

GIS & Modelado Procedural

Gonzalo Besuievsky y Gustavo Patow

Grupo de Geometría y Gráficos,
Universitat de Girona,
gonzalo|dagush@imae.udg.edu

RESUMEN

Los modelos urbanos están compuestos por una compleja colección de estructuras que incluyen edificios, parcelas, bloques y distritos, todas ellas interconectadas por calles y avenidas. El modelado preciso y completo de un espacio urbano de estas características representa un desafío en el que la disponibilidad de datos SIG, en complemento con otras vías de registro, son fuentes fundamentales para la generación. Una de las herramientas que han cobrado más importancia en el desarrollo de soluciones eficientes es el modelado procedural.

En este artículo presentamos los resultados de la investigación realizada recientemente en el Grupo de Geometría y Gráficos de la Universidad de Girona para la generación de modelos urbanos a partir de datos SIG utilizando modelado procedural.

Palabras clave: *OpenStreetMap; Datos Catastrales; Modelado Procedural Urbano*

ABSTRACT

Urban spaces consist of a complex collection of buildings, parcels, blocks and neighborhoods, all of them interconnected by main roads and streets. Accurately modelling the appearance of dense urban spaces is a significant challenge, where the availability of GIS data in complement with other sources of registration, are essential for the generation. One of the tools that had emerged in the last years as one of the most efficient solution for this purpose is the Procedural Modeling technique.

In this paper we present the results of our recent research at the Geometry and Graphics Group, University of Girona, for the generation of urban models from GIS data using procedural modeling.

Key words: *OpenStreetMap; Cadastral Data; Procedural Urban Modeling*

INTRODUCCIÓN

El modelado procedural se ha impuesto, a lo largo de la última década, como una herramienta indispensable para la reconstrucción, representación y visualización de ciudades 3D, y por lo tanto en una herramienta que puede convertirse en clave también para el mundo del SIG. Hoy en día el modelado urbano se utiliza en una

creciente gama de aplicaciones, como por ejemplo: reconstrucción de mapas y ciudades para herramientas de navegación, contenido digital de ciudades para entretenimientos de videojuegos o películas, modelos de simulación para respuestas de emergencias y rutas de evacuación, y planificación urbana, entre otras.

En este artículo presentamos los resultados de la investigación realizada a lo largo de los últimos años en el Grupo de Geometría y Gráficos de la Universidad de Girona, para el desarrollo de modelos urbanos. Dicha investigación se ha desarrollado alrededor del sistema **skylineEngine** [RP10], un conjunto de herramientas diseñadas para funcionar como una plataforma para el desarrollo de nuevos algoritmos y tecnologías. Desde el punto de vista de las aplicaciones SIG, el sistema puede contar con varios tipos de entradas con diversos grados de detalle. Por un lado, el sistema puede leer archivos de OpenStreetMap (OSM), los cuales son procesados para reconstruir la red de calles y manzanas, para luego ser divididos automáticamente en parcelas, a partir de las cuales se generan los volúmenes de los edificios que serán procesados a continuación. Otro tipo de entrada alternativo son los archivos con datos catastrales, los cuales proveen de la información volumétrica de cada edificio de la zona estudiada. En ambos casos, se aplican algoritmos procedurales, que de forma iterativa, procesan una serie de reglas que definen la estructura de las fachadas de los edificios.

Dichas reglas se pueden diseñar manualmente mediante herramientas visuales [P12], o extraerse a partir de información de los edificios reales, como por ejemplo fotografía [M12] o datos de un scanner LIDAR. La aplicación de las reglas se basa en su evaluación secuencial, tomando para cada iteración las formas geométricas resultantes de la iteración anterior, siendo la iteración inicial la que recibe el modelo volumétrico antes mencionado. Una vez todos los edificios han sido procesados y su geometría generada, los datos resultantes pueden utilizarse para su visualización directa, o para utilizarlos en cálculos como los requeridos en los modelos de física urbana [B12]. Existe un problema añadido que debe ser tomado en cuenta: la gran capacidad del modelado procedural para generar grandes cantidades de geometría a partir de una entrada pequeña puede resultar en la generación de cantidades excesivas de geometría. Para ello, deben desarrollarse métodos que controlen el nivel de detalle según las necesidades específicas de cada problema [BP13][HBT+12][PB13].

En el presente trabajo se describen en detalle todos los pasos que se siguen para la generación de modelos procedurales urbanos a partir de datos SIG, a la vez que se discuten los retos actuales en los que estamos trabajando.

RESUMEN DEL PROCESO

El proceso de generación de un modelo urbano se puede resumir como muestra el diagrama de la Figura 1, donde se indica la secuencia de pasos y estructuras necesarias, que van desde el mapa básico de la ciudad hasta el modelo 3D en detalle. El primer paso consiste en transformar los datos cartográficos de entrada en una red estructurada de calles, que delimitaran las manzanas (o bloques). Las manzanas a su vez son subdivididas en parcelas, en las cuales se generaran los modelos volumétricos de la edificación. Finalmente, el modelado procedural añade los detalles mediante la aplicación de reglas que se evalúan de forma secuencial. En el resto de la secciones se describen detalles de todos estos pasos.

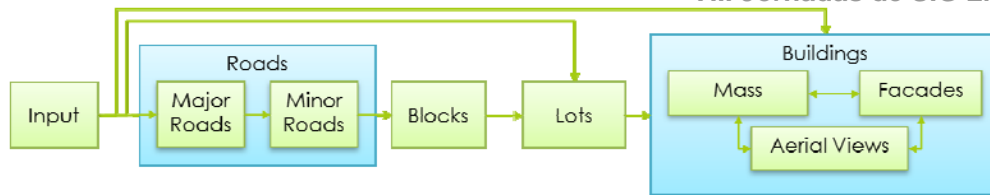


Figura 1: Diagrama genérico de los pasos para la generación de un modelo urbano [VAW+10].

ENTRADA DE DATOS

Los datos de entrada definen los elementos del gráfico anterior que deberán emplearse para generar la ciudad 3D. Obviamente, cuanto más información se tenga, y cuánto más precisa sea, menos algoritmos de síntesis deberán utilizarse, mejorando la calidad y, sobre todo, la fidelidad del modelo 3D resultante.

OpenStreetMap

Uno de los inputs más usuales para este tipo de procesamiento son las fuentes de SIG libre como OpenStreetMap. Un archivo OpenStreetMap, que lleva extensión OSM, es un archivo que sigue el estándar XML para la representación de datos. Para su correcta interpretación debe escribirse un algoritmo de lectura (parser) que tenga en cuenta los diferentes tipos de datos que un archivo OSM puede contener, limitándose a conservar aquellos que tengan relevancia de caras al modelo que se pretenda construir. Por ejemplo, si se busca una reconstrucción urbana que incluya sólo los edificios, la información de paradas de autobús puede ignorarse. En cambio, si lo que se busca es una representación completa de la estructura urbana, es probable que si se incluya este tipo de información, con el objetivo de agregar un modelo 3D que representa la parada de autobús, pero se ignoren otros elementos como áreas comerciales o de parking. Esto implica un primer nivel de procesamiento.

Por otro lado, la estructura de un archivo OSM es relativamente sencilla de procesar: una lista de todos los nodos del mapa, seguida de una lista con todos los caminos del mapa, donde un "camino" puede ser desde un edificio hasta una calle. Los caminos son poli-líneas que no poseen nodos, sino que guardan referencias a los mismos para no duplicar información. Esta estructura de datos posee ventajas para la representación visual, pero es muy ineficiente para otro tipo de cálculos, como por ejemplo el cálculo de rutas o, en nuestro caso, la reconstrucción 3D. Para ello, los datos deben procesarse en estructuras secundarias que faciliten dichos accesos. En el caso de rutas entre puntos, la estructura más eficiente es la que guarda, para cada nodo, la lista de calles que lo cruzan, lo que facilita cualquier navegación por la estructura de calles. Para el caso de la reconstrucción 3D, es necesario encontrar todos los ciclos mínimos del mapa, que representan las áreas más pequeñas rodeadas por calles: las manzanas. Por lo tanto, de caras a la reconstrucción 3D, el pre-proceso de un mapa en formato OpenStreetMap culmina con el cálculo de las manzanas, que son luego utilizadas por las otras etapas del proceso.

Datos catastrales

Como hemos comentado, el modelado geométrico de la ciudad es un problema abierto y sin soluciones estándar. Dentro de este problema, aparecen varios sub-problemas interesantes que se deben enfrentar, como la del modelado preciso de las calles, edificios y otras estructuras arquitectónicas. Una importante fuente de información geográfica son los datos provenientes del catastro. Sin embargo, esta información no siempre está bien estructurada, y a veces nos encontramos con un

archivo GIS con datos claramente incorrectos o, simplemente, entrados de forma tan descuidada que representan un serio problema para su uso en reconstrucciones 3D.



Figura 2: Información catastral de entrada, provista por el ayuntamiento de Girona. a) todas las capas. b) sólo las capas de edificios. c) las primitivas del mapa mostradas con diferentes colores, mostrando la falta de estructura del archivo de entrada.

En el trabajo [PP14] se presentó una solución sólida y genérica para la generación de manzanas y edificios en base a un proceso de reparación de los datos de entrada que se aplica cuando estos datos no son correctos (ver Figura 2). Como datos de entrada, este algoritmo toma un mapa en proyección cenital de una ciudad, que por lo general ha sido creado por una mezcla de restitución fotogramétrica y, en una segunda etapa, manualmente utilizando cualquier aplicación GIS. Además, estos mapas están bajo continuas modificaciones, como en el caso de las administraciones públicas. Este proceso a veces se traduce en la introducción de errores y anomalías, que son difíciles de corregir sin las herramientas adecuadas.



Figura 3: Estructuración de una de las manzanas de Girona (ver Figura 2). Cada ala de un edificio tiene un color diferente para mostrar la integridad de los datos reparados.

La solución propuesta se basa en un nuevo algoritmo de reestructuración 2D semi-automático, que corrige uniformemente errores y ambigüedades que se presentan comúnmente en datos catastrales corruptos. Este problema es complejo ya que es necesario para identificar, no sólo elementos simples del archivo de entrada, sino también su conectividad y la estructura del mundo real. La salida de nuestro algoritmo son los datos urbanos reestructurados en una jerarquía de bloques y edificios (ver Figura 3), de los cuales podemos obtener un modelo 3D realista mediante la extrusión de cada edificio (ver Figura 4). Para la construcción, además, hace falta utilizar el número del piso para cada edificio dentro de los datos catastrales, y a partir de allí la reconstrucción continúa con valores estándar para la altura de las plantas. Dichos valores se obtienen como un promedio para un estilo arquitectónico dado, en un contexto explícito como es el de una ciudad concreta.

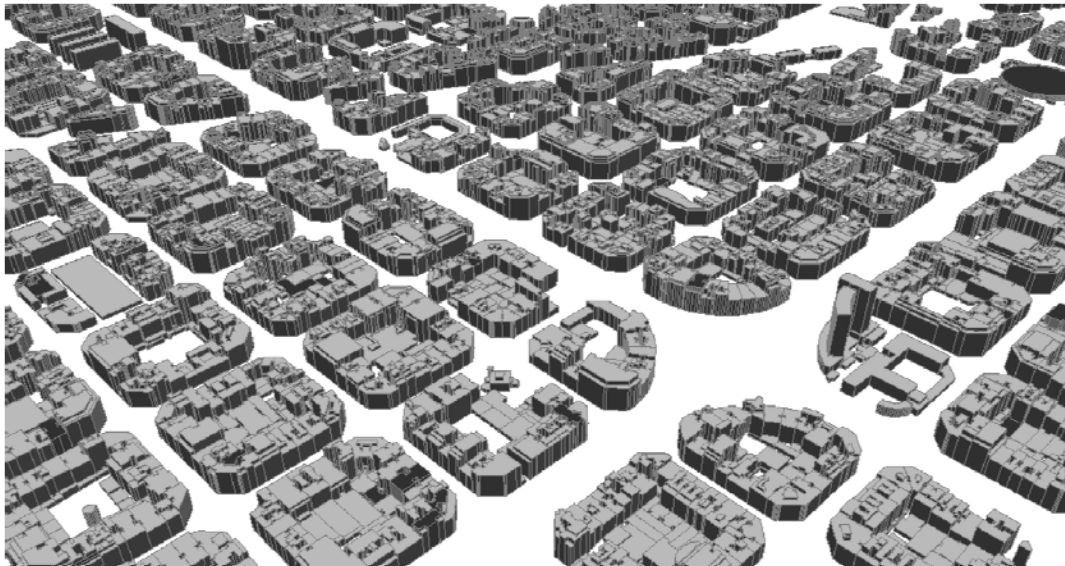


Figura 4: Reconstrucción del Eixample de Barcelona a partir de datos catastrales

Otros tipos de entradas

Una alternativa frecuentemente utilizada para la creación de entornos urbanos en casos donde no se dispone de información precisa, es la síntesis basada en parámetros de entrada. Esto puede suceder en el ámbito de la planificación urbana, donde frecuentemente se discute sobre posibles acciones en áreas no edificadas, o también en las creaciones orientadas al ocio (películas o videojuegos). Para estos casos se suelen utilizar mapas que guíen la reconstrucción, que van desde mapas de distribución de población (o trabajo), mapas zonales, u otro tipo de mapas que provean posibles indicaciones sobre la estructura urbana asociada. Un tipo de descripción muy popular es la presentada por el sistema **skylineEngine** [RB10], que utiliza un sistema basado en la utilización de regiones, cada una asociada a los diferentes patrones que típicamente se pueden observar en una ciudad real: patrón regular (*grid*), radial u orgánico. Dada esta información de entrada, el sistema procede a crear un conjunto de avenidas mayores, calles y manzanas para continuar con la creación de la ciudad en 3D. La Figura 5 muestra un ejemplo de generación de una estructura urbana sintético utilizando los tres patrones descritos.

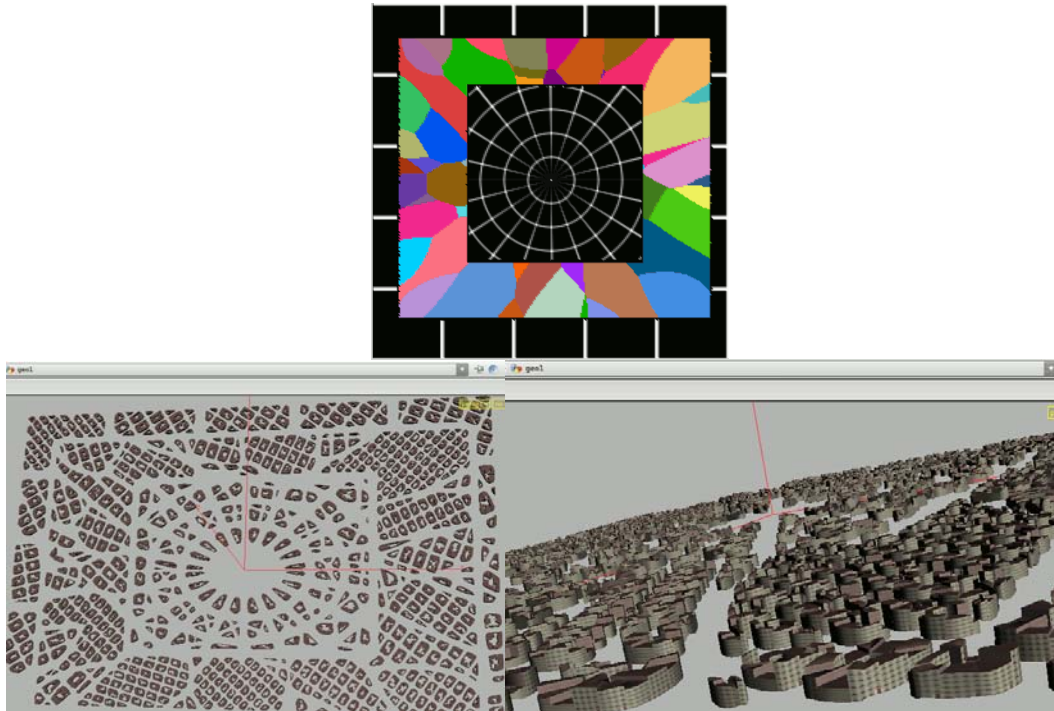


Figura 5: Modelo sintético de estructura urbana. Mapa de patrones (arriba), que incluye una región radial, una orgánica y una regular. Generación del modelo urbano correspondiente (abajo).

GENERACION DE BLOQUES Y PARCELAS

Una vez creada la red de avenidas principales y calles, y determinadas las regiones edificadas, los bloques quedan completamente identificados. El siguiente paso es la creación de parcelas. Si esta información está disponible en el SIG, nuestro sistema la almacena para la generación de volúmenes. Sin embargo, en la mayoría de casos es difícil de acceder con precisión al loteado de parcelas, por lo que se utilizan algoritmos de subdivisión automática. Para ello, existen diferentes algoritmos que buscan reflejar las divisiones que naturalmente se pueden encontrar en las grandes ciudades. Dos claros ejemplos son la subdivisión recursiva, que busca recrear ciudades como Nueva York, Boston o Buenos Aires; y la subdivisión llamada de tipo Paris o Barcelona, que simula la típica estructura de una manzana en estas ciudades, dónde usualmente existe un patio interior que debe ser modelado para la correcta representación de ciudades tan características.

Usualmente, para poder generar una manzana con el estilo de las ciudades como Nueva York o Seattle, se utiliza un algoritmo que, iterativamente, subdivide las manzanas de forma regular, siempre cortando de forma perpendicular a la dirección más larga de la manzana. Esto resulta en la típica estructura rectangular de distribución de edificios de las ciudades americanas (ver Figura 6).

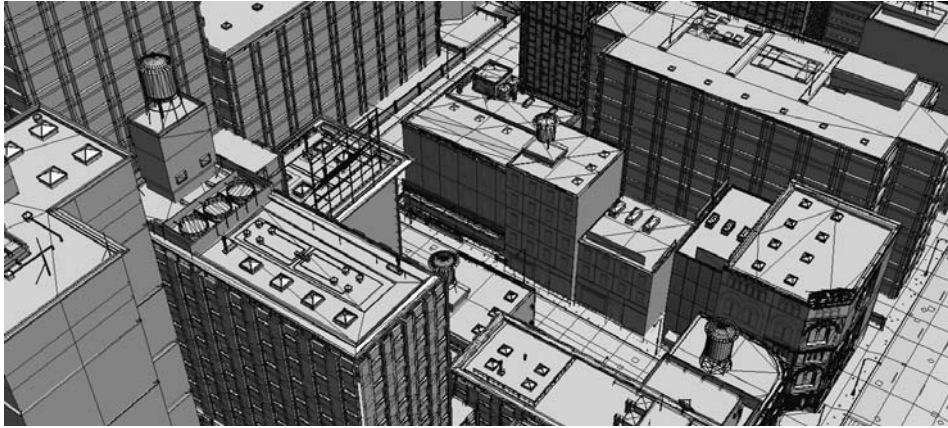


Figura 6: Estructura urbana tipo Manhattan

Por otro lado, manzanas como las que pueden verse en París o Barcelona (ver Figura 7) pueden obtenerse por un proceso de contracción del contorno de la ciudad hasta una tolerancia pre-establecida, siempre asegurando que no haya errores de auto-intersección de las formas. De esta manera, el patio interior suele tener una forma muy similar a la de la manzana, un patrón frecuentemente observable en las ciudades europeas. La Figura 7 muestra el resultado de una reconstrucción de este tipo en la ciudad de Barcelona.



Figura 7: Estructura urbana tipo Barcelona

GENERACION DE EDIFICIOS PROCEDURALES

A partir de la información de las alturas correspondientes se pueden generar fácilmente los volúmenes de las edificaciones mediante operaciones clásicas de extrusión. El resultado obtenido son comúnmente llamados de *mass-models*. Si se dispone de imágenes ortográficas de las fachadas, se puede construir un modelo urbano texturizado, que en muchas aplicaciones es el tipo de modelo que se utiliza para la visualización (ver Figura 7, izquierda). Sin embargo, este modelo carece de detalles geométricos.

Para la generación completa de edificios, nuestro sistema utiliza un método procedural basado en reglas gramaticales [MWH+06]. La aplicación de las reglas se basa en su evaluación secuencial, tomando para cada iteración las formas geométricas resultantes de la iteración anterior, siendo la iteración inicial la que recibe el modelo volumétrico. Los principales comandos que pueden generar nuevas formas a partir de resultados anteriores de la secuencias son:

- *Subdiv*, que realiza una subdivisión de la forma actual en múltiples formas,
- *Repeat*, que realiza subdivisiones de manera repetida de una forma geométrica

- *Component Split*, que puede crear nuevos componentes (por ejemplo caras de un poliedro o aristas) a partir de una forma geométrica
- *Insert*, que reemplaza geometría predefinida en el predecesor correspondiente

Todo el proceso de producción de un determinado conjunto de reglas se puede considerar como un gráfico dirigido acíclico (DAG) [P12], donde cada nodo representa una operación aplicada a su entrada de geometría, siendo los nodos de hoja los detalles finales de la geometría a reemplazar. La Figura 8 muestra un ejemplo de un edificio procedural representado como un grafo.

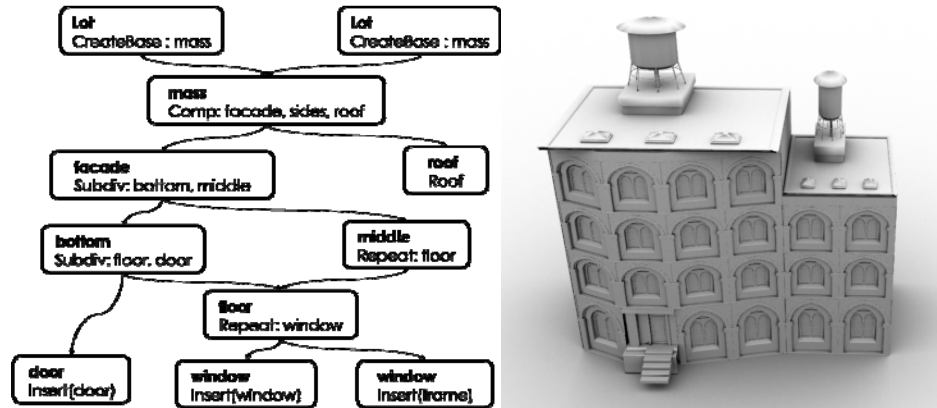


Figura 8: Grafo que representa un conjunto de reglas procedurales (izquierda) y el resultado final del edificio (derecha)

Una de las ventajas de trabajar con una representación de grafos es que permite trabajar con una interface visual más intuitiva [P12], en contraste con la edición clásica textual de la codificación de reglas. En nuestro caso, y con el fin de facilitar la tarea al modelador, disponemos de un sistema que visualiza los resultados de forma interactiva.

Otra de las características que permiten acercar el usuario a la edición interactiva de edificios es el uso de técnicas corrientes de edición, como ser las típicas de copiar y pegar, aplicadas en este caso a métodos procedurales [BBP13]. En este caso, el usuario puede generar un edificio nuevo o cambiar componentes de uno ya existente, a partir de la reutilización de reglas ya configuradas, que pueden representar un estilo arquitectónico particular. Esta metodología comporta operar sobre los grafos de los edificios implicados. En particular, se implementan las operaciones de selección, copia, combinación de grafos, y finalmente el ajuste de parámetros. En la Figura 9 se muestra un ejemplo en que un nuevo edificio es generado a partir de tres estilos completamente diferentes, mediante el mencionado proceso.

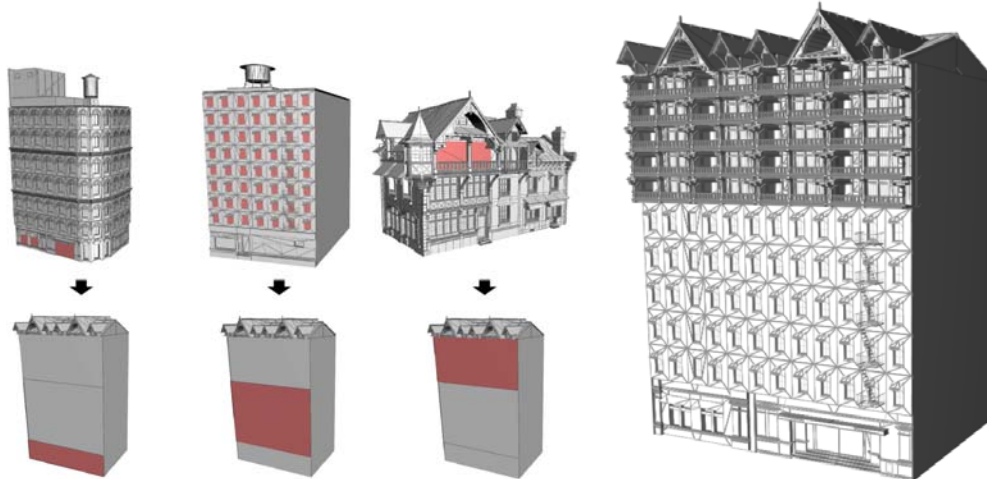


Figura 9: Operación de copiar & pegar con edificios procedurales. A partir de tres edificios procedurales diferentes (izquierda) se puede crear uno completamente nuevo (derecha)

RETOS ACTUALES

A pesar de que las técnicas procedurales permiten generar de manera eficiente grandes modelos urbanos con buena cantidad de detalles, no siempre toda la geometría es realmente necesaria. En muchas aplicaciones, como ser simples navegadores para la visualización urbana o en simulaciones, basta con una simplificación total o parcial del modelo. Una solución clásica del modelado para los grandes modelos es introducir técnicas de niveles de detalle, que utilizan parámetros de calidad para reducir la complejidad. Sin embargo, en contraste con el procedimiento clásico, la simplificación no debe realizarse después de crear el modelo completo, sino que debe generarse automáticamente dentro del procedimiento de creación.

En nuestro sistema hemos desarrollado nuevas reglas que se pueden incluir de forma natural en la estructura procedural, de manera de simplificar partes del modelo según diversos criterios. Estos criterios pueden ser basados en la distancia a puntos de interés del modelo o a estructuras semánticas de los edificios de los que resulte de interés conservar, por ejemplo, los techos o la última planta de toda una barriada determinada. De esta manera se puede controlar de forma automática la generación de geometría, evitando una sobrecarga de datos que resulta inapropiada para muchas aplicaciones. En la Figura 10 se muestra una ciudad virtual compuesta por 17 millones de polígonos que fue simplificada de acuerdo a la distancia al punto de interés señalado por la esfera roja.

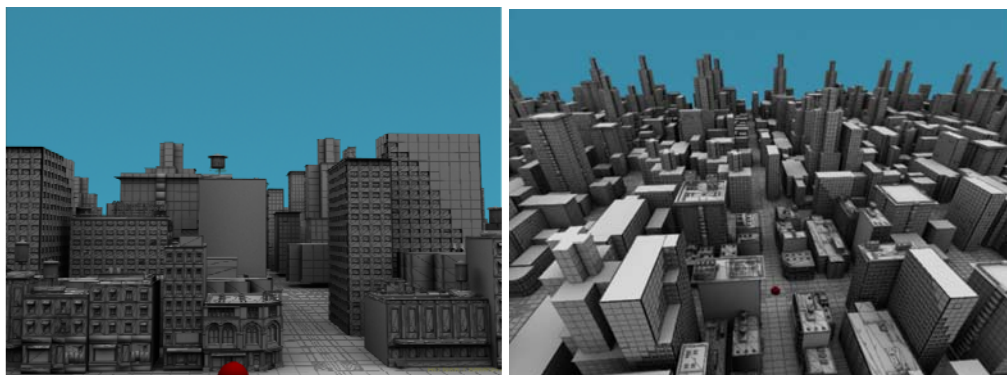


Figura10: Modelo urbano procedural con nivel de detalle utilizando un criterio de distancia a partir de la esfera roja

IMPLEMENTACION Y RESULTADOS

El sistema **skylineEngine** está implementado sobre la plataforma de desarrollo SideFX Houdini [SE13], utilizando las propias herramientas de nodos de Houdini, así como una combinación de código inmerso de Python y código externo también en lenguaje Python. Todo el código desarrollado del sistema está disponible en <http://ggg.udg.edu/skylineEngine>. En esta sección presentamos algunos resultados de generación de modelos urbanos realizados en diferentes proyectos.

En la Figura 11 se muestra una reconstrucción de un edificio histórico (casa Raccolet), en que a partir de fotografías y detalles geométricos, se puede obtener un modelo procedural con alta fidelidad. La labor más importante del modelado es la generación del conjunto de reglas que configuran el edificio.

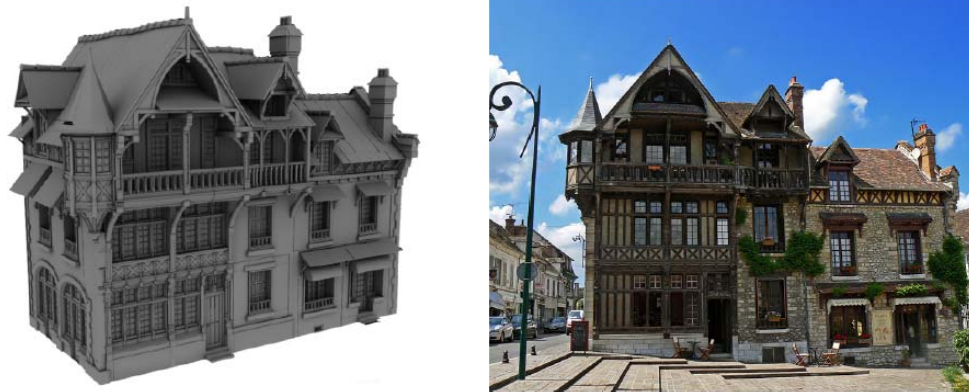


Figura 11: *Casa Raccolet (Moret sur Loire, Francia). Reconstrucción procedural (izquierda) de una casa histórica real (derecha)*

Las Figura 12 y 13 muestran ejemplos de reconstrucciones de ciudades a partir de datos cartográficos. En la Figura 12, se reconstruye un barrio de Nantes (Francia) en el que los detalles geométricos son añadidos sin mantener el realismo con el original, pero con una buena aproximación de las proporciones en la incorporación de todos los elementos de las fachadas (ventanas, puertas y balcones). Este tipo de reconstrucción es generalmente utilizado para visualizaciones áreas o también para evaluaciones energéticas de radiación solar, en que el impacto de soleamiento se calcula a nivel de los techos y de las aberturas de las fachadas. Las técnicas procedurales tienen la ventaja de brindar modelos parametrizados que permiten fácilmente combinar estudios de impacto urbanístico así como también cálculos de optimización. En la Figura 13, se muestra una reconstrucción esquemática de la ciudad de Girona, también a partir de datos cartográficos, en que los edificios emblemáticos de la Catedral y de la iglesia de Sant Feliu son modelados utilizando técnicas procedurales específicas para este tipo de construcción histórica [BP12].

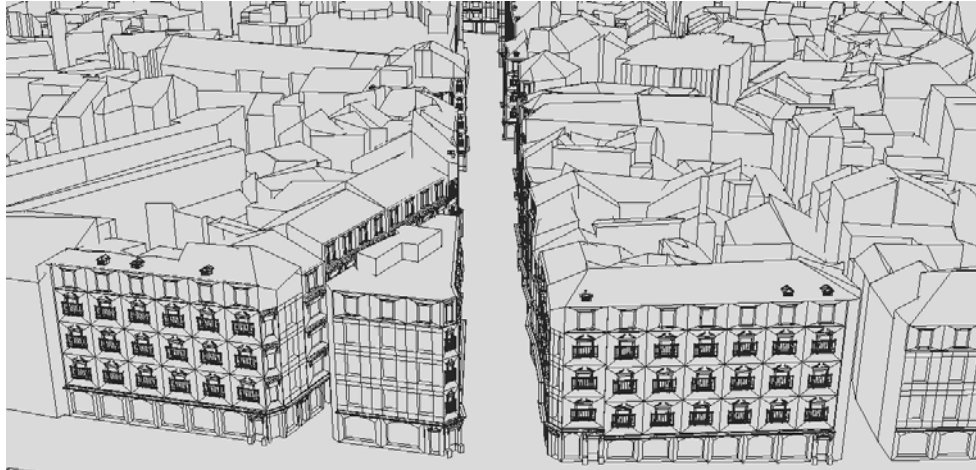


Figura 12: *Reconstrucción del centro de la ciudad de Nantes, una de sus calles fue seleccionada para modelarla con detalles a partir de reglas procedurales*



Figura 13: *Reconstrucción volumétrica de la ciudad de Girona. La Catedral y la iglesia de Sant Feliu están modeladas con detalles geométricos*

AGRADECIMIENTOS

El trabajo aquí presentado fue parcialmente financiado por el proyecto TIN2010-20590-C02-02 del Ministerio de Ciencia e Innovación español.

REFERENCIAS

- [B12] "Taking Advantage of Low Radiative Coupling in 3D Urban Models", Benoit Beckers, Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation, UDMV 2013, May 4th 2013, pp 17--20.
- [BBP13] "Visual copy & paste for procedurally modeled buildings by ruleset rewriting." Barroso S., Besuievsky G., Patow G.: Computers & Graphics, Volume 37, Issue 4, June 2013, pp 238—246.
- [BP12] "Visual Language Generalization for Procedural Modeling of Buildings". Barroso S., Patow G.: . In XXII Spanish Computer Graphics Conference (2012), pp. 57–66
- [BP13] "Customizable LoD for Procedural Architecture". Computer Graphics Forum. Volume 32, Issue 8, pages 26–34,
- [HBT+12] "All range and heterogeneous multi-scale 3D city models", Shuang He, Gonzalo Besuievsky, Vincent Turre, Gustavo Patow and Guillaume Moreau, 3u3d2012: Usage, Usability, and Utility of 3D City models, 29-31 October, 2012, Nantes, France.

- [M12] Mahmoudi, Rachid (ETIS), "Generació semi-automàtica de façanes procedurals". Proyecto Final de Carrera, Universitat de Girona, 2012
- [MWH+06] "Procedural modeling of buildings". Müller, P, Wonka P., Haegler, S., Ulmer A., Gool. L.V.: ACM Trans. On Graphics 25, 3 (2006), 614-623.
- [P12] "User-Friendly Graph Editing for Procedural Buildings", Gustavo Patow, IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 32, no. 2, Mar./Apr. 2012, pp. 66--75.
- [PB13] "Challenges in Procedural Modeling of Buildings", Gonzalo Besuievsky and Gustavo Patow, Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation, UDMV 2013, May 4th 2013, pp 25--28.
- [PP14] "Structuring Urban Data", Oriol Pueyo and Gustavo Patow, The Visual Computer: Volume 30, Issue 2 (2014), Page 159-172
- [RP10] "The **skyline**Engine System", Remei Ridorsa and Gustavo Patow, Proc. CEIG 2010, pp 207-216, Valencia, Spain, 2010
- [SE13] SIDE EFFECTS SOFTWARE: Houdini, <http://www.sidefx.com>
- [VAW+10] "Modeling the Appearance and Behavior of Urban Spaces", Carlos A. Vanegas, Daniel G. Aliaga, Peter Wonka, Pascal Mueller, Paul Waddell, Benjamin Watson, Computer Graphics Forum, 29(1),25-42.