

Infraestructuras de Datos Espaciales Tridimensionales y Basadas en Espacio Tiempo 3D y 4D

—
Bogotá, D.C., 01/07/2021



Infraestructuras de Datos Espaciales Tridimensionales y Basadas en Espacio Tiempo 3D y 4D

Gerente IDECA

Eugenio Elías Cortés Reyes

Subgerente de Operaciones

Pedro Alberto Pinzón Montero

Equipo de Trabajo

Contratista Rubén Darío Mateus Sanabria

Fecha de creación o actualización: 29/11/2021

Página web: www.ideca.gov.co

Correo electrónico: ideca@catastrobogota.gov.co

Licencia: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Control de Versiones

CAMBIOS

Fecha	Autor	Versión	Cambio efectuado
01/07/2021	Rubén Darío Mateus Sanabria	1.0	Primera versión del documento. No hay cambios para registrar.

REVISORES

Nombre	Dependencia
Sandra Durán Durán	Gerencia IDECA - Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo.....	05
Introducción.....	05
Objetivos.....	06
Objetivo general.....	06
Objetivos específicos	07
1. Antecedentes	07
1.1. Estado del Arte en Implementación de Estándares	07
Estándares para Modelos 4D.....	09
Estándares e Interoperabilidad de datos Geoespaciales	10
Pero ¿Qué es la interoperabilidad?	12
1.2. Experiencias a nivel nacional en Interoperabilidad y Estándares 3D y 4D	12
Interoperabilidad para 3D y 4D	14
2. Beneficios de implementar los modelos 3D y 4D en Colombia.....	17
3. Posibilidades e Implicaciones de Adoptar e implementar estos modelos 3D y 4D y sus estándares.....	20
Posibilidades e Implicaciones.....	21
Estándares.....	25
4. Aseguramiento y continuidad de los procesos.....	27
Interoperabilidad y estándares OGC	28
La Gestión Municipal y los Modelos 3D y 4D.....	30
5. Propuesta de Implementación ejercicio con 3D y 4D	32
Propuesta Piloto con Estándar ISO 19650 Building Information Modelling - BIM	32
6. Resultados y Conclusiones	34
7. Bibliografía.....	35

Lista de figuras

Figura 1. Modelo 3D.....	26
Figura 2. Modelo KML.....	27

Resumen ejecutivo

Este documento presenta la situación de las IDE con respecto a la tercera dimensión (3D) y cuarta dimensión (4D), abordando posibles líneas de investigación a futuro y analizando las necesidades, debilidades y oportunidades que pueden presentar.

El análisis de información y acerca del estado del arte ponen en evidencia la necesidad de promover escenarios para la investigación y la implementación de desarrollos tecnológicos en el ámbito de las IDE 3D y 4D, conocer los servicios que pueden acompañar estos modelos 3D y 4D.

Así mismo, a través de los respectivos análisis y revisiones de avance en la implementación poder definir los estándares y elementos necesarios para poder implementar IDEs 3D y 4D, teniendo en cuenta todos los parámetros de desarrollo, tanto técnicos como legales, necesarios para cumplir con los actuales marcos tecnológicos, normativos, jerárquicos y legales del Distrito Capital y del País.

A través del presente instrumento, se espera evidenciar la existencia de una buena cantidad de iniciativas, que con carácter experimental han surgido para solucionar las necesidades en lo relativo a la gestión y publicación de Información Geográfica. Se ha podido establecer que, por lo general, la adopción y adaptación de la tercera dimensión por parte de las IDE está en fase inicial, estos modelos presentan grandes posibilidades de avance y aporte de diversos actores.

Introducción

En el mundo de la Geomática y de los Sistemas de Información Geográficos (SIG), se ha venido utilizando la tercera dimensión meramente como un atributo o dato adicional que acompaña a un elemento geográfico, pero en los últimos años ha pasado a ser un dato primordial para la realización de análisis espaciales (Scianna y Ammoscato, 2010).

Al mismo tiempo que los modelos 3D han ido creciendo en importancia, gracias al impulso del desarrollo de aplicaciones que se sirven de ella, la obtención de información tridimensional ha sido menos dispendiosa, los medios de adquisición y tratamiento que se utilizan actualmente han reducido sus costos y tamaño, pasando de prototipos experimentales no comerciales a asequibles productos comerciales.

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co

En nuestro “mundo real” se han establecido cuatro dimensiones que para nuestro raciocinio son claras: tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal. Sin embargo, en nuestro universo los científicos estiman que existen otras 7 dimensiones más. Estas dimensiones se pueden enmarcar dentro del mundo de la física cuántica y definen el llamado espacio de “Calabi-Yau”. Sus orígenes radican en complejas teorías matemáticas y físicas, siendo imposible ser vislumbradas por nuestra mente, pero que sirven de base para muchas e importantes teorías como la teoría de cuerdas y la supersimetría.

Desde la aparición de las IDE se ha supuesto una auténtica revolución en la gestión, uso y difusión de Información Geográfica. Sin embargo, ante la ausencia del modelo 3D en los desarrollos y servicios IDE más comunes, están surgiendo problemáticas que afectan a los usuarios potenciales de las mismas. Así mismo, estas problemáticas plantean la necesidad de desarrollar todos los elementos necesarios para constituir IDE 3D e IDE 4D, además, se están convirtiendo en motores de desarrollo de este tipo de tecnologías.

Unos de los problemas a los que se hace mención surge por parte de aquellos usuarios de IDE, que, por sus actuales necesidades, demandan de estos avances en la resolución de problemas asociados a la gestión de los modelos 3D y 4D y que las IDE, no están consiguiendo satisfacer. Un ejemplo de problema, podríamos citar la temática Catastral. Prácticamente desde que se inició el desarrollo de los servicios WMS y WFS, el Catastro utilizó dichos servicios para difundir su información. De esta manera, cualquier usuario mediante un cliente ligero, podía tener información de cualquier parcela, en cualquier momento. Sin embargo, a la hora de mostrar esta información el resultado era mediante un modelo bidimensional en el que cualquier alusión a la tercera dimensión era un mero número. Esta representación dista mucho de ser efectiva para muchas aplicaciones, por lo que a día de hoy se está procediendo a la revisión de la forma de gestionar, modelizar y publicar la información del Catastro incorporando por lo menos la tercera dimensión.

Se pueden citar muchos otros ejemplos, como las necesidades de representación del territorio lo más realista posible que ya prometen tecnologías como las BIG Data. Y como ejemplo específico de estas últimas, podríamos citar las “Ciudades Inteligentes”, con las que se dota de inteligencia a las infraestructuras, la información y los servicios públicos, al tiempo que se potencia la colaboración entre los diferentes agentes implicados en el entorno municipal.

Debido a la gran cantidad de datos generados desde múltiples fuentes y con diferentes estructuras, así como a las complejas necesidades de gestión e

interacción, es en las IDE donde deberían encontrar respuesta las llamadas Ciudades Inteligentes a la gestión de la Información Geográfica y de las infraestructuras municipales o territoriales.

Objetivos

El objetivo general:

Generar instrumentos para la implementación de estándares de Interoperabilidad de Información Geográfica para nuevos modelos de datos en el marco de las infraestructuras de datos espaciales del conocimiento específicamente basados en modelos de datos 3D y 4D.

Los objetivos específicos son:

- Identificar el estado del arte en relación con los estándares para gestión de información en 3D y 4D.
- Conocer las principales características de los estándares de interoperabilidad para información 3D y 4D.
- Establecer los estándares de gestión de información geográfica en 3D y 4D.
- Desarrollar un piloto para implementar estándares de interoperabilidad de información geográfica basados en 3D y 4D.

1. Antecedentes

1.1. Estado del Arte en Implementación de Estándares¹

En primera medida cabe mencionar o indagar sobre los orígenes del término IDE 3D se podrían establecer en el año 2008. Ya se hablaba de Web3D, de OGC

¹ Basanow, J., Neis, P., Neubauer, S., Schilling, A., & Zipf, A. Towards 3D spatial data infrastructures (3D-SDI) based on open standards—experiences, results and future issues. *Advances in 3D geoinformation systems*, Springer (2008)

(W3DS), servicio que distribuía los datos en 3D, de CityGML. Se podría decir que es el primer documento que, desde un punto de vista integrador, trata de plasmar los elementos de una IDE 3D conforme a los desarrollos de la época.

Sin embargo, mucho antes de esta publicación ya había organizaciones que estaban haciendo grandes desarrollos en el ámbito de la información tridimensional. Una de estas organizaciones es el Web3D Consortium, fundado en 1997. Se trata de una organización internacional, sin ánimo de lucro, financiada por los miembros (empresas privadas, universidades, gobiernos, etc.). Se encargan fundamentalmente del desarrollo de estándares para la publicación de gráficos 3D en Internet. Desarrollaron un estándar, X3D (Extensible 3D), que surgió tras VRML. X3D es un estándar abierto, extensible e interoperable (multiplataforma). X3D, cobra gran importancia a la hora de publicar Información Geográfica en Internet, ya que se constituye como una de las plataformas más utilizadas para este objetivo.

Otro punto muy importante de cara al desarrollo de las IDE 3D, sobre todo en lo referente a normas, lenguajes y estándares es la creación del Grupo de Trabajo sobre Gestión de la Información 3D del OGC (The OGC's 3D Information Management Working Group), en el año 2005.

Dicho grupo de trabajo está facilitando la definición y desarrollo de estándares que permitan soluciones de manejo y visualización de la Información Geográfica tridimensional. El foco sobre el que centran sus investigaciones es el establecimiento de un marco de interoperabilidad de Información Geográfica tridimensional debido a la gran variedad de productos, información y servicios existentes en la actualidad. Este trabajo es de interés para la comunidad geoespacial en el sentido de que existe una creciente necesidad de tecnologías e información para interoperar entre distintas ramas técnicas y científicas que, en la actualidad, manejan una gran cantidad de servicios y formatos de una manera dispersa. Para esto se creó el grupo, para identificar y actuar sobre las oportunidades de mejorar la interoperabilidad de datos geoespaciales tridimensionales y servicios relacionados con los anteriores.

Este grupo The OGC's 3D Information Management Working Group se está convirtiendo en un foco importante para el desarrollo de los estándares necesarios para una IDE 3D. En él participan desde los más importantes proveedores de software CAD y SIG, pasando por agencias administrativas (como la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial y el Departamento de Seguridad Nacional) hasta gobiernos europeos.

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co

Uno de los principales hitos desarrollados ha sido la adopción de CityGML como estándar OGC (originalmente, la organización alemana de Renania del Norte-Westfalia sig3D desarrolló CityGML) y su impulso ya que proporciona un modelo estándar para describir objetos 3D con respecto a su geometría, topología, semántica y apariencia.

CityGML también proporciona una forma estándar de integrar la ubicación interior / exterior, es decir, una forma estándar de integrar la ubicación del edificio en las coordenadas globales con los detalles del edificio en coordenadas relativas de los sistemas CAD. Es, por tanto, una puerta abierta a la integración de las IDE 3D.

Por todo lo anterior, CityGML está siendo ampliamente implementado en productos de software y servicios online. Es el estándar para la IG 3D en Holanda (potencia mundial en este tipo de modelos).

También tuvo gran repercusión la adopción de KML como estándar en el año 2008. Suponía adoptar, socializar, difundir y consolidar como estándar un lenguaje que ya tenía una gran cantidad de usuarios y desarrollos relacionados con él, sobre todo por Google Earth, plataforma original sobre la que se visualizaban este tipo de ficheros. Suponía inicialmente la “democratización” de estructuras 3D más complejas en el mundo de la Información Geográfica.

En el mismo año se genera otro hito significativo y es que Oracle introduce su 3D Spatial Engine, motor que se ha ido mejorando y desarrollando para almacenar y gestionar información geométrica tridimensional, paralelamente cabe destacar la contribución que la Fundación OSGeo está desarrollando, específicamente con su proyecto PostGIS. Este corresponde a una extensión del gestor de Base de Datos objeto-relacional PostgreSQL, el permite almacenar Información Geográfica en la propia base de datos. PostGIS incluye los soportes para los índices espaciales y funciones para el análisis y procesamiento de objetos SIG, además, a partir de su versión 2.0 (2008), comienza a dar soporte a almacenamiento de elementos 3D y funcionalidades relacionadas con estos elementos.

La fundación OSGeo es una organización no gubernamental cuyo objetivo principal es de promover tecnologías para el tratamiento y gestión de información geoespacial y datos abiertos. Fue creada en febrero de 2006 para proporcionar apoyo financiero, legal y organizativo a toda la enorme comunidad geoespacial de software libre y software de código abierto.

Para finalizar, en lo que tiene que ver con las Bases de Datos y la Información Geográfica tridimensional, es necesario citar el trabajo desarrollado por el

Departamento de Geo informática de la Universidad Técnica de Munich, con el desarrollo de 3D City DB. Esta es una plataforma de base de datos geográfica, abierta, que almacena, representa y administra modelos de ciudades 3D virtuales sobre una base de datos relacional espacial estándar. El estándar utilizado es CityGML, con la posibilidad de integrar objetos urbanos semánticos, además, tiene herramientas para facilitar el intercambio de datos con formato KML, COLLADA y glTF para que puedan visualizarse en Google Earth, ArcGIS y Cesium, basado en WebGL.

Estos ejercicios deben suponer un avance importante hacia el desarrollo futuro de las IDE 3D, ya que permiten trabajar temas de almacenamiento, gestión y análisis de elementos geométricos tridimensionales dentro de una misma Base de Datos facilitando así la labor de gestión centralizada de la Información Geográfica en una única plataforma. Ahora bien, es necesario establecer estrategias para abordar temas relacionados con bases de datos distribuidas y con información disponible a través de Servicios Web Geográficos.

La interoperabilidad respecto a la ubicación 3D real, en las áreas técnico-científicas, está requiriendo de la integración de la información de la ubicación, no solo tridimensional, también interior y exterior, con sus correspondientes funcionalidades de importación/exportación a lenguajes estandarizados, como CityGML, nos encontramos en una situación propicia para afrontar el desarrollo de IDE 3D.

Estándares para Modelos 4D

Los Objetos en la tierra están en constante movimiento debido a las dinámicas propias de este o de la tierra, estos están en expansión o cambios de estructuras, a raíz de esto se evidenció la necesidad de un control de seguimiento de estos procesos y para objetos específicos, para la cual el análisis en la línea temporal es la opción ideal.

Como se evidencia en la primera parte del documento, tres dimensiones conforman la medición espacial de un área geográfica en cuestión, una cuarta dimensión, permite controlar cambios limítrofes, de infraestructura, geológicos, entre otros en torno a la variable del tiempo.

Desde el año 2005 aproximadamente, la compañía de desarrollo de servicios y productos tecnológicos Google, impulsó el uso de la información cartográfica, para más tarde incluir la visualización espacio-temporal de los mapas geográficos. El tiempo, como variable de contraste de datos, permite incluir cambios en rangos

de hora y fecha, ejecutando consultas y respuestas en tiempo real. Las fuentes tecnológicas de recolección de información emplean imágenes satelitales, fotografías aéreas, SIG globales 3D y GPS de alta precisión.

Los modelos de datos espaciales representan los comportamientos de fenómenos basados en datos estáticos. Al tener la posibilidad de incorporar modelos dinámicos y dependientes de la variable temporal, se obtiene una representación del mundo real en torno a los cambios y evolución de los fenómenos geográficos. El tiempo y espacio son variables en las que un elemento geográfico se ve afectado constantemente y no puede ser aislado del flujo espacio-temporal.

En cada etapa del ciclo de vida, el elemento puede cambiar de ubicación, estructura o infraestructura, dependiendo de la naturaleza del mismo, la información admisible y gestionada en un SIG, de acuerdo al flujo espacio-temporal, inicia en la recopilación de los geodatos y termina en el momento que éstos se destruyen.

El formato digital varía de acuerdo al uso y necesidad, pero básicamente la compactibilidad y portabilidad de los datos son características básicas. Los formatos conocidos y recomendados son: NetCDF (Networked Common Data Form), HDF (Hierarchical Data Format), XML (eXtensible Markup Language), GML (Geographic Markup Language) y KML (Keyhole Markup Language).

Estándares e Interoperabilidad de datos Geoespaciales

A medida que incrementa la utilización de los Sistemas de Información Geográfica en la toma de decisiones, la calidad, la actualidad y la autoría de los datos adquieren más importancia.

Es necesario que se incluyan mecanismos para verificar y notificar la calidad de los datos que deben incorporarse en las bases de datos. Los visualizadores de datos también deben ser capaces de comunicar con los datos los parámetros de metadatos para aumentar la confianza.

Además, gracias a los miles de proveedores, productos comerciales y servicios en el ámbito de los datos geoespaciales los usuarios pueden disponer de cantidades enormes de información espacial que provienen de organismos distintos. A menudo, esta información está disponible en diferentes resoluciones y precisiones, con multitud de fechas y formatos.

Para que los usuarios de todo el mundo puedan intercambiar datos geoespaciales de calidad es necesario que todos estos datos sean “interoperables”. La interoperabilidad busca que los usuarios puedan intercambiar información de forma sencilla, transparente, abierta, efectiva y universal.

El reto es muy grande y va más allá de la estandarización de datos. El número de estándares para los datos geoespaciales para la interoperabilidad sintáctica es cada día mayor, pero los esfuerzos en este sentido no son todavía suficientes. Para llegar a la total interoperabilidad hay que seguir trabajando para forjar una estructura tecnológica interoperable que oculte la complejidad y permita el acceso y el intercambio de datos de calidad entre organizaciones y usuarios. También es necesario crear una cultura de compartición de información y políticas de datos abiertos.

El *Open Geospatial Consortium Inc.*- OGC, como se mencionó antes, promueve la creación de “Comunidades de Información Geoespacial”: colecciones de sistemas o individuos puedan compartir sin problemas información geoespacial digital. Para mantener activas estas comunidades es necesario que los individuos y las organizaciones se conozcan entre ellas, así como los datos que tienen. Para asegurar estas premisas, deben adoptar un vocabulario común para lograr la interoperabilidad semántica. Asimismo, todos los miembros de la comunidad deben ser capaces de poner sus datos a disposición de otros usuarios externos para hacer posible la creación de comunidades globales de compartición de datos como por ejemplo la ICDE, GEOSS o el mismo INSPIRE.

Los usuarios de información geoespacial demandan del intercambio de datos las siguientes características²:

Sencillo: No debe ser necesario e indispensable que los diferentes usuarios entiendan mucho sobre los datos o su sistema fuente para poderlos importar y utilizar.

Transparente: Las complejidades asociadas con la transferencia de datos, como se mencionó antes, deben estar ocultas, no deben estar de cara a los usuarios de los datos.

² Allan Levinsohn, 2001. LA INTEROPERABILIDAD GEOESPACIAL: EL SANTO GRIAL DEL CAMPO SIG, Metadatos, Infraestructura de Datos Espaciales, Publicado en la Revista Mapping. link <http://redgeomatrica.rediris.es/metadatos/publica/articulo04.htm>

Abierto: La interoperabilidad debe poder aplicarse a todos los sistemas, y el intercambio de datos ser independiente de la tecnología utilizada.

Efectivo: La transferencia de datos debe ser íntegra y los datos resultantes útiles para el fin perseguido o requerido por los diferentes usuarios.

Universal: Todas las bases de datos geoespaciales deben ser accesibles y disponibles para su utilización.

Todo esto no es sencillo de conseguir. Una solución puede ser generar una arquitectura única y un conjunto de estándares para datos geoespaciales. Sin embargo, es imposible concebir que la comunidad global SIG o usuaria de información geoespacial adopte una única arquitectura geoespacial o estándares de datos a nivel mundial. Existen por lo menos media docena de estándares importantes, además de los productos de datos de propiedad comercial que ya están en el mercado. Esto significa que los esfuerzos de estandarización, no producirán la interoperabilidad por sí solos. La interoperabilidad requerirá consistencia a través de una amplia gama de parámetros técnicos, semánticos e institucionales.

Pero ¿Qué es la interoperabilidad?

Para que cualquier usuario (persona, organización, entidad, etc.) pueda intercambiar datos e información geoespacial de calidad, es necesario que todos estos datos sean interoperables, o sea, que se comuniquen con un vocabulario en común. Se trata de estándares en materia de documentación, procesos, formatos de datos, desarrollo de servidores, calidad de datos geoespaciales, etc. Las normas ISO y las especificaciones del *Open GeoSpatial Consortium* -OGC son ejemplos de normas que facilitan el intercambio de geoinformación.

La interoperabilidad en todo lo relacionado a una Infraestructura de Datos Espaciales - IDE fue lograda a través de los estándares desarrollados por el mismo OGC tales como los geoservicios WMS, WFS y CSW. La misión del OGC es promover tanto el desarrollo como el uso de técnicas y estándares de sistemas abiertos e interoperables en el campo de la información geográfica. Define especificaciones de interfaces espaciales para que estén disponibles globalmente. Existe una especificación OGC que establece cómo debe ser estándar e interoperable cada uno de los geoservicios. Los servicios web OGC más aceptados son los mapas en web WMS, objetos vectoriales en web WFS, coberturas WCS, catálogo CSW y lenguaje de marcado geográfico GML. El OGC comenzó consensuando y formalizando un formato para el modelaje,

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co

almacenamiento y transporte de información vectorial, independiente de cualquier firma comercial, y así apareció la especificación del Geographic Mark Lenguaje (GML) o Lenguaje de Marcado Geográfico.

1.2. Experiencias a nivel nacional en Interoperabilidad y Estándares 3D y 4D

La interoperabilidad, además de permitir el intercambio y uso de la información geográfica, permite fortalecer la visión de unidad de las entidades del Estado al tener una mayor capacidad de comunicación entre sí, generando beneficios para las entidades estatales, para sus usuarios internos y externos, y para la ciudadanía en general, permite, además:

- Agilizar los accesos a información geoespacial y alfanumérica.
- Crear plataformas y geoportales de consulta y acceso de información georreferenciada.
- Ofrecer y masificar el acceso a la información georreferenciada de una manera más amplia, más fácil y menos dispendioso.
- Facilitar la participación de los usuarios con apoyo de las TI.
- Fortalecer un Estado más transparente e interconectado.
- Promover la confianza del ciudadano en el uso abierto de las Tecnologías de la Información y las comunicaciones.

Es así como, la interoperabilidad se convierte en un servicio que permite el intercambio automatizado de información geoespacial entre entidades públicas y privadas, y garantiza una mayor capacidad de atención a los usuarios de la información, evitando preguntas recurrentes de la misma información, garantizando autenticidad y mejorando la seguridad de esta información. La interoperabilidad es indispensable a la hora de “interconectar” en un entorno tecnológico eficiente, moderno y seguro, a las entidades públicas y privadas en todo el Territorio nacional.

A nivel de interoperabilidad de información geoespacial en el ámbito local, es de resaltar el avance de nuestra gerencia IDECA. El cual ha logrado desarrollar una estrategia de interoperabilidad que le permite tener una federación de los datos, empleando aproximadamente 260 servicios internos y 110 servicios web externos. Este es un referente exitoso a nivel local, con el cual se comprueba que es posible lograr la interoperabilidad de información geoespacial propietaria con información

de fuentes externas, articuladas y operantes en beneficio de los diferentes usuarios de la información.

En resumen, podemos decir que la interoperabilidad es la herramienta que acompaña a las entidades en el desarrollo de sus capacidades de intercambio de información geográfica, sin importar sus restricciones o su tamaño; y surge con el propósito de contribuir en la entrega de servicios digitales y en la articulación interinstitucional para el ejercicio de sus derechos y obligaciones como Estado.

Es así que, en los últimos años, se ha venido impulsando diferentes iniciativas a nivel nacional e internacional que promueven la interoperabilidad de la información geoespacial entre las entidades, en este aspecto, se destaca el fortalecimiento de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales - ICDE como eje dinamizador de la integración de datos multisectorial.

Ahora bien, a partir del inicio de la implementación de la política de Catastro multipropósito para el País, el Gobierno Nacional tiene la oportunidad de proveer la información necesaria para la formulación y la ejecución de diferentes políticas públicas; entre ellas, las relacionadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS, garantizar el derecho de propiedad, contribuir al fortalecimiento fiscal y, principalmente, fortalecer la planeación estratégica y el ordenamiento territorial; donde, la información geoespacial es el motor fundamental.

El Catastro multipropósito logrará el desarrollo de un sistema de información para la gestión y la administración de tierras que adopte elementos tecnológicos para la interoperabilidad y la divulgación de la información geoespacial, así como tecnologías y estándares internacionales que permitan integrar la información de todas las entidades públicas, asociarlas con información predial y ponerla a disposición del público.

En el sector ambiental, se destacan las oportunidades de implementación de la interoperabilidad a través del Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC; el cual, en su proceso de transformación digital, tiene como objetivo propiciar un esquema de interoperabilidad para la información geoespacial, alineado con los ejercicios de interoperabilidad indicados desde la estrategia de gobierno digital. Además, con el apoyo que se dará a través de la donación del Gobierno de Reino Unido para la implementación del Catastro multipropósito en zonas de interés ambiental, se tiene como uno de sus grandes componentes estructurales el fortalecimiento del SIAC para la interoperabilidad de la información geoespacial ambiental y catastral, como apoyo a la lucha contra la deforestación.

Finalmente, con la expedición del Documento CONPES 4007 de 2020, estrategia para el fortalecimiento de la gobernanza en el Sistema de Administración del Territorio, se da una serie de líneas de política que van encaminadas a potencializar la interoperabilidad de la información geoespacial en las entidades del Estado, a través del fortalecimiento de los procesos de generación de información y de interoperabilidad de datos para la administración del territorio, identificando los objetos territoriales claves y, posteriormente, en el marco de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales - ICDE, aplicando estándares para su adecuada gestión.

Interoperabilidad para 3D y 4D

En el momento actual las IDE tienen el potencial y los medios suficientes para poder gestionar y publicar información tridimensional y temporal, si bien es cierto se presentan lagunas en determinados servicios o componentes de las mismas, también es cierto que existen otras funcionalidades lo suficientemente desarrolladas que permitirán la gestión de Información Geográfica Tridimensional y Multitemporal, es necesario trabajar sobre estos aspectos a fin de consolidar la gestión adecuada de esta información.

En lo referente a la gestión interna de una IDE, están las suficientes herramientas, modelos y formatos para poder ser desarrolladas. El continuo avance tanto en el desarrollo de herramientas de gestión, con potentes programas y Bases de Datos, así como las diversas líneas de investigación en lo referente a las implementaciones de algoritmos para la gestión de información semántica a partir de nubes de puntos. Los sistemas de gestión para estos volúmenes y tipos de información se manejan sin ninguna dificultad en los sistemas comerciales desarrollados para obtener visualizaciones realistas hasta sistemas de gestión de Bases de Datos para gestión y acceso oportuno a las mismas.

Es importante también tener en cuenta especialidades tecnológicas que pueden aportar de manera directa a los modelos 3D, como el CAD 3D y, los BIM; que son los llamados modelos de información de construcción (*Building Information Modeling* - BIM por sus siglas en Inglés), que generan y gestionan la geometría de una o varias edificaciones, las relaciones espaciales entre sus elementos, la Información Geográfica relacionada, así como también las propiedades de los componentes que presentan las edificaciones, ambas tecnologías son capaces de generar modelos 3D semánticos con la suficiente precisión.

Es así como la sinergia entre las IDE y los BIM diferenciamos dos tipos de modelos tridimensionales de ciudad, uno de ellos los modelos de diseño y el otro los modelos del mundo real. Los de diseño se utilizan para propósitos del sector de construcción, la arquitectura y la ingeniería. Los modelos del mundo real son Sistemas de Información Geoespacial que representan objetos espaciales ampliamente representados en aplicaciones SIG. Los resultados de esfuerzos de integración de los BIM e IDE representan sólo información geométrica en 3D, pero no cumple el propósito de integración y puede conducir a la inconsistencia geométrica. Se requiere más información semántica compleja.

Específicamente en las normas de metadatos que se aplican a las IDE, se pueden ver vacíos relacionados con la Información Geográfica tridimensional. Estos vacíos tienen que ver con los servicios de catálogo, los cuales son los encargados de permitir búsquedas y filtros de Información Geográfica tridimensional.

La ISO que mejor funciona con la información tridimensional es la ISO 19115, tiene una serie de atributos básicos, pero igualmente presenta una serie de problemáticas asociadas a la misma respecto a las necesidades de desarrollo de una IDE 3D, no permite conocer con precisión qué información de partida se utilizó para la creación del modelo 3D, aunque la ISO 19115 permite definir la calidad de los MDE, no es posible profundizar en este dato, otro problema que se identifica es la escasa capacidad que tiene la norma para informar sobre elementos semánticos de un modelo 3D.

Hasta ahora respecto a los metadatos y las IDE 3D, se puede decir que, aunque existen estructuras capaces de soportar este tipo de información, no han sido aún desarrolladas para ofrecer todo un esquema de metadatos a nivel de Información Geográfica tridimensional. Existen propuestas que al ser aprobadas propiciarán que sean capaces de afrontar el desarrollo de la IDE 3D.

En cuanto a los estándares y protocolos de intercambio y publicación se valida la implementación servicios diseñados y desarrollados para servir modelos 3D. Estos son WCS y WFS, cumpliendo con lo definido por OGC. Sin embargo, del mismo modo que con el estándar de metadatos presentan vacíos importantes, sobre todo en lo que tiene que ver con los lenguajes de intercambio en los servicios WFS, visualizando debilidades y puntos fuertes en lenguajes de intercambio, como CityGML, existen otros formatos más eficientes para intercambio de modelos 3D como es JSON. Se están implementando mejoras que hacen pensar que CityGML será uno de los principales lenguajes de intercambio y publicación para modelos 3D.

Finalmente, el cliente de una IDE puede utilizar distintas soluciones para poder visualizar, consultar, navegar, intercambiar, etc. Modelos 3D, mediante clientes pesados o mediante clientes ligeros, existen soluciones para poder llevar a cabo este proceso, bien sea a través de carga de ficheros mediante archivos o bien mediante conexiones tipo WFS.

Líneas de Investigación

En relación con el desarrollo e implementación de las IDE, las líneas más interesantes de investigación identificadas en el ámbito son:

Ampliación y Detalle de normas de metadatos para Información Geográfica 3D

La investigación de nuevas alternativas de ampliación de las actuales normas en materia de modelos 3D. Se ha evidenciado la debilidad de éstas con respecto a la Información Geográfica 3D.

Lenguajes de intercambio Interoperabilidad

Esta se puede convertir en una línea de investigación muy importante, ya sea con la mejora de los lenguajes de intercambio, definiendo nuevos protocolos, mejorando los protocolos actuales (kml, GML). Crear formatos de propiedad o mejora del modelo de CityGML.

Publicación de Información Geográfica 3D y 4D

Aquí hay más recorrido, existen muchas iniciativas de cara a la publicación de modelos 3D en Internet, tanto para el cliente, como para el servidor. Existen además investigaciones para crear plataformas de trabajo ágiles y potentes para la navegación como para los geoprosesos, para los modelos 4D aún son incipientes.

2. Beneficios de implementar los modelos 3D y 4D en Colombia

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co

Un territorio es un conjunto de elementos heterogéneos y geográficos distribuidos y organizados. La gestión de la información territorial es clave para el perfeccionamiento de una estrategia de gestión y desarrollo territorial sostenible. Como contribución a la gestión integral sostenible del territorio, consolidando *SmartCities* o territorios inteligentes, se han venido desarrollando iniciativas hacia la consolidación de modelos de datos basados en 3D y 4D. Los elementos geográficos principales de un territorio son: su relieve, su vegetación, hidrografía, vías, las construcciones, los centros poblados, entre otros. Al mismo tiempo el territorio debe gestionarse como un todo teniendo en cuenta las dependencias entre estos elementos. En este sentido en el ámbito del territorio convergen los Sistemas de Información Geográfica (GIS).

Un aspecto clave a la hora de representar la información geográfica relacionada con un territorio son las dimensiones. En un entorno geográfico la información en dimensión 2D es importante para posicionar los elementos en el espacio y poder revisar por ejemplo dimensiones de predios y elementos del territorio asociados, pero la tercera dimensión, modelos 3D, se hace necesaria para representar la distribución de los elementos en su respectiva altura. Esta diferencia está también asociada a los entornos de las construcciones y elementos geográficos mencionados previamente. Así mismo la implementación de modelos 4D permite combinar información geográfica basada en modelos 2D o 3D y realizar análisis multitemporales respecto al comportamiento de los elementos mencionados a través del tiempo o de fenómenos que se puedan presentar en un determinado territorio.

Pero la geometría es solo una parte de la información de los territorios, el otro componente clave es la información semántica, los atributos de los elementos. Un modelo de información que combine los dos tipos de información resulta la solución perfecta para representar la información geográfica de un territorio.

Un modelo del territorio en 3D por ejemplo permite representar datos georreferenciados espaciales y se compone de la elevación del terreno, las construcciones, el uso de tierras, la vegetación y las carreteras, entre otros. La cualidad principal de estos modelos es que permiten almacenar toda la información de un territorio en un único modelo de datos, lo que garantiza y facilita el uso y la interoperabilidad del mismo. Estos modelos permiten gestionar, representar y administrar los datos territoriales que posteriormente pueden ser utilizados en diferentes herramientas y aplicaciones como: gestión de desastres y del riesgo, planificación territorial, planificación del tráfico, seguridad, telecomunicaciones, movilidad, turismo, entre otras. Como ejemplo de ello

podemos encontrar varias aplicaciones en línea, estas son: Ciudades en 3D de Google, CityEngine o CityGML.

Los modelos del territorio en 4D al igual que los modelos de 3D permite representar datos georreferenciados espaciales, se componen de la información georreferenciada en diferentes periodos de tiempo, por ejemplo información de cobertura vegetal de la misma zona en periodos de tiempo diferente, a fin de establecer en este caso comportamientos o cambios de la vegetación en estos periodos y determinar si se trata por ejemplo de procesos de deforestación o degradación de la cobertura vegetal, en el caso de ciudades, poder establecer procesos de expansión urbana a través de los análisis multitemporales. Estos modelos al igual que los modelos 3D también garantizan y facilitan el uso y la interoperabilidad de la información geográfica. Este modelo puede ser utilizado en diferentes herramientas y aplicaciones como: análisis en gestión del riesgo, planificación territorial, planificación urbana, gestión ambiental, análisis temporal de movilidad, entre otras.

La información territorial puede generar considerables volúmenes de información geográfica heterogénea, como es: diferentes escalas, diferente uso, diferente naturaleza, diferentes herramientas y formato y proveniente de diferentes gestores o productores. Además, esta información en los últimos años ha venido creciendo de manera exponencial, por lo que su adecuada gestión se ha convertido en un aspecto relevante y estratégico en la gestión y toma de decisiones en diversas escalas.

Un modelo de datos para la representación de información territorial debe cumplir con los siguientes aspectos:

- Incluir todo el ciclo de vida de la información.
- Involucrar a todos los productores y usuarios de la información en la toma de decisiones.
- Estructurar la información tanto geométrica como semántica de forma georreferenciada en un único modelo de datos que sea interoperable.
- Interconectar la información a diferentes escalas (ciudad, centros poblados, distrito, construcciones, etc.) y de diferentes ámbitos.
- Garantizar el acceso público a la información y permitir la visualización en 3D y 4D a través de estándares de interoperabilidad.

- Facilitar la generación de herramientas y soluciones preferiblemente en la nube para el análisis, gestión y toma de decisiones.

Estos requerimientos se traducen en la definición de un modelo de datos común, multiescalar, genérico e interoperable que contiene la información semántica y geométrica necesaria para su gestión, indispensable para los procesos de toma de decisiones. En el momento de establecer este modelo de datos que presenta la forma en que se representan y almacenan los datos que describen el territorio es clave soportar dicho modelo en estándares o lineamientos internacionales. La utilización de estos estándares se convierte en la clave para asegurar la consolidación y el impacto a largo plazo de las soluciones planteadas basadas en modelos 3D y 4D. Algunas referencias internacionales a tener en cuenta para el modelado de datos son las siguientes:

- INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe): establece las reglas generales para el establecimiento de una Infraestructura de Datos Espaciales en la Comunidad Europea. Esta exige la armonización de datos y la interoperabilidad del sistema y su principal objetivo es crear un marco jurídico que permita establecer una infraestructura de Datos Espaciales a nivel europeo. Permitirá disponer de más datos espaciales fiables y que estén al alcance de todos (gobierno, empresas privadas y ciudadanos), la idea es utilizar y optimizar la explotación de los datos espaciales existentes.
- PSI (Public Sector Information) establece el marco legal para la reutilización de la información del sector público por parte del sector privado con propósitos comerciales y no comerciales. Se disponen los lineamientos y derechos para reutilización de información pública y reconoce la necesidad de contar con publicación de datos abiertos, no sólo como valor económico, sino también como valor social.
- Berlín ha desarrollado el modelo de ciudad virtual en 3D de Berlín, que funciona como un espacio de información geográfica compleja, Este modelo integra y enlaza datos espaciales obtenidos a través de diferentes fuentes y productores, estas aplicaciones y herramientas para gestión de información en modelos 3D están basadas en el estándar *CityGML*.

El Territorio digital 3D y las representaciones en 4D, representado en forma geométrica y temporal resulta útil en distintos tipos de análisis, casos particulares tales como los estudios sobre tránsito vehicular, la propagación de las ondas emitidas por estaciones de radio o cualquier tipo de análisis sobre redes de infraestructura, los análisis multitemporales de diferentes fenómenos o comportamientos del territorio por efectos antrópicos, entre otros. No obstante, para otros tipos de análisis, el territorio digital 3D no llega a ser el suficiente o el necesario. Por ejemplo, frecuentemente es necesario combinar información de diversas fuentes de datos, que son de tipo alfanúmero, para de esta manera obtener lo más acertado posible distintos análisis de un determinado territorio.

América Latina es un claro ejemplo, donde la incidencia de la informalidad es emblemática en el paisaje urbano y rural, en este sentido resulta importante observar y visualizar tanto la dimensión informal como la dimensión legal de los territorios, tanto rurales como urbanos. Los asentamientos informales se vienen implementando cuando los habitantes de un territorio no logran acceder por diversos motivos a la vivienda. Es indispensable para las personas encontrar algún lugar donde asentarse, lo que ocurre con frecuencia es que resultan localizándose en sitios menos adecuados para vivienda, o en terrenos que resultan disponibles, ya sean estos públicos o privados. Las necesidades de tener una vivienda van superando la disponibilidad de predios, lo que obliga a los diferentes residentes a construir de manera horizontal los asentamientos que ya se venían como informales, construyendo estructuras más altas y con mayores niveles de densidad. Así es como se van desarrollando los territorios digitales 3D informales.

Un catastro 3D y desarrollado con funcionalidades para 4D que integre todos los datos y la información disponible puede transmitir a los tomadores de decisiones y planificadores del territorio sobre cuáles son las brechas existentes entre la oferta y la demanda de terrenos para construcción o desarrollo por parte de la población, lo que contribuye a definir políticas que aborden la cuestión de un desarrollo ordenado de los territorios, eliminando la posibilidad de ocurrencia de asentamientos informales no planificados.

3. Posibilidades e Implicaciones de Adoptar e implementar estos modelos 3D y 4D y sus estándares.

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co



UAECD
Catastro Bogotá



Los planes de ordenamiento territorial de un Territorio, Los planes de desarrollo, las estrategias de mejoramiento de calidad de vida, la implementación y desarrollo de las llamadas *Smart Cities*, por lo general, describen las metas y objetivos de desarrollo sostenible mediante el uso de variados recursos geográficos, bases de datos y documentación. La mayoría de la cartografía y otras representaciones de diseño y modelamiento territorial se elaboran generalmente con una visión en dos dimensiones - 2D, que luego de análisis detallados se traducen en instrumentos regulatorios y herramientas de planificación y ordenamiento estratégico igualmente bidimensionales. El espacio territorial se representa en cartografía. Es así como el espacio territorial real 3D se gestiona mediante normatividad y otras herramientas basadas en una visión 2D, lo cual evidencia que el territorio físico y el territorio legal funcionan y se representan en dimensiones diferentes y, de cierta forma, incompatibles.

No hace mucho, esta discrepancia era aceptada, ya que los mapas, la información geográfica y la cartografía 2D constituían el más importante recurso disponible para representar el territorio real; no obstante, en la actualidad y gracias al avance de la tecnología los gráficos computarizados pueden gestionar la mayoría de los objetos complejos en el espacio.

Resultado de esto entonces, es necesario redefinir los aspectos legales y económicos de la sociedad en un determinado territorio, pasando de la visión tradicional basada en 2D a un enfoque tridimensional - 3D, con el propósito de desarrollar, implementar y controlar las políticas de gestión del territorio de manera más eficiente.

Cuando el espacio territorial se describe mediante cartografía o Información Geográfica digital integradas a bases de datos en un Sistema de Información Geográfica - SIG, diferentes capas de información espacial pueden ser sumadas para dar una visión más cercana a la realidad en 3D. por ejemplo un catastro 3D se convierte en una de las herramientas que puede facilitar este proceso, pues está compuesto de un sistema de bases de datos integradas que contiene información sobre títulos de propiedad inmobiliaria, características físicas de los inmuebles, modelos econométricos que describen los valores inmobiliarios, redes de transporte, infraestructura y servicios, y atributos de uso del suelo sumados por ejemplo a información medioambiental

Así mismo los modelos 4D permiten mejorar los análisis multitemporales basados en representación 2D o combinada también con la 3D, estos análisis permitirán mejorar los modelos predictivos, mejorar los análisis de tendencias distribuidos a lo largo del territorio, igualmente las herramientas tecnológicas y en avance en

las tecnologías de la información y las comunicaciones ha permitido implementar estas alternativas que pueden mejorar los procesos de toma de decisiones a diferentes escalas.

Posibilidades e Implicaciones

Google Earth es una de las principales herramientas y estrategias utilizadas y que han popularizado el uso de la información geográfica, permite a los usuarios visualizar un lugar virtual en 3D, al nivel de detalle que desee y en un entorno global. Este y otras herramientas geográficas pueden utilizarse con bastante facilidad para cambiar el punto de vista de percepción de la realidad. Si el usuario pasa de una vista desde arriba (que muestra el territorio como una superficie plana) a una vista oblicua, podrá observar el relieve y la altura de los edificios, árboles, redes aéreas de servicios públicos y otros objetos en el espacio.

Mediante este tipo de visualización en 3D se pueden identificar por ejemplo espacios sin desarrollar, edificios de diferentes alturas, viviendas suburbanas diseminadas, estructuras en áreas rurales aisladas y construcciones precarias en asentamientos informales, todo lo cual permite inferir cambios necesarios en el uso del suelo. Cuando el espacio 3D se representa en una pantalla plana o en impresiones en papel, se muestran detalles que resultan difíciles de identificar en un mapa 2D, tales como el movimiento de las sombras durante el día, diferentes vistas desde la ventana de un apartamento y las relaciones espaciales entre edificios y elementos naturales.

La tecnología 3D y 4D se encuentra en constante evolución está cambiando los paradigmas de la planificación territorial y la política de suelo, ya que afecta no sólo la forma en que se ve un territorio sino la manera en que se describen los derechos de propiedad y sus restricciones en el espacio. Como resultado, es necesario contar con un marco legal del territorio basado en directivas y normatividad 3D y 4D que puedan describir objetos en el espacio en lugar de presentar solamente sus linderos, cartografía y geografía 3D afectando los derechos en el espacio, y no más en un mapa de proyección, y sólo a través de una directiva normativa con esas características resultará posible definir las políticas de suelo en 3D y en 4D.

Para poder utilizar un marco legal en 3D y 4D es necesario que los datos espaciales se encuentren sistematizados en por ejemplo catastros 3D, mediante los cuales se crean y mantienen en forma actualizada bases de datos espaciales y representaciones volumétricas de ciudades, así mismo información para estas

bases de datos en diferentes periodos de tiempo, también registro de la propiedad 3D donde se identifique y documente cada una de las propiedades y sus correspondientes restricciones espacio-temporales.

Los expertos profesionales que gestionan información georreferenciada tienen ciertas facilidades para determinar, mediante mallas de puntos con coordenadas espaciales, la ubicación de objetos físicos en el espacio tales como depósitos minerales, masas de agua, plumas de contaminación, emisiones en el aire o en capas subterráneas, espacios de acceso restringido alrededor de cables de alta tensión, etc. Sin embargo, los legisladores y planificadores aún no están familiarizados con el hecho de describir e interpretar las intersecciones de esos objetos en el espacio. La complejidad creciente de por ejemplo la infraestructura urbana y de las áreas con un gran nivel de densidad de edificación requiere el registro adecuado de su condición legal (privada o pública), la cual puede ser realizada con los registros catastrales 2D que existen en la actualidad, aunque sólo hasta cierto punto.

A pesar de todo el potencial que tiene como herramienta de planificación territorial y del gran nivel de investigación y progresos logrados hasta ahora, no existe normatividad que posea una verdadera gestión de la información basados en modelos 3D y 4D con funcionalidades completas. Los conceptos en constante evolución involucrados en este nuevo proceso y en temas relacionados con la gestión territorial deberán estar basados en la norma ISO 19152 Modelo de Dominio de Administración de Suelos (LADM, por sus siglas en inglés), que brinda un soporte para representaciones 3D, pero no involucran los procesos de gestión de información basados en los modelos 4D.

Al considerar una ciudad o territorio como 3D, lo primero que se imagina es la representación de las construcciones en formas regulares, sin embargo, estas formas simples han demostrado ser insuficientes a la hora de realizar procesos de análisis en espacios poblados o urbanos. En este sentido, investigadores han desarrollado una serie de técnicas para superponer fotografías de fachadas de edificios sobre las superficies de los cuerpos geométricos. Con la masificación de los programas de diseño asistido por computadora - CAD, la representación de las características arquitectónicas de los edificios en 3D se tornó más fácil. Ahora bien, la implementación de modelos en 4D puede ser un proceso menos dispendioso, por lo que se tratan de visualizar y representar en un momento determinado del tiempo un fenómeno, el estado de una variable o un elemento del territorio, de tal manera que refleje lo mas real posible su estado en dicho momento.

La representación de los elementos de territorio en 3D generalmente se ponían en una superficie de referencia plana o en 2D, lo cual creaba una falsa imagen de los territorios a representar puesto que mostraba a todos en un mismo nivel. Al tener la oportunidad de agregar el relieve mediante el uso de representaciones digitales basadas en modelos digitales de terreno - DTM, por ejemplo, los edificios virtuales en 3D pasaron a ponerse en el nivel de altitud correcto en relación con la cota o punto de referencia del DATUM más próximo al lugar de análisis o con el nivel medio del mar, obteniendo un posicionamiento espacial más preciso. El siguiente paso consistió en superponer ortofotos o imágenes de satélite sobre el relieve digital, lo cual dio como resultado imágenes 3D de diversos territorios físicos que resultan mucho más reales.

Actualmente, los modelos urbanos 2D, 3D y 4D continúan elaborándose con geometría euclidiana (puntos, líneas, polígonos) e imágenes. Todos estos modelos son de gran utilidad, pero aún insuficientes a la hora de llevar a cabo procesos de análisis urbano-regionales detallados. Para desarrollar análisis y políticas de suelo se utilizan diferentes tipos de datos geográficos: sociales, físicos, económicos y medioambientales, los cuales tienen lugar en el espacio y, por lo tanto, deben ser relacionados con los elementos del territorio virtual.

Los SIG pueden apoyar y contribuir al proceso de construcción de una ciudad digital en 3D, ya que permite la relación entre datos estadísticos y los elementos geográficos para generar vistas de información temática que pueden aplicarse a diferentes análisis, procesos y temas relacionadas con las políticas de suelo, entre otras. Para propósitos de planificación territorial, una visión 3D creada en una plataforma de SIG a partir de información espacial y tomando datos de altura es, por lo general, más útil que una simple imagen satelital o fotografía aérea de la misma zona, puesto que a través del SIG es posible resaltar datos importantes o de interés, crear escenarios que anticipen de manera temprana efectos económicos, de impacto o de riesgo de ciertas decisiones o por la presentación de determinados fenómenos, ya sean por políticas de uso del suelo e inclusive como resultado de evaluar el impacto al medioambiente.

Los cambios que se van presentando en los territorios pueden visualizarse y medirse de diferentes maneras. Estos análisis se basan en la suposición de que las variables sociales, económicas y medioambientales se encuentran en constante cambio y movimiento, mientras que el terreno es estático. Otras fuerzas o fenómenos capaces de producir cambios en los territorios pueden causar

desplazamientos de diferentes intensidades que pueden medirse en los espacios 3D y en el tiempo, los espacios 4D.

Pese a que las tecnologías que se están utilizando para medir, representar y almacenar información actualmente están evolucionando hacia las plataformas 3D y 4D (en menor medida), la legislación y las políticas continúan viendo a los territorios como superficies planas. La posibilidad de visualizar en 3D los elementos constitutivos del territorio representan un avance considerable para aquellos responsables de tomar decisiones referentes al ordenamiento del territorio. Así mismo las posibilidades de implementar funcionalidades en 4D también representan avances hacia la generación de análisis y estudios multitemporales, así como de implementar medidas prospectivas hacia la consolidación de un territorio inteligente. No obstante, queda mucho camino por recorrer antes de que la información 3D y 4D se integre como parte de la legislación territorial.

Las TIC en los últimos años en su evolución han permitido el desarrollo e implementación de los modelos 3D y 4D, sin embargo, es necesario todavía mejorar los Sistemas Manejadores de Bases de Datos, de tal manera que permitan una mejor gestión de los datos que provean información 3D y la información que presente los diferentes fenómenos de manera multitemporal, mejoras en los sistemas de almacenamiento que permitan la protección de considerables volúmenes de información. Así mismo, las capacidades de desarrollar análisis de información espacial deben mejorar con el uso de aplicaciones de hardware y software de gran capacidad, permitiendo realizar procesamientos de datos geográficos de manera local y en línea optimizando los tiempos de ejecución y no menos importante es que las entidades tengan la capacidad de construir aplicaciones que permitan de manera personalizada, de acuerdo con las necesidades propias de las entidades, desarrollar capacidades para procesar, consultar, disponer y presentar información georreferenciada basadas en los modelos 3D y 4D. De tal manera que se permita el máximo aprovechamiento de los datos 3D y 4D a través de la red.

La adopción de tecnologías de última generación para la implementación de los modelos 3D y 4D pueden implicar para las entidades una inversión en recursos considerable, en este sentido es necesario contar con una planificación adecuada, a fin de garantizar dichos recursos que aseguren la implementación adecuada con las necesidades de las entidades involucradas en el desarrollo de estas iniciativas. Del mismo modo es necesario tener claro cuáles son los estándares que se pueden y deben tener en cuenta e involucrar para desarrollar plataformas basadas en

modelos 3D y 4D, estándares para almacenamiento, control de calidad, gestión de la información, interoperabilidad, presentación, entre otros. En este sentido, se hace necesaria una investigación y análisis detallado de cada uno de los estándares que pueden implementarse y las implicaciones que representa para la entidad su adopción, tanto en el desarrollo, en las políticas, documentación y relación con otros estándares.

La consolidación de un catastro 3D y 4D por ejemplo, que registre de qué manera la propiedad se cruza con las normas y regulaciones legales correspondientes y de que manera se comporta con el tiempo el desarrollo de un determinado sector contribuiría a una mayor efectividad de la planificación urbana y medioambiental, el diseño de redes de infraestructura mejor distribuidas y la prevención de la informalidad, ya que posibilita la construcción de posibles escenarios futuros que muestren el impacto de las políticas de suelo en el espacio y la consolidación de ciudades o territorios inteligentes que vayan en pro del mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Estándares

SLD 3D³

El SLD 3D no corresponde a un estándar aprobado por la OGC, aunque sí es una propuesta recogida por este organismo para extender el estándar actual SLD de manera que englobe la representación de escenas en tres dimensiones.

LocalGIS⁴ permite la definición de los estilos de representación de las capas a través del SLD. Posee una serie de interfaces agradables e intuitivas que posibilitan la generación del esquema XML correspondiente al estándar OGC acorde a la representación deseada por el usuario.

Se han extendido las interfaces, existentes actualmente en LocalGIS, para la incorporación de las propiedades 3D. A través de estas interfaces se podrán asociar alturas, niveles de extrusión y modelos 3D entre otras características

³ Visualización geográfica 3D. Estándares y aplicaciones. Fonts, O. & Granell, C., 2009. Estándares y aplicaciones. A'III Jornadas de SIG Libre'. Girona: La Universitat.[Consulta: 20 septiembre 2021]. Link <http://hdl.handle.net/10256/1416>.

⁴ Comunidad de Usuarios de LocalGIS. <http://www.rediris.es/list/info/localgis.html>

propias del renderizado 3D. Como resultado se obtendrá un esquema XML extendido de acuerdo a las recomendaciones del SLD 3D. Únicamente los clientes capaces de interpretar las extensiones generadas podrán aprovechar la información tridimensional, mientras que los clientes que interpreten el estándar SLD visualizarán la información bidimensional ignorando las propiedades 3D.

Gracias a la definición del SLD 3D se ha logrado la inclusión de la tercera componente espacial a partir de la información existente en los elementos 2D, permitiendo la generación automática de volúmenes. Se permite así la generación aproximada de las edificaciones a partir de la información en dos dimensiones, la generación de las infraestructuras existentes o la visualización de mapas temáticos en 3D entre otras muchas aplicaciones y usos.

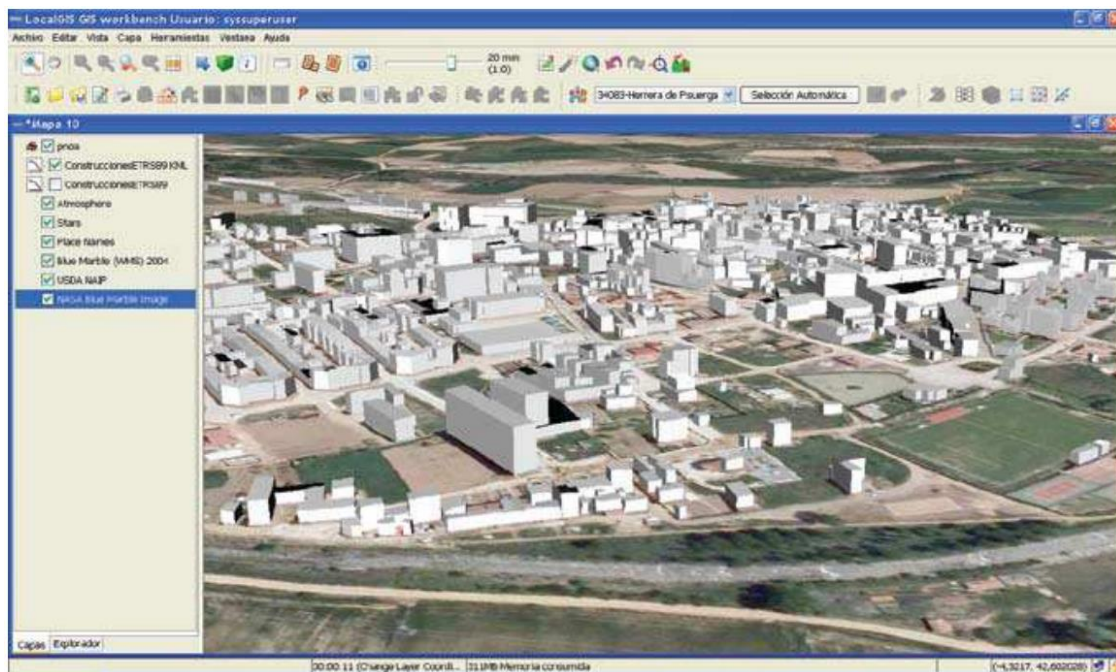


Figura 1. Modelo 3D

KML⁵

⁵ Varela García, F.A. et al., 2007. Ampliación de las capacidades de visualización de un SIG libre mediante la comunicación con un navegador 3D. En Actas de las I Jornadas de SIG Libre. Girona: Universitat de Girona. link <http://www.sigte.udg.es/jornadassiglibre2007/comun/1pdf/11.pdf>

Es un lenguaje basado en un esquema XML destinado a la representación de datos geográficos en tres dimensiones. Aunque originalmente fue desarrollado por Google en la actualidad se encuentra recogido en el OGC como un estándar.

El sistema implementado es capaz de generar los documentos KML a partir de los estilos SLD 3D definidos, pudiendo exportar estos documentos para su representación en otros sistemas como Google Earth. Igualmente se ha incluido el renderizado del KML en el soporte 3D, permitiendo la visualización de la información generada desde el propio sistema u otros sistemas externos.

El renderizado de información 3D para la representación de escenas realistas, tiene como problema el gran volumen de información a manejar en el sistema. Para solventar este problema ha sido necesaria la implementación de la lógica de gestión necesaria para minimizar el mismo.

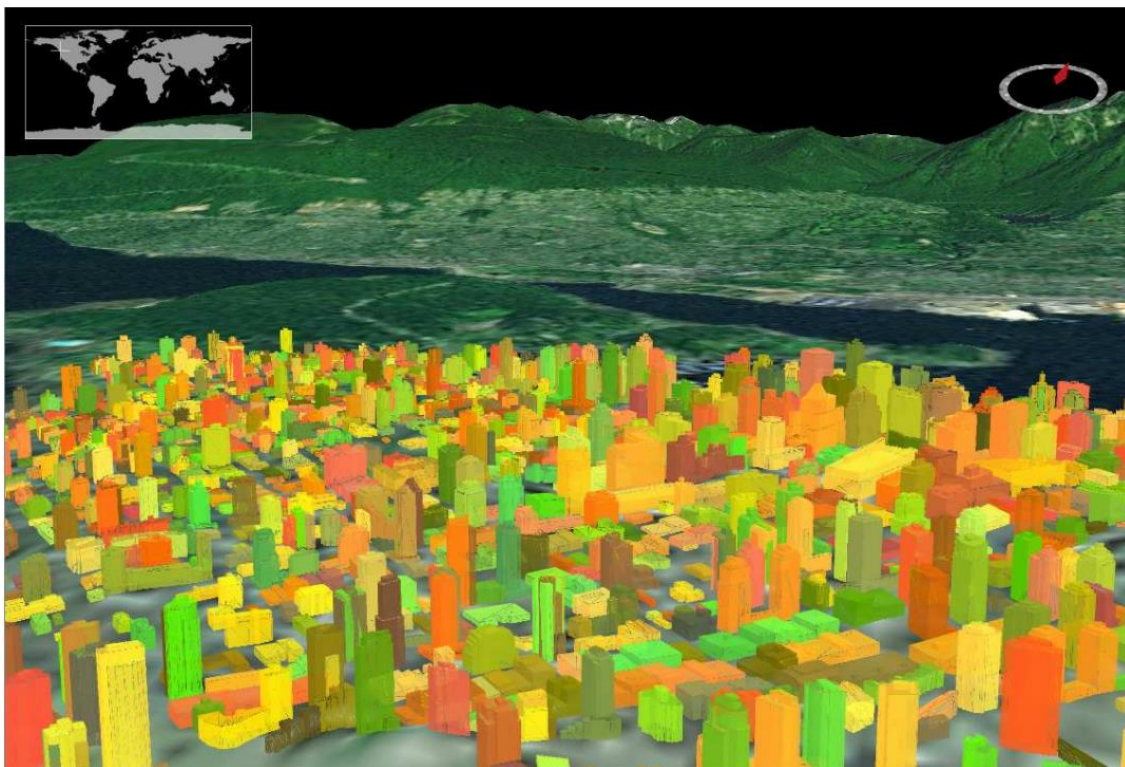


Figura 2. Modelo KML

4. Aseguramiento y continuidad de los procesos

Debido a las necesidades que se pueden generar y las ventajas detectadas con la implementación de los modelos 3D y 4D, se deben llevar a cabo trabajos necesarios para la consolidación de un Sistema de Información Georreferenciado con tres modos de trabajo, uno con el actual a través de la gestión y la visualización de la información georreferenciada en 2D, otro a través de la gestión, análisis y visualización en 3D y un último modo con la gestión y análisis de información multitemporal basadas en modelo 2D y 3D visualizando en 4D, proporcionando a los diversos usuarios tres modos de visualización pero una única metodología de trabajo independientemente del modo empleado, pero articuladas de acuerdo con las necesidades de información para los usuarios y las entidades del distrito capital, enmarcados en estrategias para la consolidación de ciudades y territorios inteligentes.

Los sistemas y plataformas generados deben contar con una serie de características consideradas imprescindibles para alcanzar y asegurar los objetivos planteados y la continuidad de cada uno de los procesos enmarcados en la gestión de los modelos 3D y 4D, dichas características son:

- Componentes de software comercial y libre, ya que se presenta como un requisito indispensable la independencia tecnológica y contar con herramientas hidriadas que aseguren la continuidad.
- Sistemas multiplataforma. De esta manera se independiza la aplicación a emplear de las plataformas disponibles, facilitando su difusión y reduciendo las restricciones del sistema.
- Sostenibilidad del sistema. Es necesario que existan grupos de desarrollo inter institucionales, empresas y comunidades de usuarios que garanticen la sostenibilidad, mejora y desarrollo para la aplicación de los modelo y estándares 3D y 4D.
- Grado de complejidad de integración de los componentes de los sistemas, aplicaciones GIS y los sistemas de soporte 3D y 4D.
- Aplicación robusta y solvente. Los sistemas deben estar altamente probados y garantizada su utilidad, esto se determinará por la explotación a niveles empresariales, de administraciones locales, universidades y

usuarios, a través del grado de conformidad de los mismos. Además de las necesidades de generar nuevos análisis y nueva información.

- Apalancamiento financiero. De esta manera es posible asegurar la implementación y mantenimiento de cada una de las plataformas y la gestión de la información insumo para poblar y actualizar las bases de datos.

Asimismo, a través del tiempo es posible alcanzar una implementación práctica basada en gestión de bases de datos, implementación de los estándares de gestión para los modelos, datos y plataformas 3D y 4D. Para la integración e interoperabilidad de estos recursos de información se deben generar interfaces capaces de comunicar estos sistemas, pero independizando las soluciones.

Interoperabilidad y estándares OGC

En la incorporación de la vista tridimensional en los Sistemas de Información Geográfica resulta indispensable la representación del terreno proporcionada por los Modelos Digitales de Elevaciones (MDEs) y el levantamiento de las construcciones en las zonas urbanas (BIM). Dependiendo de las necesidades de información identificadas y de los propósitos a cumplir estos MDEs podrán ser Modelos Digitales del Terreno (MDTs) o Modelos Digitales de Superficie (MDS).

En cuanto a la gestión de información para vistas 4D, para los Sistemas de Información Georreferenciada resulta importante gestionar información multitemporal respecto a la temática de análisis, es necesario garantizar la gestión de los datos mínimos.

En los sistemas que se implementen estos modelos 3D y 4D podrán ser obtenidos a través de servicios OGC WMS o bien a través de la carga de ficheros locales. Los modos de visualización disponibles en la aplicación que sea elegida para proporcionar el soporte 3D y 4D, pueden ser.

- Ficheros *Digital Elevation Model (DEM)* en formato de caché de *World Wind* para aplicaciones empaquetadas.
- Ficheros BIM
- Servicio WMS TIFF float32 para su explotación en red.

Ahora bien, dependiendo del grado de detalle con que se levante la información para los modelos 3D y 4D que sean cargados en los respectivos sistemas se tendrá una representación real del entorno caracterizado. La información georreferenciada en dos dimensiones disponible a través de las distintas capas de información, independientemente de su origen o entidad responsable de su generación, serán proyectados sobre el MDE existente obteniéndose una representación en tres dimensiones de esta. Los Sistemas de Información Georreferenciada se encargarán de la carga y tratamiento de la información, como se viene haciendo hasta ahora, la idea es dejar las actividades de representación a los sistemas encargados del soporte 3D y 4D.

La información a representar en 3D y 4D será aquella con la que trabaje la aplicación y la plataforma SIG, ya sean capas vectoriales de cualquier origen (archivos Shapefile, GML, DXF, ...), imágenes ráster en los formatos soportados por la aplicación o las capas de información proporcionadas por los servicios WMS.

La integración de los estándares OGC en las interfaces para 3D y 4D generadas garantiza el acceso a la información desde los diferentes clientes, sea cual sea su localización, sin necesidad de almacenar la información requerida. Se debe asegurar la interoperabilidad de los sistemas pudiendo aprovechar las distintas fuentes de datos publicadas bajo dichos estándares soportados.

Para lograr la representación del modelo 3D OGC a introducido una extensión al estándar preexistente para la descripción de los estilos de visualización de las capas, *Styled Layer Descriptor* (SLD). La extensión permite la definición de información tridimensional a partir de información en 2D y 3D y se denomina *Styled Layer Descriptor 3D* (SLD 3D).

Si queremos obtener una representación más realista del mundo real se hace necesario la inclusión de los modelos 3D en las capas de información y levantar por ejemplo nubes de puntos en áreas urbanas para obtener las densidades de construcción en zonas urbanas. La asociación de estos modelos 2D, 3D y 4D aportará un mejor grado de detalle a los escenarios permitiendo obtener mejores resultados en los procesos de análisis.

Teniendo siempre como estandarte “la interoperabilidad” y la integración de los estándares OGC se propone incorporar el renderizado para información 3D a través del *Keyhole Markup Language* (KML) que permitirá la exportación de la

información georreferenciada para su representación en otros sistemas como por ejemplo Google Earth.

La solución que se propone permitirá:

- Definición de los estilos de visualización de las capas de información con SLD3D.
- Incorporación y renderizado de los modelos 3D y posiblemente 4D.
- Generación y representación de los documentos KML.

De acuerdo con los análisis realizados aun no podemos definir de manera certera estándares específicos para los modelos 4D.

La Gestión Municipal y los Modelos 3D y 4D

Es importante tener en cuenta en relación a la utilización de las aplicaciones SIG, es su creciente empleo en actividades para la gestión municipal. Estos sistemas permiten georreferenciar toda la información, facilitando su acceso y comprensión por parte de los técnicos encargados de dicha gestión.

Actualmente la implementación específica de los modelos 3D permite apoyar la gestión de municipios o administraciones locales ofreciendo múltiples funcionalidades destinadas a la gestión de las diversas áreas o ámbitos de la administración local, entre ellas tenemos:

- Gestión del planeamiento urbanístico.
- Gestión de las infraestructuras urbanas.
- Gestión de la información proporcionada por la Dirección General de Catastro.
- Gestión del patrimonio.
- Gestión de la información estadística.
- Gestión de los residuos y vertidos.

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co

- Gestión ambiental.
- Gestión socioeconómica

La representación en 3D y 4D del territorio ofrece mejores detalles en cuanto a la identificación de la información detallada, pudiéndose agilizar los análisis y la obtención de información para toma de decisiones, así como ofrecer a los profesionales especializados una representación más detallada que le aporte toda la información necesaria y detallada para sus procesos de analítica de datos, información resultado de escenarios más precisos, que soporten la toma de decisiones más acertada.

Además de las ventajas que la vistas 3D y 4D ofrecen a las funcionalidades anteriormente citadas, se presentan otras ventajas aplicables a la gestión municipal como son:

- Obtención de una representación aproximada de la realidad de ciudad, a partir de la información disponible en 2D, 3D y 4D.
- Aprovechamiento de la vista 3D y 4D para el análisis del impacto visual en las nuevas edificaciones y sus diferentes procesos a través del tiempo.
- Modelización en 3D y 4D de las vías y la infraestructura urbana y de transporte.
- Generación de rutas virtuales o paseos turísticos a través de la ciudad.
- Implementación de las SMART CITIES.
- Implementación de procesos de Analítica de Datos 3D y 4D para realizar una mejor gestión de la ciudad.

Gracias a todas estas utilidades y aplicaciones, aprovechables a través de la visualización en tres dimensiones, se presenta el soporte 3D para una aplicación GIS destinada a la gestión municipal, como una herramienta de gran interés y utilidad que facilitará las tareas propias de la gestión.

5. Propuesta de Implementación ejercicio con 3D y 4D

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co

En el marco de implementación de un piloto para abordar estándares para modelos 3D y 4D, se realizó una serie de búsquedas, revisiones, análisis y verificaciones de desarrollo e implementación de estos para dichos modelos de información.

Resultado de ello está la implementación de pilotos con base en el estándar CityGML, este contiene 9 ejes temáticos donde podemos encontrar Modelos Digitales de Terreno DTM, edificios, puentes, túneles, vegetación, cuerpos de agua, transporte, mobiliario urbano, así como objetos y atributos genéricos; a nivel internacional podemos encontrar varios ejercicios y desarrollos exitosos. Específicamente con IDECA se abordó un ejercicio en el año 2019 relacionado con la Implementación Modelo de Subsuelo y 3D, además se han desarrollado iniciativas para gestionar sus metadatos, para interoperabilidad, modelado de ciudades entre otros, en relación para los modelos 4D fue mas difícil, teniendo como resultado análisis de coberturas vegetales de manera multitemporal en visores como Google Earth, no se evidencian implementaciones de estándares específicos para gestión de este tipo de información, se infiere que se implementan estándares para gestión de información 2D y algunos para gestión de información 3D. Sera necesario realizar análisis mas detallados a desarrollos basados en este tipo de modelos.

Propuesta Piloto con Estándar ISO 19650 *Building Information Modelling* – BIM⁶

Los Modelos de Información para edificaciones establecen que la colaboración entre los participantes involucrados en proyectos de construcción y en la gestión de activos es esencial para llevar a cabo el desarrollo y operación de los mismos de forma eficiente.

Las series ISO 19650 son un conjunto de normas o estándares internacionales que definen el marco, los principios, y los requisitos, para la adquisición, uso y gestión de la información en proyectos y activos, tanto de edificación como de ingeniería civil, a lo largo de todo el ciclo de vida de los mismos, y están destinadas

⁶ INTRODUCCIÓN A LA SERIE EN ISO 19650, 2021, Javier Calvo, Miller&CO, Alejandro García, AVATAR, Javier García Montesinos, CREA-SI, Luis Miguel Madruga, AYESA, Inés Bolivar, FCC, David Barco, BERRILAN BIM, Fernando Blanco, ACCIONA, José Emilio Nogués, ARQTEAM, Ignacio García Galdón, AQUALIA, Sergio de los Santos Carrión, AYESA, Alberto Cerdán, UPV, Francisco García, Logical Space, Verónica Mendo, AQUALIA, buildingSMART Spain

principalmente a todos los participantes en las fases de diseño, construcción y puesta en servicio de construcciones y a los involucrados en el desarrollo de actividades relacionadas con la gestión de activos, incluidas la operación y el mantenimiento.

La ISO 19650 se aplica a proyectos y activos construidos de cualquier tamaño y nivel de complejidad, se recomienda que su uso se realice de manera proporcional y adecuada.

La ISO 19650 está compuesta por un conjunto de sub-normas, 6 en total, las cuales se caracterizan por detallar algunos aspectos particulares, estos son:

- El Estándar ISO 19650-1 establece los conceptos y principios recomendados para los procesos de desarrollo y gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de cualquier activo de construcción.
- El Estándar ISO 19650-2 define los procesos de desarrollo y gestión de la información durante la fase de desarrollo.
- El Estándar ISO 19650-3 define los procesos de uso y gestión de la información durante la fase de operación.
- El Estándar ISO 19650-4 define el intercambio de información en BIM durante las fases de desarrollo y operación. Esta norma está actualmente en elaboración.
- El Estándar ISO 19650-5 establece los requisitos de seguridad de la información.
- El Estándar ISO 19650-6 establece los requisitos de seguridad y salud

Building Information Modelling - BIM se traduce en el uso de una representación digital en 3D y 4D compartida (modelo de información) de un proyecto construido para facilitar cada uno de los procesos de diseño, construcción y operación, y proporcionar una base confiable y detallada para la toma de decisiones. El desarrollo y aplicación de la norma puede tener como resultados:

- Una definición clara de la información que necesitan los usuarios del proyecto o el propietario del activo, así como de los métodos, procesos, plazos y protocolos de desarrollo y verificación de esta información.
- Que la cantidad y calidad de la información desarrollada es la suficiente para satisfacer las necesidades definidas, tanto para modelos 3D y 4D.

- Transferencias e interoperabilidad eficiente y efectiva de información en esquemas y modelos 3D y 4D entre los diferentes agentes que participan en cada parte del ciclo de vida del proyecto, especialmente entre la fase de desarrollo y la de operación.

Una vez se define que el estándar ISO 19650 es el que corresponde a evaluar en el piloto, se realiza investigación para establecer cual de las entidades de orden distrital se encuentra adelantando actividades con el propósito de implementar esta norma. Y una vez se identifican dichas entidades se procede a establecer los contactos necesarios para indagar sobre los avances y resultados hasta ahora conseguidos.

El desarrollo de este piloto, de acuerdo con nuestros análisis e investigaciones puede tardar tiempos considerables que son necesarios establecer con un mayor detalle y que solo obtendremos una vez iniciemos los trabajos y articulación con cada una de las entidades distritales.

Se han realizado acercamientos con la primera entidad, Instituto de Desarrollo Urbano - IDU, la cual se encuentra adelantando actividades basadas en la implementación del Estándar ISO 19650, para gestionar sus proyectos de infraestructura, se han adelantado reuniones técnicas para articular la implementación del modelo BIM y de la implementación de los estándares, esto con el propósito de poder vincular más organizaciones que se encuentran trabajando en la implementación de dicho estándar.

6. Resultados y Conclusiones

Se realizó un análisis teórico y documental acerca de la implementación de los modelos 3D y 4D, elaboración de salidas gráficas, mapas, entre otros, tomando en cuenta los principales elementos cartográficos, como vista tridimensional, proyección espacial, los sistemas de coordenadas. El concepto de una tercera y cuarta dimensión, hasta ahora ha demostrado la necesidad de implementar estándares que permitan gestionar este tipo de información. Para la cuarta dimensión es necesario abordar e investigar desarrollos y estándares hasta ahora utilizados en su implementación, no ha sido posible definir e identificar estos en su desarrollo.

Con el planteamiento y realización de esta iniciativa en cuanto al análisis de estándares para modelo 3D y 4D se han proporcionado nuevos retos y

características que permiten almacenar y mostrar conjuntos de capas y mapas basados como se menciona en los modelos 3D y 4D, manteniendo las configuraciones y características de los datos en el momento de la generación de los mismos. Todo ello, con el propósito de ofrecer un alto rendimiento soportado en una adecuada gestión de las capas gestionadas a través de los diferentes sistemas tecnológicos, estándares de interoperabilidad de información 3D y 4D y basados en una serie de políticas y lineamientos para su consolidación.

Como líneas futuras se pretende incorporar en esta gestión integral de los modelos 3D y 4D otros servicios de las Infraestructuras de Datos Espaciales que permitan su disposición, almacenamiento, integración y publicación para usuarios que requieran acceso a esta información.

La integración de los Modelos 3D y 4D, la información cartográfica en dos dimensiones y la información alfanumérica, permite la visualización con un gran nivel de detalle de construcciones, infraestructuras, espacios naturales, etc. Articulada con análisis multitemporales, Además gracias a la implementación de estándares para gestión de información basada en modelos 2D, 3D y 4D, se abre una nueva vía de explotación de la información para su presentación al usuario final.

A su vez, la sincronización de los dos modos de visualización posibles (3D y 4D) permite definir una nueva forma de trabajo para los usuarios de estos sistemas, permitiendo utilizar indistintamente los dos modelos de acuerdo a las necesidades concretas de cada momento, de cada toma de decisiones y de cada tipo de usuario que requiera de esta información.

El abordaje de este primer piloto con el Estándar BIM en conjunto con las entidades que lo están implementando abrirá la puerta a la implementación de los modelos 3D y 4D y a la consolidación de manera articulada y sincronizada de los estándares para gestión de información basada en este tipo de modelos.

7. Bibliografía (ICONTEC)

Allan Levinsohn, 2001. LA INTEROPERABILIDAD GEOESPACIAL: EL SANTO GRIAL DEL CAMPO SIG, Metadatos, Infraestructura de Datos Espaciales, Publicado en la Revista Mapping. link <http://redgeomatica.rediris.es/metadatos/publica/articulo04.htm>, Comunidad de Usuarios de LocalGIS.

www.ideca.gov.co

Lunes a viernes de 7:00 am – 4:30pm

Av. Carrera 30 N. 25 – 90, Torre B piso 2.

+57 (1) 234-7600 Ext. 7703

ideca@catastrobogota.gov.co

OSGeo, “WMS Tiling Client Recommendation - OSGeo Wiki” Available:
http://wiki.osgeo.org/wiki/WMS_Tiling_Client_Recommendation.

OGC, “OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification,” Open Geospatial Consortium Available:
<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>.

Introducción a la serie en ISO 19650, 2021, Javier Calvo, Miller&CO, Alejandro García, AVATAR, Javier García Montesinos, CREA-SI, Luis Miguel Madruga, AYESA, Inés Bolivar, FCC, David Barco, BERRILAN BIM, Fernando Blanco, ACCIONA, José Emilio Nogués, ARQTEAM, Ignacio García Galdón, AQUALIA, Sergio de los Santos Carrión, AYESA, Alberto Cerdán, UPV, Francisco García, Logical Space, Verónica Mendo, AQUALIA, buildingSMART Spain.

Lafont Morgado, P. Prototipado rápido e ingeniería inversa. Revista De Plásticos Modernos, 77(514), 384-390 (1999)

Scianna, A., & Ammoscato, A. 3D GIS data model using open source software. Core Spatial Databases-Updating, Maintenance and Services-from Theory to Practice. Haifa, Israel, 15-17 March 2010. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(Part 4), 8-2 (2010)

Varela García, F. A., Hernández Ibáñez, L. A., Taibo Pena, J., & Seoane, A. Ampliación de las capacidades de visualización de un SIG libre mediante la comunicación con un navegador 3D (2007)

JIMÉNEZ MACÍAS, E., PÉREZ DE LA PARTE, Mercedes, MARTÍNEZ CÁMARA, E., SANZ ADÁN, F., SANTAMARÍA PEÑA, J., & BLANCO FERNÁNDEZ, J. Escenarios virtuales WEB3D: Simulación con VRML, JAVA3D y X3D

Basanow, J., Neis, P., Neubauer, S., Schilling, A., & Zipf, A. Towards 3D spatial data infrastructures (3D-SDI) based on open standards—experiences, results and future issues. *Advances in 3D geoinformation systems* (pp. 65-86) Springer (2008)

van Oosterom, Petrus Johannes Maria, Zlatanova, S., & Penninga, F. *Advances in 3D geoinformation systems* Springer (2008)

Valencia, J., Muñoz-Nieto, A., & Rodríguez-Gonzálvez, P. Virtual modeling for cities of the future. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W4, 179-185 (2015)

Dietze, L., Nonn, U., & Zipf, A. Metadata for 3D city models analysis of the applicability of the ISO 19115 standard and possibilities for further amendments. *Proceedings of the 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, 1-9 (2007)

Towards Visualization Rules for 3D City Models. link:
http://www.geographie.unibonn.de/karto/3D_SLD.UDMS2007.sn.az.pdf

Varela García, F.A. et al., 2007. Ampliación de las capacidades de visualización de un SIG libre mediante la comunicación con un navegador 3D. En *Actas de las I Jornadas de SIG Libre*. Girona: Universitat de Girona. link
<http://www.sigte.udg.es/jornadassiglibre2007/comun/1pdf/11.pdf>

Visualización geográfica 3D. Estándares y aplicaciones. Fonts, O. & Granell, C., 2009. *Estándares y aplicaciones. A'III Jornadas de SIG Libre'*. Girona: La Universitat.[Consulta: 20 septiembre 2021]. Link
<http://hdl.handle.net/10256/1416>.

