

Interoperabilidad entre los dominios de la arquitectura, la ingeniería y la construcción y los sistemas de información geográfica¹

The Interoperability Between the Architecture, the Engineering, and the Construction Domains and the Geographic Information Systems²

Interoperabilidade entre os domínios da arquitetura, da engenharia e da construção e dos sistemas de informação geográfica³

Código SICI: 0123-2126(201206)16:1<183:IDACSG>2.3.TX;2-6

Fredy Orlando Bello-Pérez⁴
José Nelson Pérez-Castillo⁵

¹ Fecha de recepción: 28 de febrero de 2011. Fecha de aceptación: 2 diciembre de 2011. Este artículo es desarrollado por el Grupo de Investigación Internacional en Informática, Comunicación y Gestión del Conocimiento (Gicoge), Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

² Submitted on February 28, 2011. Accepted on December 2, 2011. Developed by the research group Internacional en Informática, Comunicación y Gestión del Conocimiento (Gicoge), Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

³ Data de recepção: 28 de fevereiro de 2011. Data de aceitação: 2 de dezembro de 2011. Este artigo é desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa Internacional em Informática, Comunicação e Gestão do Conhecimento (Gicoge), Universidade Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colômbia.

⁴ Ingeniero de sistemas y computación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. Aspirante a Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Investigador, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: fredy.bello@gmail.com.

⁵ Ingeniero de sistemas y máster en Teleinformática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Doctorado en Informática, Universidad de Oviedo, España. Investigador y docente, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: nelsonp@udistrital.edu.co.

Resumen

El dominio de la arquitectura, la ingeniería y la construcción se sustenta en las clases base de la industria, para representar sus entidades. El dominio de los sistemas de información geográfica utiliza el lenguaje de marcado geográfico para modelar sus entidades, que tienden a evolucionar hacia modelos tridimensionales. El problema central que trata el presente artículo es la integración entre estos dos dominios. Se abordan las bases conceptuales, se muestran propuestas para su integración y se definen los hallazgos acerca de su interoperabilidad.

Palabras clave

Sistemas de información geográfica, intercambio de información, arquitectura.

Abstract

The architecture, the engineering and the construction domain is based on the Industry Foundation classes model in order to represent its entities. The geographic information systems domain uses geographic markup language for modeling its features which tend to evolve towards three-dimensional models. The central topic of this article is the integration of these two domains. The conceptual basis are presented and analyzed; a proposal for its integration is presented and findings about interoperability are explained.

Keywords

Geographic information systems GIS, information exchange, architecture.

Resumo

O domínio da arquitetura, da engenharia e da construção sustenta-se nas classes base da indústria, para representar suas entidades. O domínio dos sistemas de informação geográfica utiliza a linguagem de marcado geográfico para modelar suas entidades, que tendem a evoluir rumo a modelos tridimensionais. O problema central tratado no presente artigo é a integração entre estes dois domínios. São abordadas as bases conceituais, mostram-se propostas para sua integração e definem-se as descobertas sobre sua interoperabilidade.

Palavras chave

Sistemas de informação geográfica, intercâmbio de informação, arquitetura.

Introducción

El dominio de la arquitectura, la ingeniería y la construcción ha desarrollado un modelo que permite intercambiar información de edificaciones de manera interoperable. Dicho modelo se denominó *clases base de la industria* (*Industry Foundation Classes* [IFC]) y contempla aspectos de las edificaciones, como muros, puertas, ventanas e incluso costos y actividades.

En el campo de los sistemas de información geográfica (SIG) se ha desarrollado una especificación que facilita la interoperabilidad, denominada *lenguaje de marcado geográfico* (*Geography Markup Language* [GML]), el cual permite la representación de las entidades geográficas del mundo real: ríos, lotes o entidades abstractas, como la división política. Con base en el GML se desarrolló una especificación orientada a la representación de modelos de ciudades 3D virtuales denominada CityGML, el cual permite representar en cinco diferentes niveles de detalle las entidades que normalmente se presentan en un paisaje urbano.

Las comunidades SIG y de la arquitectura, la ingeniería y la construcción encontraron que tanto IFC como CityGML contienen elementos comunes y que, por lo tanto, pueden llegar a constituir un eslabón de integración entre los mundos de los SIG y los sistemas de modelado de información de edificaciones. Según esto, se planteó la pregunta que motivó la presente investigación: ¿cómo integrar los SIG con los modelos de edificación? El problema abordado integra varias áreas del conocimiento, por ejemplo, *green building*, interoperabilidad en el dominio de la construcción, interoperabilidad construcción-SIG e integración CAD/SIG/BIM. La revisión de la literatura se basó inicialmente en la disertación “Requirements Management Interface to Building Product Models”, de Arto Kiviniemi y basándonos en este documento se orientó el análisis inicial hacia las características de IFC y su relación con el modelado de edificaciones.

Posteriormente se analizaron los lenguajes de representación geográfica existentes y se identificó CityGML como el principal estándar de información de edificaciones geográfico. Una vez identificados los estándares mencionados,

se consultaron bibliotecas científicas como la de la Association for Computing Machinery (ACM), el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) y Springer, en busca de literatura relacionada; luego se seleccionaron los autores relevantes, y, finalmente, se acudió a organizaciones internacionales como el Open Geospatial Consortium (OGC), buildingSMART y National Institute of Standards and Technology (NIST).

1. Antecedentes

Hoy en día, la humanidad ha tomado conciencia de los riesgos que involucran la explotación desmedida de los recursos naturales; además, se han impulsado diversos esfuerzos en todos los ámbitos para lograr su uso más eficiente, al minimizar el impacto negativo sobre los ecosistemas. La industria de la construcción no es ajena a tales esfuerzos y ha presentado el concepto de construcciones verdes, cuyo fin es optimizar la utilización de los recursos en todas las fases de los proyectos y, de esta forma, garantizar una mejor relación con el entorno ambiental sobre el cual se edifica.

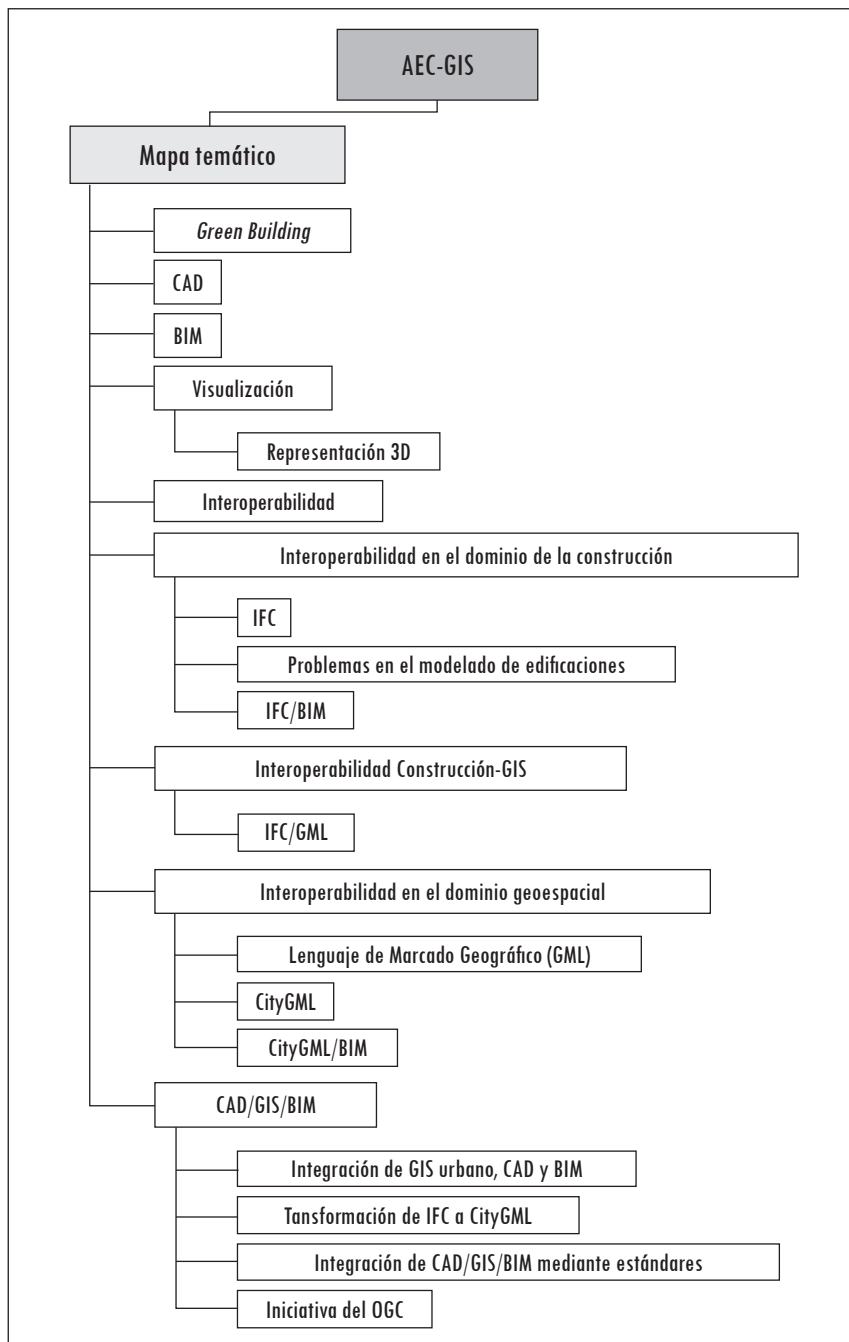
En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se emplean los modelos informáticos como apoyo al plan del desarrollo institucional para facilitar el diseño previo de las nuevas edificaciones, y como puerta de entrada al mundo de las construcciones verdes se ha encontrado —al elaborar estos modelos— que existe una necesidad de integración con el ámbito geoespacial que permita geolocalizar los diseños, visualizar la edificación y reducir los riesgos (Pérez y Rodríguez, 2009) durante la construcción.

El análisis presentado es producto del estudio detallado de la literatura relativa a la integración de SIG y arquitectura, ingeniería y construcción. El mapa temático de la figura 1 analiza la perspectiva global de la situación actual, la estructuración de un marco teórico y el hallazgo de valiosas conclusiones al respecto, que corresponde también a la estructura con la que se elaboró el presente documento.

1.1. Construcciones verdes

Las construcciones verdes (*green buildings*) surgen de una práctica que busca el diseño y la construcción de edificaciones que sean amables con el medio ambiente, mediante el aprovechamiento eficiente de la energía. Para tal fin se basa en cuatro objetivos: 1) reducir la utilización de energía, 2) minimizar la polución externa e interna, 3) disminuir el daño ambiental y el daño a la salud y 4) reducir el gasto de recursos no renovables (Woolley et ál., 1997).

Figura 1. Mapa temático de la investigación



Fuente: presentación propia de los autores.

Las construcciones verdes son parte de una respuesta global a la influencia creciente de la actividad humana en el calentamiento global. Las edificaciones son responsables por más del 40% de todas las emisiones de dióxido de carbono, uno de los principales culpables del fenómeno del calentamiento (Yudelson, 2007).

1.2. Diseño asistido por computador

El diseño asistido por computador es una herramienta ampliamente usada en diversas áreas y su pionero fue el dominio de la arquitectura, ingeniería y construcción (Akin, 2010). En sus inicios se limitó a la representación de modelos que incluían geometría y propiedades estructurales; posteriormente adquirió madurez y se orientó hacia la simulación, para desembocar finalmente en el prototipado rápido y la visualización realista de modelos complejos. Ello abrió las puertas para el modelado de información de edificaciones.

1.3. Modelado de información de edificaciones

Mientras que los avances en materiales y componentes de construcción de edificaciones han sido grandes durante los últimos cincuenta años, el progreso en cuanto a medios y métodos de diseño ha sido pequeño; sin embargo, el desarrollo de la tecnología digital está generando un momento de gran avance en estas temáticas (Sharples, 2009). El modelado de información de edificaciones (*Building Information Modelling* [BIM]) puede concebirse como un cambio de paradigma del proceso tradicional de diseño y construcción de edificaciones. Tiene un amplio impacto en todas las prácticas, que afecta las funciones y las responsabilidades de los roles involucrados (Shelden, 2009). El potencial del modelado de información de edificaciones es que un único modelo virtual puede usarse para satisfacer todos los aspectos del proceso de diseño, incluida la verificación de conflictos espaciales o visualización. El modelo es compartido y puede recibir contribuciones de arquitectos, consultores, contratistas y subcontratistas (Garber, 2009).

El BIM permite simular el proyecto de construcción en un entorno virtual. La edificación virtual implica que es posible practicar la construcción, experimentar y hacer ajustes antes de construir el proyecto (Kymmell, 2008). Para enfrentar el problema de la abundancia de formatos CAD propietarios para el diseño de modelos de edificaciones, la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción ha centrado sus esfuerzos en el desarrollo de un formato abierto, definido por la Alianza Internacional para la Interoperabilidad (Campbell, 2007), y se conoce con el nombre de Clases Base de la Industria.

1.4. Visualización

Recientemente se ha generado una revolución en la producción y la distribución de artefactos digitales que representan visualmente el entorno urbano y facilitan su consulta y visualización (Dodge et ál., 2008). La visualización es percibida como una herramienta para el análisis de datos abundantes, complejos y con poca estructuración y también como medio de comunicación efectiva. En la planeación el componente de visualización no es solamente significativo, sino también indispensable. A pesar de su rol esencial en la planeación, la literatura en tecnologías de visualización no ha evolucionado más allá del uso de SIG (Steinebach y Guhathakurta, 2009). La visualización tridimensional habilita al usuario para sumergirse en los entornos digitales y en el caso de los modelos urbanos la mayoría son generados con herramientas de diseño asistido por computador (Batty, 2008).

En la arquitectura, la ingeniería y la construcción, la información se presenta frecuentemente de manera gráfica mediante modelos que visualizan la configuración espacial de las edificaciones (Yan, 2006); sin embargo, la información gráfica tiene dos limitaciones principales: la primera, que no es suficiente para evaluaciones automatizadas de diseño, y la segunda, la dificultad para ser compartida entre profesionales de las diversas áreas relacionadas.

1.5. Representación 3D

Los SIG han probado que los fenómenos del mundo real pueden ser modelados eficientemente mediante modelos de datos 2D (puntos, líneas, polígonos para vectores y grillas para imágenes); sin embargo, existen situaciones en las cuales se requieren modelos 3D o nD. El desarrollo de modelos 3D es el foco actual de investigación en la comunidad SIG (Kascaemsuppakorn et ál., 2010).

Las principales técnicas de representación de objetos en 3D son: descomposición en celdas (del espacio), barrido (extrusión de formas 2D), teoría de conjuntos (combinación de primitivas 3D) y representación de frontera (o la “piel” de los objetos) (Stroud, 2006). La representación de frontera (*Boundary Representation* [B-Rep]) modela un objeto mediante la combinación de primitivas predefinidas como punto, arco, cara y volumen (Abdul-Rahman and Pilouk, 2008) se representan los objetos utilizando límites. La B-rep es ampliamente utilizada en aplicaciones de diseño asistido por computador (Worboys y Walton, 2008). Las aplicaciones de arquitectura, ingeniería y construcción generalmente manejan sistemas de coordenadas euclidianas locales donde todos los planos son llanos (Herring et ál., 2008).

Con el rápido progreso de los SIG y las tecnologías de la computación ubicua, el espacio con el que se trabaja ya no se limita a los exteriores, sino que se extiende hasta los espacios interiores (Li, 2008). El *Open Geospatial Consortium* ha planteado la creación de un servicio de visualización 3D (W3DS) que permitirá representar y servir escenas tridimensionales o la información deberá ser servida en formato X3D para garantizar compatibilidad con herramientas que soporten este estándar (Kolbe y Schilling, 2010). Los datos CityGML, fuente de los modelos 3D, pueden ser publicados mediante interfaces de servicios web de entidades que, en la actualidad, son ampliamente aceptadas e implementadas por distintos paquetes de *software* (Mas et ál., 2006).

1.6. Interoperabilidad

Se entiende por interoperabilidad la habilidad de dos o más sistemas o componentes de intercambiar y utilizar la información (Kosanke, 2006). La interoperabilidad permite facilitar la costosa práctica de integrar cada sistema existente con cada sistema y versión nuevos (Sciences, 2007). En general, puede ser analizada en diferentes capas de abstracción, las cuales deben ser resueltas para llegar a una interoperabilidad completa (Harmelen, 2008). Dichas capas son: la física, que contempla desde voltajes electrónicos hasta protocolos de comunicación; la sintáctica, que actualmente se basa en lenguajes de marcado, y la semántica, que se preocupa por las categorías y relaciones conceptuales, siendo esta la más compleja.

2. Materiales y métodos

2.1. Interoperabilidad en el dominio de la construcción

2.1.1. El modelo de clases base de la industria

Este es un modelo desarrollado desde 1996 por la Alianza Internacional para la Interoperabilidad para facilitar la interoperabilidad. Fue estandarizado mediante la norma ISO/PAS 16739. Es un modelo semántico para edificaciones y terreno, desarrollado para el dominio de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Un modelo de datos en cualquier dominio describe los atributos de las entidades en ese dominio, al igual que las relaciones existentes entre dichas entidades. Cada industria relacionada con el diseño ha estado desarrollando modelos de datos basados en objetos que son específicos a su dominio.

En el caso de la industria de la construcción, esto se traduce en un modelo de datos que está construido con base en entidades y relaciones. El modelo de datos es rico en información acerca de la edificación y puede utilizarse para propósitos variados, como documentación, visualización o análisis (Khemlani, 2004). El modelo IFC representa no solamente componentes tangibles de las edificaciones, como muros, puertas, vigas, techos, mobiliario, etc., sino que también incluye conceptos más abstractos como planificadores, actividades, espacios, organización, costos, etc. en forma de entidades. Todas las entidades pueden tener un número de propiedades (nombre, geometría, materiales, acabados, relaciones, etc., por ejemplo).

2.1.2. Problemas en el modelado de edificaciones

El intercambio de modelos de edificación presenta una serie de problemas (Jørgensen et ál., 2008). Los involucrados crean y usan diferentes partes de la edificación, las cuales se enfocan en disciplinas distintas. Se manejan diferentes modelos de edificación con diferentes herramientas, y esto puede conducir a datos redundantes y, con frecuencia, se deben actualizar manualmente todos los modelos.

Distintas herramientas de diseño manejan diferentes representaciones de edificaciones y formatos propietarios. El intercambio de archivos, al usar dichos formatos, requiere interfaces de *software*; de lo contrario, se debe repetir trabajo. Siempre existe el riesgo de que las operaciones de mantenimiento sobre datos redundantes lleven a inconsistencias. Muchos recursos pueden perderse innecesariamente al ejecutar trabajo extra cuando se tienen datos inconsistentes.

2.1.3. Clases base de la industria/modelado de información de edificaciones

Los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción usan de manera intensiva las herramientas del diseño asistido por computador para el diseño de edificaciones, debido a la alta complejidad que esta tarea implica. Existe un estudio publicado en 2008 (Kiviniemi et ál., 2008) en el cual se analiza el estado que actualmente se presenta en el campo del diseño de edificaciones basado en el diseño asistido por computador y utilizando BIM.

Se encontró que el BIM está bien establecido entre los vendedores de aplicaciones de diseño asistido por computador, es decir, hay un soporte para este tipo de modelado y este soporte tiende a ser cada vez mayor. Con la aparición

del BIM emergió una nueva oportunidad: la comunicación basada en un modelo para explotar el valor de la información que contiene (Várkonyi, 2009).

La interoperabilidad y el diseño sostenible son discutidos frecuentemente de forma independiente; sin embargo, el valor y el significado del paradigma de interoperabilidad es demostrable más efectivamente cuando se relaciona con estrategias de diseño para la sostenibilidad y la eficiencia energética (Thoo, 2008). Uno de los aspectos más significativos del BIM es su habilidad para capturar la descripción de una edificación en un formato semánticamente inteligente, que puede ser analizado para estudiar diferentes aspectos de desempeño (el uso de energía, por ejemplo), de ahí su correlación natural con las edificaciones verdes (Khemplani, 2007). Las firmas productoras de *software* para diseño asistido por computador se esfuerzan por establecer métodos de colaboración y desarrollo consistentes y confiables, y para estas tareas IFC es el estándar ideal para trabajar con modelos digitales de edificación (Sanders, 2004).

2.2. Interoperabilidad en el dominio geoespacial

2.2.1. Lenguaje de marcado geográfico (GML)

El GML es una codificación de código abierto basada en XML y orientado a la representación de objetos geográficos. Organizado como una jerarquía de fenómenos, colecciones y geometrías, los objetos GML son modelados a semejanza de las entidades del mundo real, caracterizadas por propiedades y estados (Shekar y Xiong, 2008). El GML fue desarrollado y publicado por el Open Geospatial Consortium, una entidad internacional formada por varias organizaciones públicas y privadas. El Open Geospatial adoptó XML como la base para el desarrollo del GML. Al obtener aceptación de la industria, del gobierno y de la academia, la especificación GML ha sido incorporada como documento de la International Organization for Standardization (ISO).

2.2.2. CityGML

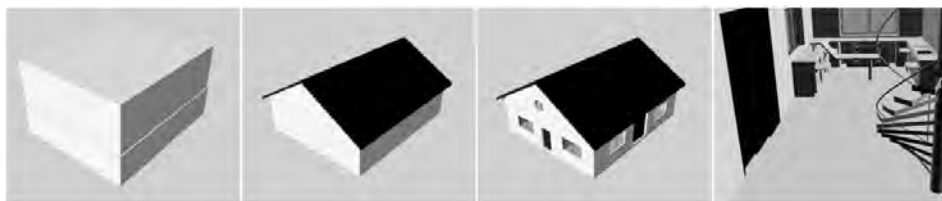
CityGML es un estándar internacional para la representación e intercambio de modelos de paisaje y ciudades 3D, recientemente adoptado por el Open Geospatial Consortium. El modelo de datos detrás de CityGML se basa en la familia de estándares ISO 19100 y fue implementado como un esquema de aplicación para el GML (Kolbe, 2008). El CityGML representa cuatro diferentes aspectos de los modelos virtuales de ciudad 3D, semántica, geometría, topología y apariencia.

La clase base de todas las clases temáticas es la clase abstracta *CityObject*. Los *CityObjects* pueden ser agregados para construir un modelo de ciudad, el cual es una subclase de la superclase *GML FeatureCollection*. La clase pivote del modelo de edificación es *AbstractBuilding*, de la cual se derivan dos clases no abstractas llamadas *Building* y *BuildingPart*.

Al igual que en el GML, las geometrías de IFC son propiedades espaciales de los objetos semánticos. El IFC posee un modelo de geometría muy flexible (representaciones CSG, BRep y Sweep); pero no provee soporte para sistema de coordenadas de referencia. Debido a que el ámbito de IFC está restringido a edificaciones y sitios, no incluye clases de fenómenos topográficos, como terreno, vegetación, cuerpos de agua, etc. IFC es un modelo semántico como CityGML, pero con ámbito y escala diferentes. Los modelos IFC pueden ser convertidos a CityGML con diferentes grados mientras preserve la mayoría de la información semántica. Sin embargo, las geometrías CSG y Sweep deben ser convertidas a BRep. De esta forma, los objetos IFC pueden ser traídos al contexto de modelos de ciudad dentro de SIG o bases de datos espaciales y podrían entonces ser objeto de consultas espaciales y temáticas.

En *CityGML* existen cinco niveles de detalle: LOD0: región geográfica; LOD1: ciudad; LOD2: zona urbana, proyecto; LOD3: modelos arquitectónicos exteriores, y LOD4: modelos arquitectónicos interiores (figura 2).

Figura. 2 Niveles de detalle 1 a 4 en CityGML



Fuente: presentación propia de los autores.

En el nivel 1 se tienen modelos de bloques derivados mediante la extrusión de planos de piso a una altura determinada. El nivel 2 lo constituyen modelos de bloques, incluidas geometrías de techos y alturas diferenciadas dentro de un mismo edificio. El nivel 3 incluye modelos detallados con elementos, por ejemplo, ventanas y puertas. Por último, el nivel 4 incluye elementos como escaleras y detalles interiores (Döllner y Buchholz, 2005). En CityGML existen relaciones explícitas entre la semántica de los objetos y su representación geométrica; de esta forma, las entidades geométricas “saben” lo que son y las entidades

semánticas “saben” dónde están y cuáles son sus extensiones espaciales (Kolbe y Stadler, 2008).

Es claro que la información semántica es altamente beneficiosa, pero solamente si se conoce su relación con la geometría (Stadler y Kolbe, 2007). Para cada dimensión existe una primitiva geométrica: un objeto cero dimensional es un punto; unidimensional, una curva; bidimensional, una superficie, y tridimensional, un sólido (Kolbe et ál., 2008). Los modelos urbanos 3D pueden integrarse en diversos tipos de sistemas de información geográfica y permiten integrar información espacial heterogénea. El sistema resultante puede ser usado efectivamente en el proceso de planeación urbana (Ross et ál., 2009).

2.2.3. Modelo CityGML/BIM

Los modelos de ciudades tridimensionales virtuales como un marco de trabajo general y plataforma para datos espaciales permiten combinar datos BIM con SIG. Mientras que un creciente número de fuentes de geoinformación está disponible, la información detallada acerca de las edificaciones típicamente no es ni administrada, ni representada por los datos SIG. Para mejorar y complementar los modelos de ciudades 3D virtuales al respecto, la información proveniente de sistemas de diseño asistido por computador u otras herramientas de manejo de edificaciones necesita ser integrada y así crean un puente entre los dominios de diseño asistido por computador, SIG y BIM. Para transformar desde BIM hacia CityGML se consideran los siguientes elementos como relevantes (Hagedorn y Döllner, 2007):

- *Building*: una entidad edificación con un identificador especificado.
- *Building part*: componente que detalla la edificación (pisos, techos).
- *Building attributes*: representan parejas de valores nombrados.
- *Boundary surface*: representa el cascarón de la edificación y de los cuartos, por ejemplo, techos, muros exteriores e interiores, superficies de piso, pisos y cielos rasos.
- *Outer building installation*: componente que pertenece al exterior de la edificación, por ejemplo, chimeneas y balcones.
- *Opening*: representa ventanas y puertas en muros.
- *Building interior*: incluye cuartos, mobiliario, instalaciones internas (como escaleras o cañerías).
- *City object grouping*: fenómeno especial del modelo, por ejemplo, para definir pisos enteros.

2.3. Modelos de diseño asistido por computador/SIG/BIM

2.3.1. Transformación de IFC a CityGML

Los modelos IFC que se conviertan a modelos CityGML deben ser georreferenciados. En general, un modelo IFC puede definirse dentro de un sistema de coordenadas arbitrario. Para usar tal modelo dentro de un entorno geográfico virtual tiene que ser transformado al sistema de coordenadas geográficas. De esta forma, las partes internas de la edificación también son georreferenciadas. En cuanto IFC soporta varios tipos de representación de formas (entre ellas BRep), CityGML únicamente provee BRep (Hagedorn y Döllner, 2007). Adicionalmente, un subconjunto de entidades de IFC no pueden ser directamente transformadas (geometrías curvas, cantidades físicas, materiales por capas).

2.3.2. Integración de diseño asistido por computador/SIG/BIM mediante estándares

Las tecnologías geospaciales (SIG, por ejemplo) permiten visualizar y analizar las fronteras externas y características de las entidades naturales y humanas, como edificaciones, vías, caminos, puentes y puertos. Pero muchas actividades requieren además información precisa acerca de las estructuras mencionadas. Un tema recurrente, y aún sin resolver por completo en la comunidad geoespacial, es la habilidad para integrar herramientas de diseño asistido por computador y SIG en un flujo de trabajo uniforme (Bacharach, 2006).

2.3.3. La iniciativa del Open Geospatial Consortium

El Open Geospatial Consortium es la entidad encargada de fijar los estándares de información espacial en el ámbito internacional. Uno de sus programas es el de interoperabilidad, que busca facilitar el intercambio de información geográfica, incluido diseño asistido por computador, SIG y BIM.

Dicha integración busca introducir los conceptos geográficos en BIM, y la pieza fundamental son los servicios web del Open Geospatial Consortium (Snowflake, 2008). El modelo de la edificación se almacena utilizando IFC y es traducido mediante un servicio web de entidades a lenguaje CityGML.

3. Resultados

Los principales desarrolladores de IFC y CityGML están de acuerdo en que esos dos modelos de información son complementarios. Aunque cada uno tiene fortalezas

en su respectiva área, también tienen componentes que se traslapan (Lapierre y Cote, 2008). Teniendo esto en cuenta, existe un gran desafío respecto a métodos que permitan traducir algún conjunto de IFC hacia CityGML, y viceversa.

En la actualidad el formato de interoperabilidad más extendido en el dominio de la arquitectura, la ingeniería y la construcción es IFC. Mientras que IFC es obligadamente un modelo de información de edificaciones, este especifica muy poco de lo concerniente al ambiente físico de la edificación, como vías, terreno, vías peatonales, vegetación, etc. En este aspecto CityGML es un modelo de datos mucho más capaz.

El futuro de la interoperabilidad en los dominios de la arquitectura, la ingeniería y la construcción y SIG involucra la comprensión de cómo se complementan y traslapan IFC y CityGML (Open Geospatial Consortium, 2007) para permitir su transformación e integración.

4. Reflexión

La interoperabilidad es una temática que, día a día, cobra más fuerza en todos los sistemas de información. Gracias a ella se facilita la reutilización de activos de información y se amplían los alcances de los sistemas. Existen diversos métodos de representación de información espacial, así como diversos formatos de representación de modelos de edificaciones. Con el objeto de garantizar una mayor interoperabilidad, es necesario el diseño de la integración de información de los dos dominios (de la arquitectura, al ingeniería y la construcción y SIG) con base en estándares aceptados internacionalmente.

El presente documento analiza el problema de la interoperabilidad entre SIG y arquitectura, ingeniería y construcción con una perspectiva amplia que permite clarificar la solución al problema planteado. Tal solución se basa en un puente que entre IFC y CityGML, el cual facilitará la integración de las comunidades de arquitectura, ingeniería y construcción y SIG y apoyará la creación de servicios geográficos de representación 3D, que actualmente arquitectura, ingeniería y construcción diseñados por el Open Geospatial Consortium.

5. Conclusiones

El modelado de edificaciones se utiliza en el dominio de la arquitectura, ingeniería y construcción como eje central del flujo de trabajo. Allí los modelos pueden ser convertidos a IFC con la finalidad de facilitar su interoperabilidad. En el dominio de los SIG, los modelos de ciudad se basan en GML y, particularmente, en CityGML, que permite representar las entidades que componen un modelo de paisaje urbano e incluso los detalles exteriores e interiores de las edificaciones.

Los modelos semánticos que sirven como base para la interoperabilidad entre arquitectura, ingeniería y construcción y SIG son IFC y CityGML, respectivamente. IFC como fuente de información detallada de edificaciones y CityGML como medio de representación geográfica.

Existe todo un soporte teórico para la integración de diseño asistido por computador, SIG y BIM, y algunas organizaciones como el Open Geospatial Consortium han tomado conciencia de su importancia en todo ámbito. El Open Geospatial Consortium ha planteado crear un servicio de representación de visualización 3D (W3DS) que podría ser beneficiario directo de la transformación entre IFC y CityGML.

El futuro de la interoperabilidad entre los dominios de la arquitectura, ingeniería y construcción con los SIG involucra crear un puente que permita transformar IFC en CityGML. La técnica de representación geométrica común a IFC y a CityGML es la BRep, que utiliza el cascarón de los objetos para delimitarlos. Entonces, para convertir modelos de edificación es necesario traducir las geometrías IFC de cualquier tipo a geometrías BRep de CityGML.

Al transformar IFC a CityGML se deben agregar coordenadas geográficas, puesto que por defecto no se tienen. De igual forma es necesario comprender las entidades que componen cada estándar para entender cómo se complementan o traslapan.

Referencias

- ABDUL-RAHMAN, A. y PILOUK, M. *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. París: Springer, 2008.
- AKIN, O. Current Trends and Future Directions in CAD. En *CAD and GIS Integration*. s. l.: CRC Press, 2010, pp. 1-21.
- BACHARACH, S. NextCAD/GIS/BIM Integration through Standards. En *GIS Development*. s. d., 2006.
- BASANOW, J.; NEIS, P.; NEUBAUER, S.; SCHILLING, A. y ZIPE, A. Towards 3D Spatial Data Infrastructures (3D-SDI) based on open standards – experiences, results and future issues. En *Advances in 3D Geoinformation Systems*. New York: Springer, 2008, pp. 65-86.
- BATTY, M. *Virtual reality in geographic information systems*. New York: Blackwell Publishing, 2008.
- CAMPBELL, D. A. *Building Information Modeling: The Web3D Application for AEC*. New York: ACM, 2007.
- DODGE, M.; MCDERBY, M. y TURNER, M. The Visual City. En *Geographic Visualization*. New York: JohnWiley & Sons, 2008.
- DÖLLNER, J. y BUCHHOLZ, H. *Continuous Level-of-Detail Modeling of Buildings in 3D City Models*. New York: ACM, 2005.

- DUHR, S.; BATES-BRKLJAC, N. y COUNSELL, J. Public digital collaboration in planning. En *Cooperative design, visualization, and engineering*. New York: Springer, 2005, pp. 186-193.
- GARBER, R. Optimisation stories - the impact of building information modelling on contemporary design practice. En *Closing the gap - information models in contemporary design practice*. New York: John Wiley & Sons, 2009, pp. 6-13.
- HAGEDORN, B. y DÖLLNER, J. High-level web service for 3D building information visualization and analysis. En *Proceedings of the 15th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*. New York: ACM SIG, 2007.
- HAGEDORN, B. y DÖLLNER, J. *Integrating urban GIS, CAD, and BIM Data by service-based virtual 3D city models*. Postdam: University of Potsdam, 2007.
- HARMELEN, F. V. Semantic web technologies as the foundation for the information infrastructure. En *Creating spatial information infrastructures towards the spatial semantic web*. s. l.: CRC Press, 2008, pp. 38-40.
- HERRING, J. R.; SHARMA, J.; KOTHURI, R. V. y RAVADA, S. Geometry semantics in spatial information. En *Creating spatial information infrastructures: Towards the spatial semantic web*. s. l.: CRC Press, 2008, p. 24.
- IAI. *IFC Release 2.0 - Object Hierarchy Chart*. s. l.: IAI, 1999.
- JØRGENSEN, K. A.; SKAUGE, J.; CHRISTIANSSON, P.; SVIDT, K.; SØRENSEN, K. B. y MITCHELL, J. *use of IFC model servers - modelling collaboration possibilities in practice*. Copenhagen: Aalborg University, 2008.
- KASCCAEMSUPPAKORN, P.; ROONGPIBOONSOPIT, D. y KARIMI, H.A. Current trends and future directions in GIS. En *CAD and GIS Integration*. s. l.: CRC Press, 2010, pp. 40-41.
- KHEMLANI, L. *The IFC building model - a look under the hood*. s. l.: AECbytes, 2004.
- KHEMLANI, L. *Bentley's "BIM for Green Buildings"*. s. l.: AECbytes, 2007.
- KIVINIEMI, A.; TARANDI, V.; KARLSHØJ, J.; BELL, H. y OLE, J. K. *Review of the development and implementation of IFC compatible BIM*. s. l.: Erabuild, 2008, pp. 11-44, 101, 116, 121-124.
- KIZILTAS, S.; LEITE, F.; AKINCI, B. y LIPMAN, R. R. Interoperable methodologies and techniques in CAD. En *CAD and GIS Integration*. s. l.: CRC Press, 2010, pp. 94-95.
- KOLBE, T. H. Representing and exchanging 3D city models with CityGML. En *3D geo-information sciences*. Berlin: Springer, 2008, pp. 15-31.
- KOLBE, T. H.; GROGER, G. y PLUMER, L. CityGML - 3D city models and their potential for emergency response. En *Geospatial information technology for emergency response*. s. l.: Taylor & Francis Group, 2008.
- KOLBE, T. H. y SCHILLING, A. *Draft for Candidate OpenGIS® Web 3D Service Interface Standard*. s. d., 2010, pp. ix-x, 6.
- KOLBE, T. H. y STADLER, A. *CityGML - Modelling our environment*. Berlin: Technische Universität Berlin, 2008.

- KOSANKE, K. *ISO standards for interoperability: a comparison*. Berlin: Springer, 2006.
- KYMMELL, W. *Building information modeling*. New York: McGraw-Hill, 2008.
- LAPIERRE, A. y COTE, P. Using open web services for urban data management: A testbed resulting from an OGC initiative for offering standard CAD/GIS/BIM services. En *Urban and regional data management*. s. l.: Taylor & Francis Group, 2008, pp. 381-393.
- LI, K.-J. Indoor space: a new notion of space. En *Web and wireless geographical information systems*. Berlin: Springer, 2008.
- MAS, S.; REINHARDT, W. y WANG, F. Conception of a 3D geodata web service for the support of indoor navigation. En *Innovations in 3D geo information systems*. Berlin: Springer, 2006.
- OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *Web Services Architecture for CAD GIS and BIM*. s. l., 2007.
- OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *OGC Web Services Initiative - Phase 5 (OWS-5) Annex B OWS-5 Architecture*. s. l., 2007.
- PÉREZ, J. N. y RODRÍGUEZ, J. I. Aplicabilidad del modelo de información de edificios en el ámbito geoespacial para apoyar el Plan Maestro de Desarrollo Físico y Tecnológico de la Universidad Distrital. *Ingeniería*. 2009, vol. 14, núm. 1, pp. 18-24.
- ROSS, L.; BOLLING, J.; DOLLNER, J. y KLEINSCHMIT, B. Enhancing 3D City Models with Heterogeneous Spatial Information - Towards 3D Land Information Systems. *Advances in GIScience*. New York: Springer, 2009, pp. 113-133.
- SANDERS, K. Why building information modeling isn't working ... yet. *Architectural Record*. 2004, vol. 192, pp. 181-182.
- SCIENCES, N. I. O. B. *United States National Building Information Modeling Standard*. s. d., 2007, p. 47.
- SHARPLES, C. Unified frontiers reaching out with BIM. En *Closing the gap - information models in contemporary design practice*. New York: John Wiley & Sons, 2009, pp. 42-47.
- SHEKAR, S. y XIONG, H. *Encyclopedia of GIS*. Berlin: Springer, 2008.
- SHELDEN, D. Information modelling as a paradigm shift. En *Closing the gap - information models in contemporary design practice*. New York: John Wiley & Sons, 2009, pp. 80-83.
- SNOWFLAKE. *Serving CityGML via Web Feature Services in the OGC Web Services - Phase 4 Testbed*. Snowflake Software, 2008.
- STADLER, A. y KOLBE, T. H. Spatio-semantic coherence in the integration of 3d city models. En *5th International Symposium for Spatial Data Quality*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente, 2007, pp. 2-3.
- STEINEBACH, G. y GUHATHAKURTA, S. *Visualizing sustainable planning*. Berlin: Springer, 2009.
- STROUD, I. *Boundary representation modelling techniques*. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- THOO, S. *Interoperability and sustainable design*. s. l.: AECbytes, 2008.
- VÁRKONYI, V. Interdisciplinary collaboration strategies in the age of BIM. s. l.: AECbytes, 2009.

WILSON, P. R. *Step y express*. s. d., 1998.

WIX, J. IFC for GIS. En *buldingSMART*, 2006, vol. 2009.

WOOLLEY, T.; KIMMINS, S.; HARRISON, P. y HARRISON, R. *Green building handbook*. s. l.: Spon Press, 1997, vol. 1, pp. 6-7.

WORBOYS, M. y WALTON, L. *Towards a model of indoor space*. Maine: University of Maine, 2008.

YAN, W. *Integrating web 2D and 3D technologies for architectural visualization*. Columbia: ACM, 2006.

YUDELSON, J. *Green building A to Z, understanding the language of green building*. s. l.: New Society Publishers, 2007.

YUDELSON, J. *Green building through integrated design*. New York: McGraw-Hill, 2009.