

# Modelo de Información Multiescala Urbana 3D para la gestión integral sostenible de la ciudad

**PRIETO, Iñaki; IZKARA, Jose Luis; EGUSQUIZA, Aitziber**

Una ciudad es un conjunto de elementos heterogéneos organizados formando un ecosistema urbano. La gestión de la información urbana es clave para el desarrollo de una correcta estrategia de gestión y desarrollo urbano sostenible. Como solución a la gestión de la información de la ciudad proponemos MIMU-3D (Modelo de Información Multiescala Urbana - 3D). En este artículo se describe el desarrollo de MIMU 3D para la gestión integral sostenible de la ciudad en la era de las SmartCities. Para ello se realiza una revisión de las características de los modelos de datos para la representación de la información urbana, después se presenta y describe el modelo de datos CityGML, en el cual se basa nuestro MIMU-3D (Modelo de Información Multiescala Urbana - 3D). A continuación se presentan las extensiones desarrolladas utilizando las ADE de CityGML. Después se presentan las fuentes de datos utilizadas y la metodología de generación del modelo de información multiescala urbana 3D. Por último se describe el ecosistema de servicios para la gestión integral sostenible de la ciudad.

## **PALABRAS CLAVE**

CityGML, Modelo de Información Multiescala Urbana, Ciudad 3D

## **INTRODUCCIÓN**

Una ciudad es un conjunto de elementos heterogéneos organizados formando un ecosistema urbano. La información asociada a una ciudad está asociada a los diferentes elementos que la componen y las agrupaciones de elementos que definen la ciudad (comunidades, manzanas, distritos, ciudad). El elemento principal de una ciudad es el edificio pero al mismo tiempo la ciudad debe gestionarse como un todo considerando las dependencias entre los elementos de la misma. En este sentido en el ámbito de la ciudad convergen dos mundos que han evolucionado de forma paralela. Se trata de los sistemas de información asociados a la edificación (CAD/BIM) y los sistemas de información geográfica (GIS).

Otro aspecto clave a la hora de representar la información relacionada con una ciudad son las dimensiones. En un entorno urbano la información 2D es clave para posicionar los elementos en el espacio y revisar dimensiones de parcelas y elementos urbanos, pero la tercera dimensión se hace necesaria para representar la distribución de los elementos en altura. Esta diferencia está también asociada a los entornos de edificación y geográficos mencionados previamente.

Pero la geometría es solo una parte de la información de una ciudad, la otra parte importante es la información semántica, los atributos de los elementos. Un modelo de información que combine ambos tipos de información resulta la solución adecuada para representar la información de una ciudad.

Como solución a la gestión de la información de la ciudad, desde TecNALIA se está desarrollando MIMU-3D (Modelo de Información Multiescala Urbana - 3D). MIMU 3D es una plataforma tecnológica de gestión de la información basada en CityGML [1]. En este artículo se describe el desarrollo de MIMU 3D, basado en un modelo de información multiescala en 3D, para la gestión integral sostenible de la ciudad en la era de las SmartCities.

El artículo se divide en los siguientes apartados. En el primer apartado se presenta una revisión de las características de los modelos de datos para la representación de la información urbana. En el segundo apartado se presenta y describe el modelo de datos CityGML, en el cual se basa nuestro

Modelo de Información Multiescala Urbana. Después, en el tercer apartado, se presentan las extensiones desarrolladas utilizando las ADE de CityGML. El cuarto apartado presenta las fuentes de datos utilizadas y la metodología de generación del modelo de información multiescala urbana 3D. En el quinto apartado se describe el ecosistema de servicios para la gestión integral sostenible de la ciudad y por último, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro a desarrollar.

## **MODELOS DE DATOS PARA LA REPRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN URBANA**

Un modelo de ciudad 3D permite representar datos georeferenciados de datos espaciales urbanos y se compone de la elevación del terreno, las edificaciones, el uso de tierras, la vegetación y las carreteras, entre otros. La característica principal de estos modelos es que permite almacenar toda la información de una ciudad en un único modelo de datos, lo que facilita el uso y la interoperabilidad del mismo. Estos modelos permiten presentar, manejar y gestionar los datos urbanos que luego pueden ser utilizados en diferentes aplicaciones como: gestión de desastres, planificación urbana, planificación del tráfico, seguridad, telecomunicaciones, navegación, turismo, etc. Como ejemplo de ello son: Ciudades en 3D de Google, CityEngine o CityGML.

La información urbana genera un gran volumen de información heterogénea: de diferentes escalas, diferente uso, diferente naturaleza, diferentes herramientas y formato y proveniente de diferentes agentes. Además esta información en un futuro cercano crecerá de forma exponencial, por lo que su gestión correcta es un aspecto crucial y estratégico en la gestión y toma de decisiones.

Un modelo de datos para la representación de información urbana debe cumplir con los siguientes criterios:

- Incluir todo el ciclo de vida de la información desde la adquisición de los datos, su estructuración armonización y almacenamiento, hasta su explotación y mantenimiento.
- Involucrar a todos los agentes que intervienen en la toma de decisiones.
- Estructurar la información tanto geométrica como semántica de forma georeferenciada en un único modelo de datos que sea interoperable con otros modelos de datos y otras herramientas para el análisis la gestión y la toma de decisiones. Para ello el modelo tiene que estar basado en estándares internacionales que faciliten la utilización de información pública (open data).
- Interconectar la información a diferentes escalas (ciudad, distrito, edificio, componente) y de diferentes ámbitos
- Garantizar el acceso público a la información y permitir la visualización en 3D que facilita el entendimiento tanto a técnicos como a ciudadanos
- Posibilitar la generación de herramientas y soluciones en la nube (cloudcomputing) para el análisis, gestión y toma de decisiones.
- Cubrir la necesidad de tener en cuenta la escala ejecutiva en las decisiones estratégicas a través de la conexión entre la escala estratégica (urbana) y la escala ejecutiva (escala edificio-componente). Esto debe permitir la conexión con modelos más específicos de la escala edificio (BIM) y la escala territorial (GIS).

Desde nuestro acercamiento, estos requisitos se traducen en la definición de un modelo de datos común, multiescala, genérico, interoperable y que contiene la información semántica y geométrica necesaria para la gestión, la toma de decisiones para la mejora de la sostenibilidad y su posterior gestión y mantenimiento.

A la hora de establecer este modelo de datos que define la forma de representación y almacenamiento de los datos que describen la ciudad histórica y que faciliten el posterior procesamiento de los mismos es clave basar dicho modelo en estándares o directrices

internacionales. La utilización de estándares es la clave para asegurar el impacto a largo plazo de las soluciones planteadas. Algunas referencias internacionales a tener en cuenta para el modelado de datos a nivel urbano pueden ser las siguientes:

- La directiva PSI- Public Sector Information (2003/98/CE- modificada 15 abril 2013) establece el marco legal para la reutilización de la información del sector público por parte del sector privado con propósitos comerciales y no comerciales. Establece el derecho a la reutilización de cuanto documento tenga carácter público y reconoce el valor de la publicación de datos abiertos, no sólo como valor económico, sino también como valor social y como tractor de la transparencia
- La Directiva INSPIRE [2] (Infrastructure for Spatial Information in Europe) establece las reglas generales para el establecimiento de una Infraestructura de Información Espacial en la Comunidad Europea. Esta directiva exige la armonización de datos y la interoperabilidad del sistema y su objetivo es crear un marco jurídico que permita establecer una infraestructura de información espacial a nivel Europeo. La directiva INSPIRE permitirá disponer de más datos espaciales y que sean más fiables y poner al alcance de todos (administraciones, empresas y ciudadanos) dichos datos. Uno de los objetivos de esta directiva es utilizar y optimizar la explotación de los datos espaciales existentes actualmente.
- IMGeo es el estándar holandés para el intercambio de información geográfica a gran escala. Este estándar incluye la documentación de elementos como carreteras, túneles, ríos, uso de tierras y otros. IMGeo pretende ser un sistema de representación de objetos independiente de la escala que proporciona una cobertura nacional uniforme. Holanda es el primer país que ha hecho de CityGML un estándar nacional de representación de información [3].
- La ciudad de Berlín ha desarrollado el modelo de ciudad virtual en 3D de Berlín, que funciona como un espacio de información geográfica compleja, Este modelo integra y enlaza datos espaciales obtenidos de diferentes fuentes y se basa en el estándar CityGML [4].

Como solución a la gestión de la información de la ciudad, desde Tecnalía se está desarrollando MIMU-3D (Modelo de Información Multiescala Urbana - 3D), una plataforma tecnológica de gestión de la información basada en CityGML.

## CITYGML

CityGML es un modelo de datos estándar definido para la representación de modelos de ciudad en 3D que combina información semántica y geométrica. Se trata de un esquema de aplicación del Geography Markup Language (GML3) que permite el intercambio de datos espaciales. Ambos son estándares aprobados por el Open Geospatial Consortium (OGC).

El objetivo del desarrollo de CityGML es llegar a una definición común de las entidades básicas, atributos y relaciones de un modelo de ciudad en 3D. Lo que es especialmente importante, ya que permite la reutilización de los mismos datos en diferentes campos de aplicación. CityGML no sólo representa el aspecto gráfico de los modelos de ciudad, también representa las propiedades semánticas y temáticas, taxonomías y agregaciones.

El modelo temático está dividido en diferentes áreas: modelos digitales del terreno, los edificios, la vegetación, los sistemas de transporte, el mobiliario urbano, etc. Uno de los principios de diseño más importante de CityGML es el modelado coherente de la semántica y las propiedades geométricas/topológicas. A nivel semántico, los objetos del mundo real, como edificios, paredes, ventanas o habitaciones, se describen en términos de sus atributos, relaciones y jerarquías. De este modo, las relaciones entre características pueden ser obtenidas sin atender a la geometría del objeto. Además, CityGML es capaz de representar tanto la jerarquía semántica como la geométrica.

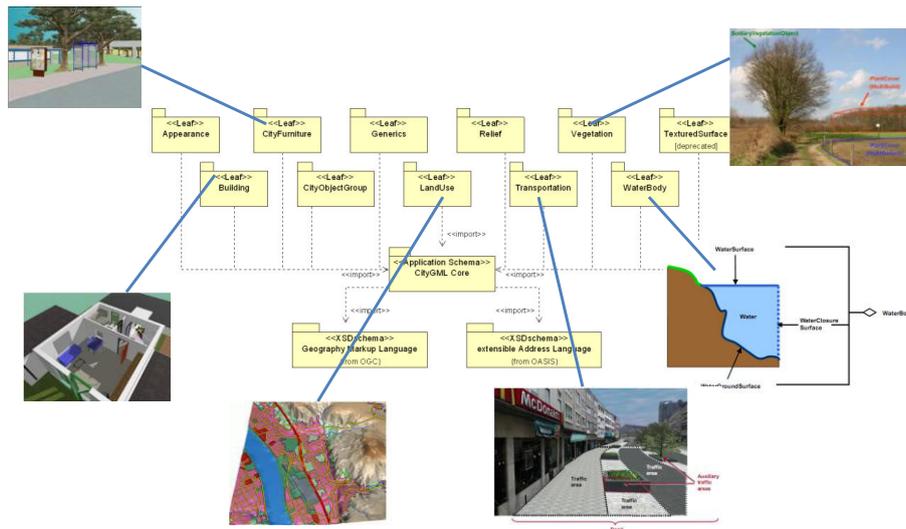


Figura 1 Modelos temáticos de CityGML

CityGML permite representar la información gráfica a distintos niveles de detalle (Level of Detail - LoD), reutilizando la información semántica. Los diferentes niveles de detalle permiten la visualización y análisis de los datos a diferente resolución y escala, dependiendo de los requisitos de cada área de aplicación. De esta manera se conecta la escala estratégica (urbana) y la escala ejecutiva (escala edificio-componente) dentro del mismo modelo. Además gracias a su interoperabilidad, es posible conectar el ámbito de la ciudad con modelos más detallados a nivel edificio-componente como los modelos BIM (Building Modelling Information) y con sistemas a nivel territorial (GIS - Geographic Information System). Aunque CityGML está pensado para ser un modelo universal independiente del dominio de aplicación, atendiendo a las necesidades de los usuarios es necesario crear nuevas entidades o caracterizar las ya existentes con nuevos atributos. Para facilitar este proceso e incrementar la flexibilidad del estándar, CityGML define las llamadas Application Domain Extension (ADE). Una vez especificada formalmente los documentos pueden validarse conforme a ella manteniendo la compatibilidad del modelo original con las herramientas ya basadas en CityGML.

### EXTENSIONES DE DOMINIO DE APLICACIÓN

Para poder definir las extensiones necesarias sobre CityGML necesitamos determinar previamente qué información modelar, es decir, las características de la información que, como mínimo, deberá representar el modelo de datos.

A continuación se presentan las tres extensiones que se han diseñado y desarrollado dentro de MIMU-3D:

- Extensión información catastral

coory	via	numero	numerodup	numsymbol	area
fechaalta	fechabaja	ninterno	vpd	mapa	delegacio
municipio	masa	hoja	tipo	parcela	coorx
refcat	web	fotofachada			

Tabla 1 Extensión de información catastral

- Extensión de secciones censales

cod_seccion	total	t0-4	t5-9	t10-14	t15-19	t20-24	t25-29
t30-34	t35-39	t40-44	t45-49	t50-54	t55-59	t60-64	t65-69
t70-74	t75-79	t80-84	t85-89	t90omas	total	h0-4	h5-9
h10-14	h15-19	h20-24	h25-29	h30-34	h35-39	h40-44	h45-49

h50-54	h55-59	h60-64	h65-69	h70-74	h75-79	h80-84	h85-89
h90omas	mtotal	m0-4	m5-9	m10-14	m15-19	m20-24	m25-29
m30-34	m35-39	m40-44	m45-49	m50-54	m55-59	m60-64	m65-69
m70-74	m75-79	m80-84	m85-89	m90omas	pr_ruidos_ext	pr_contaminación	pr_poca_limpieza_en_las_calles
pr_malas_comunicaciones	pr_pocas_zonas_verdes_en_la_zona	pr_delincuencia_o_vandalismo_en_la_zona	pr_falta_de_servicio	vivotot	ediftot	edif_a1900	edif1900_1920
edif1921_1940	edif1941_1950	edif1951_1960	edif1961_1970	edif1971_1980	edif1981_1990	edif1991_2001	totpers

Tabla 2 Extensión de secciones censales

- Extensión de puntos de interés

x	y	z
name	description	refcat

Tabla 3 Extensión de puntos de interés

### GENERACIÓN DEL MODELO DE INFORMACION MULTIESCALA URBANA 3D

La generación de modelos de ciudades en 3D con un elevado nivel de detalle requiere una inversión de horas y costes muy altos [5]. Existen múltiples tecnologías de adquisición de información para la creación de ciudades en 3D como el escaneado láser, fotogrametría terrestre y aérea, herramientas de modelado y CAD, etc. como se explica en [6]. Asimismo, se hace necesario dotar al modelo 3D de información alfanumérica adicional que aporte a dicho modelo cierta inteligencia, más allá de una representación tridimensional de elementos geométricos. Generar ciudades en 3D realistas en varias resoluciones es uno de los retos hoy en día. Dependiendo del nivel de detalle y de la técnica de generación los costes pueden dispararse.

El proceso completo de generar un modelo de información multiescala para la ciudad tiene que tener en cuenta todo el ciclo de vida de la información y se puede resumir en tres grandes tareas: Generación, Almacenamiento y Utilización de información:

- La Generación consiste en capturar la información tridimensional de los edificios y entornos urbanos mediante distintos métodos de digitalización 3D (escáner, fotogrametría, CAD, datos espaciales libres, etc.) y añadir la semántica propia de los elementos estructurales de forma semiautomática.
- En el Almacenamiento, hay que almacenar la información semántica y 3D en el modelo de datos, de forma extensible e interoperable y a diferentes detalles (información a escala urbana y de edificio).
- La Utilización consiste en explotar la información del modelo único de datos desde diferentes aplicaciones para diferentes usuarios con diferentes necesidades.

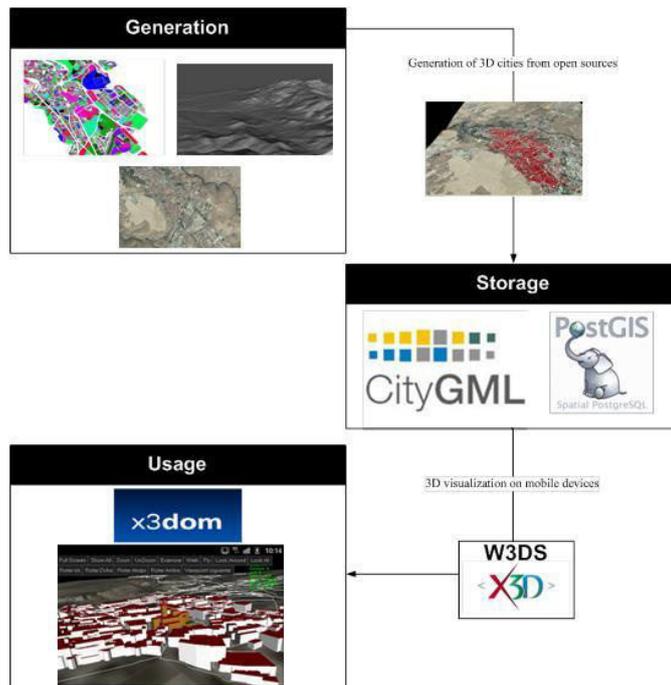


Figura 2 Ciclo de vida de la información

En [7] se presentó una metodología de generación de modelos de ciudades en 3D de bajo coste a partir de fuentes de datos libres que permite generar un modelo realista y con múltiples resoluciones.

La metodología para crear modelos de ciudades en 3D a partir de fuentes de datos libres se presenta en la Figura 3. En esta metodología primero se identifica qué información se quiere almacenar y se accede a la misma, después se realiza un preprocesado para hacer una primera limpieza de los datos. El siguiente paso es adaptar el modelo de datos para poder almacenar la información no representada en CityGML. Por último se procesa la información y se crea el fichero CityGML.

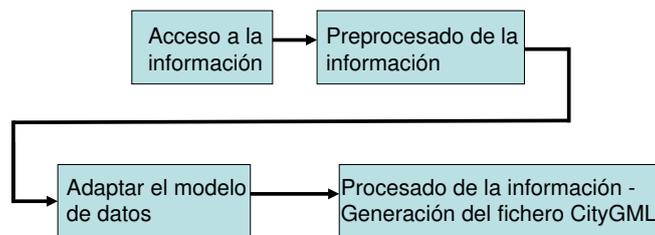


Figura 3 Metodología para crear modelos de ciudades en 3D a partir de fuentes de datos libres

Un modelo de datos de ciudades en 3D debe almacenar, además de información 3D, información semántica. Mediante la información tridimensional se puede representar la geometría de los objetos urbanos de una ciudad en 3D y aporta la información visual. Con la información semántica, es posible enriquecer el modelo de datos añadiendo información sobre los objetos urbanos. La información semántica de un edificio permite indicar datos como: número de plantas del edificio, materiales utilizados, la función del edificio, quién es el propietario, etc. No todas las fuentes de datos libres proporcionan los dos tipos de información.

En la Figura 4 se presentan las fuentes de datos utilizadas y se muestra cual de cada una de ellas proporciona información geométrica, semántica o las dos a la vez.

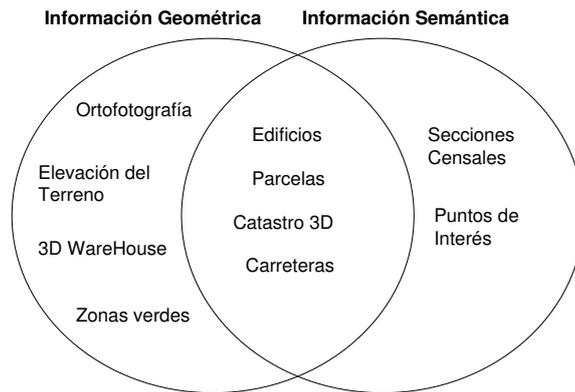


Figura 4 Clasificación de las fuentes de datos según si proporciona información geométrica o semántica

La metodología de generación de ciudades en 3D se ha utilizado para generar los modelos de Segovia, Santiago de Compostela, Donostia - San Sebastián (ver Figura 5 y Figura 6).

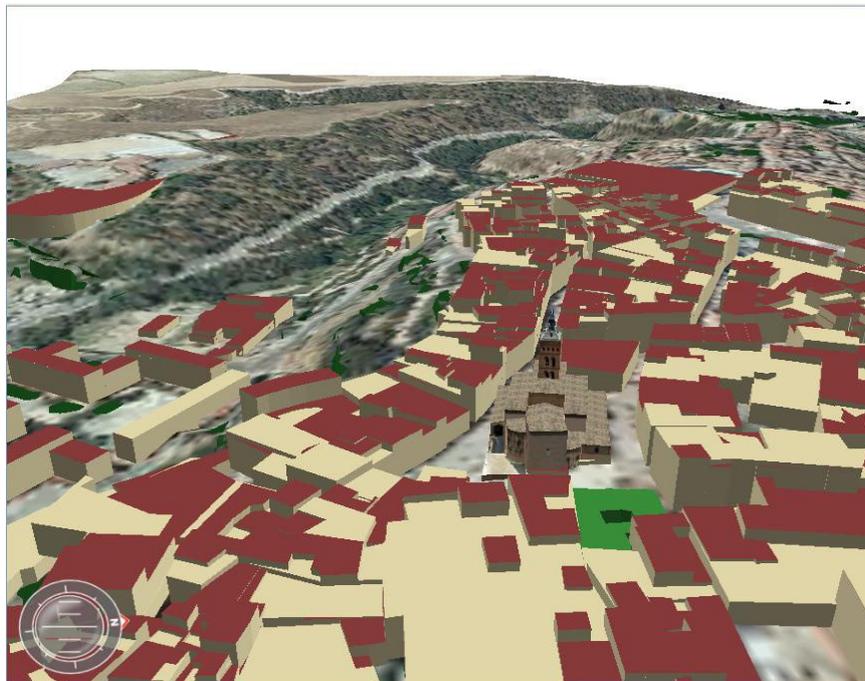


Figura 5 Modelo completo de Segovia en 3D I

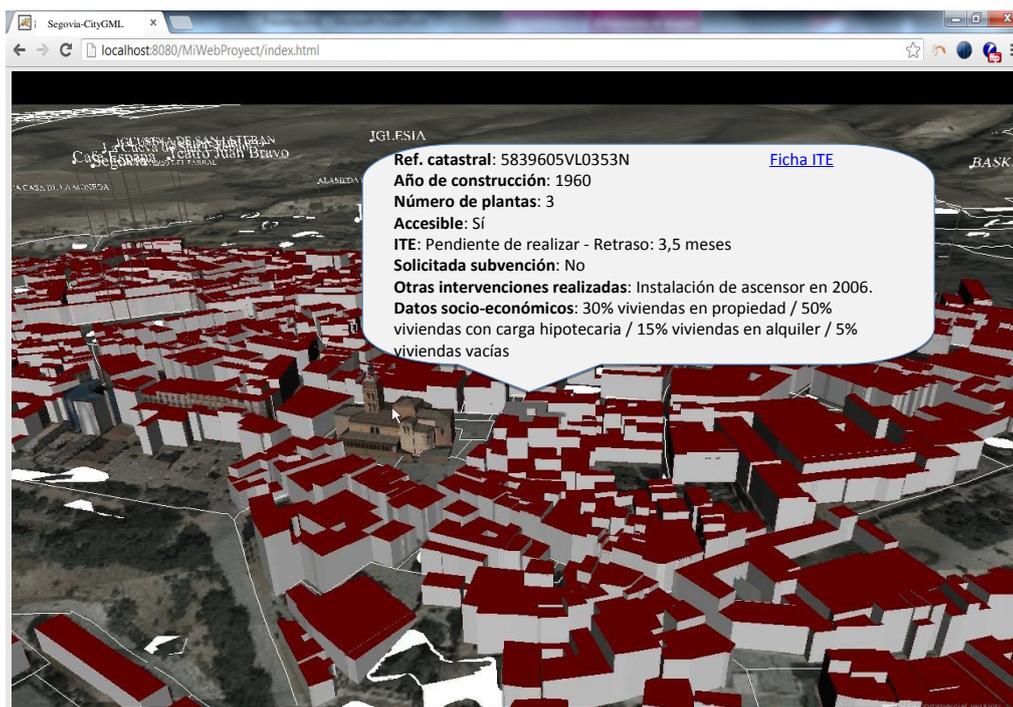


Figura 6 Modelo completo de Segovia en 3D II

## ECOSISTEMA DE SERVICIOS PARA LA GESTION INTEGRAL SOSTENIBLE DE LA CIUDAD

Para aprovechar el verdadero potencial de una ciudad, la ciudad debe convertirse en un facilitador para la creatividad y la innovación a través de los servicios y las aplicaciones en el que la administración, las empresas y los ciudadanos tienen su papel. Esto puede conseguirse a través de la creación de un ecosistema de servicios para la gestión integral sostenible de la ciudad basado en un modelo único de información multiescala (ver Figura 7). Estas soluciones deben considerar y usar diversos estándares para ayudar a definir y aprovechar un modelo de datos común. Estas aplicaciones o servicios pueden abarcar todas las necesidades de la ciudad. Algunos ejemplos:

- Servicios para la Rehabilitación Sostenible. Se trata de servicios que permitan a la administración la gestión y el mantenimiento de las intervenciones en el entorno urbano. Estas intervenciones estarán encaminadas a la mejora de la sostenibilidad y ahorro energético del entorno urbano en su conjunto.
- Servicios para la gestión eficiente de recursos energéticos. A través de una visión holística de la ciudad es posible priorizar los puntos y factores clave para la optimización de consumos, uso de renovables y gestión de la demanda.
- Servicios para la gestión y optimización de la movilidad urbana. Como soporte a la toma de decisiones y planificación de actuaciones en la ciudad. Dentro de estos servicios se consideran aspectos de transporte, seguridad y accesibilidad.
- Servicios de información turística y cultural. Provisión de servicios y aplicaciones que proporcionan información de la ciudad relacionada con información turística y/o eventos culturales. Estos servicios explotarán, entre otras, la componente 3D del modelo de información.
- Servicios de Visualización 4D. Presentación de la información basada en la información 3D del modelo incluyendo la componente temporal (pasado o futuro). Se trata de ofrecer una herramienta de visualización para facilitar la gestión y presentación de la información asociada al modelo de información 3D.
- Servicios que favorezcan el e-government y la participación ciudadana, facilitando la interacción y comunicación entre administración y ciudadanos. Estos servicios permitirán definir políticas y

tomar decisiones sobre la base de la inclusión, sostenibilidad y participación.

- Servicios para la gestión eficiente de servicios públicos e infraestructuras urbanas
- Servicios de alerta temprana e Identificación y gestión de problemas futuros
- Servicios para análisis temáticos urbanos (energéticos, corrientes de aire, ruidos, visibilidad...)

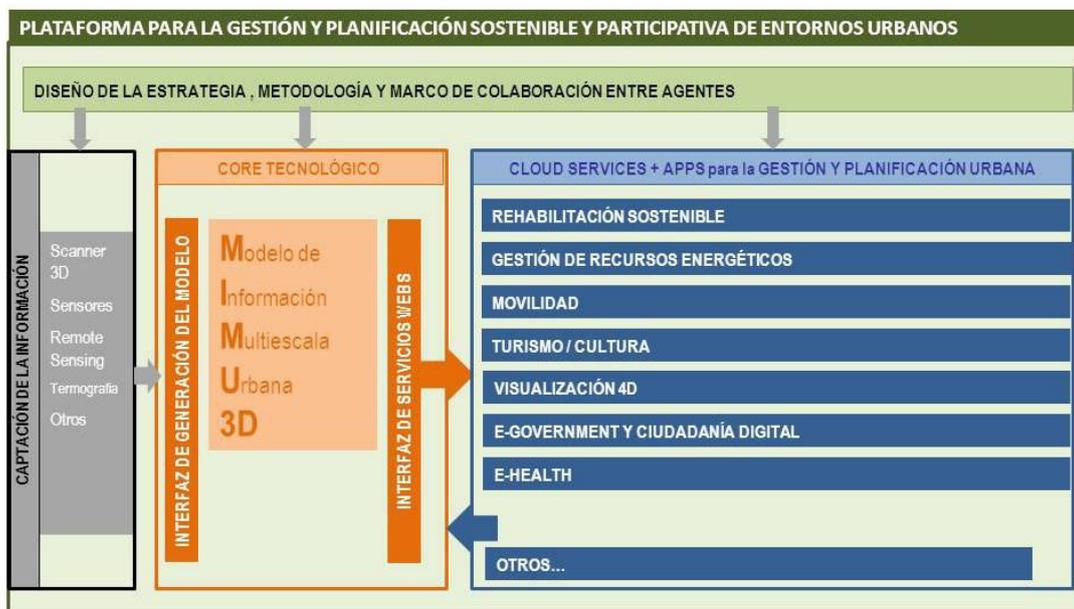


Figura 7 Plataforma MIMU-3D

Para establecer la sostenibilidad del modelo es necesario definir los diferentes roles de cada agente dentro de la estrategia global:

- **Administración:** Debe ser la propietaria del modelo de información y la plataforma tecnológica. Adquiere la plataforma y puede asumir el mantenimiento de la misma o externalizar dicho servicio. Algunos de los servicios y aplicaciones que se desarrollen por parte de terceros sobre dicha plataforma pueden ser también de interés para la administración y pagar por ellos, generalmente basada en esquemas de colaboración público-privada donde se comparten riesgos y beneficios.
- **Empresas desarrolladoras de servicios:** El desarrollo de servicios basados en el modelo de información puede requerir el pago a la administración por el uso de la plataforma por parte de la empresa desarrolladora.
- **Inversores:** Algunos de los servicios a desarrollar sobre la plataforma estarán encaminados a identificar oportunidades de negocio en la ciudad. Estos agentes están dispuestos a realizar inversiones económicas pero requieren de herramientas que les ayuden a minimizar los riesgos de sus decisiones.
- **Agencias de desarrollo:** Tienen como objetivo favorecer el desarrollo de una ciudad o región, para ello promueven iniciativas y proporcionan incentivos. Son los encargados de hacer atractivas las oportunidades de negocio a los inversores. Al igual que los inversores necesitan herramientas, servicios, aplicaciones que les ayuden a tomar las decisiones sobre el destino de sus incentivos.
- **Ciudadanía:** En algunos casos el ciudadano estará dispuesto a pagar por alguno de los servicios proporcionados. En otras ocasiones los costes de los servicios que generan beneficios para la sociedad los asume la administración. Para asumir los costes de servicios que tienen como

destinatarios los usuarios finales se suele recurrir a modelos de negocio basados en la publicidad.



Figura 8 Servicios para la gestión integral sostenible de la ciudad

## CONCLUSIONES

MIMU-3D (Modelo de Información Multiescala Urbana - 3D) es una plataforma tecnológica de gestión de la información basada en CityGML que estructura toda la información referente a la ciudad, tanto la geométrica como la semántica, en un único modelo de datos interoperable que integra la información de diferentes ámbitos y a diferentes niveles de detalle.

El modelo está basado en estándares internacionales, por lo que es interoperable con otros modelos de datos y otras herramientas (análisis, gestión, toma de decisiones...), característica que permite desarrollar un ecosistema de servicios que faciliten la gestión y planificación urbana, a través de la generación de herramientas y soluciones en la nube (cloud computing).

Gracias a CityGML es posible almacenar información semántica y 3D en el mismo modelo de datos. La interoperabilidad entre las diferentes aplicaciones y herramientas software que utilizan información relacionada con ciudades en 3D es un problema que actualmente puede ser reducido gracias al uso de estándares internacionales como CityGML.

Se consigue, además, generar un modelo de una ciudad en 3D realista que representa de forma fiel la realidad ya que todos los datos utilizados son de organismos oficiales que ofrecen altas precisiones en sus datos (Sede Electrónica del Catastro, Cartociudad, Instituto Geográfico Nacional, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea e Instituto Nacional de Estadística).

## REFERENCIAS

- [1] OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version: 2.0.0. OGC 12-019
- [2] INSPIRE. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community. <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>
- [3] Stoter, J, L. Brink, G. Vosselman, J. Goos, S. Zlatanova, E. Verbree, R. Klooster, L. van Berlo, G. Vestjens, M. Reuvers and S. Thorn, A generic approach for 3D SDI in the Netherlands, In:

Proceedings of the Joint ISPRS Workshop on 3D City Modelling&Applications and the 6th 3D GeolInfo Conference Wuhan, China, 26-28 June, 2011.

[4] <http://www.businesslocationcenter.de/en/3d/seite0.jsp?closed=1>

[5] J. Döllner, T. H. Kolbe, F. Liecke, T. Sgouros and K. Teichmann, "The virtual 3D city model of Berlin - managing, integrating and communicating complex urban information", 25th International Symposium on Urban Data Management UDMS. 2006.

[6] W.F. Limp, A. Payne, S. Winters, A. Barnes and J. Cothren, "Approaching 3D Digital Heritage Data from a Multi-technology, Lifecycle Perspective", Proceedings of the 38th Annual International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Granada, Spain, April 6-9, 2010

[7] Prieto, I; Izkara, J.L.; Usobiaga, E. Generación semiautomática de ciudades 3D en CityGML a partir de fuentes de datos libres. I Congreso Iberoamericano de Geomática y Ciencias de la Tierra. TopCart 2012

## AUTORES

**Iñaki PRIETO**  
*inaki.prieto@tecnalia.com*  
Tecnalia Research & Innovation  
Unidad de Construcción

**Jose Luis IZKARA**  
*joseluis.izkara@tecnalia.com*  
Tecnalia Research & Innovation  
Unidad de Construcción

**Aitziber EGUSQUIZA**  
*aitziber.egusquiza@tecnalia.com*  
Tecnalia Research & Innovation  
Unidad de Construcción