflejando la interdependencia jerárquica entre escalas de intervención (Lee & Lee, 2022).

La obra fundacional, *A Pattern Language*, se convirtió en un referente para la planificación de entornos habitables, promoviendo una arquitectura contextualizada que responda a las condiciones del lugar, la cultura y las dinámicas sociales. Investigaciones recientes destacan su vigencia como recurso teórico, a la vez que señalan las limitaciones de su aplicación en contextos urbanos contemporáneos debido a la falta de herramientas digitales que faciliten su

adaptación dinámica (Kaplan et al., 2019; Seamon, 2019). Así, aunque los patrones fomentan entornos inclusivos y cohesionados, su implementación requiere procesos de interpretación y adaptación que resultan complejos y demandan recursos significativos.

### **Inteligencia Artificial en la Planificación Urbana**

La inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como una fuerza transformadora en la planificación urbana del siglo XXI. Inicialmente limitada al campo experimental, hoy es una herramienta aplicada en la gobernanza, la movilidad y la gestión de infraestructura (Cugurullo et al., 2023). Su expansión se ha visto favorecida por la disponibilidad de *big data* y la digitalización de procesos, lo que ha permitido desarrollar aplicaciones en campos como la predicción del consumo energético, la generación automatizada de redes viales o el soporte a la gobernanza participativa (Cong et al., 2024). Tecnologías asociadas a la IA, como la realidad aumentada, los gemelos digitales o el aprendizaje automático, se han convertido en aliados clave para enfrentar la urbanización acelerada y los desafíos ambientales, favoreciendo trayectorias de desarrollo más inteligentes y sostenibles (Yigitcanlar et al., 2020; Bibri et al., 2024).

### **Modelado de Información de Construcción (BIM - Building Information Modeling)**

El Modelado de Información de Construcción (BIM) se ha afianzado como tecnología fundamental en la transformación digital de la industria de la construcción. A diferencia del CAD, BIM permite generar modelos digitales tridimensionales enriquecidos con datos que abarcan todas las fases del ciclo de vida de un proyecto (Li et al., 2024). Esta representación colaborativa mejora la precisión en el diseño, fomenta la coordinación interdisciplinaria y optimiza la gestión de recursos (Ilgar et al., 2024).

Más allá de su función de modelado, BIM ha posibilitado la integración con herramientas de inteligencia artificial, lo que amplía su alcance hacia procesos de detección automática de errores, comparación entre diseño y obra construida mediante visión computacional y optimización ambiental (Check to Build, 2024). Estudios recientes destacan que esta convergencia refuerza la interoperabilidad y democratiza el acceso a la información técnica a través de interfaces intuitivas como el lenguaje natural (Fernandes et al., 2024).

### **Ingeniería de prompts (Prompt Engineering)**

La ingeniería de *prompts* ha surgido como un puente metodológico entre los modelos de lenguaje generativo y las necesidades específicas de investigación y diseño. Se centra en la construcción de instrucciones claras y estructuradas que permitan obtener respuestas útiles y coherentes de los modelos de IA (PMI, 2024).

Los métodos más difundidos incluyen RTF (rol, tarea, formato) y CREATE, este último es más detallado al incorporar ejemplos, restricciones y criterios de evaluación, además, estrategias avanzadas como la cadena de pensamiento y el refinamiento iterativo de *prompts* permiten descomponer problemas complejos en subtareas manejables o ajustar progresivamente las respuestas, lo que resulta especialmente pertinente en la planificación urbana, donde confluyen múltiples variables dinámicas (PMI, 2024).

### **Herramientas de Inteligencia Artificial Aplicadas al Diseño Urbano**

En los últimos años han surgido herramientas basadas en IA que amplían las posibilidades del diseño urbano y arquitectónico. GPT My Generative AI Design Assistant se centra en conceptualizar propuestas sostenibles e innovadoras; GPT Innovator Architect incorpora enfoques creativos para infraestructuras y productos urbanos eficientes; y GPT IFC Modificador Avanzado facilita la edición y análisis de archivos IFC sin depender de librerías externas.

Complementariamente, plataformas como LookX.ai ofrecen visualización arquitectónica avanzada mediante renders de alta calidad (Kara et al., 2024), mientras que Autodesk Forma posibilita simulaciones ambientales en etapas tempranas de diseño, evaluando factores como la radiación solar, el viento y el confort peatonal (Gür & Karadag, 2024).

### **Materiales y Métodos**

La investigación adoptó un enfoque cualitativo basado en simulaciones y análisis de modelos urbanos en entornos digitales, con apoyo en la metodología BIM, que busca interpretar la relación entre diseño, tecnología y sostenibilidad. Este enfoque resultó pertinente dado que el objetivo del estudio no fue cuantificar impactos mediante indicadores estadísticos, sino interpretar la coherencia entre las soluciones generadas por herramientas de inteligencia artificial, los principios del Lenguaje de Patrones de Christopher Alexander y las condiciones específicas de emplazamiento urbano.

El carácter del estudio fue exploratorio y descriptivo. La exploración se orientó a identificar patrones del Lenguaje de Alexander con potencial de integración en un flujo de trabajo IA-BIM, seleccionando el Patrón 16, “Red de Transporte Público”, como eje del modelo urbano debido a su énfasis en la articulación de nodos de transbordo y en la accesibilidad peatonal, mientras que la parte descriptiva se centró en documentar de forma sistemática los procedimientos de modelado en Revit, la configuración de los modelos generativos de lenguaje y el uso de plataformas de visualización y simulación ambiental para analizar el desempeño del diseño.

En este contexto, el estudio se organizó en cuatro fases: análisis, modelado, integración y evaluación.

#### **Fase de análisis**

La primera etapa del estudio consistió en una revisión sistemática del Lenguaje de Patrones de Christopher Alexander, con el propósito de identificar aquellos patrones con mayor pertinencia para su implementación en contextos urbanos contemporáneos. El análisis consideró las características esenciales de cada patrón, su impacto potencial en la configuración del espacio urbano y la flexibilidad de adaptación a distintos escenarios.

En este proceso, se prestó especial atención a parámetros clave que orientan la aplicabilidad de los patrones, como la densidad poblacional, la conectividad entre áreas, la organización de espacios públicos y la integración de infraestructuras. Estos criterios permitieron valorar la capacidad de cada propuesta para responder a los desafíos actuales de la planificación urbana.

Como resultado, se seleccionó el Patrón 16, “Red de Transporte Público”, cuyo enfoque en la optimización de los enlaces entre diferentes modos de transporte, y en la mejora de la accesibilidad, lo convirtió en la base metodológica para las fases posteriores de modelado, integración y evaluación.

#### **Fase de modelado**

En la segunda etapa se desarrolló un entorno urbano digital fundamentado en los principios del Patrón 16, “Red de Transporte Público”, de Christopher Alexander. El objetivo fue facilitar la integración de distintos sistemas de transporte público y, de manera simultánea, generar espacios que mejoraran la accesibilidad de los usuarios y promovieran un ambiente urbano más ecológico y armónico.

El modelado se realizó en Revit 2024, lo que permitió construir un modelo tridimensional detallado. El diseño se estructuró alrededor de una plaza central concebida como nodo de transbordo, en la que se integraron paradas de buses y taxis ubicadas estratégicamente a menos de 200 metros de distancia, en correspondencia con las recomendaciones del patrón. Esta configuración buscó optimizar la accesibilidad y reducir las barreras físicas en el proceso de movilidad urbana.

Además, se incorporaron caminos peatonales que conectaron de manera directa las paradas con la plaza, favoreciendo el desplazamiento seguro y eficiente de los usuarios entre los diferentes sistemas de transporte. La distribución espacial fue analizada cuidadosamente para minimizar distancias de caminata y tiempos de espera, garantizando así un flujo continuo y funcional en el área de estudio. La representación gráfica del modelo tuvo como finalidad no solo evidenciar la organización de los elementos, sino también optimizar la experiencia del usuario en el sistema de transporte.

Con el fin de asegurar la interoperabilidad del diseño, el modelo fue exportado en formatos IFC y OBJ, lo que permitió su compatibilidad con plataformas externas y su utilización en fases posteriores. Como herramienta complementaria se empleó BIM Vision, que posibilitó una visualización interactiva del modelo exportado, facilitando la validación de detalles constructivos y la identificación de posibles ajustes en la configuración espacial.

### **Fase de Integración**

En la tercera etapa, el modelo urbano desarrollado en Revit fue procesado mediante herramientas basadas en inteligencia artificial con el propósito de optimizar el diseño, evaluar su sostenibilidad y facilitar la aplicación del Patrón 16, “Red de Transporte Público”. La integración combinó modelos generativos de lenguaje de la plataforma OpenAI, adaptados a través de *prompts* específicos, y plataformas de análisis y representación visual como LookX.ai y Autodesk Forma. Esta fase fue fundamental para vincular el modelado tridimensional con procesos de validación automatizados, orientados a mejorar la funcionalidad y el desempeño ambiental del diseño.

### ***Integración con GPT My Generative AI Design Assistant***

El modelo GPT My Generative AI Design Assistant se empleó como una herramienta de apoyo para generar recomendaciones en tiempo real orientadas a la sostenibilidad y a la funcionalidad del diseño urbano. La integración se estructuró a través de una cadena de diez prompts, elaborados siguiendo la fórmula RTF, que guiaron el proceso de manera progresiva. Los primeros prompts se enfocaron en la conceptualización de mejoras sostenibles y, posteriormente, las interacciones avanzaron hacia la aplicación de estas propuestas en el modelo urbano construido en Revit.

Cada prompt fue diseñado para obtener respuestas específicas relacionadas con los nodos de transbordo, la accesibilidad de los usuarios, la sostenibilidad de los espacios y la optimización del diseño conforme a los principios del Patrón 16, “Red de Transporte Público”. Las respuestas se validaron en tres niveles: primero, se comprobó su coherencia con los principios planteados por Alexander, en particular la eficiencia de la red de transporte y la proximidad de los nodos; en segundo lugar, se evaluó la aplicabilidad de las propuestas en el entorno BIM, garantizando que pudieran implementarse directamente en Revit; y, finalmente, se analizaron los aportes en términos de sostenibilidad, destacando la incorporación de tecnologías verdes, energía solar y estrategias de gestión eficiente del espacio urbano. De este modo, la herramienta contribuyó a la construcción de un entorno digital más eficiente y ecológico, reforzando la pertinencia del Patrón 16 en el contexto urbano contemporáneo.



### ***Integración con GPT Innovator Architect***

El GPT Innovator Architect se utilizó como herramienta de integración para explorar soluciones innovadoras aplicables al modelo urbano diseñado bajo el Patrón 16.

Los *prompts* fueron estructurados siguiendo la misma fórmula RTF y se centraron en aspectos relevantes del diseño urbano, tales como la accesibilidad, la sostenibilidad, la gestión de recursos hídricos y la mejora del flujo peatonal y vehicular. Cada uno de ellos planteó un desafío específico alrededor de los entornos de transporte público, lo que permitió generar respuestas orientadas a la resolución práctica de problemas.

Las propuestas incluyeron mejoras en los puntos de transbordo, sistemas para la recolección de aguas pluviales, diseño de áreas de espera y descanso, así como la implementación de iluminación pública inteligente. Estas respuestas se evaluaron considerando la coherencia con los principios del Lenguaje de Patrones, su aplicabilidad en el contexto urbano ecuatoriano, la sostenibilidad de los materiales sugeridos y la claridad en la exposición de las soluciones.

De este modo, el GPT complementó el trabajo de integración tecnológica, aportando un enfoque creativo que reforzó la pertinencia y sostenibilidad del modelo urbano desarrollado.

### ***Integración con IFC Modificador Avanzado***

El GPT IFC Modificador Avanzado se empleó para realizar ajustes precisos en las propiedades geométricas y de ubicación de los elementos arquitectónicos modelados en Revit y exportados en formato IFC. Esta herramienta permitió modificar atributos como la altura, el ancho, la longitud y la elevación de las entidades, facilitando la adaptación del diseño urbano a las especificaciones requeridas.

El proceso se inició con la identificación de las entidades por modificar dentro del archivo IFC, entre las que se seleccionaron *IfcWallStandardCase* y *IfcFurnishingElement*, representativas de estructuras arquitectónicas y mobiliario urbano. Cada entidad fue registrada con su identificador único (GUID) y propiedades vigentes. Estas incluyeron la altura de la caja delimitadora (Bounding Box Height), el ancho (Bounding Box Width), la longitud (Bounding Box Length), la elevación superior (Top Elevation) y la elevación global superior (Global Top Elevation).

Posteriormente, se diseñaron *prompts* detallados que indicaban los cambios requeridos en cada entidad, especificando tanto el valor actual como el nuevo valor deseado.

Una vez ingresadas las instrucciones en el entorno del GPT, el sistema generó un archivo IFC modificado, que fue revisado mediante BIM Vision para comprobar la correcta aplicación de las modificaciones. La comparación entre el archivo original y el modificado permitió validar la precisión de los ajustes y garantizar la integridad del modelo.

### ***Integración con LookX.ai***

La herramienta LookX.ai se utilizó para generar renders detallados del diseño propuesto, con el propósito de ofrecer una visualización realista del entorno urbano y evaluar tanto su impacto estético como la coherencia de los elementos modelados.

El proceso inició con la captura de imágenes en Revit, que representaron la plaza central como nodo de transbordo, las paradas de transporte y los caminos peatonales que conectan los distintos sistemas. Estas imágenes se subieron a la plataforma mediante la opción Render Mode,

seleccionando la categoría de arquitectura y el tipo de imagen 3D Massing. Esta configuración permitió que la herramienta interpretara geometrías, texturas y relaciones espaciales, generando una representación fotorrealista del modelo urbano.

Durante el renderizado, se ajustaron parámetros de iluminación, materialidad y perspectiva con el fin de reflejar condiciones más próximas a un entorno real. La iluminación diurna se configuró para producir sombras coherentes y resaltar texturas en pavimentos, áreas verdes y mobiliario urbano. Estos detalles garantizaron un mayor nivel de realismo y facilitaron la evaluación estética del diseño.

La verificación visual se realizó desde tres perspectivas clave: una vista aérea de la plaza central, para analizar la distribución de los elementos del nodo de transbordo; una perspectiva peatonal, para reproducir la experiencia del usuario en los recorridos; y, una vista de las paradas de autobuses, para evaluar la accesibilidad y la articulación de los sistemas de transporte con la plaza. Estas tres vistas sirvieron como base para los ajustes de escala, proporción y materialidad durante las iteraciones de renderizado.

### ***Integración con Autodesk Forma***

La herramienta Autodesk Forma se empleó para evaluar el diseño de la plaza central y las paradas de transporte en dos entornos urbanos previamente modelados en Revit. El propósito de esta integración fue analizar y optimizar factores ambientales como la exposición solar, la iluminación natural y la ventilación, con el fin de fundamentar la sostenibilidad y eficiencia del diseño en concordancia con los principios del Patrón 16, “Red de Transporte Público”.

El modelo en Revit, que incluía la plaza y las paradas, se exportó en formato OBJ para su posterior análisis en Autodesk Forma. Durante esta transferencia, se ajustaron las configuraciones de resolución y unidades de medida en metros, garantizando la compatibilidad con la plataforma de análisis.

Se creó un proyecto independiente para cada sitio de estudio: la avenida Universitaria y Colón, en Loja, y la intersección de la avenida 9 de octubre y Pedro Carbo, en Guayaquil. En ambos casos, se configuró la ubicación geográfica, lo que permitió que los análisis de radiación solar y viento se basaran en datos ambientales reales. La Figura 1 muestra la localización geográfica de ambos sitios de estudio.

**Figura 1**

*Localización geográfica de los sitios de estudio en Autodesk Forma*

(a)



(b)

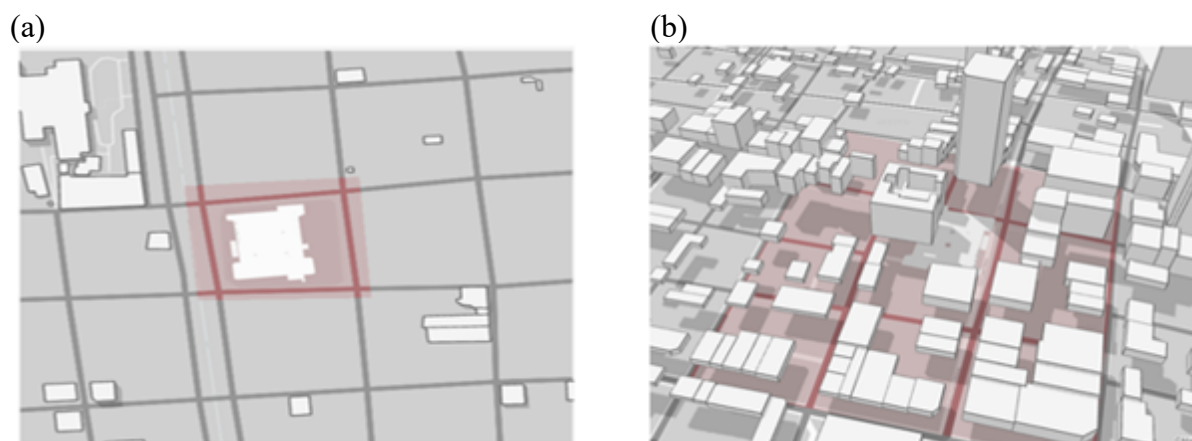


Nota: (a) Loja, (b) Guayaquil. Elaboración propia a partir de resultados generados en Autodesk Forma.



Posteriormente, se incorporaron al modelo los elementos contextuales más relevantes, como edificios circundantes, carreteras y terreno, con el fin de simular las condiciones urbanas inmediatas de cada zona. Finalmente, se definió un área de interés que abarcó la plaza y las paradas de transporte (Figura 2), la cual sirvió para enfocar el análisis en las condiciones micro climáticas específicas del sitio. En Loja, se consideró un entorno menos denso; mientras que, en Guayaquil, el análisis se realizó en un contexto urbano de mayor densidad, con edificaciones altas que influyeron en el comportamiento solar y eólico.

**Figura 2**  
*Áreas de interés para el análisis ambiental*



Nota: (a) Loja, (b) Guayaquil. Elaboración propia a partir de modelos generados por Autodesk Forma.

### ***Protocolo reproducible de integración IA-BIM***

Con el fin de establecer un protocolo reproducible, se definió un flujo de trabajo basado en un único modelo urbano desarrollado en Revit 2024, correspondiente al Patrón 16, “Red de Transporte Público”, que se utilizó como dataset principal y se exportó en formato IFC para inspección geométrica y en formato OBJ para simulaciones ambientales en Autodesk Forma.

Sobre este modelo se integraron tres modelos GPT (My Generative AI Design Assistant, Innovator Architect e IFC Modificador Avanzado), configurados mediante secuencias de diez *prompts* estructurados con la fórmula RTF (rol, tarea, formato), lo que permitió mantener un esquema constante de interacción. En el caso de My Generative AI Design Assistant, los *prompts* se centraron en recomendaciones sobre sostenibilidad, accesibilidad y funcionalidad del diseño urbano; por ejemplo, uno de los *prompts* utilizados fue el siguiente: “Rol: Eres un diseñador especializado en sostenibilidad y urbanismo, y tienes acceso al libro *Lenguaje de Patrones* de Christopher Alexander, que ha sido adjuntado. Tarea: Con base en el diseño de una plaza central con paradas de buses y taxis, caminos peatonales y transbordos rápidos, sugiere mejoras sostenibles utilizando los principios del Patrón 16. Considera la eficiencia energética y la optimización de los materiales. Formato: Proporciona una lista de al menos tres recomendaciones basadas en el Patrón 16 que puedan aplicarse al diseño actual para mejorar la sostenibilidad”.

El GPT Innovator Architect se empleó con el mismo esquema para explorar alternativas conceptuales relacionadas con diseño modular, gestión del espacio público y estrategias orientadas a mejorar la experiencia del usuario; por su parte, el GPT IFC Modificador Avanzado se utilizó para generar modificaciones puntuales en el archivo IFC, formulando *prompts* que incluían el identificador GUID de los elementos, sus valores originales y los nuevos valores solicitados para atributos como altura, ancho, longitud y elevaciones, de modo que el proceso pudiera replicarse sobre cualquier versión del modelo.

De forma complementaria, la plataforma LookX.ai se empleó para generar renders fotorrealistas a partir de imágenes exportadas desde Revit, cargadas en el modo Render Mode bajo la categoría Architecture / 3D Massing. Aunque la herramienta ofrece un *prompt* predeterminado, fue necesario formular *prompts* detallados para obtener resultados más precisos y coherentes con el diseño propuesto. Dichos prompts se redactaron en inglés, con el objetivo de favorecer una interpretación más estable de las descripciones por parte del modelo; por ejemplo: "Generate a realistic render using the provided image as the base to capture the pedestrian perspective. Ensure that all elements, such as benches, pedestrian paths, and the bicycle parking area in the background, are well integrated and proportionated in relation to the scale of the human figure in the scene. Maintain soft daytime lighting to cast natural shadows from the structures, such as benches and parked bicycles. Represent the pavement of the pedestrian paths and resting areas with differentiated textures to contrast with the green areas. Include people using benches, walking along the pedestrian paths, and bicycles parked to bring dynamism to the scene. Ensure that the integration of the parking area and green spaces reflects an accessible, well-designed, and visually appealing environment. The render should showcase a coherent and realistic pedestrian experience, highlighting interaction between different spaces".

Finalmente, el modelo urbano se analizó en Autodesk Forma exclusivamente con fines de simulación ambiental. Para cada caso de estudio, Loja y Guayaquil, se creó un proyecto independiente seleccionando la ubicación directamente en el mapa hasta delimitar la zona de estudio; la plataforma incorporó automáticamente la información contextual disponible (edificaciones, red vial y topografía), sobre la cual se integró el modelo OBJ exportado desde Revit. A partir de esta configuración se definió un área de interés que abarcó la plaza y las paradas de transporte, y se activaron los análisis predeterminados de exposición solar, potencial de luz diurna y comportamiento del viento, manteniendo los mismos parámetros en ambos casos.

La combinación de este modelo base, los formatos IFC y OBJ, la estructura de *prompts* RTF y el uso constante de configuraciones por defecto en LookX.ai y Autodesk Forma asegura que cualquier investigador pueda reproducir el proceso completo de integración descrito en el estudio.

### **Fase de evaluación**

La fase de evaluación se orientó a valorar la efectividad de las herramientas de inteligencia artificial aplicadas al modelo urbano, asegurando su coherencia con los principios del Patrón 16, “Red de Transporte Público”, y su pertinencia en contextos urbanos reales.

#### ***Evaluación de los modelos GPT***

Los resultados generados por los modelos GPT se analizaron en función de cuatro criterios principales. La coherencia permitió verificar la alineación de las propuestas con los principios de Alexander, en especial la eficiencia de los nodos de transbordo. La sostenibilidad se examinó considerando la incorporación de estrategias de ahorro energético, gestión del agua y uso de tecnologías limpias. La aplicabilidad evaluó la viabilidad de implementar las soluciones en entornos urbanos concretos, mientras que la claridad se enfocó en la precisión y comprensión de las respuestas. Estos parámetros se organizaron en tablas de evaluación, lo que permitió sistematizar la valoración cualitativa de las respuestas, haciendo explícitos los criterios de validación empleados para comparar el desempeño de cada modelo.

### ***Evaluación de LookX.ai***

Los renders producidos en LookX.ai se evaluaron bajo tres dimensiones. La coherencia con el diseño y los principios de sostenibilidad midieron la integración armónica de áreas verdes, espacios de descanso y conexiones peatonales con la infraestructura de transporte. El realismo visual se examinó a través de la calidad de la iluminación, texturas y materialidad de los elementos urbanos. Finalmente, la claridad en la percepción del entorno permitió valorar la capacidad de los *renders* para transmitir de manera precisa la disposición espacial y la experiencia del usuario en el espacio urbano.

### ***Evaluación de Autodesk Forma***

El análisis ambiental en Autodesk Forma se estructuró en tres aspectos fundamentales. El estudio de horas de sol determinó la exposición solar en la plaza central y en las paradas de transporte, mientras que el potencial de luz natural permitió evaluar la suficiencia de iluminación en áreas de tránsito y espera; por último, el análisis de viento identificó el comportamiento de las corrientes de aire en el entorno peatonal, aportando información sobre el confort térmico y la eficiencia del diseño en cada contexto urbano.

## **Resultados y Discusión**

La investigación abordó la integración de herramientas de inteligencia artificial en procesos de diseño urbano inspirados en el Lenguaje de Patrones de Christopher Alexander, con énfasis en la red de transporte público y la accesibilidad. Se emplearon tres modelos GPT (My Generative AI Design Assistant, Innovator Architect e IFC Modificador Avanzado), junto con las plataformas LookX.ai y Autodesk Forma. Los resultados obtenidos se analizan a continuación.

### **Modelos GPT**

#### ***GPT My Generative AI Design Assistant***

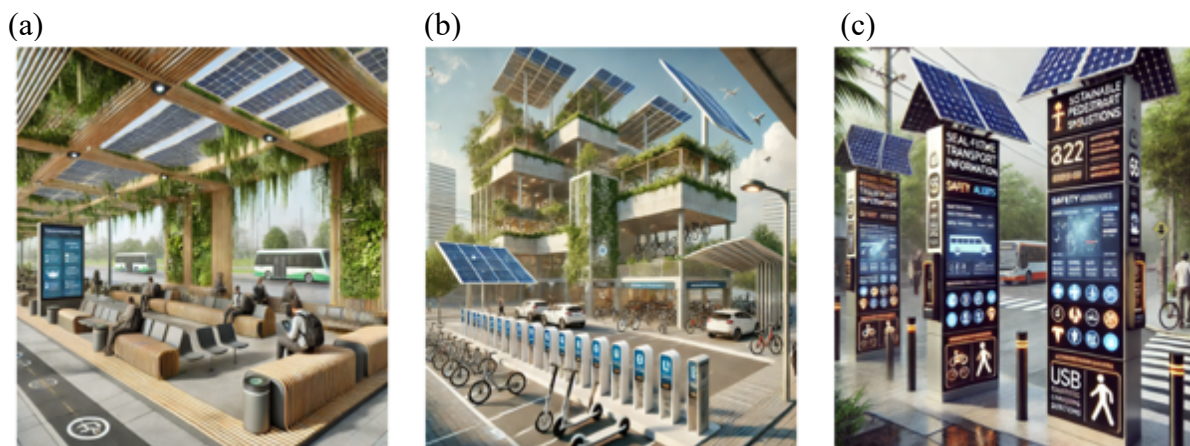
El modelo generó propuestas con alta coherencia respecto a los principios del Patrón 16, optimizando la red peatonal mediante senderos y materiales permeables, así como la incorporación de jardines y mobiliario urbano reciclado. Recomendó techos verdes en las paradas, paneles solares, señalización inteligente y sistemas de recolección de aguas pluviales, elementos que aportaron sostenibilidad y eficiencia en la gestión del flujo de usuarios. Las soluciones mostraron aplicabilidad al contexto ecuatoriano, con énfasis en el uso de materiales locales y tecnologías accesibles. La claridad de las respuestas facilitó la implementación en entornos BIM y favoreció la comprensión por parte de profesionales.

#### ***GPT Innovator Architect***

Este modelo propuso soluciones modulares para los puntos de transbordo, con un enfoque orientado a la sostenibilidad y la innovación. Se destacó la integración de señalización inteligente con energía renovable, estaciones de carga solar para bicicletas y scooters eléctricos, así como áreas de espera con mobiliario adaptable. Estas soluciones, ilustradas en la Figura 3, reflejaron una visión modular y flexible del espacio público, orientada a mejorar la experiencia de los usuarios y optimizar el uso de los recursos urbanos.

Las propuestas fueron consistentes con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 11), al fomentar infraestructura resiliente y comunidades sostenibles. La claridad y aplicabilidad de las respuestas se mantuvo alta en todas las iteraciones.

**Figura 3**  
*Propuestas generadas por GPT Innovator Architect*



Nota: (a) Áreas de espera con techos verdes y mobiliario adaptable, (b) estaciones de carga solar para bicicletas y scooters eléctricos, (c) señalización inteligente con energía renovable. Elaboración propia a partir de resultados generados con GPT Innovator Architect.

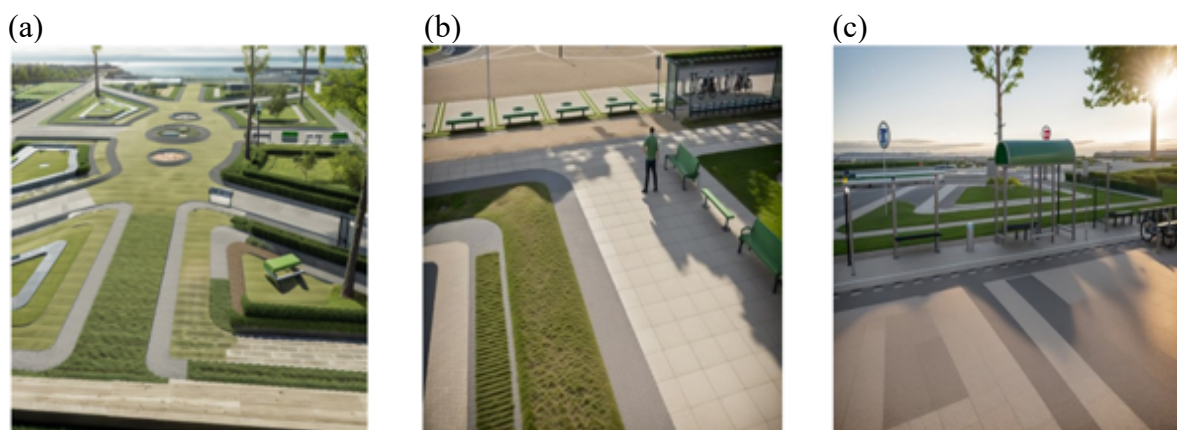
### **IFC Modificador Avanzado**

El modelo identificó de forma precisa atributos geométricos de elementos exportados en formato IFC, como altura, ancho y elevación, generando archivos con modificaciones registradas; sin embargo, al validar los resultados en plataformas externas como BIM Vision, los cambios no se reflejaron en el modelo final. Este comportamiento evidenció limitaciones en la transferencia de datos y en la integración plena de los ajustes generados.

### **LookX.ai**

La integración de LookX.ai permitió generar *renders* fotorrealistas de la plaza central y su entorno, ofreciendo una visualización detallada de la distribución de áreas verdes, las paradas de transporte y conexiones peatonales. Estas representaciones contribuyeron a evaluar la coherencia espacial del diseño y su potencial para mejorar la accesibilidad y funcionalidad urbana. Durante las primeras iteraciones se identificaron inconsistencias en texturas y proporciones de áreas verdes y pavimentos, así como ausencia de elementos dinámicos, lo que evidenció la necesidad de aplicar ajustes.

**Figura 4**  
*Renders finales generados en LookX.ai*



Nota: (a) Vista aérea de la plaza central, (b) perspectiva peatonal, (c) vista de las paradas de autobuses. Elaboración propia a partir de resultados generados con LookX.ai.



Tras las correcciones, los *renders* finales reflejaron un entorno urbano más armonizado y coherente, con áreas verdes bien definidas, caminos accesibles y una disposición espacial que favoreció la interacción ciudadana, como se aprecia en la Figura 4.

### Autodesk Forma

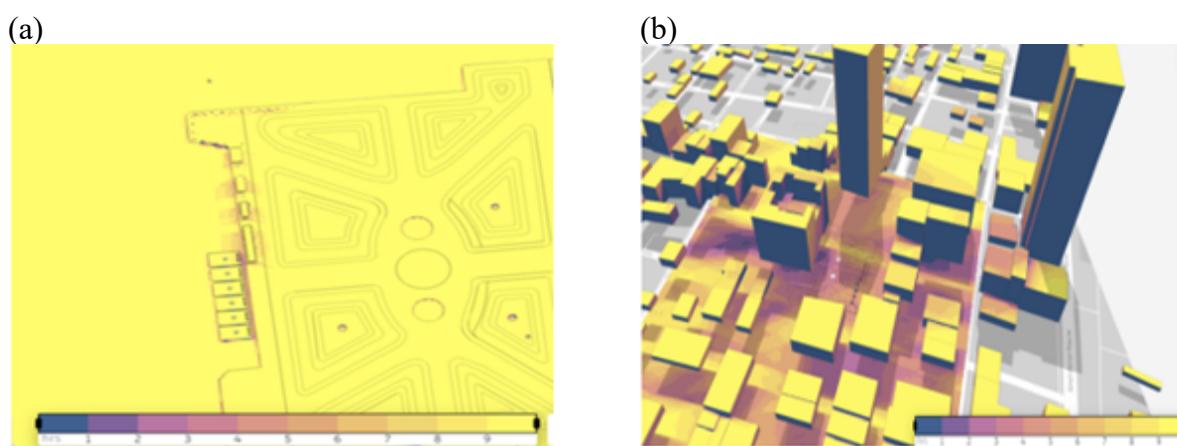
El análisis ambiental realizado con Autodesk Forma aportó información clave para valorar la sostenibilidad y el confort del diseño urbano.

En cuanto al análisis de exposición solar, en la zona de estudio 1 (Loja), la plaza central recibió entre 8 y 9 horas de sol directo, mientras que el área de paradas de transporte, ubicadas en el borde izquierdo, se encontraron en áreas con menor radiación entre 1 y 3 horas, lo que favoreció el confort térmico de los usuarios al proporcionar sombra natural.

En contraste, en la zona de estudio 2 (Guayaquil), la presencia de edificaciones altas generó sombras que redujeron la exposición solar en la plaza a 7–8 horas diarias, con paradas que registraron entre 2 y 5 horas de sol como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**

*Análisis de exposición solar en Autodesk Forma*



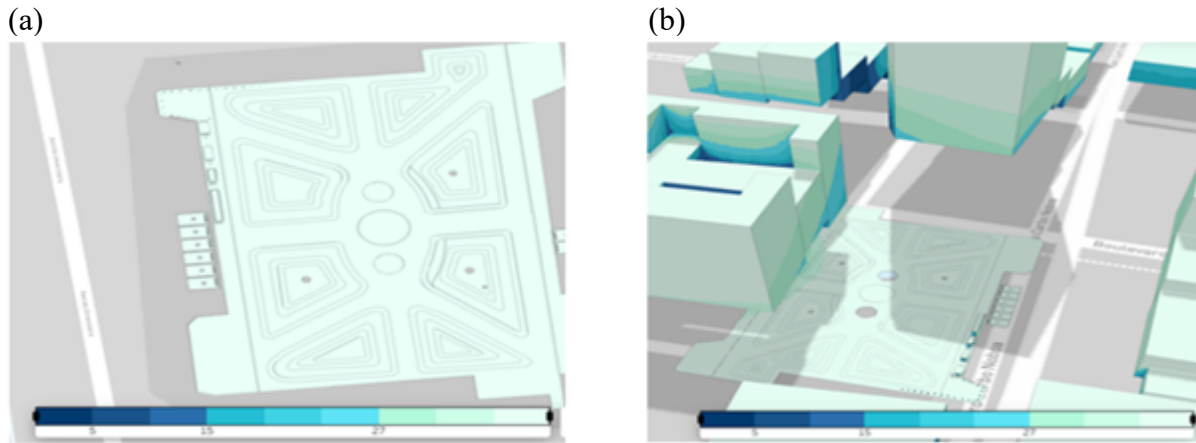
Nota: (a) Loja, (b) Guayaquil. Los valores se expresan en horas promedio de sol directo al día, calculados según la ubicación geográfica y condiciones urbanas de cada zona de estudio. Elaboración propia a partir de resultados obtenidos en Autodesk Forma.

En lo que respecta al análisis de luz diurna, en la zona de estudio 1 (Loja), la plaza central alcanzó valores altos de iluminación natural (cerca de 27 en la escala), reduciendo la necesidad de iluminación artificial y mejorando el confort visual. Las paradas en el borde izquierdo recibieron entre 5 y 15 puntos, lo que generó entornos más frescos y adecuados para la espera.

En la zona de estudio 2 (Guayaquil), el área central mantuvo altos niveles de luz diurna, mientras que caminos peatonales y bordes presentaron valores bajos debido a sombras proyectadas por edificaciones colindantes (Figura 6).



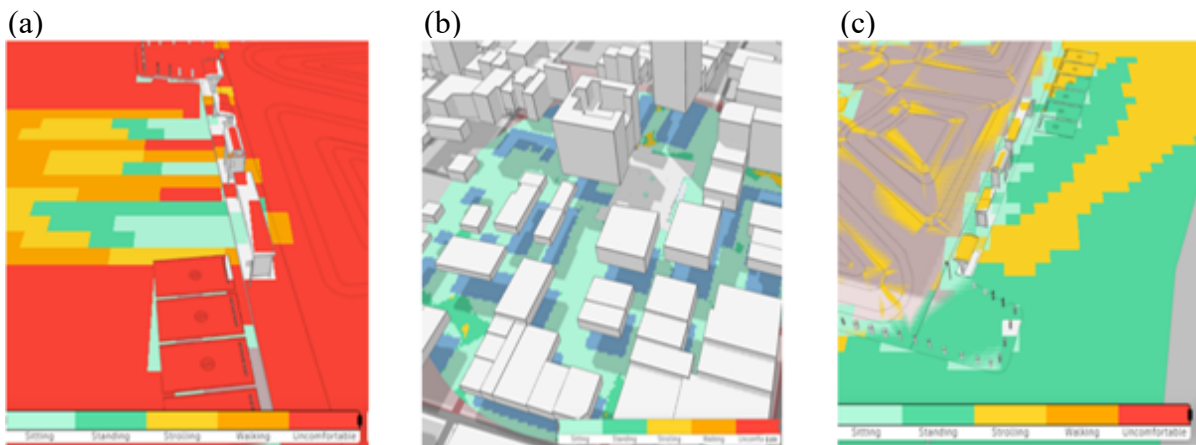
**Figura 6**  
*Potencial de luz diurna en Autodesk Forma*



Nota: (a) Loja, (b) Guayaquil. Los valores corresponden a la escala de iluminación natural proporcionada por Autodesk Forma, donde valores altos indican mayor disponibilidad de luz diurna. Elaboración propia a partir de resultados obtenidos en Autodesk Forma.

Finalmente, con respecto al análisis de viento, en la zona de estudio 1 (Loja), gran parte de la plaza y las paradas se clasificaron como incómodas por velocidades elevadas, lo que limitó la permanencia prolongada. No obstante, se identificaron áreas moderadas que permitieron actividades de tránsito peatonal. En la zona de estudio 2 (Guayaquil), el 62 % del área resultó apta para actividades de estancia gracias a la protección de los edificios, mientras que el 38 % restante presentó condiciones críticas en los bordes, con velocidades de 6–8 m/s que afectaron la comodidad de los usuarios (Figura 7).

**Figura 7**  
*Análisis de viento y confort peatonal en Autodesk Forma*



Nota: (a) Loja, (b) Guayaquil, (c) Clasificación de confort peatonal. Las velocidades del viento se clasificaron automáticamente por Autodesk Forma; las zonas rojas corresponden a condiciones incómodas, las verdes a condiciones moderadas y las azules a condiciones cómodas para la estancia peatonal. Elaboración propia a partir de resultados obtenidos en Autodesk Forma.

### Limitaciones

El desempeño de las herramientas presentó ciertas restricciones. Los modelos GPT dependieron de la precisión en la redacción de los prompts y funcionaron de manera aislada, sin integración directa con LookX.ai ni Autodesk Forma. LookX.ai mostró limitaciones en la representación dinámica del entorno, mientras que Autodesk Forma no permitió trabajar con

archivos IFC completos y exigió simplificar los modelos a formatos OBJ. Estas restricciones afectaron la fluidez en la interoperabilidad, aunque no limitaron la validez de los resultados obtenidos.

### Discusión y análisis de resultados

El análisis comparativo de las herramientas evidenció que la integración de inteligencia artificial facilitó la interpretación y aplicación del Patrón 16 en entornos urbanos, permitiendo evaluar la funcionalidad del diseño. Los modelos GPT mostraron un desempeño consistente en términos de coherencia, sostenibilidad, aplicabilidad y claridad, destacando la capacidad de generar soluciones alineadas con la optimización de la red peatonal, el uso de materiales reciclados y la incorporación de tecnologías limpias como techos verdes y paneles solares.

El GPT Innovator Architect se distinguió por propuestas modulares y adaptativas que reforzaron la pertinencia de los ODS 9 y 11, mientras que el GPT IFC Modificador Avanzado presentó limitaciones técnicas en la transferencia de datos hacia los modelos IFC finales. Por su parte, LookX.ai aportó visualizaciones fotorrealistas de alta calidad que mejoraron la percepción del entorno, aunque con restricciones en la representación dinámica. Finalmente, Autodesk Forma permitió un análisis ambiental (exposición solar, luz diurna y viento), contribuyendo a fundamentar la sostenibilidad del diseño, pero con limitaciones en la importación de modelos IFC completos. Estos hallazgos se sintetizan en la Tabla 1, donde se resumen los aspectos positivos, negativos y el nivel de desempeño de cada herramienta.

**Tabla 1**  
*Evaluación del desempeño de las herramientas integradas*

| HERRAMIENTA                           | ASPECTOS POSITIVOS                                                               | ASPECTOS NEGATIVOS                                                                         | NIVEL DE DESEMPEÑO |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| GPT My Generative AI Design Assistant | Soluciones alineadas con Patrón 16; alta sostenibilidad y claridad               | Dependencia de iteraciones para ajustes                                                    | Medio              |
| GPT Innovator Architect               | Soluciones modulares, sostenibles y adaptativas; aplicabilidad alta (ODS 9 y 11) | Falta de integración directa con otras herramientas.                                       | Medio              |
| GPT IFC Modificador Avanzado          | Identificación precisa de elementos y generación de archivos IFC                 | Limitaciones técnicas al reflejar cambios en modelos finales.                              | Bajo               |
| LookX.ai                              | <i>Renders</i> realistas con detalle en áreas verdes y texturas                  | Inconsistencias iniciales en proporciones; limitada representación de elementos dinámicos. | Medio              |
| Autodesk Forma                        | Análisis ambiental detallado (sol, luz, viento)                                  | Limitaciones en entornos de baja densidad y necesidad de exportación en formato OBJ.       | Medio              |

Nota: Los niveles de desempeño se definieron como: Alto (contribuciones significativas), Medio (resultados aceptables con mejoras necesarias) y Bajo (limitaciones significativas que afectaron la utilidad). Elaboración propia.

## Conclusiones

La investigación realizada permitió comprobar que la integración de herramientas de Inteligencia Artificial en el diseño urbano basado en el Lenguaje de Patrones de Christopher Alexander constituyó una estrategia efectiva para optimizar procesos y resultados en entornos urbanos. En particular, el uso de modelos generativos y plataformas de análisis ambiental demostró un alto potencial para automatizar tareas, generar propuestas coherentes con principios arquitectónicos y urbanísticos, y fortalecer la sostenibilidad de los proyectos.

En primer lugar, la aplicación de modelos GPT en Revit posibilitó una automatización efectiva del diseño urbano, especialmente en relación con el Patrón 16. Las soluciones generadas se alinearon de manera consistente con los principios de Alexander, logrando un balance entre sostenibilidad y aplicabilidad en el contexto ecuatoriano. La organización de elementos clave, como las paradas de transporte y los caminos peatonales, se optimizó de manera significativa, incorporando además criterios asociados al uso de tecnologías limpias y materiales sostenibles.

En segundo lugar, los resultados derivados del uso de modelos GPT y de la plataforma LookX.ai resaltaron la capacidad de la IA para sugerir prácticas sostenibles. Entre ellas se identificaron propuestas como techos verdes, recolección de aguas pluviales y sistemas de monitoreo ambiental, que se alinearon con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9 y 11. Estas propuestas no solo aportaron innovación al diseño, sino que también fortalecieron la resiliencia y el confort en espacios urbanos, evidenciando que la IA puede actuar como un soporte clave en la construcción de ciudades más sostenibles.

Asimismo, la incorporación de LookX.ai permitió obtener representaciones visuales detalladas y realistas de los espacios urbanos. Estas visualizaciones facilitaron una revisión exhaustiva del impacto estético y funcional de cada propuesta, haciendo posible la identificación de ajustes en la distribución de áreas verdes y en la optimización del aprovechamiento de la luz natural. Como resultado, la percepción del entorno urbano se vio enriquecida, favoreciendo la coherencia entre el diseño técnico y la experiencia sensorial de los usuarios.

Por otro lado, el análisis realizado con Autodesk Forma demostró la relevancia del uso de la IA para la evaluación de condiciones ambientales, tales como la exposición solar y la velocidad del viento. Dicho análisis contribuyó a la optimización del confort térmico de los usuarios, al aprovechar las zonas de mayor radiación para actividades al aire libre y ubicar estratégicamente las paradas de transporte en áreas de sombra. Con ello se confirmó que la evaluación ambiental asistida por IA constituye un recurso poderoso para la planificación urbana centrada en las necesidades de las personas.

## Reconocimientos y Declaraciones

La autora declara haber contribuido en todas las etapas de la investigación y elaboración del presente artículo.

La autora declara que, en la elaboración del presente artículo, se ha utilizado herramientas de inteligencia artificial, específicamente modelos GPT basados en GPT-4, LookX.ai y Autodesk Forma, como parte del proceso metodológico de análisis, simulación y visualización.

## Referencias

- 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.es.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>
- 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., Deveci, 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
- 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., Kankanange, 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>