



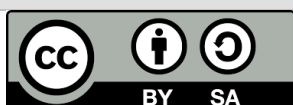
L1.2 Modelos semánticos de ciudad

Apuntes

Autor(es)/Organización(es):

Ariana Kubart, Ocellus Information Systems AB, Sweden

Licencia



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Versión

Version 2.0

Date: Mayo 2024

Resumen

Esta conferencia se centra plenamente en los modelos semánticos como el enfoque más avanzado de la modelización de ciudades y la base para aplicaciones como las ciudades inteligentes y los gemelos digitales. Se analizan las ventajas de los modelos con información semántica y se explica cómo se crean dichos modelos. En la última parte, la conferencia muestra varios ejemplos de modelos semánticos existentes, así como de su uso en la planificación social.

Resultados de aprendizaje

Al final de esta clase, se espera que el alumno sea capaz de:

- Explicar la parte semántica de los modelos de ciudad y las diferencias en comparación con los modelos gráficos 3D
- Resumir los pasos principales de la creación de modelos semánticos
- Nombrar ejemplos de modelos existentes, así como de sus posibles aplicaciones



Competencias esperadas al ingresar a la clase magistral

Conocimientos intermedios de SIG

L1.1 Conceptos de modelado 3D

Carga de trabajo esperada

17 diapositivas con contenido de aprendizaje, aproximadamente 3 horas

Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos.



Contenido

¿Qué es el Modelo de Ciudad Semántica?.....	4
Objetos en los modelos semánticos.....	5
Creación de Modelos de Ciudad I.....	7
Creación de Modelos de Ciudad II.....	8
Ciudad 3D a partir de fotos aéreas I.....	9
Ciudad 3D a partir de fotos aéreas II.....	10
Ejemplo de modelo 3D de Helsinki	11
Ciudad 3D de escaneo láser I	12
Ciudad 3D de escaneo láser II	13
Ciudad 3D de escaneo láser III	14
Modelo semántico 3D final	15
Abstracción en modelos 3D de ciudades	16
Ejemplos de modelos 3D de ciudades I.....	17
Ejemplos de modelos de ciudades en 3D II.....	18
Aplicaciones que utilizan modelos 3D semánticos.....	19
Análisis de la radiación solar	20
Análisis de la velocidad del viento.....	21
Análisis de sombras y soles	22
Otras aplicaciones	23
Referencias.....	24

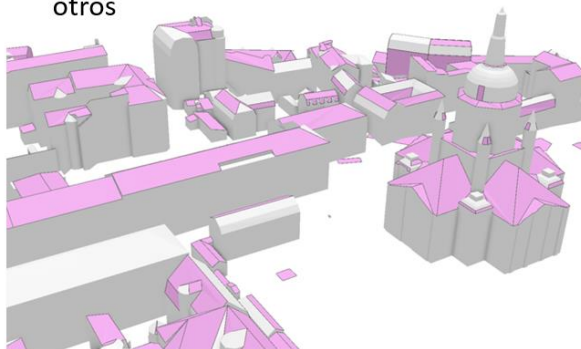


Modelos semánticos de ciudad

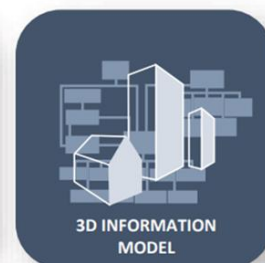


¿Qué es el Modelo de Ciudad Semántica?

Maqueta con objetos distinguidos que representan cosas del mundo real: las casas, las calles, los árboles y otros



3D REALITY MESH MODEL



3D INFORMATION MODEL

Up: from Helsinki3D_Kalastama_Digital_Twins
<https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d>

Left: semantic city model of Stockholm
Downloaded from: [Dataportalen \(stockholm.se\)](https://dataportalen.stockholm.se)

4

¿Qué es el Modelo de Ciudad Semántica?

En la última lección, vimos que los modelos gráficos de ciudades en 3D altamente detallados se pueden producir automáticamente mediante una densa coincidencia de imágenes aéreas. De todos modos, estos modelos de malla son solo "imágenes". No proporcionan ninguna información sobre lo que es un edificio, ni una calle ni un árbol, ni sobre las propiedades que tienen.

Seguramente, un humano puede mirar el modelo de malla y contar los árboles en una calle determinada o el número de ventanas de un edificio de interés. Pero una computadora solo ve una serie de triángulos con una textura adherida a ellos. Es por eso que la computadora necesita definir objetos distinguidos que representen cosas del mundo real: las casas, las calles, los árboles y otros.

Estos objetos realistas están etiquetados con su significado. Por supuesto, pueden tener atributos adjuntos. E incluso las interrelaciones con otros objetos dentro de un área.

Estos modelos 3D estructurados con objetos realistas claramente definidos se denominan modelos semánticos.



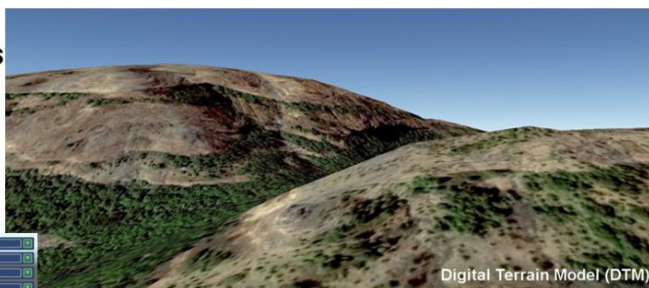
Modelos semánticos de ciudad

Objetos en los modelos semánticos

- Objetos naturales: modelo digital del terreno, vegetación, masas de agua...



Objetos artificiales y vegetación; fuente: Biliecki et al (2015)
Aplicaciones de modelos de ciudades en 3D: revisión del estado del arte



Digital Terrain Model, DTM; source: digital-terrain-model-dtm-1024x569.jpg (1024x569) (pigeonis.in)

- Objetos hechos por el hombre: casas, puentes, mobiliario urbano...
- Todos los objetos pueden tener atributos

5

Objetos en los modelos semánticos

Solo para recordarnos, los modelos semánticos son representaciones digitales de los objetos, sus propiedades y las interacciones entre ellos. Los objetos pueden ser tanto naturales como artificiales.

Los objetos naturales (o características) son, por ejemplo, el modelo digital del terreno (MDT), la vegetación o las masas de agua.

Las construcciones hechas por el hombre son casas, puentes, calles, etc., combinadas con objetos más pequeños como bancos, cubos de basura, semáforos, farolas y otras características.

Por lo general, los objetos complejos se descomponen aún más. Por ejemplo, una casa puede descomponerse en partes de construcción y estas a su vez en techo, paredes o superficies de suelo.

Las paredes pueden contener además ventanas y puertas. Como vemos, esta agregación (descomposición) es jerárquica (ya que un edificio está compuesto por partes, que están formadas por muros, que tienen ventanas).



Cofinanciado por
la Unión Europea



Las entidades pueden tener atributos en todos los niveles de agregación. Estos atributos pueden proporcionar toda la información relevante, por ejemplo, sobre la ubicación, la apariencia visual, los atributos temáticos, los aspectos funcionales, sus interrelaciones, solo por nombrar algunos.



Creación de Modelos de Ciudad I

- Modelos 3D: sucesores de los mapas 2D
- Posibilidad de aumentar la capacidad de cómputo
- El mundo es 3D: los modelos 3D son más realistas que los 2D
- Ciertos análisis no son posibles en 2D, por ejemplo, la proyección de sombras o la contaminación del aire



Análisis de proyección de sombras, 3D necesario para ello, de:
Aplicaciones de modelos de ciudades 3D: Revisión del estado del arte

6

Creación de Modelos de Ciudad I

Podemos ver los modelos de ciudades en 3D como sucesores de los mapas 2D tradicionales.

El progreso de 2D a 3D dependió del desarrollo y la disminución del precio tanto de las técnicas de escaneo como de la capacidad computacional. Como el mundo está en 3D, los modelos 3D proporcionan información más realista sobre la realidad, en comparación con los mapas 2D. Algunos análisis solo son posibles en el espacio 3D, por ejemplo, el análisis de la sombra o de la contaminación del aire.



Creación de Modelos de Ciudad II

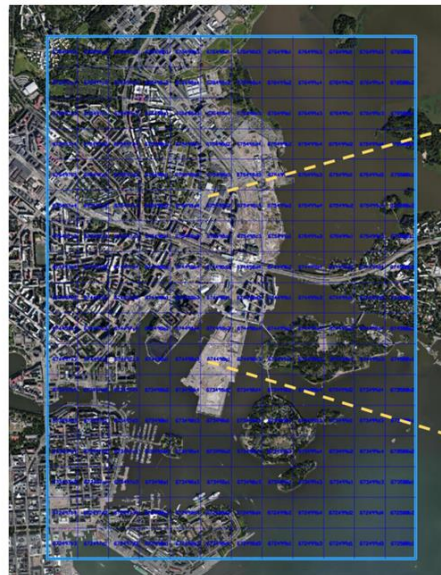
Combinación de:

Imágenes aéreas (fotogrametría)
nubes de puntos (LiDAR)
Datos 2D (catastros)

Datos recopilados por software
especializado

Seguido de control y ajuste manual

Tiling of aerial images in Helsinki city model, from: The [Kalasatama](#) Digital Twins Project



Creación de Modelos de Ciudad II

¿Cómo se crean estos modelos 3D? En general, los modelos se basan en imágenes aéreas, nubes de puntos y datos 2D, combinando de forma óptima estas técnicas.

Las imágenes se pueden obtener mediante diversas técnicas fotogramétricas, el origen de las nubes de puntos a partir del escaneo láser (LiDAR) y los datos espaciales 2D de registros y catastros, por ejemplo.

A partir de estos datos, un software especializado puede generar los modelos de la ciudad de forma automática. Puede ir rápido y es rentable. Por supuesto, los datos de entrada deben ser de buena calidad y estar debidamente armonizados.

Obviamente, el usuario puede definir la configuración del cálculo del modelo. Y los modelos de salida se pueden ajustar manualmente más adelante, si es necesario para su aplicación final.

Veamos el proceso de creación un poco más de cerca y con ejemplos.



Modelos semánticos de ciudad



Ciudad 3D a partir de Fotos Aéreas I

- Imágenes 2D desde diferentes puntos de vista
- Parcialmente superpuesta
- Enlazar y triangular automáticamente



Fotografía aérea vertical y oblicua (arriba) y
labranza en malla 250x250 metros
(derecha)Source: The Kalasatama Digital Twins Project.
The final report of the KIRA-digi pilot project, 2019



8

S

Ciudad 3D a partir de fotos aéreas I

Las imágenes 2D desde diferentes puntos de vista pueden ser suficientes para obtener un modelo de malla.

Los datos de origen consisten en varias fotografías parcialmente superpuestas del objeto que se va a modelar.

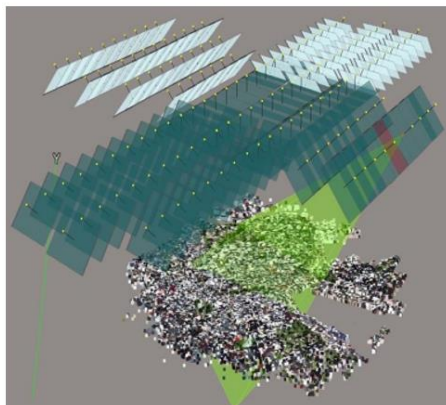


Modelos semánticos de ciudad



Ciudad 3D a partir de Fotos Aéreas II

- Enlazar mediante la búsqueda de características comunes en las imágenes superpuestas (abajo)



- Puntos de control del terreno (derecha)

Source: The
Kalasatama Digital
Twins Project. The
final report of the
KIRA-digi pilot
project, 2019



Ciudad 3D a partir de fotos aéreas II

A continuación, estos datos se triangulan automáticamente. Las imágenes aéreas se unen encontrando características comunes en ellas.

Para anclar el modelo 3D a la realidad, es necesario definir los puntos de control del terreno y especificar sus coordenadas X, Y y Z. Estos puntos de tierra representan lugares fáciles de distinguir, como cruces de carreteras. Su ubicación debe determinarse manualmente para que cubran y encierren toda el área.

El modelo resultante tiene un aspecto muy realista y su calidad puede comprobarse mediante una inspección visual o comparando el modelo con los datos de escaneo láser. Podemos ver un ejemplo del modelo de Helsinki en la siguiente diapositiva.



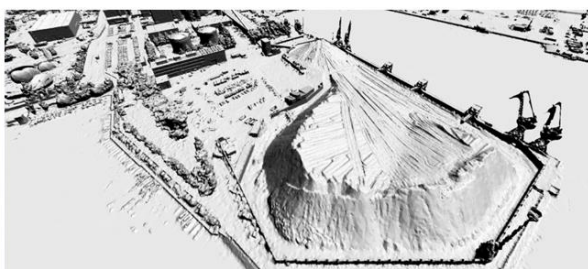
Modelos semánticos de ciudad



Ejemplo de modelo de Helsinki

Tres pasos en la creación:

- 1) Nube de puntos de imágenes aéreas (derecha)
- 2) Modelo de malla sin triángulos visibles (derecha abajo)
- 3) Modelo fotorrealista final (de izquierda a abajo)



Ejemplo de modelo 3D de Helsinki

La diapositiva muestra los tres pasos en la creación del modelo de malla de Helsinki basado en imágenes aéreas.

La imagen superior izquierda ilustra el primer paso, es decir, una nube de puntos obtenida a partir de las imágenes aéreas.

La siguiente imagen debajo de la primera muestra el modelo de malla, en este caso sin los triángulos visibles.

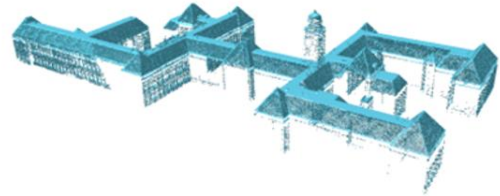
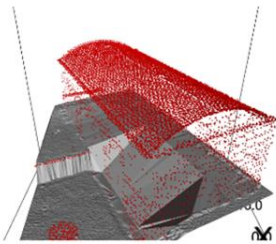
El modelo fotorrealista final, con fotografías aéreas proyectadas, se muestra en la última imagen hacia abajo en el lado derecho de la diapositiva.

Podemos ver que el modelo es muy realista. Sin embargo, los objetos individuales aún no están definidos.

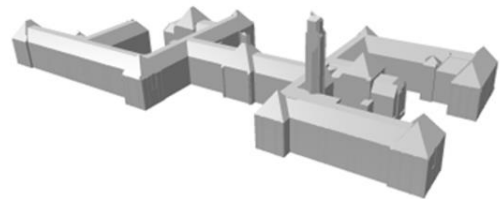


Ciudad 3D de escaneo láser I

- Modelos de malla incluso a partir de nubes de puntos (derecha (a) una nube de puntos, (b) edificio reconstruido)
- Puede ser fotorrealista (hacia abajo)
- Áreas más pequeñas, más detalles (en comparación con las imágenes aéreas)



(a)



(b)

Source: 3D Book (left),
<https://www.rock.estate/blog/a-tour-of-3d-point-cloud-processing> (right)

Ciudad 3D de escaneo láser I

Los modelos de malla pueden originarse incluso a partir de nubes de puntos a partir del escaneo láser. En general, este método es adecuado para áreas más pequeñas y puede dar lugar a modelos más detallados, en comparación con el método basado en imágenes.

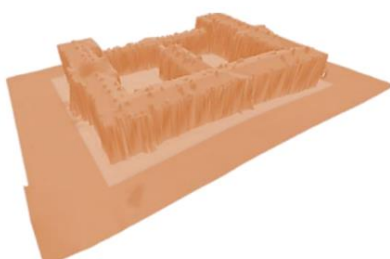
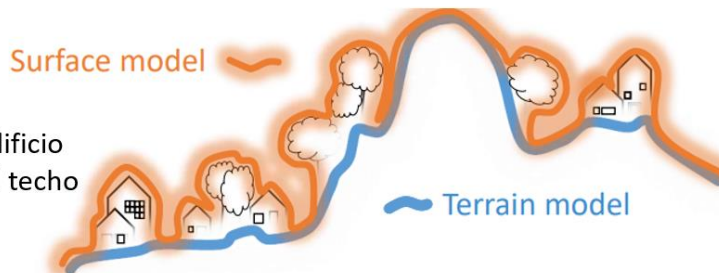
Incluso es posible proyectar fotos en el modelo para que sea fotorrealista.



Modelos semánticos de ciudad

Ciudad 3D de escaneo láser II

DTM – elevación de la huella del edificio
DSM: altura del edificio y forma del techo
Mapa 2D – huella



- DTM y DSM – Modelo digital de terreno y superficie (arriba)
- Modelos de terreno y superficie de un área de construcción (izquierda)

Source: The [Kalasatama DT Project](#)

12

Ciudad 3D de escaneo láser II

Grandes ejemplos de nubes de puntos basadas en LiDAR son el modelo digital del terreno, DTM, y el modelo digital de superficie, DSM. A menudo están disponibles gratuitamente para los usuarios y se pueden utilizar para generar modelos de ciudad a partir de ellos.

El modelo de terreno determina la elevación de la huella del edificio; el modelo de superficie identifica la altura y la forma del techo, y la huella está disponible en cualquier mapa 2D.

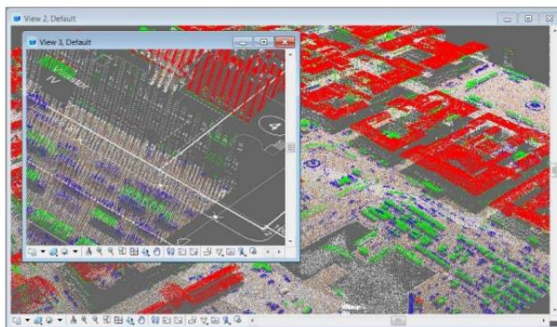
Con la altura, los techos y las huellas disponibles, es posible identificar objetos individuales de la ciudad, así como ensamblar las paredes. E incluso esto se puede procesar de forma más o menos automática.



Modelos semánticos de ciudad

Ciudad 3D a partir de escaneo láser III

Mapa base y nubes de puntos para un área (abajo)
Formas de tejado de edificios a partir de los datos (a la derecha)
Geometrías de edificios 3D creados (abajo)



Source: The [Kalasatama](#) DT Project



S

Ciudad 3D a partir de escaneo láser III

Las figuras de esta diapositiva muestran el proceso de creación e identificación de objetos, como se describe en la diapositiva anterior.

El ejemplo del área es de nuevo del modelo 3D de Helsinki.



Modelos semánticos de ciudad



Modelo semántico 3D final

- Adición de información semántica = atributos
- Disponible, por ejemplo, en catastros



Ejemplos de modelo semántico gráfico de Estocolmo – centro de la ciudad y zona residencial

<https://smartstad.stockholm/2020/03/09/over-100-000-byggnader-i-stockholm-som-3d-modeller-i-stadsbyggnadskontorets-nya-databas/>

14

Modelo semántico 3D final

Siguiendo los pasos de las diapositivas anteriores, se prepara una maqueta de ciudad con objetos individuales. Obviamente, es posible proyectar fotos aéreas en el modelo para obtener apariencias realistas de la fachada.

En la diapositiva se puede ver cómo se ve un modelo de este tipo, esta vez como ejemplos de Estocolmo.

Pero para obtener un modelo semántico real, también necesitamos agregar los atributos, es decir, la información semántica. Puede ser todo, desde el propietario y el uso del objeto hasta el número de personas que viven en la dirección dada. Esta información está disponible en catastros, por ejemplo, por lo que es solo para conectarla con el modelo.

Abstracción en modelos 3D

- Eliminación de piezas innecesarias, por ejemplo, interiores
- Modelos semánticos: alto nivel de abstracción, identificadores únicos
- Modelos de malla: baja abstracción, menos espacio en el ordenador, más rápido de crear y leer, más barato



[Helsinki 3D | City of Helsinki](https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d)

<https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d>

15

Abstracción en modelos 3D de ciudades

Hemos visto que el modelado 3D se realiza a través de una serie de abstracciones del mundo real. Parte de la información se pierde, pero, con suerte, la información restante es más estructurada y significativa al final.

La abstracción puede eliminar partes innecesarias, como interiores en un modelo de ciudad, y puede funcionar en diferentes niveles.

Los modelos 3D semánticos son ejemplos típicos de alto nivel de abstracción con el mundo dividido en objetos discretos. Todos estos objetos deben tener identificadores únicos globales, estables a lo largo de toda la vida útil del objeto. Esto permite tanto realizar un seguimiento como actualizar los objetos en diferentes aplicaciones.

Los modelos de malla basados en triangulación representan un nivel de abstracción más bajo, pero son más rápidos y baratos de crear. Como se ha comentado, puede ser el primer paso del modelado 3D, al que puede seguir la descomposición semántica más adelante.

En general, la primera generación de los modelos de ciudad se basó en las mallas. Hoy en día, algunas ciudades actualizan sus modelos a modelos semánticos que podrían servir de base para un gemelo digital. Por supuesto, cuanto más se enriquece el modelo de una ciudad con información, más funcional y útil se vuelve su gemelo digital.

Hay un curso especializado en Gemelo Digital en este módulo del Curso (SIG 3D).



Ejemplos de modelos 3D de ciudades I

- Modelos semánticos, principalmente del sector público
- Modelos de alta gráfica, a menudo comerciales, Open Street Map
- 1ª modelo gratuita – Berlín 2015



[VisualizationBerlin – 3DCityDB Database](#)

16

Ejemplos de modelos 3D de ciudades I

Para recordarnos, los modelos de ciudades en 3D pueden verse como sucesores de los mapas digitales en 2D tradicionales. Este avance fue posible gracias al aumento de la potencia tanto de cómputo como de almacenamiento, ya que el modelo 3D contiene cantidades significativamente mayores de datos, en comparación con los mapas 2D.

La mayoría de los modelos semánticos de ciudad son creados y mantenidos por departamentos de mapeo a nivel municipal.

De todos modos, los modelos de ciudades en 3D también son producidos por empresas comerciales, así como por iniciativas como el proyecto Open Street Map. Sin embargo, a menudo son gráficos, no semánticos.

El primer modelo de ciudad disponible gratuitamente fue el de Berlín, publicado en 2015. Se generó automáticamente a partir de datos de catastro 2D y láser aerotransportado, con texturas extraídas automáticamente de imágenes aéreas, como explicamos anteriormente.



Modelos semánticos de ciudad



Ejemplos de Modelos de ciudades en 3D II

- Muchas ciudades ofrecen modelos 3D para navegar
- Por lo general, los datos en sí no se pueden descargar de forma gratuita
- Excepciones:

[Cities/regions around the world with open datasets \(tudelft.nl\)](http://tudelft.nl)



Modelo semántico de Zagreb, Croacia

[ZG3D: 3D model Grada Zagreba \(gdi.net\)](http://gdi.net)

17

Ejemplos de modelos de ciudades en 3D II

El modelo berlinés, mencionado anteriormente, es abierto. Del mismo modo, existen otros modelos de ciudades diversas de muchos países. Para obtener una lista de ellos, consulte una lista proporcionada por la Universidad Técnica de Delft:

[Cities/regions around the world with open datasets \(tudelft.nl\)](http://tudelft.nl)

Estos modelos abiertos están en diversos formatos, pero solo una minoría de ellos es semántico.

La mayoría de las ciudades están creando sus modelos 3D hoy en día. Sin embargo, no los proporcionan de forma gratuita, o al menos no en LoD superior (por ejemplo, LoD1 puede ser datos abiertos, pero LoD2 tiene uno por el que pagar).

Ejemplos suecos de modelos semánticos avanzados son los de Estocolmo y Gotemburgo.

[Stockholm 3D](#)

[Digital tvilling - Göteborgs Stad \(goteborg.se\)](http://goteborg.se)

La figura de la diapositiva ilustra el modelo semántico LoD2 de Zagreb, Croacia.

[ZG3D: 3D model Grada Zagreba \(gdi.net\)](http://gdi.net)



Semantic City Models



Applications using semantic 3D models

- Visualisation & city planning (see figure)
- Queries – depends on LoD and depth of semantic information
- Analyses and simulations – provide new semantic information
- Scenario testing



Source: The Kalasatama DT Project

18

Aplicaciones que utilizan modelos 3D semánticos

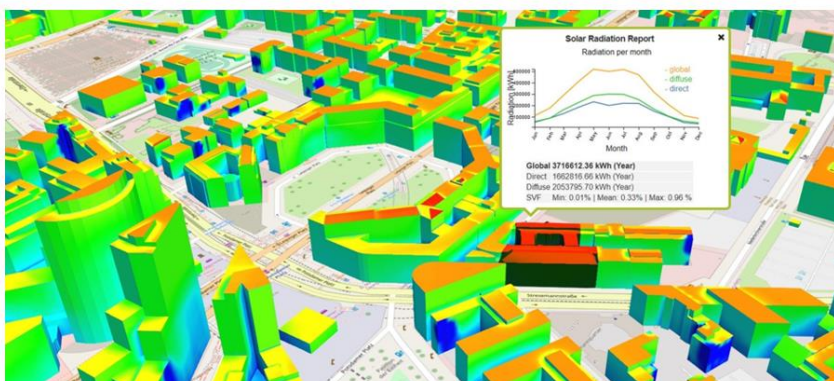
Hay muchas posibilidades de cómo utilizar los modelos 3D de la ciudad.

La primera es la visualización, tanto de los edificios existentes como de los proyectados. Esto se ilustra en la figura de la diapositiva, que muestra un barrio recién planificado en Helsinki. Esto, por supuesto, es muy útil en el desarrollo de la ciudad.

Pero se puede obtener mucha más información de los modelos semánticos, ya que todos los objetos de la ciudad se pueden enriquecer con datos temáticos. Es posible consultar, por ejemplo: "Cuántas farolas hay en una calle" o "¿Cuántas ventanas de una casa están orientadas a una plaza?" o "¿Cuántos edificios consumen más energía que 100 kWh/m²/año?". Las consultas pueden ser tan complejas como lo permitan la información semántica y el nivel de detalle.

También se pueden realizar diversos análisis y simulaciones, así como probar diferentes escenarios de desarrollo de esa manera. Los resultados de estos análisis pueden incluso proporcionar nueva información semántica. Muchos de los análisis ya se utilizan en la práctica, aunque definitivamente no en todas las ciudades.

Análisis de la radiación solar



[3d-stadtmodell_solarpotenzialanalyse-aspect-ratio-20-9-3.jpg \(2310x1040\) \(vc.systems\)](#)

Posibilidad de muchos cálculos:

- Producción de energía solar
- Los mejores tejados para células solares % del consumo doméstico cubierto por energía solar
- Dinero gastado en electricidad

18

Análisis de la radiación solar

Vamos a ver algunos ejemplos concretos de aplicación.

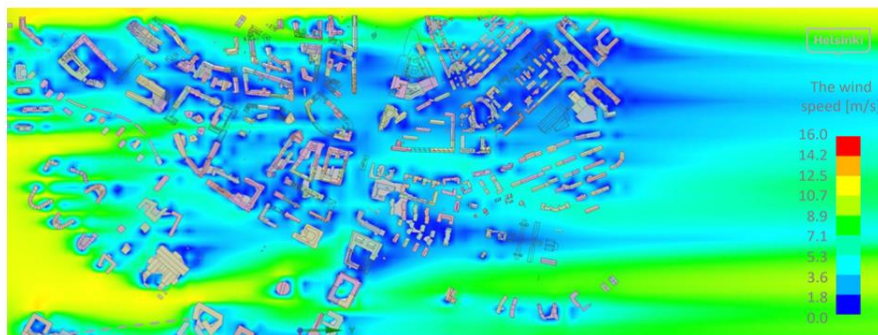
La figura de la diapositiva muestra la radiación solar estimada en tejados y fachadas de una ciudad alemana. A partir de ese número, es posible contar cuánta energía solar se puede producir en el área, o qué techos son los más adecuados para montar células solares.

¿Podríamos saber cuánta electricidad consumen las casas, podríamos contar el porcentaje del consumo cubierto por las células solares o incluso cuánto dinero puede ahorrar un hogar anualmente en las facturas de electricidad? O si la vivienda puede convertirse en un edificio de consumo energético neto cero, sin y con mejora de sus parámetros de aislamiento térmico.

Como vemos, los análisis pueden ser muy complejos, si el modelo proporciona información semántica relevante.

Análisis de Velocidad del viento

- Disminución de la velocidad del viento en un barrio recién planificado
- Estimación del confort térmico durante los veranos calurosos
- Propagación de la contaminación atmosférica



Estimulación de la intensidad del viento a nivel de la calle en Helsinki
El viento sopla desde el lado izquierdo de la imagen en 15 m/s
Source: The [Kalasatama](#) DT Project

19

Análisis de la velocidad del viento

Con los siguientes ejemplos de aplicación volvemos a Helsinki, al nuevo barrio de Kalasatama.

La figura muestra cómo un fuerte viento del mar se vería frenado por los edificios planificados y cómo sería el confort del viento para los peatones.

Al igual que la radiación solar, la velocidad y la dirección del viento pueden proporcionar datos para muchos otros análisis. Por ejemplo, se puede contar el confort térmico y el efecto de enfriamiento del viento en las ciudades durante los días más calurosos, lo cual es importante en las ciudades con temperaturas máximas crecientes y olas de calor letales.

La velocidad y la dirección del viento también son cruciales a la hora de simular la contaminación atmosférica y acústica, tal y como exigen las directivas europeas sobre ruido y calidad del aire. (Más sobre esto en el tercer bloque de este curso).

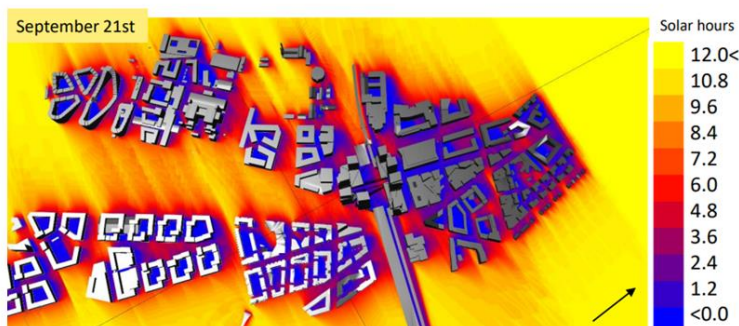


Modelos semánticos de ciudad

Sol y sombra análisis

- Urbanismo

September 21st at 16:00



- Sol (arriba) y sombra de edificios planificados (izquierda) en el equinoccio de otoño
- Cálculos similares para cualquier época del año
- Pruebas de diseño y posición del edificio

Source: The [Kalasatama](#) DT Project

20

Análisis de sombras y soles

El siguiente ejemplo es de nuevo del barrio de Helsinki Kalasatama.

Las figuras visualizan los resultados del análisis de la luz solar y cómo se asentarán las sombras de las casas recién planificadas en el equinoccio de otoño.

Por supuesto, ese análisis se puede contar para cualquier época del año. Revela qué patios y calles tienen muy poca o ninguna luz solar en diferentes estaciones.

Es posible probar diferentes escenarios de la disposición y el diseño del edificio, con el fin de elegir la variante más adecuada.

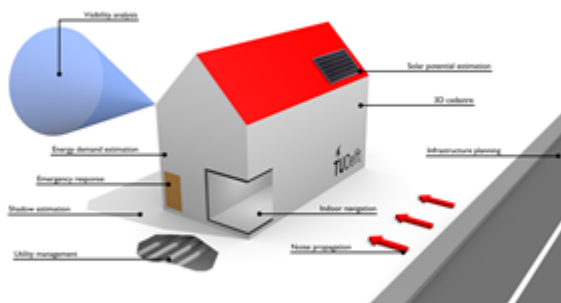


Semantic City Models



Other applications

- Heavy-rain events and flooding
- Digital Twins, Smart Cities
- Data quality and harmonisation fundamental
- Biljecki et al. (2015): Applications of 3D City Models: State of the Art Review



[Applications of 3D city models | CityJSON](#)

21

Otras aplicaciones

Otra aplicación importante en la planificación urbana es el análisis de inundaciones, donde se pueden probar diferentes escenarios de fuertes lluvias y ver si la localidad se inundará o no. Esto es cada vez más importante, ya que los fenómenos meteorológicos extremos serán cada vez más comunes.

Luego, están los conceptos de Gemelos Digitales y de Ciudades Inteligentes. La idea es que diversos sensores recopilen información en tiempo real y proporcionen información inmediata sobre las funciones de la ciudad. Puede incluir todo, desde la regulación de los atascos de tráfico y la contaminación del aire hasta los contenedores de basura inteligentes, que piden que se vacíen cuando se llenan.

Otras aplicaciones aún están en sus inicios, como el uso de los modelos para la navegación y el entrenamiento de automóviles autónomos o el uso de gafas de realidad virtual para proporcionar un paseo virtual a través de desarrollos recién planificados.

Por supuesto, hay muchas otras aplicaciones. Un documento general de 2015 describe más de 100 de ellos.

[Applications of 3D city models | CityJSON](#)

Cualquiera que sea la aplicación que se ejecute, es importante saber que el trabajo preparatorio es fundamental. Si la información del modelo está estructurada de forma coherente e incluye aspectos que realmente son necesarios para la aplicación, la simulación en sí puede ejecutarse de forma más o menos automática.



Referencias

The Kalasatama Digital Twins Project. The final report of the KIRA-digi pilot project, 2019

Biljecki et al. (2015): Applications of 3D City Models: State of the Art Review, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2015, 4, 2842-2889; doi:10.3390/ijgi4042842

Ken Arroyo Ohori, Hugo Ledoux, and Ravi Peters (2020–2022): 3D modelling of the built environment, available at: [Releases · tudelft3d/3dbook \(github.com\)](https://github.com/tudelft3d/3dbook)