

Diseño de un webgis 3d como apoyo a la visualización de edificaciones en campus universitarios

Design of a webgis 3d to support visualization of buildings on university campuses

Resumen: las universidades o instituciones de educación superior con campus extensos pueden enfrentar dificultades para que su comunidad académica se ubique y reconozca lugares de interés dentro de sus instalaciones. Para facilitar esta orientación, los mapas apoyados en los sistemas de información geográfica 3D en la web (WebGIS 3D), ofrecen una experiencia inmersiva y realista. Aunque existen iniciativas previas que utilizan recorridos virtuales con imágenes y videos o aplicaciones web con modelado 3D, son pocos los desarrollos que integran entornos georreferenciados en 3D con tecnologías como la realidad aumentada para una mejor inmersión. Una solución tecnológica efectiva es implementar sistemas WebGIS 3D que permitan la navegación interactiva mediante ubicaciones de interés, búsqueda de edificaciones y rutas guiadas, facilitando la inmersión en el entorno físico real. Este trabajo adopta una metodología mixta. Por un lado, se empleó un enfoque proyectual de desarrollo tecnológico donde se propone el diseño de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Artículo de investigación

•Recepción: 19/04/2025
•Aceptación: 25/06/2025

Ángel Cruz-Roa

Ing. de Sistemas, MSc., PhD. en Ingeniería,
Universidad de los Llanos, Colombia.
aacruz@unillanos.edu.co

Jonatan Quintero

Ing. Electrónico,
Universidad de los Llanos, Colombia.
jonatan.quintero@unillanos.edu.co

César Díaz-Celis

Ing. de Sistemas, MSc. en Sistemas de Información Geográfica, Universidad de los Llanos, Colombia.
cesar.diaz@unillanos.edu.co

Como citar este artículo / To reference this article:

A. Cruz, J. Quintero y C. Díaz, "Diseño de un WebGIS 3D como apoyo a la visualización de edificaciones en campus universitarios", *Punto de inflexión*, vol. 2, no. 1, e-1263, 2026, doi: 10.22579/30286425.1263



en la web que proporcione geodatos y modelos 3D de las edificaciones de un campus universitario, georreferenciados sobre mapas satelitales 2D integrando tecnologías como SketchUp®, ArGIS Pro® y Cesium JS®, para facilitar el uso interactivo del mapa mejorando la accesibilidad y experiencia de los usuarios al desplazarse y familiarizarse con el espacio físico del campus universitario. Por otro lado, se incorporó una estrategia cuantitativa, mediante la aplicación de una encuesta a usuarios de la plataforma, con el fin de evaluar la funcionalidad, usabilidad y grado de satisfacción.

Palabras clave: aplicaciones web, campus universitarios, georreferenciación, modelos 3D, sistemas de información geográfica.

Abstract: Universities or higher education institutions with large campuses often face difficulties for their academic community to locate and recognize places of interest within their facilities. To facilitate this orientation, maps supported by 3D geographic information systems on the Web (WebGIS 3D) offer an immersive and realistic experience. Although there are previous initiatives that use virtual tours with images and videos or web applications with 3D modeling, few developments have integrated georeferenced 3D environments with technologies such as augmented reality for enhance immersion. An effective technological solution is to implement WebGIS 3D systems that allow interactive navigation building searches, and guided routes, facilitating immersion in the real physical environment. This study adopts a mixed methodology. On one hand, a project-based technological development approach was employed to design of a Geographic Information System (GIS) on the Web that provides geodata and 3D models of university campus buildings, georeferenced on 2D satellite. The project integrates technologies such as SketchUp®, ArGIS Pro® and Cesium JS® to facilitate the interactive map use, enhancing user accessibility and experience when moving and familiarizing themselves with the physical space of the university campus. On the other hand, a quantitative strategy was incorporated through a user survey aimed at evaluating the platform's functionality, usability, and user satisfaction.

Keywords: Web applications, university campuses, 3D models, geographic information systems, georeferencing.

Introducción

En campus universitarios de Colombia, particularmente en instituciones de educación superior (IES) con am-

plias extensiones físicas y múltiples edificaciones, como la sede Fusagasugá de la Universidad de Cundinamarca, se han identificado desafíos relacionados con la localización eficiente de espa-

cios educativos. En respuesta a estas necesidades, se han desarrollado soluciones tecnológicas basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG), como una aplicación web que permite a los usuarios acceder en tiempo real a la disponibilidad y ubicación de aulas y laboratorios. Esta herramienta, además de optimizar el uso de los recursos físicos, mejora la orientación espacial y la experiencia académica de estudiantes y docentes, al integrar variables de tiempo y espacio dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje [1]. Actualmente, en muchos casos solo se dispone de planos en dos dimensiones en puntos estratégicos del campus, junto con señalización física básica. Estas soluciones, aunque útiles, son limitadas, ya que exigen la presencia en el lugar para ser consultadas y no permiten una planificación previa del recorrido. Ante estas limitaciones, los sistemas de información geográfica en la web 3D (WebGIS 3D, por sus siglas en inglés) han emergido como una alternativa moderna, eficiente y accesible [2]. Al permitir la visualización tridimensional y georreferenciada del campus desde distintos dispositivos a través de Internet, estos sistemas facilitan la navegación espacial dentro del entorno universitario. Esta funcionalidad contribuye a una mejor orientación y localización de espacios, lo cual puede favorecer la autonomía de los usuarios tales como estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes al interactuar con la infraestructura física del campus [3].

Tradicionalmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han caracterizado por su amplio rango de utilidad [4]. De hecho, los avances en los SIG Web o WebGIS, también han permitido su masificación, gracias a su fácil acceso a través de Internet, sin depender solamente de aplicaciones de escritorio especializadas para su apropiación y uso [5]. El avance de las tecnologías geoespaciales ha impulsado una creciente diversidad de aplicaciones en campos como la planificación urbana y la gestión ambiental [6,7], incluyendo los campus de universidades o IES, permitiendo que cualquier miembro de la comunidad universitaria consulte, explore y aproveche la información geoespacial del campus desde un PC, celular o tableta [8].

Uno de los avances más importantes en este campo ha sido la integración de tecnologías tridimensionales en sistemas de información geográfica en la web (WebGIS 3D) [9]. Estas herramientas combinan la georreferenciación con la visualización en 3D, permitiendo representar de forma realista los edificios, rutas, zonas verdes y otros elementos del entorno [10]. A través de estos modelos, los usuarios pueden explorar virtualmente el espacio, planear desplazamientos y conocer puntos de interés sin necesidad de estar físicamente en el lugar, lo que representa una ventaja significativa en términos de accesibilidad, orientación y experiencia de usuario.

Además de sus beneficios inmediatos en términos de orientación y ubica-

ción, un WebGIS 3D puede convertirse en una herramienta estratégica para la planeación institucional y el desarrollo arquitectónico. La posibilidad de integrar datos ambientales como niveles de iluminación, temperatura, humedad y presencia de vegetación, permite tomar decisiones más acertadas sobre la ubicación de nuevas edificaciones, la instalación de paneles solares o el aprovechamiento de la sombra natural para regular el clima de los espacios [11]. Esta capacidad de análisis detallado contribuye a una arquitectura más eficiente, sostenible y adaptada al contexto local, y representa una ventaja considerable en el ámbito de la construcción y la planificación urbana. El uso de modelos 3D facilita el análisis de relaciones entre edificaciones, incidencia solar, ventilación natural, distancias adecuadas entre estructuras y otros factores que inciden directamente en la eficiencia energética y la habitabilidad. Esto promueve un desarrollo arquitectónico más responsable y adaptado a las condiciones reales del entorno [12].

De hecho, en IES, tanto a nivel nacional e internacional, han comenzado a desarrollar sistemas WebGIS 3D como respuesta a la necesidad de modernizar y facilitar la forma en que sus comunidades interactúan y se orientan con el entorno institucional de campus extensos y complejos, fomentando una mayor apropiación del espacio universitario.

En el ámbito nacional, la Pontificia Universidad Javeriana, en su sede de Bo-

gotá, desarrolló una plataforma denominada NAVÍO, concebida para ofrecer recorridos virtuales por el campus, esta herramienta busca mejorar la experiencia de orientación y navegación de los usuarios [13]. Por su parte, la Universidad EAFIT diseñó una aplicación móvil que presenta el campus en un entorno tridimensional interactivo y facilita la exploración de los edificios mediante la selección de elementos dentro del modelo, lo que permite acceder a información detallada de cada infraestructura [14]. La Universidad El Bosque también ha contribuido con un recorrido virtual 360° accesible vía web, que inicia con una vista aérea del campus y permite una navegación interactiva a través de imágenes panorámicas. Esta experiencia puede realizarse de forma autónoma o con la asistencia de una guía virtual proporcionada por la plataforma [15]. En el contexto internacional, se destacan experiencias como la de la Universidad Politécnica de Valencia (España), que ofrece una plataforma web para explorar virtualmente sus campus mediante recorridos 360°, integrados con herramientas como Google Maps y Street View. Aunque proporciona una navegación visual interactiva, no se trata de una experiencia inmersiva en realidad virtual en sentido estricto, sino de vistas panorámicas que permiten al usuario recorrer los espacios desde su navegador [16]. De igual manera, la Universidad Jaume I, ubicada en Castellón de la Plana (España), desarrolló un sistema de visualización 3D utilizando la tecnología

CityEngine [17], la cual permite seleccionar diferentes actividades o lugares de interés, tales como rutas culturales, áreas de alimentación o alojamiento, y acceder a recorridos virtuales personalizados. Además, incorpora la opción multilingüe, lo que amplía su accesibilidad a usuarios internacionales.

Este trabajo propone el diseño de una solución tecnológica basada en WebGIS 3D, orientada a facilitar la georreferenciación y la ubicación espacial tridimensional de edificaciones y lugares clave dentro del campus universitario. El objetivo es mejorar la orientación de la comunidad académica superando las limitaciones de los recorridos virtuales tradicionales o las visualizaciones 2D.

La estructura de este trabajo se organiza de la siguiente manera: la Sección I presenta la introducción general y el contexto del proyecto; en la Sección II se expone la metodología empleada para el diseño del WebGIS 3D; la Sección III detalla los resultados obtenidos del diseño y sus principales funcionalidades, y la Sección IV presenta las conclusiones y trabajo futuro.

Metodología

Para el diseño del Sistema de Información Geográfica en la Web 3D (WebGIS 3D) propuesto, se integraron herramientas de modelado tridimensional, representación y procesamiento de información geoespacial, y visualización interactiva en entornos web. El objetivo fue construir un entorno georreferen-

ciado, accesible desde navegadores web, que permita una experiencia interactiva orientada a facilitar el reconocimiento del campus por parte de la comunidad universitaria. Entre las herramientas tecnológicas utilizadas se combinó el uso de SketchUp® para el modelado detallado en 3D de las edificaciones, ArcGIS® Pro para estandarización, gestión y georreferenciación de los datos espaciales, y CesiumJS® como plataforma de visualización web en 3D, las cuales se describen a continuación.

Modelado 3D de las edificaciones

SketchUp® es un programa de modelado 3D que permite crear, editar y compartir modelos tridimensionales de forma eficiente e intuitiva. Utiliza herramientas básicas de dibujo como líneas, rectángulos y círculos para construir geometrías, que luego pueden ser modificadas mediante funciones como *Push/Pull*, la cual permite escalar objetos en 3D. Si bien SketchUp permite visualizar modelos con cierto nivel de detalle gráfico, la generación de renders con calidad fotorealista requiere el uso de extensiones externas como V-Ray®, Enscape® o Lumion®, comúnmente integradas para aplicaciones más avanzadas en arquitectura, urbanismo o ingeniería. Los modelos desarrollados pueden exportarse en diversos formatos, entre ellos .glb (GL Transmission Format binario), el cual es compatible con plataformas de visualización geoespacial como CesiumJS®, facilitando su integración en entornos WebGIS 3D [18].

Estandarización de información geoespacial

ArcGIS® Pro es un *software* SIG de escritorio desarrollado por ESRI, empresa líder en tecnologías de mapeo y análisis geoespacial. Permite crear, editar, analizar y compartir información geográfica en 2D y 3D, integrando diversas fuentes de datos como imágenes satelitales y datos topográficos. Su interfaz está diseñada con criterios de usabilidad y organización funcional facilitando el trabajo eficiente y productivo de los usuarios. Entre sus funciones se destaca la creación de mapas interactivos, el análisis espacial avanzado, la visualización en 3D y herramientas completas para la edición de datos geográficos. Este *software* es ampliamente utilizado en sectores como la gestión de recursos naturales, la planificación urbana, la atención de emergencias, la defensa, entre otros. Además, ofrece capacidades de colaboración en línea, permitiendo compartir y trabajar conjuntamente en proyectos geoespaciales a través de la web [19].

Visualización web en 3D del campus

Cesium® es una plataforma de *software* libre y de código abierto diseñada para crear aplicaciones de visualización de datos geoespaciales en 3D. Permite representar información geográfica compleja en entornos tridimensionales, facilitando el análisis de patrones y tendencias en áreas como la planificación urbana, la gestión de recursos, la exploración de petróleo y gas, y la investigación científica. Basada en WebGL,

Cesium® admite una amplia gama de formatos de datos geoespaciales, como imaginería satelital (raster), modelos digitales de elevación (DEM), datos vectoriales (GeoJSON, KML, shapefiles convertidos), modelos 3D (glTF, 3D Tiles) y servicios web estándar (WMS, WMTS, CZML). Estos datos pueden integrarse mediante APIs, servicios remotos o cargas locales, lo que permite su despliegue dinámico en entornos tridimensionales accesibles desde navegadores compatibles, sin necesidad de instalar *software* adicional [20].

Resultados

Para la visualización y edición de modelos tridimensionales se empleó SketchUp® como herramienta principal partiendo de un conjunto de 53 edificaciones del campus. Estos modelos fueron posteriormente exportados a la plataforma Cesium®, la cual permite su integración en entornos web interactivos. En este proceso, se utilizaron dos componentes clave de Cesium®: Cesium ion™, que facilita la conversión y adaptación de modelos 3D para su visualización en la Web como se ilustra en la Figura 1, y Cesium Sandcastle™, que proporciona ejemplos de código en formatos como CZML y HTML como se ilustra en la Figura 2. A partir de estos ejemplos, se seleccionaron y adaptaron fragmentos de código en HTML que contenían funciones en formato CZML, las cuales fueron modificadas y reutilizadas como base para la construcción

de las funcionalidades principales del WebGIS 3D.

Fig. 1. Adaptación de modelo 3D de la unidad de posgrados del campus de SketchUp® a Cesium ion™.

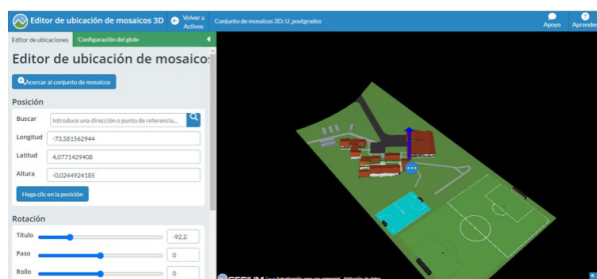


Fig. 2. Código de ejemplo para la creación de objetos de los modelos 3D con su ID de Cesium ion™ y el nombre de la edificación.

```
modelos.set(1185382, "bloque40");
modelos.set(1185379, "bloque41");
modelos.set(1185389, "bloque41alimento");
modelos.set(1185371, "casetasiall");
modelos.set(1185361, "coliseo");

modelos.set(1185242, "almacenagro");
function Tile3d ()
{
    for (let id of modelos.keys())
    {
        tileset = new Cesium.Cesium3DTileset(
        {
            url: Cesium.IonResource.fromAssetId(id),
            dynamicScreenSpaceError : true,
            dynamicScreenSpaceErrorDensity : 0.00278,
            dynamicScreenSpaceErrorFactor : 4.0,
            dynamicScreenSpaceErrorHeightFalloff : 0.25,
        });
        viewer.scene.primitives.add(tileset);
    }
}
```

La información geoespacial necesaria para contextualizar el sistema fue obtenida a partir de documentación técnica previa que consolidaba un levantamiento arquitectónico completo del campus universitario. Este insumo contenía un mapa en 2D con la ubicación y clasificación de todas las edificaciones existentes, agrupadas en cinco

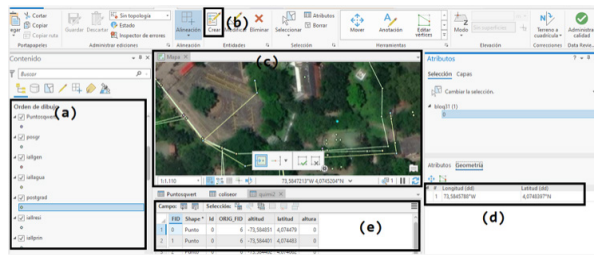
categorías funcionales: bienestar universitario, edificios, infraestructura de servicios, entradas y bloques, con un total de 78 edificaciones identificadas.

Los modelos 3D utilizados en el proyecto fueron proporcionados en formato SketchUp® por la unidad encargada de la planeación institucional. En total, se trabajó con 45 modelos, los cuales fueron convertidos a un formato compatible con Cesium® mediante un *plugin* específico. Una vez convertidos, fueron cargados a Cesium ion™ (Figura 1), donde se ajustaron sus parámetros de georreferenciación.

La etapa de adaptación de los modelos incluyó dos fases: la primera consistió en la introducción de datos de localización, como longitud, latitud y altura, junto con valores de orientación tridimensional (rotación horizontal, vertical y longitudinal); la segunda correspondió a la configuración del entorno visual, mediante la selección del terreno base proporcionado por Cesium ion™. Tras su configuración, cada modelo fue registrado con un identificador único para su gestión e integración dentro del entorno WebGIS 3D (Figura 2).

Las rutas de navegación fueron diseñadas utilizando el *software* ArcGIS® Pro, mediante la implementación de grafos espaciales como se ilustra en la Figura 3. Esta técnica requiere la definición de un conjunto de nodos o vértices, que representan puntos específicos del territorio, y su interconexión a través de aristas, las cuales constituyen los enlaces o trayectos posibles entre ellos.

Fig. 3. Interfaz de ArcGIS® Pro donde se realiza el diseño de rutas.



(a) Registro de clases creadas, (b) creación de clase de puntos, (c) interfaz del mapa interactivo, (d) geometría de clase de punto, (e) tabla de campos de geometría de clases de punto creada.

Fig. 4. Creación de puntos en ArcGIS® Pro.



Para su construcción, se generó una capa de tipo punto, en la que se asignaron coordenadas geográficas (longitud y latitud) a cada nodo. La interfaz de ArcGIS® Pro permitió gestionar estas capas de manera eficiente, facilitando la creación, visualización y edición de los

elementos espaciales como se ilustra en la Figura 4. Cada punto corresponde a una localización física específica con una única posición geográfica.

Posteriormente, se identificaron y marcaron los puntos de interés del entorno a modelar, como edificaciones y otras infraestructuras relevantes, definiendo así los nodos principales del grafo. Con esta base, se trazaron los recorridos mediante la conexión de estos puntos, conformando una red que representa las rutas navegables dentro del espacio analizado.

Una vez construidas las trayectorias, se aplicó una herramienta de geoprocésamiento para convertir los vértices de las entidades lineales en nuevos puntos individuales, generando así una capa adicional con todos los nodos derivados de las rutas como se ilustra en las Figuras 5 y 6. Esta transformación permitió refinar la red de navegación, asegurando que cada trayecto estuviera representado por una secuencia de puntos georeferenciados, necesarios para su posterior integración y visualización en el entorno WebGIS 3D como se visualiza en la Figura 7.

Para visualizar una edificación en el entorno WebGIS 3D, el usuario puede seleccionarla haciendo clic sobre su representación en la vista aérea. Al hacerlo, se despliega automáticamente su nombre y una descripción previamente registrada, como se muestra en la Figura 8.

Fig. 5. Atributos geométricos de la ruta de la entrada principal del campus a la Unidad de Postgrados usando ArcGIS® Pro.

Atributos		
Atributos Geometría		
#	Longitud (dd)	Latitud (dd)
1	73,5856733°W	4,0750945°N
2	73,5856412°W	4,0750578°N
3	73,5854885°W	4,0748589°N
Longitud: 73,5854885°W Latitud: 4,0748589°N Z: Metro(s):		
5	73,5852747°W	4,0746846°N
6	73,5851881°W	4,0746463°N
7	73,5849326°W	4,0746544°N
8	73,5846672°W	4,0746635°N
9	73,5842731°W	4,0746906°N
10	73,5843127°W	4,0748697°N
11	73,5843095°W	4,0750391°N
12	73,5844495°W	4,0753225°N
13	73,5845767°W	4,0755273°N
14	73,5845600°W	4,0756545°N
15	73,5844892°W	4,0758671°N
16	73,5824625°W	4,0772141°N

Fig. 6. Visualización de la ruta desde la entrada principal del campus hasta la unidad de postgrados en el mapa interactivo de ArcGIS® Pro.



Fig. 7. Ruta de navegación en el WebGIS 3D de Cesium® desde la entrada principal del campus hasta la Unidad de Postgrados.

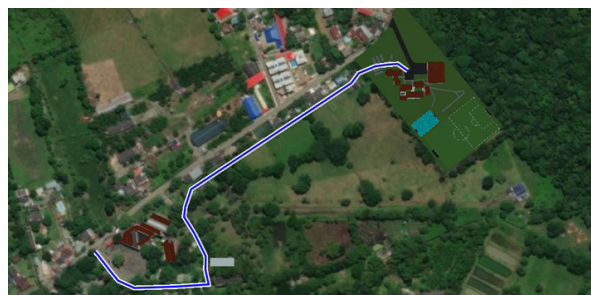


Fig. 8. Visualización del Edificio 1 - Biblioteca Jorge Boshell y Edificio Servicios estudiantiles en el WebGIS 3D.



Fuente: Autores.

El WebGIS 3D propuesto demuestra ventajas significativas frente a soluciones como recorridos virtuales 360° o visualizaciones 3D sin georreferenciación, al integrar navegación interactiva, búsqueda de edificaciones y rutas guiadas sobre modelos tridimensionales. No obstante, su funcionamiento depende de una conexión a internet y requiere actualización periódica de datos y modelos. Como trabajo futuro, se plantea su implementación en otros campus de la Universidad de los Llanos, para validar su escalabilidad y adaptabilidad.

Finalmente, el proceso de evaluación del WebGIS 3D se llevó a cabo mediante una

encuesta de funcionalidad y usabilidad, aplicada por muestreo por conveniencia durante un periodo de tres semanas, con un total de 31 participantes. La muestra estuvo conformada por estudiantes (64%), miembros de la comunidad externa (29%), docentes (3.2%) y personal administrativo (3.2%). Los resultados fueron altamente positivos, ya que el 86.6% de los encuestados expresó estar conforme o totalmente de acuerdo con la funcionalidad y usabilidad de la plataforma.

Conclusiones

Se implementó el diseño de un sistema WebGIS 3D aplicado a un campus universitario, utilizando tecnologías actuales orientadas a la representación espacial y a la gestión interactiva. El WebGIS 3D es una herramienta de georreferenciación útil para toda la comunidad universitaria. Permite la exploración y visualización del campus, edificaciones y las rutas de navegación de forma intuitiva y práctica sin mayores requerimientos computacionales, ya que solo necesita acceso a Internet. La representación tridimensional ofrece una experiencia visual cercana a la disposición espacial real del campus, lo que facilita la orientación mediante una navegación gráfica que simula la estructura física del entorno universitario.

Las primeras etapas del proyecto incluyeron la recolección y digitalización de la información planimétrica del campus, tanto en 2D como en 3D, este pro-

ceso fue clave para el diseño del WebGIS 3D del campus universitario, ya que permitió estandarizar y actualizar la información y uso de las edificaciones. No obstante, se identificó que la información vinculada a las edificaciones como su organización interna, funcionalidad y la incorporación de nuevas construcciones tiende a cambiar con el tiempo, por lo cual, se sugiere que en el sistema WebGIS 3D se incorpore una base de datos que permita incluir la información geoespacial con una plataforma que facilite su gestión y administración, y no solamente su visualización.

Para el diseño e interacción del WebGIS 3D, se identificaron desafíos iniciales relacionados con la forma en que el usuario debería acceder a la información. Si bien la navegación espacial permite recorrer visualmente el campus y sus edificaciones, esta forma de interacción no resulta suficiente cuando el usuario necesita localizar rápidamente un edificio, aula o servicio específico. En este sentido, la exploración geoespacial por sí sola puede ser ineficiente para resolver tareas concretas de búsqueda. Por ello, se recomienda incorporar controles de búsqueda al sistema, que permitan introducir nombres o códigos de espacios para ubicar con precisión ubicaciones particulares dentro del entorno 3D, mejorando así la eficiencia y usabilidad de la herramienta.

Entre los aspectos por mejorar en el trabajo futuro, se identificó la necesidad de adaptar u optimizar el diseño

del WebGIS 3D a dispositivos móviles y tabletas, lo cual permitirá ampliar su accesibilidad y uso en campo. También fue importante optimizar el rendimiento de carga de los modelos 3D, para ofrecer una experiencia más fluida, especialmente en conexiones limitadas en ancho de banda o dispositivos con menor capacidad de memoria o procesamiento. Asimismo, se considera fundamental continuar incorporando más edificaciones e información al sistema, con el fin de representar de manera más completa la infraestructura del campus y garantizar una cobertura total de los espacios construidos.

Finalmente, el diseño inicial del sistema WebGIS 3D no solo cumple una función de visualización, sino que representa una herramienta estratégica para la gestión y planificación institucional del campus universitario. Su capacidad para integrar modelos tridimensionales georreferenciados, rutas de navegación y datos espaciales facilita el análisis y la toma de decisiones relacionadas con el uso del suelo, la distribución de edificaciones y el desarrollo de gemelos digitales. Este trabajo permitió identificar tecnologías y características de interacción que enriquecen su funcionalidad, abriendo posibilidades para futuras actualizaciones orientadas a fortalecer la sostenibilidad, la accesibilidad y la transformación digital del entorno universitario, promoviendo así una mayor apropiación del espacio por parte de la comunidad académica.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló como resultado del proyecto de investigación titulado “Sistema de información geográfica 3D en la Web (WebGIS 3D) como apoyo a la gestión sustentable de edificaciones de Campus en Instituciones de Educación Superior. Implementación en la Sede Barcelona de la Universidad de los Llanos” con código C01-F02-003-2020, financiado por la Dirección General de Investigación de la Universidad de los Llanos.

Referencias

- [1]. D. A. Guevara Galeano y D. A. Saldaña Rodríguez, “Desarrollo de una aplicación web con base en un sistema de información geográfica para la distribución de aulas y laboratorios en la Universidad de Cundinamarca sede Fusagasugá,” Tesis de Tecnología, Universidad de Cundinamarca, Fugasugá, Colombia, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/items/891cc578-a089-4618-af52-d966bfa07d30>
- [2]. J. J. Cadena Toledo, “Smart Campus Universitario como prototipo hacia la ciudad inteligente y sostenible bajo principios de metagobernanza campus Cuenca UPS – Loja UTPL,” Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27335>

- [3]. K. W. Chen and F. Meggers, "Modelling the built environment in 3D to visualize data from different disciplines: The Princeton University Campus," *J. Digit. Landsc. Archit.*, vol. 5, pp. 227–234, 2020, doi: [10.14627/537690024](https://doi.org/10.14627/537690024)
- [4]. K. Elangovan, *GIS Fundamentals, Applications, and Implementations*. New Delhi, India: New India Publishing Agency, 2006, doi: [10.59317/9789389992625](https://doi.org/10.59317/9789389992625)
- [5]. J. Vinueza-Martinez et al., "Geographic Information Systems (GISs) Based on WebGIS Architecture: Bibliometric Analysis of the Current Status and Research Trends," *Sustainability*, vol. 16, no. 15, p. 6439, 2024, doi: [10.3390/su16156439](https://doi.org/10.3390/su16156439)
- [6]. J. A. Tenedório, R. Estanqueiro, and C. D. Henriques, Eds., *Methods and Applications of Geospatial Technology in Sustainable Urbanism*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2021, doi: [10.4018/978-1-7998-2249-3](https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2249-3)
- [7]. B. Tian, *GIS Technology Applications in Environmental and Earth Sciences*, 1st ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016, doi: [10.1201/9781315366975](https://doi.org/10.1201/9781315366975)
- [8]. L. Ling, G. Juntao, and D. Xi, "The design and implementation of the 3D virtual campus models," in *Proc. 4th Int. Conf. Syst. Informat.*, 2017, pp. 1747–1751, doi: [10.1109/ICSAI.2017.8248567](https://doi.org/10.1109/ICSAI.2017.8248567)
- [9]. M. Auer and A. Zipf, "3D WebGIS: From Visualization to Analysis. An Efficient Browser-Based 3D Line-of-Sight Analysis," *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, vol. 7, no. 7, p. 279, 2018, doi: [10.3390/ijgi7070279](https://doi.org/10.3390/ijgi7070279)
- [10]. F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanov, and A. Çöltekin, "Applications of 3D City Models: State of the Art Review," *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, vol. 4, no. 4, pp. 2842–2889, 2015, doi: [10.3390/ijgi4042842](https://doi.org/10.3390/ijgi4042842)
- [11]. H. Waqas, Y. Jiang, J. Shang, I. Munir, y F. U. Khan, "An integrated approach for 3D solar potential assessment at the city scale," *Remote Sensing*, vol. 15, no. 23, 2023. doi: [10.3390/rs15235616](https://doi.org/10.3390/rs15235616)
- [12]. S. M. Sandoval Valmaña, "Implementación de una metodología GIS para la localización óptima de plantas fotovoltaicas en la Comunidad Valenciana," Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/174174>
- [13]. L. J. Rojas, "NAVIO: Navegador Virtual para la Orientación en el campus," Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/13978>
- [14]. Universidad EAFIT, "Recorrido 360° - Campus EAFIT," [En línea]. Disponible en: <https://www.eafit.edu.co/institucional/campus-eafit/Paginas/recorrido-360.aspx>. [Accedido: 8 de abril de 2025].
- [15]. Perspektiva 360, "Recorrido Virtual 360 - Universidad El Bosque,"

- [En línea]. Disponible en: <https://perspektiva360.com/es/descubre-el-mundo-de-los-360-grados-con-el-recorrido-educativo-virtual-de-la-universidad-el-bosque/>. [Accedido: 23 de marzo de 2021].
- [16]. Universidad Politécnica de Valencia, “UPV en 360,” [En línea]. Disponible en: <https://www.upv.es/otros/upv-360-es.html>. [Accedido: 8 de abril de 2025]
- [17]. K. N. Edvardsson, “3D GIS modelling using ESRI’s CityEngine: A case study from the University Jaume I in Castellon de la Plana Spain,” Tesis de Maestría, Universidad Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10362/9198>
- [18]. Trimble Inc., “SketchUp: 3D Design Software,” [En línea]. Disponible en: <https://www.sketchup.com/es>. [Accedido: 8 de abril de 2025].
- [19]. Esri, “Análisis y modelado en ArcGIS Pro,” Learn ArcGIS, [En línea]. Disponible en: <https://learn.arcgis.com/es/paths/analysis-in-arcgis-pro/>. [Accedido: 8 de abril de 2025].
- [20]. Cesium, “Cesium: The Platform for 3D Geospatial,” [En línea]. Disponible en: <https://cesium.com/> [Accedido: 8 de abril de 2025].