

GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS URBANOS 3D A PARTIR DE CARTOGRAFÍA 2D

Hernández Rodríguez, F.

Bravo Aranda, G. ^(P)

Martín Navarro, A.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros – Universidad de Sevilla

Abstract

During the last few years, there has been an always increasing interest in 3D virtual city models, because of the benefits of these models in many areas of application, including: (1) Architecture, civil engineering and urban planning, for which 3D city models are a very valuable instrument for communication and decision-making; (2) Analysis and simulation of environmental processes and natural disasters in the urban environment (propagation of environmental and noise pollution, flood and earthquake simulation for impact evaluation, etc); and (3) Tourism and other municipal services that can be provided by local governments and utilities through Web portals.

Geographical Information Systems (GIS) are usually used for storing, managing and analysing geographical information, but geometric information in these environments is basically 2D. As a result of the widespread utilization of GIS in municipalities, geographical data bases for many cities are now available in digital format.

In the context of the SIGMUS research and development project (SIGMUS is an acronym of the Spanish translation of Integral System for Municipal Management through a Service Oriented Architecture), we have developed a prototype computer program for generating 3D virtual urban models from the information available in GIS' geographical data bases. In the paper, we describe the development of this computer system and explain the characteristics of the generated 3D models.

Keywords: *3D virtual urban models, GIS, Municipal Engineering*

Resumen

En los últimos años se observa un interés creciente en los modelos de ciudades virtuales 3D. Este interés tiene su origen en las posibilidades que ofrece este tipo de modelos en múltiples áreas de aplicación: (1) Elaboración de proyectos de arquitectura, urbanismo e ingeniería civil, en los que los modelos virtuales 3D constituyen un instrumento muy útil en la evaluación y toma de decisiones; (2) Análisis y simulación de diversos fenómenos y situaciones de emergencia en el entorno urbano (telecomunicaciones móviles, propagación de contaminantes y del ruido, inundaciones y terremotos, etc.); y (3) Aplicación de estos modelos en turismo y otros servicios que los ayuntamientos y empresas municipales pueden prestar a través de portales en la Web.

Tradicionalmente, se han utilizado Sistemas de Información Geográfica (SIG) para mantener, gestionar y explotar información geográfica, pero estos entornos son básicamente

2D. La profusa utilización de los SIG's en el ámbito municipal ha dictado que en la actualidad se disponga, para muchas ciudades, de bases de datos cartográficas.

En el ámbito del proyecto SIGMUS (Sistema Integral de Gestión MUunicipal mediante arquitectura orientada a Servicios) hemos desarrollado un sistema informático prototipo para obtener modelos urbanos virtuales 3D a partir de la información disponible en la base cartográfica de un SIG. En el artículo describimos el desarrollo de este sistema y explicamos los modelos que pueden obtenerse.

Palabras clave: Modelos Virtuales Urbanos 3D, SIG, Ingeniería Municipal

1. Introducción

El sistema informático que se ha desarrollado permite automatizar el proceso de conversión de bases de información urbana 2D en modelos urbanos virtuales 3D. El proceso de conversión ideado toma como información de entrada la procedente de la base de datos cartográfica de un SIG para gestión municipal. El resultado del procesamiento que lleva a cabo el convertidor desarrollado es un modelo urbano virtual en tres dimensiones, expresado de acuerdo con la especificación estándar CityGML (CityGML, 2008)).

Las razones que sustentan la elección de CityGML como formato de representación digital de los modelos de datos urbanos resultantes son: (1) CityGML es un modelo de información abierto y extensible, que proporciona una colección de esquemas XML para el almacenamiento e intercambio de modelos urbanos virtuales 3D; (2) CityGML es, desde agosto de 2008, un estándar oficial del Open Geospatial Consortium (OGC) y está basado en el lenguaje GML3 (GML o Geography Markup Language es el estándar internacional para intercambio de datos espaciales emitido por el OGC y el comité ISO/TC211) (GML, 2007; Lake, 2004); (3) se trata, por tanto, de un modelo de información diseñado para ser compartido y utilizado por diferentes aplicaciones con el fin de prestar servicios geoespaciales sobre la Web; y (4) a estas consideraciones se unen otras de índole práctica, pues, por tratarse de una especificación estándar, ya es posible utilizar herramientas y aplicaciones que operan sobre estos modelos de datos urbanos, como es el caso de los visualizadores de bases de datos CityGML ya disponibles en el mercado, que permiten visualizar modelos urbanos virtuales 3D y navegar a través de ellos, y que han sido muy útiles en el desarrollo de los trabajos.

El artículo se estructura en los apartados que se describen a continuación. El segundo apartado está dedicado a la descripción del convertidor como una caja negra: datos que pueden constituir la información de entrada al convertidor e información de salida, ésta última referida al modelo urbano 3D resultante y sus características principales. El tercer apartado tiene por objeto explicar algunos elementos que son básicos para entender el procesamiento de la información que lleva a cabo el convertidor, como son: la estructura de datos interna utilizada para representar el relieve del terreno (Modelo Digital del Terreno o MDT); la generación de las denominadas Curvas de Intersección con el Terreno (a las que se hace referencia como TIC en el artículo); una clasificación abstracta de los objetos urbanos, atendiendo al procesamiento que es necesario llevar a cabo para obtener su representación 3D; y la descripción del procedimiento general que sigue el programa. Finalmente, el cuarto apartado presenta algunos ejemplos ilustrativos de los modelos virtuales urbanos 3D obtenidos por el convertidor.

2. Descripción funcional del convertidor

En este apartado se describen los datos de entrada y la información que constituye los modelos urbanos obtenidos por el convertidor

2.1 Información de entrada

Específicamente, es necesario disponer, por una parte, de la información que describe el relieve del terreno (en la base de datos del SIG, éste viene usualmente definido mediante curvas de nivel y puntos de cota conocida) y, por otro lado, de la información que define la geometría en dos dimensiones para cada fenómeno considerado más los atributos temáticos que proporcionan datos sobre la tercera dimensión del fenómeno (por ejemplo, la altura de un muro o el número de plantas de un edificio). Algunos de estos últimos datos pueden obtenerse de otras fuentes que están disponibles, como por ejemplo de las bases de cartografía del Catastro.

La información relativa al relieve del terreno se define mediante una superficie triangulada que sirve de base a los distintos objetos urbanos contemplados, y para la que se utiliza el formato proporcionado por el propio CityGML. Hemos elegido para este fin una red triangulada irregular o TIN (acrónimo de Triangulated Irregular Network) porque es la más común y como tal muchos sistemas GIS comerciales ofrecen la posibilidad de obtener este tipo de superficie a partir de un conjunto de puntos de coordenadas conocidas. De este modo, la superficie física del terreno se representa a partir de nodos (puntos de coordenadas x , y , z conocidas) irregularmente distribuidos y de aristas que conectan pares de nodos cercanos, que componen una red de triángulos adyacentes, que no se solapan entre sí. Una TIN representa la superficie del terreno mediante una teselación triangular y dentro de cada triángulo la superficie se aproxima como plana. Este hecho facilita sensiblemente el tratamiento analítico necesario para generar las curvas de intersección con el terreno; es decir, la posición de los puntos en que cada objeto urbano toca o se apoya en el terreno. La superficie representada por la TIN que el convertidor espera como información de entrada corresponde a la superficie del terreno natural, en las zonas no urbanizadas, y en las zonas urbanizadas, a la rasante final de la calzada de calles, plazas, etc. De este modo, el convertidor parte de una superficie que es la base sobre la que es posible situar y "levantar" zonas pavimentadas de nivel más alto, como son las de acerado, y, sobre estas últimas en su caso, edificios u otros elementos urbanos.

Por otro lado, el convertidor espera también la información correspondiente a los distintos objetos urbanos que formarán el modelo virtual resultante. El formato de los datos de entrada de estos objetos, que provienen del SIG para gestión municipal, ha de ajustarse a un esquema de aplicación XML que se ha definido para este fin. Dada la enorme variedad de tipos de objetos que pueden encontrarse en el entorno urbano, se ha optado por una solución de compromiso que, por una parte, incluye a los que podríamos considerar fenómenos u objetos principales o básicos: edificios, viales (aceras y calzada) y zonas dedicadas a distintos usos; y, por otra, considera únicamente un grupo representativo de los muchos fenómenos secundarios que pueden presentarse; esto es, un grupo reducido de fenómenos cuyo tratamiento pueda extrapolarse al requerido por otros tipos de objetos similares. Finalmente, durante el desarrollo del prototipo y realización de las primeras pruebas del mismo, se ha visto la conveniencia de incluir algunos objetos auxiliares que se utilizan como medios que permiten construir con su concurso otros objetos urbanos.

Siguiendo el esquema que es habitual en los SIG, los fenómenos contemplados se clasifican en tres categorías: superficiales, lineales y puntuales. La información geométrica proveniente del SIG para los objetos urbanos superficiales consiste en uno o más polígonos definidos cada uno de ellos mediante las coordenadas de sus vértices: (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , ..., (x_n, y_n) , (x_1, y_1) . Esta línea poligonal cerrada representa la proyección sobre un plano horizontal de la TIC del objeto. Los tipos de objetos superficiales que se han incluido son: Edificio, para edificios de todo tipo y uso (el programa espera como dato adicional la altura en metros del edificio, que se supone medida respecto al punto más alto de la TIC del mismo); Construcción Cilíndrica, para edificios y todo tipo de construcciones de planta

circular y forma cilíndrica; Acerado, para las zonas pavimentadas, normalmente algo elevadas respecto a la calzada de los viales; Uso del suelo, para zonas dedicadas a distintos usos; Lago, para lagos, lagunas y otras masas de agua en reposo sobre el terreno; y Bosque, para zonas dedicadas a bosque o arbolado.

La información geométrica proveniente del SIG para los objetos urbanos lineales consiste en una polilínea definida mediante las coordenadas de sus vértices: (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , ..., (x_n, y_n) , que representa la proyección sobre un plano horizontal del eje del elemento lineal. Los tipos de objetos lineales que se han considerado son: Muro, para muros de espesor uniforme, cuyo eje proyectado sobre un plano horizontal esté definido mediante una polilínea, limitado por paramentos verticales paralelos y una superficie de cierre superior horizontal; Muro Circular, para muros de espesor uniforme cuyo eje proyectado sobre un plano horizontal esté definido mediante una circunferencia; Alineamiento de árboles, para conjuntos de árboles que se sitúan equidistantes sobre una polilínea; Alineamiento de objetos prototípicos, para conjuntos de objetos prototípicos que se sitúan equidistantes sobre una polilínea; Carretera, para la calzada de carreteras y viales de ancho constante.

La característica geométrica común a los objetos urbanos puntuales es que su posición en proyección horizontal queda definida por un punto de coordenadas (x, y) , que normalmente es toda la información geométrica que puede obtenerse del SIG para los mismos. Los objetos puntuales se ajustan en general a la definición geométrica dada a través de un objeto prototipo en un sistema de ejes locales. Un objeto puntual particular se obtiene realizando una copia del objeto prototipo, que se sitúa haciendo coincidir un punto determinado del objeto prototipo (punto de anclaje) con el TIP del punto dato que especifica la posición de ese objeto puntual (Las siglas TIP son el acrónimo de Terrain Intersection Point. El TIP de un punto de coordenadas (x, y) se obtiene como la proyección vertical de ese punto sobre la superficie del terreno o de la zona pavimentada sobre la que ha de ir situado el objeto). Además de esto, lo habitual es que la copia se sitúe de forma que el eje z local coincida con el eje Z global, y cuando el objeto no tiene simetría respecto a dicho eje y debe tener una orientación determinada, fijando dicha orientación como una rotación alrededor del mismo eje. Los objetos puntuales que se han considerado son: Objeto Prototípico, para distintos tipos de objetos urbanos, como son elementos de mobiliario urbano, árboles, y otros tipos de objetos que sirven para adornar los modelos (por ejemplo, automóviles, personas, etc.), para los que ha sido posible conseguir externamente definiciones geométricas en formatos estándares (WRL, VRML); Árbol, para árboles aislados que esquemáticamente representan a un "pino canadiense"; Farola, para un modelo concreto de este tipo de objetos urbanos; Tapa de Registro, para tapas de pozos de registro, como por ejemplo tapas de pozos de registro del sistema de alcantarillado (la característica distintiva de estos elementos es que van "pegados" sobre la superficie del terreno).

El programa admite también como objetos de entrada algunos elementos auxiliares que pueden utilizarse como componentes para construir objetos urbanos más complejos: Superficie a Nivel, para superficies planas situadas a una cierta cota sobre el terreno; Circulo a nivel, es un caso particular de superficie a nivel en el que la forma de la superficie es circular; Agrupación de objetos, que no es un objeto urbano de un tipo determinado, sino más bien un mecanismo para agrupar objetos de los tipos anteriores, de modo que el conjunto forme un solo objeto con una identidad y semántica propias.

Finalmente, es posible asociar con un objeto o con cada superficie de éste un cierto aspecto material o textura que le den una apariencia realista. Para este fin es necesario proporcionar los datos que permiten asociar las superficies de un objeto con las propiedades materiales o imágenes que definen las texturas. En este sentido, para cada uno de los objetos de las

clases descritas anteriormente, el programa espera como dato opcional una referencia al tipo de apariencia que le es aplicable, y el fichero de entrada puede contener objetos de tipo textura que mantienen la relación entre un tipo de apariencia y los ficheros que contienen las imágenes raster de las texturas. Entre los datos de entrada al programa pueden incluirse objetos de tipo textura.

2.2 Información de salida

La definición geométrica tridimensional de los objetos urbanos es obtenida de forma automática por el programa a partir básicamente de los datos que para los mismos están disponibles en el SIG. Dado que la información geométrica disponible es necesariamente muy limitada (por ejemplo, para un edificio se puede disponer únicamente de una línea cerrada que represente su contorno en planta y, en todo caso, como valor de un atributo, de su altura o número de plantas), el modelo 3D que puede obtenerse de forma automática ha de ser por fuerza sencillo (en el caso del edificio, una representación tridimensional definida a través de las superficies que lo limitan: fachadas verticales y azotea horizontal, a las que es posible aplicar imágenes que les confieran un aspecto realista). Por otra parte, cuando en el SIG 2D no estén disponibles los datos más elementales de la tercera dimensión, caben dos posibilidades: (1) obtener el dato de otra fuente (esto es lo que habría que hacer en el caso de no disponer de la altura o número de plantas de los edificios, si se quiere que el modelo resultante se asemeje al menos de forma básica a la realidad); o (2) adoptar, cuando sea razonable, un valor estándar por defecto para dicho dato o una definición estándar para el objeto (por ejemplo, adoptar para la altura de las aceras un valor por defecto de 20 centímetros). Estas dos opciones han de ser articuladas aunque sólo sea con el fin de que el proceso de conversión no se vea interrumpido por la falta de información.

La información que se obtiene al ejecutar el convertidor sobre un conjunto de datos procedentes del SIG es el correspondiente modelo urbano virtual 3D, expresado de acuerdo con la especificación estándar CityGML. Por tratarse de un modelo de datos abierto, la descripción de las características del modelo resultante puede realizarse haciendo referencia a aquellos elementos del estándar que son utilizados por los distintos tipos de objetos urbanos. De este modo, en este apartado se detallan diversos aspectos de los objetos del modelo. Concretamente, para cada tipo de objeto urbano considerado, se indica: (1) la clase de objetos CityGML utilizada para definirlo; (2) el nivel de detalle que se obtiene; (3) si se trata de un objeto cuya geometría es generada por el convertidor (G) o está predefinida (P), cuando se trata de un objeto prototípico; (4) el tipo de objeto geométrico que se emplea para representar su geometría; y (5) los elementos empleados para conferir apariencia realista a los objetos. La tabla 1 recoge los aspectos enumerados.

Tipo de objeto urbano	(1) Clase CityGML	(2) Nivel de detalle	(3) Geometría [Generada] [Predefinida]	(4) Geometría 3D	(5) Apariencia
usoDelSuelo	landUse	0-1	G	MultiSurface (CompositeSurface)	ParameterizedTexture
acerado	TransportationComplex (Road)	0-1	G	MultiSurface (compositeSurface)	parameterizedTexture
edificio	Building	0-1	G	Solid CompositeSolid	ParameterizedTexture
muro	Building	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
muroCircular	Building	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
carretera	TransportationComplex (Road)	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture

Tipo de objeto urbano	(1) Clase CityGML	(2) Nivel de detalle	(3) Geometría [Generada] [Preddefinida]	(4) Geometría 3D	(5) Apariencia
lago	WaterBody	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
bosque	VegetationObject (PlantCover)	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
construccionCilindrica	Building	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
bibliotecaPrototipica	--	--			
objetoPrototípico	CityFurniture GenericObject VegetationObject (solitaryVegetationObject)	0-4	P	ImplicitGeometry	--
alineamientoObjetoPrototípico	VegetationObject (solitaryVegetationObject)	0-4	P	ImplicitGeometry	--
agrupacionObjetos	CityObjectGroup	--	--	--	--
referenciaExterna	ExternalReference	--	--	--	--
arbol	SolitaryVegetationObject	1	G	MultiSurface (CompositeSurface)	X3DMaterial
alineamientoArboles	-VegetationObject (solitaryVegetationObject) -Appearance (x3dmaterial)	0-1	G	MultiSurface	X3dmaterial
farola	CityFurniture	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
tapaRegistro	CityFurniture	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
superficieAnivel	Building	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
circuloAnivel	Building	0-1	G	MultiSurface	ParameterizedTexture
textura	Appearance (ParameterizedTexture)	--	--	--	--
[TIN]	_ReliefComponent (TINRelief)	0-4	G	TriangulatedSurface	

Tabla 1. Correspondencia entre los objetos urbanos considerados y CityGML

Los resultados del procesamiento del convertidor se almacenan en un fichero en el que la información se codifica de acuerdo con el formato XML que proporciona el propio CityGML. Este formato estándar puede ser directamente interpretado por diversas aplicaciones software, entre las que cabe destacar, por la importancia que ha tenido su utilización en este proyecto, los visualizadores comerciales de modelos urbanos virtuales 3D. De nuevo, los detalles de este formato pueden encontrarse en la documentación de CityGML.

3. Procesamiento de la información.

Esta parte del artículo tiene por objeto explicar el procesamiento de la información que permite obtener modelos urbanos virtuales 3D. La presentación del procesamiento necesario se ha organizado en cuatro subapartados.

3.1 Estructura de datos interna para el MDT.

En este apartado se analiza la estructura de datos que el convertidor utiliza internamente para representar el relieve del terreno. Como ya hemos indicado, el relieve del terreno se define mediante una Red Irregular de Triángulos (TIN), que es el modelo digital del terreno (MDT) más habitual. La TIN está formada por triángulos. Cada triángulo queda definido por tres aristas y cada una de estas aristas conecta dos vértices concretos. Una arista es

compartida por dos triángulos vecinos, salvo en el caso de triángulos situados donde acaba la TIN.

El convertidor guarda, como una lista ordenada, el conjunto de vértices de la TIN, almacenando un identificador para cada vértice y las tres coordenadas del punto. Por otro lado, se almacenan, también como listas separadas, el conjunto de aristas y el conjunto de triángulos de la TIN. Para representar las conectividades entre triángulos vecinos se hace uso de una estructura de tipo grafo, en la que: (1) cada uno de los triángulos que componen la TIN constituye un nodo del grafo; (2) cada una de las aristas de un triángulo constituye un arco del grafo, que parte del triángulo (nodo) actual y apunta hacia el triángulo (nodo) vecino por dicha arista; y (3) el grafo resultante será un grafo en el que cada uno de sus nodos tiene tres arcos (pues es vecino de tres triángulos, uno por arista, salvo los que están en el borde o límite de la TIN, que sólo tendrán uno o dos arcos).

Todas estas estructuras de datos se construyen una vez leído el fichero que contiene los datos de la TIN, y se mantienen en memoria con objeto de posibilitar el cálculo de la posición sobre la TIN de puntos, segmentos y polígonos que constituyen los datos geométricos de los objetos; es decir, para hacer posible el cálculo de las curvas de intersección con el terreno de los objetos (TICs).

3.2 Generación de las Curvas de Intersección con el Terreno

Un concepto crucial dentro del modelado virtual de ciudades es la correcta integración de los objetos 3D y el terreno. El problema que puede presentarse es que los objetos 3D floten sobre el terreno o estén hundidos en el mismo. Para solucionar este problema, se introduce el concepto de curva de intersección con el terreno de un objeto 3D (en inglés, Terrain Intersection Curve o TIC). Estas curvas definen la posición exacta en la que el objeto 3D toca al terreno. Por ejemplo, la información geométrica de entrada al convertidor de un edificio está formada por uno o más polígonos cerrados definidos por las coordenadas 2D de sus vértices. Un paso fundamental en el procesamiento será calcular la coordenada z de esos puntos en su situación sobre el MDT y, a partir de estas coordenadas, obtener los segmentos en 3D que corresponden a esos polígonos sobre el MDT o TIC del edificio. La TIC asegura, pues, tanto el posicionamiento exacto del objeto en el MDT como el correcto ajuste de texturas.

3.3 Clasificación de los objetos.

Ya en las fases iniciales de desarrollo del convertidor se planteó la conveniencia de elaborar una clasificación de los objetos urbanos atendiendo al tratamiento de la información necesario para obtener su representación geométrica 3D, con el fin de estructurar racionalmente y así simplificar las funcionalidades del convertidor. Se trata de una clasificación diferente de la temática, pues, de acuerdo con este criterio, clases de fenómenos de distintos módulos temáticos pueden requerir un procesamiento análogo de los datos procedentes del SIG para obtener finalmente su definición geométrica 3D. Por ejemplo, el tratamiento requerido por un árbol aislado, que corresponde a la clase CityGML SolitaryVegetationObject, y por una farola, que sería un objeto de la clase CityGML CityFurniture, cuando están definidos como objetos prototípicos a través de geometría implícita, sería el mismo.

Desde este punto de vista, los fenómenos se han clasificado en los siguientes tipos:

1. Fenómenos Puntuales, que se subclasifican en: Fenómeno Puntual 3D y Fenómeno Puntual Plano;
2. Fenómenos Lineales, que se subclasifican en: Fenómeno Lineal 3D Continuo, Fenómeno Lineal 3D Discreto (Regularmente distribuido o Irregularmente distribuido), Fenómeno Lineal Plano (que puede ser Continuo o Discreto); y

3. Fenómenos Superficiales, que se subclasifican en: Fenómeno Superficial 3D, Fenómeno Superficial Offset, Fenómeno Superficial Discreto, Fenómeno Superficial Plano, y Fenómeno Superficial Tipo Lámina.

3.4 Proceso general del convertidor CityConverter V2.0

En este subapartado se describen las fases que conforman el proceso global que realiza el convertidor, sin entrar en los detalles internos de cada fase. Estas fases son:

- a) La aplicación recibe del usuario los nombres y rutas de acceso de los dos ficheros que contienen los datos procedentes del SIG, uno para la TIN y otro que incluye los objetos urbanos y los objetos de tipo textura que definen su aspecto.
- b) La aplicación crea un objeto contenedor de la clase CityModel, con el fin de almacenar todos los objetos urbanos que se van a ir construyendo.
- c) La aplicación lee el fichero correspondiente a la TIN, verifica su integridad y almacena los datos relativos a la misma como un objeto del mismo tipo en el contenedor. Una vez leída esta información, se procesa para obtener la estructura de datos interna descrita en el subapartado 3.1: listas ordenadas de vértices, aristas y triángulos de la TIN más el grafo de conectividades de la misma.
- d) Se lee de una vez el fichero de datos de los objetos urbanos, verificando su integridad y se almacenan sus elementos en una estructura de datos interna de la aplicación de tipo Array.
- e) Se examina el array para extraer los elementos de tipo textura que son almacenados en una estructura de datos propia, ordenándolos de acuerdo con el tipo e identificador del objeto destino. Se comprueba si está presente alguna textura para la TIN y, de ser el caso, se aplica a cada uno de los triángulos que la componen.
- f) Se construyen los objetos CityGML que formarán el modelo virtual, siguiendo una secuencia lógica que ordena, en la medida de lo posible, la determinación de la definición geométrica 3D de los objetos. De este modo, se construyen primero los objetos que están “pegados” al suelo (fenómenos superficiales planos); se procede a continuación con los que van situados inmediatamente sobre la superficie del terreno, como son las zonas de acerado (fenómenos superficiales Offset, que se caracterizan por tener una superficie superior de cierre que se mantiene paralela a la superficie del terreno); y se continúa con los objetos que van situados sobre los anteriores, como puede ser el caso de los edificios, muros, etc; para terminar con los objetos puntuales prototípicos o puntuales de geometría generada, como pueden ser árboles, farolas, etc. Como puede entenderse, el orden del proceso constructivo es muy importante, puesto que es necesario reconocer si un objeto se encuentra sobre otro(s), para evitar los conflictos que pueden producirse por ocupar un objeto indebidamente una región del espacio ocupada previamente por otro (hay que tener presente que la información geométrica dato que procede del SIG es básicamente 2D).
- g) El proceso constructivo de cada uno de los objetos urbanos 3D supone: (1) leer sus datos: identificador, geometría 2D (polígono, polilínea o punto) y su altura; (2) verificar si se encuentra sobre algún otro objeto previamente construido; (3) obtener la TIC del objeto (en general, una polilínea 3D que irá situada sobre la superficie de apoyo del objeto); (4) a partir de la TIC y del dato de altura, se obtienen las superficies 3D que limitan lateral y superiormente al objeto; (5) si existe referencia a texturas, se construye un objeto de apariencia por cada una de las caras del objeto que apunta a su correspondiente textura; (6) finalmente, se almacena la definición obtenida para el objeto de acuerdo con la especificación CityGML. Este proceso, con

algunas particularidades, es el que sigue el programa para usos del suelo, zonas de acerado, carreteras, edificios, muros, bosques, etc. Los objetos puntuales prototípicos se definen haciendo referencia a una definición geométrica externa (geometría implícita) y proporcionando las coordenadas del punto de anclaje (TIP del punto 2D dato) y una matriz de transformación, generalmente usada para orientar al objeto respecto al eje z).

4. Ejemplos ilustrativos de los modelos virtuales

A continuación se muestran algunas imágenes de los resultados obtenidos mediante el convertidor desarrollado.

La figura 1 ilustra un entorno urbano de tamaño reducido en el que se han aplicado texturas al terreno, edificios, acerado, farolas, etc. Asimismo, se han agrupado distintos elementos para constituir un único objeto desde el punto de vista semántico (un polideportivo), formado a partir de una superficie a nivel y un muro. El ejemplo también incluye un elemento lineal carretera, que se muestra en el mismo.



Figura 1

La figura 2, por otra parte, ilustra el uso de elementos con geometría predefinida u objetos prototípicos. En la imagen se pueden observar tanto árboles (elementos de tipo vegetación) como un animal (elementos genéricos). Ambos objetos se han conseguido externamente en formato WRL.

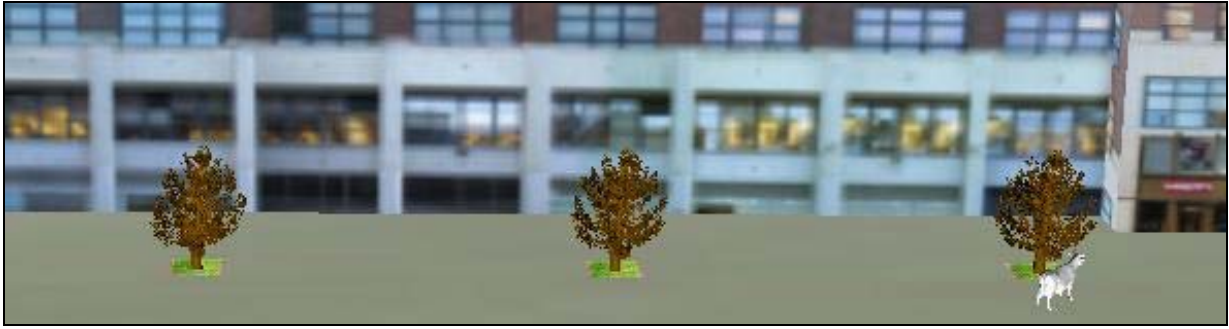


Figura 2

Por último, la figuras 3 y 4 muestran un edificio complejo creado a partir de varios componentes. En la figura 3 se aprecian las diferentes alturas de los distintos cuerpos del edificio, mientras que en la figura 4 se aprecia un detalle del mismo.



Figura 3



Figura 4

5. Conclusiones

En este artículo se ha descrito un mecanismo para generar de forma “automática” modelos urbanos virtuales 3D a partir de cartografía 2D. Como aspectos más relevantes del sistema desarrollado, cabe mencionar:

- a) El convertidor únicamente requiere como información de entrada un MDT y la cartografía 2D del área de interés; en la actualidad, es fácil obtener esta información de distintas fuentes a un coste reducido. En ambos casos, la información se organiza y expresa de acuerdo con esquemas abiertos basados en XML.
- b) El procesamiento de la información tiene las siguientes características destacadas: i) sigue una secuencia ordenada, a través del análisis de posibles conflictos, que permite ir construyendo cada objeto urbano sobre los objetos previamente construidos que le sirven de apoyo; ii) consigue una buena integración de los objetos urbanos con el terreno u otras superficies de apoyo, a través del cálculo de las correspondientes curvas de intersección; iii) el proceso constructivo no se detiene por falta de datos precisos sobre la tercera dimensión, recurriéndose en estos casos a valores estándares por defecto.
- c) El modelo resultante se expresa de acuerdo con la especificación estándar CityGML, diseñada para que los modelos puedan ser compartidos y utilizados por distintas aplicaciones con el fin de prestar servicios geoespaciales sobre la Web y para la que existen en el mercado herramientas y aplicaciones que permiten visualizar dichos modelos y navegar a través de ellos.
- d) El nivel de detalle del modelo resultante es limitado, dado que la información de entrada es bidimensional. No obstante, el realismo de los modelos se incrementa considerablemente por el empleo de dos tipos de elementos: i) el uso de imágenes raster (p.ej., fotografías de las fachadas de los edificios) que se aplican a las superficies de los objetos urbanos; ii) el uso de objetos prototípicos (p.ej., árboles, semáforos, etc.), que pueden estar definidos con un elevado grado de detalle y que pueden insertarse en el modelo múltiples veces.

Las características anteriores permiten concluir que el uso de un convertidor como el desarrollado para la obtención de modelos urbanos 3D es una alternativa de bajo coste frente a otros planteamientos, adecuada para aquellos ámbitos donde no es preciso un grado de realismo muy elevado.

Referencias

CityGML, "OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard", Open Geospatial Consortium Inc., 2008 (<http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>)

GML, "OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Encoding Standard", Open Geospatial Consortium Inc., 2007 (<http://www.opengeospatial.org/standards/gml>)

Lake, R., Burggraf D.S., Trninic, M. & Rae, L., "Geography Mark-Up Language: Foundation for the Geo-Web", John Wiley & Sons, 2004.

Agradecimientos

El trabajo presentado en este artículo forma parte del proyecto SIGMUS, desarrollado por la empresa TELVENT INTERACTIVA S.A. en colaboración con el equipo de trabajo "Ingeniería de Proyectos y Construcción", con financiación de la Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA).

Correspondencia (Para más información contacte con):

Gabriel Bravo Aranda
Dpto. de Ingeniería del Diseño – Escuela Técnica Superior de Ingenieros
Camino de los Descubrimientos s/n 41092 Sevilla
Phone: +34 954 487 320
Fax: +34 954 467 370
E-mail: gbravo@esi.us.es