

BLD471075

Ayacucho: De un montón de puntos a un Gemelo digital

María Pascual Sáez
C95Creative

Jose Ariza
Autodesk

Objetivos de aprendizaje

- Extraer información de dicha base de datos
- Estrategias de modelado
- Gestión de datos a escala de ciudad
- Gestión de nubes de punto en el modelo

Descripción

Digitalizar Ayacucho usando la metodología BIM. El objetivo era darle a Ayacucho un modelo rico en datos, fácil de actualizar y con un gran potencial de usabilidad. Un paso vital fue reunir los datos existentes. Utilizamos mobile mapping y dron para obtener nubes de puntos de la ciudad y construir el catálogo urbano BIM de la ciudad. En paralelo, se definieron los parámetros necesarios para crear un catastro digital. Se dividió la ciudad en varios sectores, desarrollando el modelo desde un LOD 100 a un 400 para elementos singulares. La digitalización de Ayacucho tomó 6 meses de intenso trabajo que culminó en: Un archivo de nube de puntos de 450 GB, 145 archivos, federados de Revit que contienen 154 bloques de ciudades, un único modelo de ciudad BIM 360 que brinda acceso a la información de la ciudad en cualquier lugar y en cualquier momento. Utilizando el modelo de ciudad, Ayacucho ahora puede planificar mejor las intervenciones urbanas o promover su rico patrimonio histórico.

Oradores



María Pascual Sáez es arquitecta y directora BIM dentro de C95 Creative. Su formación en BIM ha hecho que cambie su visión de un proyecto. “Pensar en todo momento en cada una de las partes del ciclo de vida del edificio me ayuda a realizar un trabajo mucho más optimizado desde el inicio, permitiéndome abarcar parcelas que antes no eran mi zona de confort y haciendo que todo encaje dentro del engranaje de una forma precisa”.

María inició su carrera como Arquitecta en Logroño (La Rioja) para la administración local, pasando a trabajar en varios estudios e ingenierías de Madrid, compatibilizándolo con la consultoría y formación en BIM.”



Jose Ariza se unió a Autodesk en 2017. Trabaja como Especialista Técnico para España y Portugal, centrándose en el portfolio de construcción de Autodesk. Antes de unirse a Autodesk, José había trabajado como consultor BIM independiente y también como responsable técnico para un distribuidor Platinum de Autodesk. Como resultado, durante más de 8 años hasta la fecha Jose ha ayudado a las principales empresas del sector AEC durante el proceso de implementación de la metodología BIM y en el desarrollo de proyectos multidisciplinarios tanto nacionales como internacionales utilizando la tecnología de Autodesk. Además, ha colaborado con la Universidad de Córdoba (España) como Profesor Asociado. Nacido en Córdoba, Jose es licenciado en Ingeniería Técnica Industrial y master en Técnicas y Métodos de Diseño de Arquitectura e Ingeniería por la Universidad de Córdoba. Cuando no está instalando una nueva versión de los productos de Autodesk, Jose pasa su tiempo libre jugando al fútbol, viendo series y MotoGP, ya que es un amante de las motos.

Presentación del proyecto

Ayacucho está situada en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes. Es uno de los conjuntos arquitectónicos y artísticos más notables de Perú. Conocida como la «Ciudad de las Iglesias», por sus numerosos templos coloniales, o «Ciudad Señorial» por su arquitectura, tradición y arte. Tras años de deterioro arquitectónico, sin proteger el patrimonio cultural y sin planes estratégicos de crecimiento urbano, actualmente plantea unos objetivos claros. Se pretende declarar patrimonio de la humanidad su centro histórico, mejorando su espacio urbano, desarrollar una Smart City mejorando su gestión, crear un plan de turismo y acercar al ciudadano a su historia e identidad, mejorar la seguridad y crear un impacto económico dando a conocer el producto local de la ciudad.

La zona de actuación consta de 154 cuadras o manzanas con una extensión total de 230 hectáreas aproximadamente.

Es importante entender antes de explicar todo el proyecto las variaciones tecnológicas que han existido desde el inicio del proyecto a mediados de Julio del 2017 hasta ahora, por lo que se verá en esta presentación como los planteamientos iniciales han ido variando y el final del proyecto ha quedado diluido dado que se sigue trabajando en el modelo aún hoy tal y como veremos más adelante.

Adelantado esto, en el marco anteriormente nombrado, el objeto del proyecto es el levantamiento BIM del casco histórico de Ayacucho, obteniendo una base real de la ciudad, y haciendo un uso del modelo para la toma de decisiones referentes al posterior programa, creando una data y un espacio virtual de inmersión en diferentes propuestas. La digitalización, implanta soluciones aportadas por las tecnologías de la información y la comunicación en la gestión urbanística, con el objetivo de optimizar recursos y simplificar procesos, dando respuesta a las demandas de ciudadanos y administraciones, fomentando su interoperabilidad y habilitando medios electrónicos que permiten la consulta de la información urbanística y el uso eficientemente.

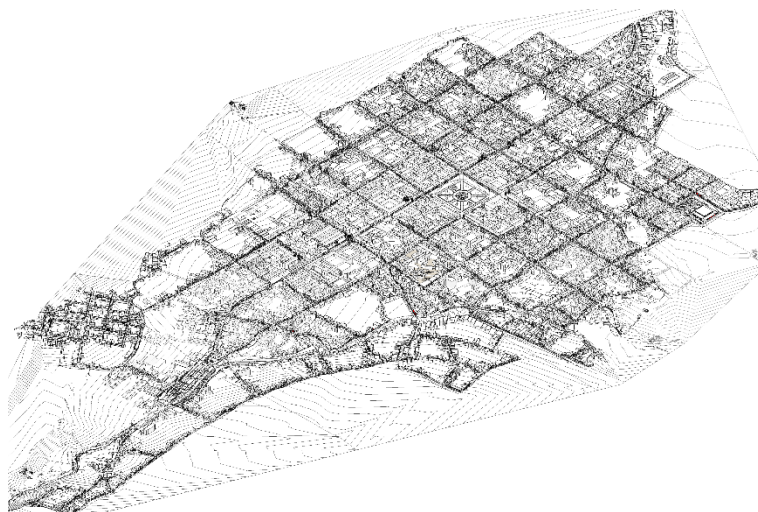


Figura 1 Modelado BIM Ayacucho. Fuente propia (2017)

La toma de datos geométrica se consigue a través de la tecnología de escaneado con nube de puntos, combinando mobile mapping (MM), estación escáner y dron; posteriormente estos escaneados serán tratados con softwares de gestión de nubes de puntos y modelado BIM.

Tal y como se verá más adelante en detalle, en una primera fase de análisis, definición y normalización, se desarrolla una estrategia para formalizar el proceso, poniendo en valor los ejes principales y zonificando en once sectores que optimizan el trabajo y la clasificación urbana. Se diseña una base de datos de los principales elementos que dan identidad a la ciudad como explicaremos más adelante, un catálogo personalizado y un sistema base de los estándares a seguir durante todo el ciclo de vida del proyecto.

En una segunda fase, se levanta digitalmente la geometría de la ciudad, implantando un nivel de detalle diferente según avanza el proceso, creciendo el nivel de definición radialmente hasta conseguir un detalle geométrico y una base de datos óptima para la utilización del modelo en distintas plataformas.

Y en la tercera fase se hace una gestión de esos datos buscando la forma de generar un valor a la ciudad para distintos usos que se detallarán a lo largo de este documento.

El proyecto de digitalización.

El proceso

	Jul 2017	Ago 2017	Sep 2017	Oct 2017	Nov 2017	Dic 2017	Ene 2017	Feb 2017	Mar 2017	Oct 2020
Estrategia										
Toma UAV+MM										
Toma IP40										
Procesad Nube										
Catálogo										
LOD100										
LOD200										
LOD300										
LOD400										
Información urbana										
Visores										
VR										
RCP+Modelo										
Proy.Rehabilitación										
Aplicaciones										
Catastro Digital										
Desarrollos basados en el modelo										

Tabla 1. Tabla Tipo. Planificación digitalización. Fuente propia (2017-2020)

Captación de la realidad a través de una nube de puntos

Para crear el modelo virtual en analogía con la realidad, se captura con tres medios:

UAV DJI Inspire, que aporta la información necesaria de las cubiertas de la ciudad y los patios interiores.

Mobile mapper (MM) Leica Pegasus TWO de Leica Geosystems, que permite obtener datos en 3D de calidad e imágenes de alto rango dinámico (HDR).

Estación Laser P40 de Leica Geosystems, con mayor definición en elementos que lo precisen, así como los datos no accesibles de otra forma (obras, zonas peatonales...) con esta tecnología obtendremos la geometría e imagen del estado actual en exactitud.

Dichas nubes son tratadas en Cyclone, software que ayuda a ensamblar los distintos escaneados y crear un documento único, para poder modelarlo con una precisión milimétrica.

Se crea un as-built parametrizado que sirve de base para cualquier actuación futura, tanto de reforma como de gestión del edificio, convirtiendo esta información en un modelo BIM.



Figura 2 Nube de puntos UAV, Ayacucho. Fuente propia (2017)

El UAV DJI Inspire I dotado de una cámara Zemusse X3 ha realizado una planificación de vuelos cenitales para cubrir la zona a capturar con un total de 11 vuelos de altura media sobre el terreno de 100m y un solape entre imágenes >80%, registrando un total de 3.918 imágenes. Se ha procesado una superficie total de algo más de 282 ha, obteniéndose un GSD de 4.62 cm.

Con las imágenes registradas, se ha realizado un procesamiento con el software PIX4D para la obtención de una nube de puntos mediante correlación de imágenes. Éstas, durante el vuelo han sido georreferenciadas mediante el sistema GPS del dron, para garantizar el correcto ajuste a la nube de puntos obtenida con otros sistemas, utilizando una serie de puntos de control.

En este caso se han utilizado 17 puntos repartidos sobre la superficie registrada, fácilmente identificables, cuyas coordenadas se han obtenido directamente de la nube de puntos ajustada del MM.

El Laser Escáner P40 junto la cámara iStar, se ha utilizado para complementar la obtención de un mayor detalle en las zonas relevantes. Con este sistema se pudo realizar la toma de datos de manera estática, registrando hasta 1.000.000 de puntos por segundo, con un alcance

máximo de 120 m alrededor del punto de estacionamiento, en condiciones óptimas con el horizonte despejado.

Para obtener una calidad de nube de puntos adecuada a la finalidad del proyecto, se realizan escaneos cada 20-30 metros, aumentando en plazas, arcos o monumentos donde existen elementos que requieren un mayor nivel de detalle.

Con el MM, se ha realizado una toma de datos en dinámico en tres sesiones de medición a lo largo de dos días. Con una planificación previa, para minimizar el número de cruces en intersecciones de calles a registrar y una antena de referencia GNSS registrando datos para el posterior cálculo de la trayectoria, realizada con el software Inertial Explorer v8.70 (Novatel).

Se dividieron las tres sesiones en distintos tracks, de esta forma, se podía segmentar la información total registrada, consiguiendo unos valores y desviación estándar para un punto seleccionado en un entorno urbano. Se estudió la exposición y balance de blancos de las siete cámaras utilizadas por el sistema, para generar una cúpula completa con un perfilómetro a una frecuencia de rotación de 200 Hz.



Figura 3 Modelado con nube, Ayacucho. Fuente propia (2017)

Para la extracción y sincronización de la unidad de medición inercial, las siete cámaras del sistema, los datos GNSS y el registro de puntos realizado por el láser escáner, se ha utilizado el software de Leica Pegasus AutoP. Con este procedimiento obtenemos las imágenes de cada cámara, así como las imágenes esféricas generadas y la nube de puntos resultante del perfilómetro.

Debido a las derivas del sensor inercial y las características del horizonte GNSS en un entorno urbano, la trayectoria calculada presenta diferencias en puntos intersección, se procede a analizar las nubes generadas y a su ajuste tridimensional.

Se utiliza como base de partida, un track situado en la zona central registrada, fijando su posición y ajustando los demás. Garantizando así, la homogeneidad geométrica de las distintas nubes y la inexistencia de desviaciones por encima de los 20 mm. Una vez realizado el ajuste, se procede a comprobar la precisión.

Con este proceso finalizado, preparamos un recorrido 360 con la imagen real captada de las cámaras, visores SIG, ArcGIS y Pegasus para explorar las imágenes e información actualizada y una base de datos con millones de puntos, que dan información sobre las dimensiones y geometrías de forma precisa, que, junto con los materiales de las imágenes, serán la base para el modelado BIM.

Entrega de datos y gestión en el estudio

Debido al volumen de datos, a la mala conexión de la zona de actuación con la oficina de C95Creative en Madrid y a la premura por su recepción, se decide el traslado de estos mediante un disco duro que unificara toda la información en una sola entrega, apoyándose de plataformas de almacenamiento en la nube que nos permitieran en el estudio ir trabajando sobre pequeñas porciones para ir agilizando tareas y compatibilizando en el tiempo distintos trabajos.

Una vez están todos los datos brutos en el estudio la primera decisión a tomar eran los softwares a utilizar en la gestión de la nube de puntos de forma aislada, así como su inclusión dentro del software Revit de Autodesk para el modelado del gemelo digital.

Las opciones estudiadas antes de la recepción habían dado como conclusiones de la utilización de unos u otros ventajas e inconvenientes que no les hacía ser incompatibles y que nos permitían trabajar de una forma mucho más rápida.

El formato de entrega de las nubes de puntos era un archivo de extensión “.las”, un formato totalmente extendido en este ámbito que permitía importaciones directas sin conversiones dentro de los softwares de las dos casas comerciales utilizadas para este trabajo. Autodesk por una parte y Leica Geosystems por otra, ambas casas comerciales utilizadas por nosotros en el día a día del estudio.

Las soluciones valoradas y las conclusiones de cada software fueron las siguientes:

- Cyclone de Leica + Cloudworx de Leica: nos permitía una gestión de la nube de puntos desde el software Cyclone que se veía reflejada de forma instantánea dentro del software de modelado Revit, realizando pequeñas porciones de la nube para su mejor manejo dentro del último software, pero con dos desventajas importantes que en esos momentos imponía el software. Por una parte, la necesidad de almacenar en local la nube de puntos para su trabajo y por otra parte la imposibilidad (no siempre inconveniente) de que los demás usuarios en colaborativo no vieran la nube de puntos de otro usuario dentro del mismo proyecto.
- Jetstream de Leica + Cloudworx de Leica: apoyándonos en la nube de puntos unificada del anterior caso y extrayendo un proyecto de Jetstream que es el que íbamos a importar dentro de Revit a través del plugin Cloudworx, podíamos manejar toda la nube de puntos de forma completa dentro de Revit sin sufrir ralentizaciones por el volumen de datos en este software de modelado, ya que el software está preparado para discriminar los puntos que no aparecen en el área de pantalla y el flujo se hace más ágil que si el ordenador tuviera que procesar los puntos que “no ve” como ocurría en el caso anterior, lo cual era una gran mejora en la forma de trabajar.

Como desventaja seguía existiendo en dicho momento la necesidad de la inclusión del proyecto dentro del disco duro local y los usuarios nuevamente no veían la nube de puntos manejada por otro usuario en el mismo o en otro archivo vinculado.

Como ventaja, sumado a la agilidad de trabajo, hay que añadir la opción de que ese archivo de proyecto de la nube de puntos en Jetstream era un entregable en sí mismo al

cliente que podía navegar con un visor free dentro de la nube de puntos y realizar mediciones dentro de la propia nube en caso de que lo necesitara.

- Recap de Autodesk: Los archivos “.las” de las tres nubes obtenidas de los distintos dispositivos son importables y compatibles entre sí de forma directa dentro de Recap por estar georreferenciadas y el usuario podía exportarse la porción de nube de puntos que necesitaba para trabajar en su zona de actuación. Veremos en otro punto como la división del archivo en sectores y manzanas hace que esta subdivisión de la nube para trabajar tome sentido y agilice de nuevo este trabajo.

Una de las grandes ventajas de la utilización de este software era la posibilidad de que cualquier usuario que accedía al archivo visualizara la nube de puntos para su trabajo colaborativo, de tal forma que se podrían dar apoyo los usuarios para modelar contra el mismo archivo y la misma nube a la vez.

Otra de las ventajas era la ausencia de necesidad de que la nube estuviera incluida en la máquina local del usuario, sino que se podía trabajar con esta dentro del servidor propio de C95 Creative, lo que reducía la necesidad de almacenamiento dentro del propio ordenador.

Una de las desventajas o más bien, punto a tener en cuenta, era la necesidad de apoyarse en los subproyectos de Revit para la visualización o no, de las nubes de puntos dentro de otros archivos, debido a la visualización de esta a través de archivos vinculados. Es decir, que si un usuario estaba trabajando en un archivo que tenía a su vez otro vinculado con una nube de puntos también veía en el archivo de trabajo la nube de puntos de todos aquellos archivos vinculados. Esto a una escala de proyecto no es importante, pero a una escala de ciudad es algo que hay que saber gestionar o si no se generarán problemas de requerimiento de gráfica y memoria para el trabajo.

Estrategias de modelado

Cuando hablamos de BIM, necesitamos coordinar un trabajo colaborativo, clasificar su nivel de definición y estandarizar una metodología.

Fase 1: Zonificación

Uno de los puntos importantes en el arranque del proyecto es la necesidad de establecer estrategias que nos acompañaran en el transcurso del proyecto en cuanto a la división en archivos.

En este proyecto la tarea era bastante clara debido al trazado que tenía el propio ámbito de actuación.



Figura 4. División en sectores del ámbito de actuación. Fuente propia (2017)

Se opta por una división en 11 sectores que vienen definidos por una cuadrícula claramente delimitada por los ejes cartesianos de los que está formado el trazado del casco antiguo de Ayacucho.

Estos ejes dividen 11 sectores que están formados por aproximadamente 9 manzanas o cuadras en la parte más regular. Estas cuadras serán las unidades mínimas de archivos de los que está dispuesto el proyecto.

Estas manzanas trabajan vinculadas en los archivos de sectores y a su vez estos en el archivo de proyecto que se complementaba con dos archivos más que contenían la topografía, viales y emplazamiento del proyecto

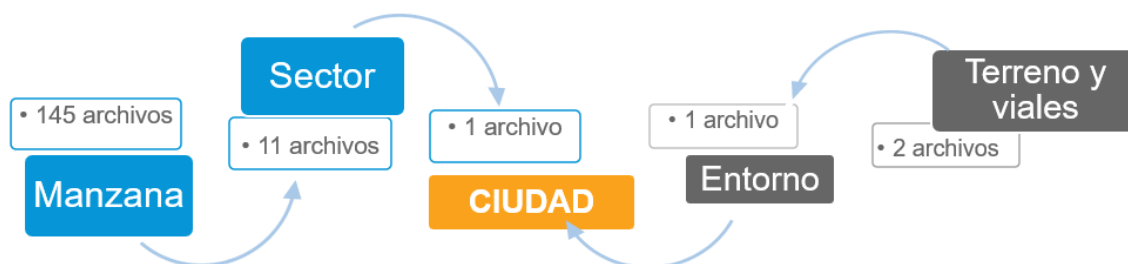


Figura 5. División en archivos del proyecto de Ayacucho. Fuente propia (2020)

Fase 2: Análisis previos

Antes de empezar la fase de modelado se analizaron varias bases de datos existentes que nos daban información de la situación “en teoría” actual de las edificaciones y referencias catastrales, de tal forma que pudimos cotejar lo escaneado con lo que teníamos referenciado y catalogado.

En este caso, las referencias eran muy pocas a nivel de arquitectura, por lo que se generó un documento en Excel que relacionaba los sectores definidos en el punto anterior, la manzana y la parcela, para que posteriormente toda la información pudiera ser conectada con el futuro modelo de la ciudad.

Sctr	Mnz	Prc	Tipo	Ventana PB	Ventana PP	Elemento en ventana	Balcon	Puerta	Elem puerta	Material zocalo	Material PB	Material PP	Elementos singulares	Imagen
4	38	10	Viv	Rectangular	Rectangular	PB:Contrav+Reja PP:Contrav	No	2Hojas mader arco	No	Mortero+ Pintura roja	Mortero+ Pintura blanca	Mortero+ Pintura blanca	Contraventanas	Server4s
4	38	17	Viv+Com en PB	No	Rectangular	Celosías	Sí	2Hojas madera	Dintel rejas	Piedra	Mortero+ Pintura blanca	Mortero+ Pintura blanca	Balcones, dintel	Server4s
4	38	22	Hotel	Rectangular	Rectangular	PB:Celosía	Sí:Lamas	2Hojas cristal	Dintel	Piedra	Piedra	Mortero+ Pintura blanca	Basamento y lamas	Server4s
4	38	25	Viv+Com en PB	Rectangular	Rectangular	Celosías	No	2Hojas madera/ 4Hojas madera	No	Mortero+ Pintura naranja	Mortero+ Pintura amarilla	Mortero+ Pintura amarilla	Carpinterías y celosías Detalles en blanco	Server4s
8	72	12	Viv+Com en PB	-	Abatible 2Hojas	Contraventanas	Blaustre madera	Abatible 2 Hojas	Rejas	Enfoscado Marron	Pintura Marron	Pintura Marron	-	Server4s
8	72	13	Viv+Com en PB	-	Abatible 2Hojas	-	-	Abatible 2 Hojas	Rejas	Revest verde	Pintura Amarillo	Pintura Rosa	Portico piedra	Server4s
8	72	14	Viv+Com en PB	-	Abatible 2Hojas	Contraventanas	Blaustre madera	Abatible 2 Hojas	Rejas	Enfoscado Verde	Pintura Rosa	Pintura Rosa	-	Server4s
8	72	15	Viv+Com en PB	-	Abatible 2Hojas	Contraventanas	Hormigon	Abatible 2 Hojas	Rejas	Piedra	Pintura Blanca	Pintura Blanca	Portico Ladrillo	Server4s
8	72	20	Comercio	-	Abatible 2Hojas	-	-	Persiana	-	-	Piedra	Pintura Amarilla	Portico piedra	Server4s
8	73	1	Viv+Com en PB	Abatible 2Hojas	Abatible 2Hojas	Contrav y rejas	Blaustre madera celosia madera	Abatible 2 Hojas	Rejas	Pintura Rosa	Pintura Amarilla	Pintura Amarilla	Cornisas blancas esquina madera Cornisas blancas carpinterías rojas	de Server4s
8	73	2	Viv+Com en PB	Abatible 2Hojas	Abatible 2Hojas y cuartelones	Rejas	Blaustre metalico	Abatible 2 Hojas	-	Pintura Rosa	Pintura Amarilla	Pintura Amarilla	Porton principal embocaduras amarillas	Server4s
8	73	3	Camara com	-	Abatible 2Hojas	Rejas	Blaustre madera	Abatible 2 Hojas	Rejas	Pintura Rosa	Pintura Rosa	Pintura Rosa	-	Server4s
8	73	4	Viv+Com en PB	-	Abatible 2Hojas	-	Metalico	Abatible 2 Hojas	Rejas	Pintura Marron	Pintura Amarilla	Pintura Amarilla	-	Server4s
8	73	5	Viv+Com en PB	Corredera 2Hojas	3Hojas	Rejas	Blaustre madera	Persiana Corredera	-	Pintura Gris	Pintura Rosa	Pintura Rosa	Cornisas blancas	Server4s

Tabla 2. Tabla Tipo. Elementos singulares para catalogo urbano Fuente propia (2017)

Fase 3: Documento de coordinación y catálogos

Otro de los puntos que era necesario definir antes de empezar con el trabajo de modelado era desarrollar un documento que alojara todos los criterios de modelado a los que nos teníamos que enfrentar en dicho proyecto, algo que a escala de ciudad no estábamos acostumbrados y que servirían para establecer estándares comunes a los 154 archivos de modelado que compondrían el proyecto.

c) PARAMETROS

Los principales parámetros en carpinterías aparecen en el listado adjunto.

Son todos de ejemplar para facilitar el modelado de la ciudad y en su nombre aparecen con _ para agrupar y diferenciar los parámetros que afectan en nuestro modelo de los propios de Revit.

GRUPO	Parámetro	Valor
CONSTRUCCION	Función	Interior
	Cierre de muro	Por anfitrion
	Tipo de construcción	
	Celosis (por defecto)	<input checked="" type="checkbox"/>
	Contraventana (por defecto)	<input type="checkbox"/>
MATERIALES	Reja (por defecto)	<input checked="" type="checkbox"/>
	Materiales y acabados	
	Material de puerta	Puerta - Panel
	Material de marco	Puerta - Marco
	Marco Material (por defecto)	Puerta - Marco
COTAS	Panel Principal Material (por defecto)	Puerta - Panel
	Panel secundario Material (por defecto)	Puerta - Panel secundario
	Cotas	
	Grosor	51.00
	Altura	1981.00
	Anchura	1830.00
	Anchura aproximada	
	Altura aproximada	
	Altura (por defecto)	2000.00
	Ancho (por defecto)	2740.00
	Distancia celosis (por defecto)	156.19
	Distancia contraventada (por defecto)	236.19
	Distancia reja (por defecto)	381.00
	Grosor (por defecto)	51.00
	Grosor Material secundario (por defecto)	53.76
	Hoja derecha Anchura (por defecto)	1140.00
	Hoja izquierda Anchura (por defecto)	600.00
	Marco (por defecto)	70.00
	Panel superior (por defecto)	285.40
	Travesaño derecha (por defecto)	100.00
	Travesaño inferior (por defecto)	200.00
	Travesaño izquierda (por defecto)	100.00
	Travesaño superior (por defecto)	200.00
	Propiedades analíticas	
	Parámetros IFC	
	Datos de identidad	

d) NOMENCLATURA DE LAS CARPINTERIAS

Los nombres de estos elementos deberán llevar un orden bastante estricto con el fin de un trabajo posterior más cómodo y rápido para el usuario final.

Numero de Hojas(H)_Geometría(G)_Tipo(T) H_GT
Ejemplo: 2Hojas_RectangularPanelsuperior 2H_RS

También pueden combinarse varias opciones
2Hojas_Rectangular_PaneleslateralesPanel superior 2H_RSL

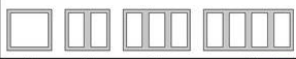

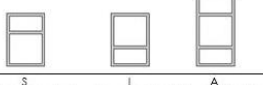
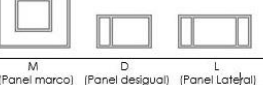
NOMENCLATURA	
Nº Hojas	
H_GT	1H 1 Hoja 2H 2 Hojas 3H 3 Hojas 4H 4 Hojas
Geometría	
H_GT	R (Rectangular) C (Circular) A (Arco) I (Irregular)
Tipo	
H_GT	S (Panel superior) I (Panel inferior) A (Panel arriba/abajo)
H_GT	
H_GT	M (Panel marco) D (Panel desigual) L (Panel lateral)

Figura 6. Documento de coordinación y estándares de proyecto. Fuente propia (2017)

En este documento se alojaron criterios de nomenclaturas de parámetros, que se apoyaban en rutinas de Dynamo, que generaban una multicarga de estos como compartidos. También se incluía el nivel de definición geométrica, como veremos más adelante, que cada una de las categorías debía poseer, así como las nomenclaturas específicas tanto de los elementos, como de los materiales que componían el proyecto.

Este documento era la “hoja de ruta” de cualquiera que tuviese que generar algo dentro del proyecto.

Dicho documento se veía complementado por unos archivos que contenían catálogos de elementos a utilizar en los archivos de forma “tipo”.

Esta tarea pudo ser realizada compatibilizándola en tiempo al inicio mientras se generaba la nube de puntos definitiva y se arrancaban todos los archivos, luego tan sólo se fue actualizando con necesidades que iban surgiendo a medida que se detectaban nuevos elementos o parámetros para incluir, pero siempre pasando por el documento de coordinación y siendo incluido en estos archivos utilizados a modo de repositorio, que tenían prioridad sobre todo lo que estaba ya incluido en los archivos de modelado de manzanas.



Figura 7. Imagen parcial del Catálogo referente a carpinterías de acceso y puertas de parcela.
Fuente propia (2017)

Fase 4: Definición de LOD y LOI del proyecto

Junto a la toma de datos in situ y a la base de datos del catastro, se registran los elementos identificativos de la ciudad, como ya hemos comentado en anteriores puntos, y se crea un sistema de clasificación para el levantamiento digital.

Son muchas las clasificaciones que se han hecho sobre el nivel de definición BIM, por ello adjuntamos una breve descripción sobre algunas bases.

En nuestros proyectos de construcción clasificamos:

LOD100 Diseño de concepto, análisis y estudios previos;

LOD200 Diseño esquemático para anteproyectos;

LOD300 Diseño detallado para proyecto básico;

LOD350 Documentación para proyecto de ejecución;

LOD400 Fabricación y montaje para planos de obra;

LOD500 As-Built.

Partiendo de este concepto, nos apoyamos en la clasificación de cityGML para proyectos urbanos, los cuales se clasifican en:

LOD0 región geográfica prácticamente 2D en el que se representa el terreno con mallas o masa;

LOD1 Ciudad. Bloques simplicados geoméricamente, volúmenes representativos para entender el entorno;

LOD2 zona urbana, se le aplican algunos materiales y se diferencian elementos constructivos generales;

LOD3 modelos arquitectónicos exteriores, detallando elementos de huecos;

LOD4 modelos arquitectónicos interiores configurando elementos interiores a fachada.

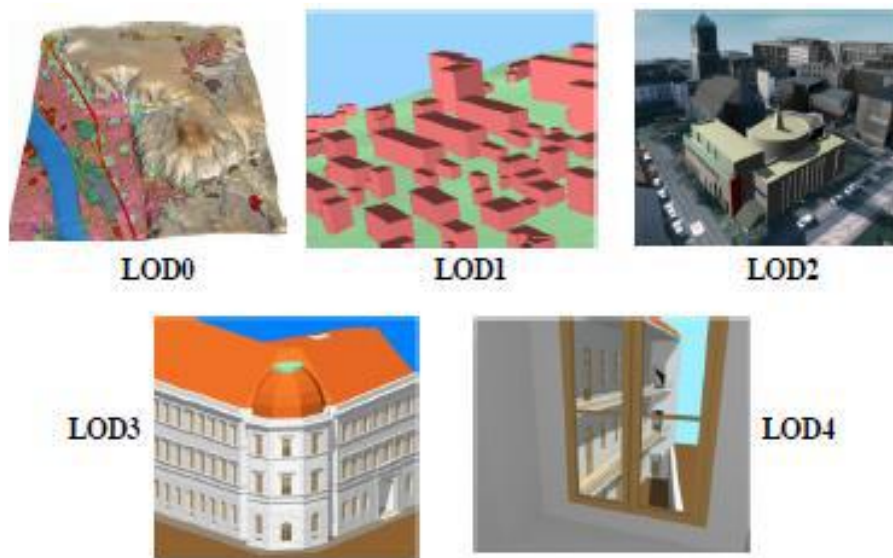


Figura 8. Los cinco niveles de detalle (LOD) definidos por CityGML. Fuente (IGG Uni Bomm)

Tomando como punto de partida las clasificaciones descritas anteriormente, creamos una clasificación para el levantamiento de ciudades que se divide en:

LOD 100: para masas y bloques sencillos sin definición, con información general urbana de manzana y sector.

LOD 200: para modelado de elementos arquitectónicos generales con definición de huecos reales sin detalle y materiales catalogados, aparece información de aéreas y volúmenes, calle, parcelas y numeraciones.

LOD 300: con detalle y clasificación en huecos con elementos de carpinterías y relieves principales de cornisas y pórticos, se añaden elementos secundarios de rejas, mobiliario urbano con un detalle simplificado, contiene información catalogada de elementos en fachada, hipervínculos, protección y materiales diferenciados.

LOD 400: añadimos definición a carpinterías, mobiliario urbano y elementos constructivos secundarios, aparece todos los elementos de relieve. Aparece en este punto parámetros dependientes a bases de datos históricas, administrativas y otras aplicaciones.

LOD 500: pertenece a la categoría as-built con la sincronización total del catastro y la normativa, estudios de patologías y elementos de detalle minuciosos y sincronización con aplicaciones de Big Data.

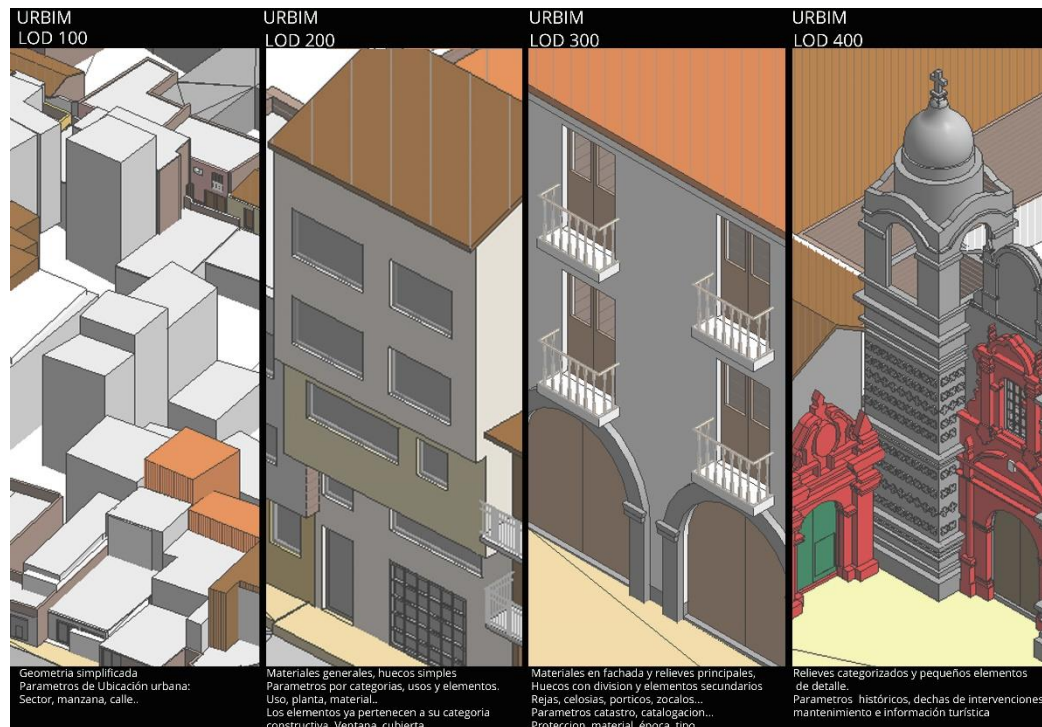


Figura 9: LOD Ayacucho. Fuente propia (2017)

Fase 5: De la zonificación como “testeo” al objetivo

Teniendo en cuenta que el nivel alcanzado finalmente en el modelo de Ayacucho es un LOD 300 para todo el casco histórico, elevándose a un LOD 400 en los elementos más representativos, y disminuyendo a un LOD 100 en el interior de algunas de las manzanas que tenían un uso privado y por tanto, no aportaban valor a la intervención urbana, completándose únicamente con la toma de datos del Dron. En este documento plantearemos la forma de actuar inicial en el proyecto.

Se comienza con modelado en LOD 200 de la geometría principal de las fachadas basada en la nube de puntos MM, de tal manera que se pueda sacar información sobre áreas y las principales dimensiones a nivel urbano. Se comienza desde la Plaza de Armas, corazón de la ciudad, y se sigue una estrategia en anillos radial para completar el sector. Una vez cerrada las fachadas se modela con menor detalle el interior de manzana y se cierran las cubiertas, culminando así la Fase 1 de modelado.



Figura 10: Zona inicial con LOD300-400 Ayacucho. Fuente propia (2017)

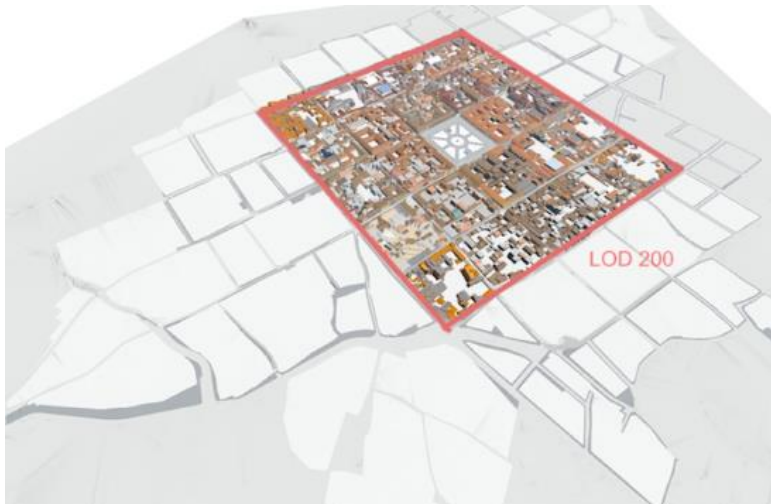


Figura 11: Zona inicial con LOD200 Ayacucho. Fuente propia (2017)

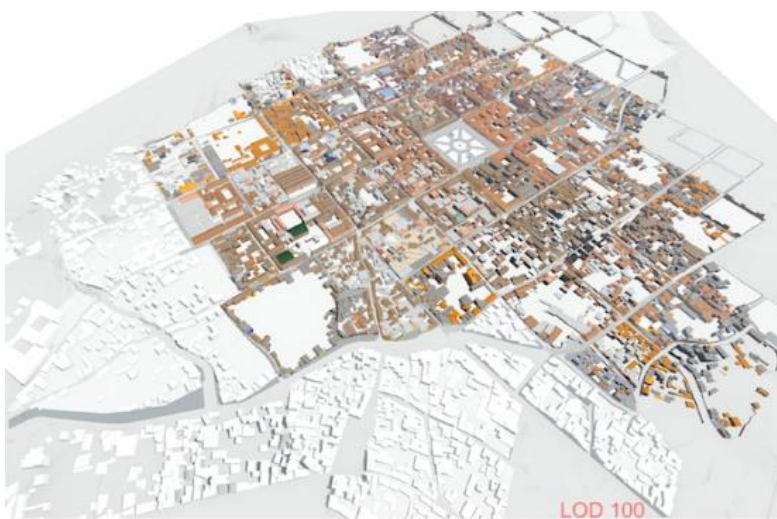


Figura 12: Zona inicial con LOD100 Ayacucho. Fuente propia (2017)

Una vez comienza el segundo anillo, el equipo de modelado se divide, por una parte se seguirá completando el sector hasta su totalidad y otro equipo comienza a subir el nivel de detalle a LOD 300 desde Plaza de Armas siguiendo el mismo crecimiento radial, diferenciando colores y acabados, pero sin llegar al detalle de texturas reales. En esta fase se identifican los iconos más representativos que se harán en LOD 400, relieves de fachadas, campanarios, esculturas... Simplificado en los elementos decorativos que necesitaban ser modelados por su singularidad sin llegar a un detalle de artesanía.

En los elementos más representativos de la ciudad, que requerían un detalle más preciso con una geometría orgánica, como por ejemplo, la escultura del caballo de Plaza de Armas o los ornamentos en fachadas republicanas, se utilizó el software *3DReshaper*, que genera objetos digitales con mallas generadas desde la nube de puntos y posteriormente se han insertado como archivo “.obj” en el programa de modelado.

Esta estrategia de modelado nos permite hacer ensayos dentro de zonas acotadas e ir definiendo pequeñas variaciones en los planteamientos iniciales, que afectando a pequeñas zonas inicialmente, son más fáciles de absorber, y por otra parte ir haciendo crecer el modelo de una forma más ordenada y coherente.

Todos los elementos del modelo cuentan con información propia geométrica, relevante a recuento y mediciones, y también se han catalogado y añadido parámetros de materiales con una carta de colores local para cada elemento, añadiendo valor a las fases posteriores de intervención, normativa y aplicaciones VR.

Se ha creado un listado de parámetros de información de catastro, registro y normativa que complementa a los propios de la categoría establecidos en el documento antes mencionado. Toda esta información se puede ir ampliando en el modelo creando nuevos parámetros de distintas bases de datos para tenerla geolocalizada y clasificada según los usos del propio modelo en distintas áreas.

Al intervenir en un casco histórico en una ciudad tan monumental, se le dio importancia al patrimonio y a la protección de los elementos arquitectónicos. Se añadieron parámetros propios de esta área que sirvieran para planes de mantenimiento, estudios patológicos e intervención. En este campo se va a estudiar y coordinar las posibles soluciones comerciales ya estandarizadas como PetroBIM, para el estudio patológico y la restauración de las arquerías Sur de principios del s. XIX como proyecto inicial.

Gestión de datos a escala de ciudad –Conexión con BBDD

Desde el inicio del proyecto se tuvo claro que se debía plantear tanto la geometría como los parámetros a nivel de parcela / manzana, de tal manera que fuera conectable de forma más o menos directa con distintas BBDD que pudieran provenir de distintas fuentes y que haciendo una correlación por parámetros nos permitieran tener dicha información contenida o vinculada al gemelo digital de una forma coherente.

En la [tabla 2](#) podemos observar como todos los elementos van en sus 3 primeras columnas referenciadas a estos parámetros, de tal forma que si a todos los elementos les hacemos entender dicha ubicación, se puede generar una base de datos relacional con respecto a dichos valores, haciendo que esta crezca independientemente de que fuente provenga.

Calle	Manzana	Portal	Uso	Categoría	Elemento	Descripción	Panel Principal	Material	Panel secundario	Material	Celosa	Contraventana	Raja	Colocacion	Estado de conserv
ZOE MAYO															
2 DE MAYO	073	202	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Castaño						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	202	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Vidrio		Vidrio						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	204	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Castaño						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	204	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Vidrio		Vidrio						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	210	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Madera Castaño		Madera Castaño						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	210	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Castaño						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	212	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Castaño						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	212	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Castaño						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	212	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Madera Castaño		Madera Castaño						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	214	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Madera Castaño		Madera Castaño						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	226	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Roja						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	226	Comercial	Puertas	Puerta rectangular de 2 hojas	Pintura Blanca		Pintura Blanca						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	230	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Roja						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	230	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Madera Roja		Madera Roja						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	236	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Roja						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	236	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Madera Roja		Madera Roja						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	240	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Madera Marron Oscuro		Madera Marron Oscuro						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	240	Comercial	Puertas	Puerta rectangular de 2 hojas con panel superior	Pintura Marron Oscuro		Pintura Marron Oscuro						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	242	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Madera Marron Oscuro		Madera Marron Oscuro						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	242	Comercial	Puertas	Puerta en arco de 2 hojas	Madera Marron Oscuro		Madera Marron Oscuro						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	244	Comercial	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Madera Marron Oscuro		Madera Marron Oscuro						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	244	Comercial	Puertas	Puerta rectangular de 2 hojas con panel superior	Pintura Marron Oscuro		Pintura Marron Oscuro						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	252	Comercial	Puertas	Puerta rectangular de 2 hojas con panel superior	Pintura Marron chocolate		Pintura Marron chocolate						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	256	Comercial	Puertas	Puerta rectangular de 2 hojas	Madera Pino		Madera Pino						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	260	Vivienda	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Verde						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	260	Vivienda	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Verde						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	260	Vivienda	Puertas	Puerta rectangular de 2 hojas	Madera Pino		Madera Pino						PB	Consolidado
2 DE MAYO	073	264	Vivienda	Ventanas	Ventana rectangular de 2 hojas con 2 divisiones	Vidrio		Madera Marron Oscuro						P1	Consolidado
2 DE MAYO	073	264	Comercial	Puertas	Puerta rectangular de 2 hojas con panel superior	Pintura Gris		Pintura Gris						PB	Consolidado

Tabla 3: Tabla de planificación del proyecto en Revit. Fuente propia (2017)

Toda esta información, consigue vincular distintas bases de datos propias del modelo, enlaces externos webs y otros softwares vinculados al modelo a través de Dynamo y/o programación, según el caso, para sincronizar las modificaciones e ir alimentando el modelo digital.

Además, la estructura de la información procedente del modelo ha sido exportada a otros formatos de consulta en tablas y bases de datos, para enriquecer y hacer una mejor gestión del modelo para catastro, intervenciones técnicas y gestión de la información urbana, sincronizando la información en una interfaz mucho más visual e intuitiva.

Existe la posibilidad de en un futuro adaptar los parámetros introducidos a las necesidades, es decir, según sea el objetivo del uso del modelo se incluirán distintos parámetros y se visualizara de formas distintas. Por ejemplo, en softwares especializados para una necesidad técnica, configuración de aplicaciones móviles para temas ciudadanos y turistas o bases de datos para gestiones administrativas.

Usos del gemelo digital

Cuando se inició el proyecto se plantearon unos usos determinados, pero desde ese primer momento la tecnología ha cambiado mucho y la experiencia obtenida dentro de este ámbito nos ha hecho investigar y testar sobre otros usos distintos que lo convierten en un proyecto mucho más “potente” que lo que era en un inicio.

Los usos detectados al inicio fueron los siguientes:

Rehabilitación de casco histórico e impacto de nuevas actuaciones

La existencia de un modelo digital permite un encaje preciso de un proyecto de nueva construcción en un casco urbano consolidado, y actualmente, se están llevando multitud de intervenciones de remodelación y renovación del casco histórico de Ayacucho.

Gracias al modelo digital, se ha podido llevar el diseño, la medición y planificación de proyectos con equipos de distinta geografía, que disponen del modelo, para optimizar costes y tiempos.

Disponen de toda la información relacionada y visores inmersivos, para llevar a cabo una buena intervención en un menor plazo de tiempo. Acelerando trámites administrativos, viajes, replanteos y errores en obra, disminuyendo los plazos de la rehabilitación de la ciudad histórica.

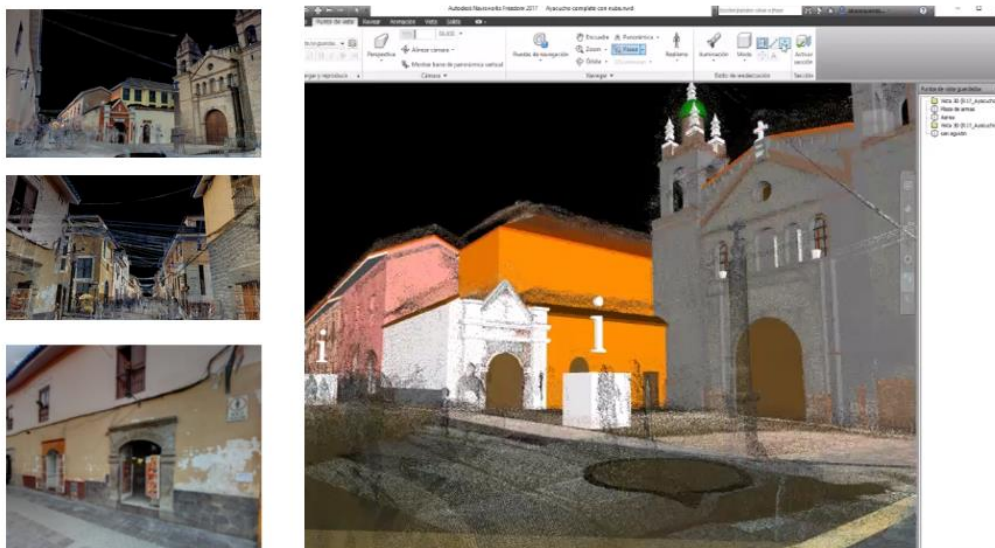


Figura 13 Usos del gemelo digital_ Rehabilitación. Fuente propia (2018)

Para poner de manifiesto el cumplimiento de la normativa y el impacto visual de nuevos elementos urbanos, se pide el modelo BIM con la información mínima requerida y la visualización de los nuevos elementos en el modelo generado del estado actual, previendo la destrucción del patrimonio local.



Figura 14 Usos del gemelo digital_ Impacto de nuevas actuaciones. Fuente propia (2018)

Patrimonio

Ha tenido gran repercusión la catalogación de elementos urbanos para la valoración y protección del patrimonio, creando una base de datos única con toda la información relevante al estado actual del centro histórico, y creando una estandarización para completar futuras intervenciones, estados y fechas, que es utilizada por patrimonio y cultura para registro, protección y mantenimiento. Además de ser un excelente apoyo en caso de deterioro, restauración o reposición de elementos singulares teniendo una reproducción digital fidedigna.

Gracias al valor añadido generado por el escaneado y modelado de fachadas de edificios patrimoniales, se ha puesto en marcha un plan de escaneado y modelado BIM interior para el registro y gestión patrimonial de las iglesias más representativas de la ciudad.



Figura 14 Usos del gemelo digital_ Patrimonio. Fuente propia (2018)

Se valora, un seguimiento del estado de algunas estructuras a través de comparativas con nubes de puntos y los beneficios de estudios patológicos en BIM con la intervención de las Arquerías Sur de la Alameda Valdelirios.

Facility Management

Aprovechando el levantamiento digital de distintos edificios patrimoniales, se van a establecer parámetros para realizar un sistema de gestión patrimonial, para su conservación y mantenimiento. Al igual, que, en las intervenciones de rehabilitación de fachadas en el casco histórico, que llevarán información para crear planes programados de mantenimiento.

Se detectan dos problemas principales en Ayacucho:

El soterramiento del cableado, proyecto, donde se plantean soluciones colaborando con una empresa telefónica para la digitalización del nuevo trazado.



Figura 15 Usos del gemelo digital_ Facility Management. Fuente propia (2018)

El sistema de pluviales está siendo renovado, debido a las inundaciones sufridas en épocas de lluvias. Este trazado, deberá estar modelado en BIM en la intervención de pavimentos de las próximas calles rehabilitadas, obteniendo información precisa de la localización, información técnica y registro de las redes para futuros planes de mantenimiento.

Catastro digital, protocolo y normativa

La base del modelo digital se sigue trabajando con un equipo local multidisciplinar, para vincular el modelo con distintas normativas y bases administrativas locales.

Se ha creado un protocolo estándar para incluir los nuevos modelos en la base BIM de la ciudad de forma que se pueda seguir actualizando, creando un periodo de transformación entre la documentación 2D actual vinculada que irá modificándose con el paso de los años a modelos digitales.

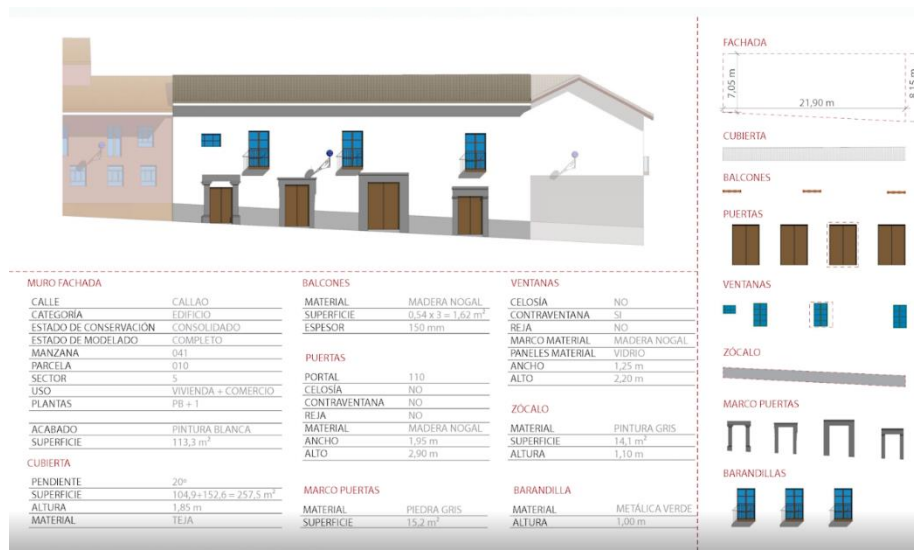


Figura 16 Usos del gemelo digital_ Catálogo urbano. Fuente propia (2018)

En base a toda la información incluida y catalogada se pueden generar de forma automática fichas de cada una de las parcelas o edificaciones, pidiéndole al modelo a través de rutinas más o menos complejas, que nos desglose la información de una forma muy visual e integrada en el propio modelo.

Uno de los usos posteriores que hemos incluido en este año 2020, que inicialmente no estaba planteado como objetivo, es la vinculación de las fichas catastrales dentro del modelo referenciados a volúmenes que absorben y a los que se les asocia información específica de tal ficha.

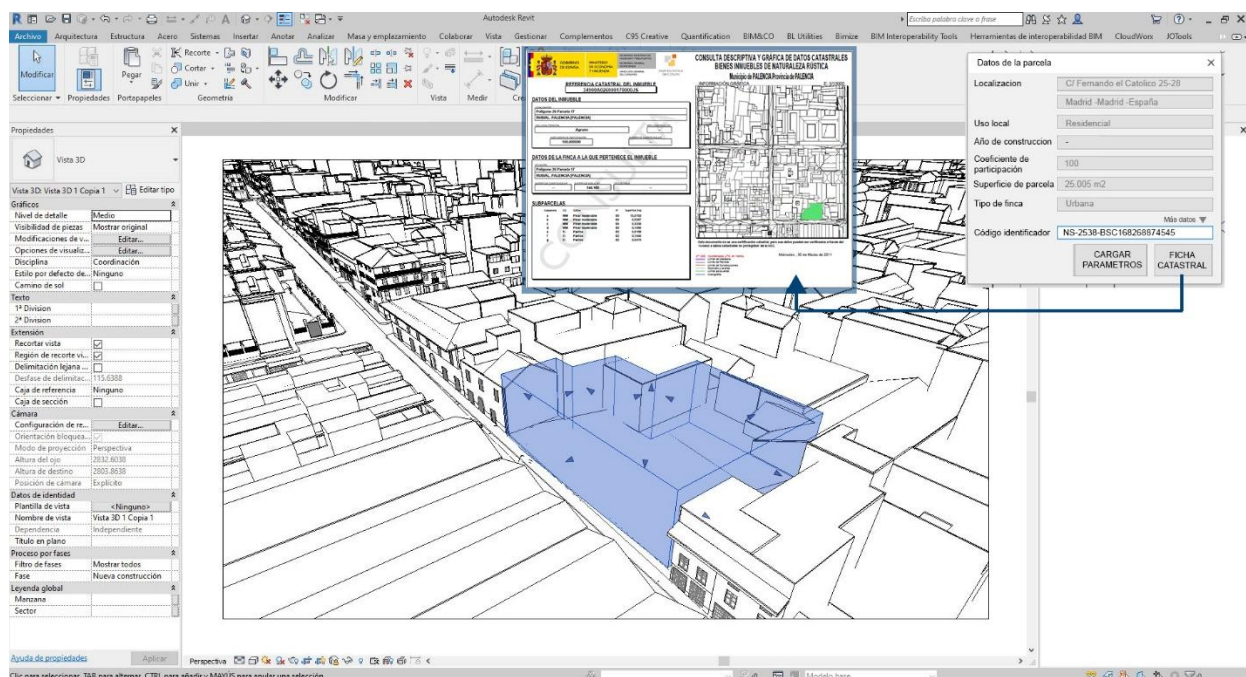


Figura 17 Usos del gemelo digital_ Fichas catastrales. Fuente propia (2020)

Otro de los usos desarrollados dentro de este ámbito y en el que actualmente estamos trabajando es la comprobación de normativa de obligado cumplimiento en base a modelos

incluidos dentro del modelo. El modelo será auditado en base a unos parámetros que

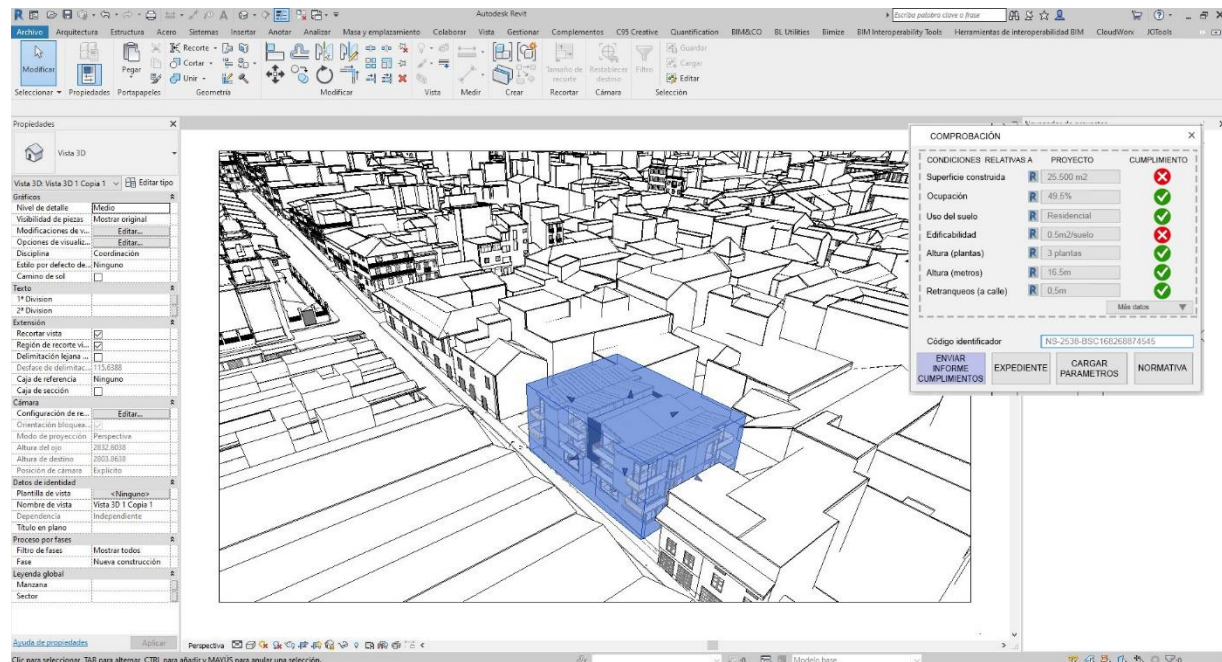


Figura 18 Usos del gemelo digital_ Condiciones urbanísticas. Fuente propia (2020)

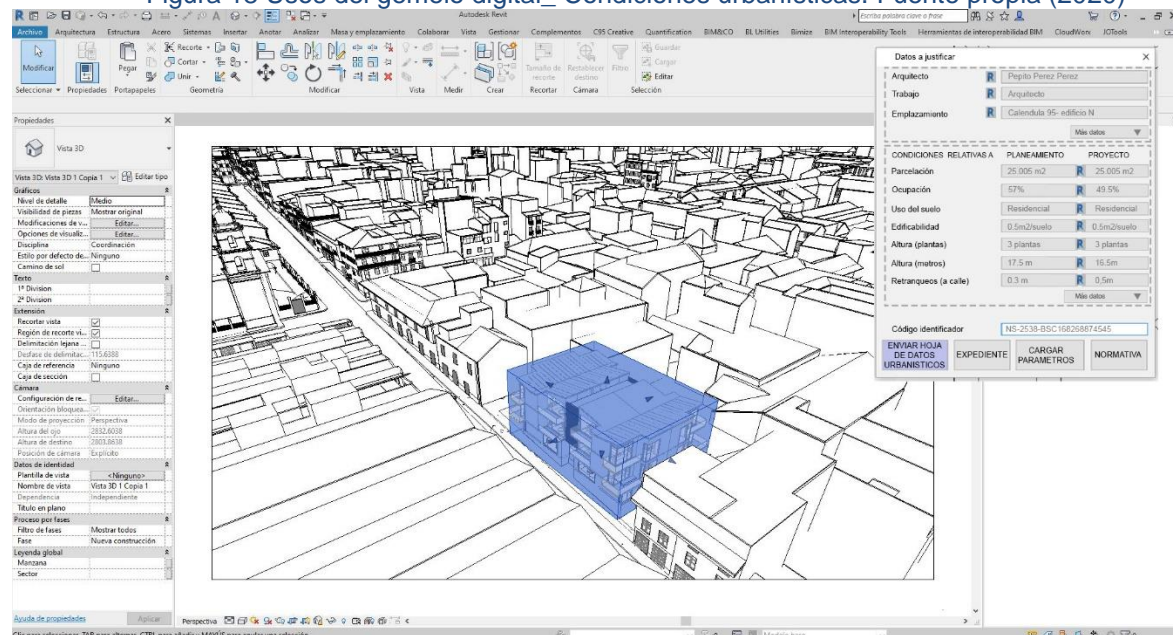


Figura 19 Usos del gemelo digital_ Cumplimiento de normativa. Fuente propia (2020)

podremos incluir por parcela, manzana, sector...y mapeándolos con algunos ya generados en el proyecto. Haciendo un chequeo y dando como resultado un informe que verifique la viabilidad del proyecto y el cumplimiento de la normativa.

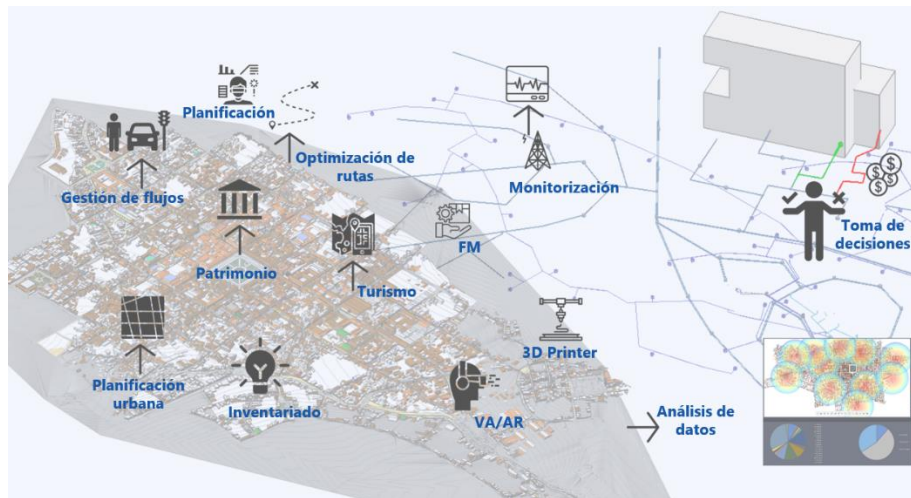


Figura 21 Usos del gemelo digital_ Esquema de usos por tipología. Fuente propia (2020)

Son muchos los usos que se le pueden dar a un gemelo digital afectando a distintos aspectos de la ciudad que a priori no tienen conexión, pero que sí que comparten información que si se contrastara nos daría usabilidades nuevas y de gran importancia dentro del funcionamiento de la ciudad. Esto es viable siempre y cuando encontremos necesidades que cubrir y tengamos los datos organizados y estructurados para poder hacer un uso efectivo a partir de ellos.

BIM360 COMO NEXO DE UNION Y “EXPLOTACION” DEL GEMELO DIGITAL

Las primeras vías de compartición con la propiedad y posteriormente con la cesión del modelo por parte de la propiedad a distintas entidades se realizó mediante un archivo de Navisworks, porque nos permitía unificar en un único modelo la información y era viable su gestión por parte del cliente final, pero perdíamos la unicidad y centralización en una única base de datos que era uno de los objetivos principales de este proyecto.

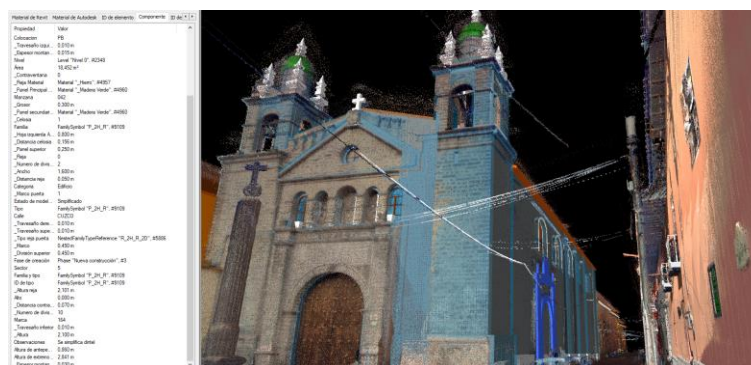


Figura 22 Visor Navisworks: Modelo+ información + Nube Ayacucho. Fuente propia (2017)

El archivo montado con los elementos modelados, las bases de datos y nubes de puntos en Navisworks, como plataforma para poder consultar de una manera ágil, desde distintos

dispositivos sin equipos especializados. Funcionando con gran interoperabilidad en distintos formatos, que conforman los datos recogidos en este periodo y con una fácil sincronización desde las distintas plataformas para seguir actualizando el modelo desde distintas áreas, pero actualmente el hecho de utilizar este archivo genera necesariamente un intercambio de formato que en los desarrollos planteados actuales genera más demora que beneficios, objetivamente.

Actualmente el modelo se encuentra alojado en el HUB de BIM360 de C95 Creative, donde se han incluido cada uno de los 154 archivos de modelado, así como las relaciones establecidas entre todos estos para ver dentro de BIM360 la información de una forma unificada y poder aprovecharnos de la tecnología Forge de Autodesk con el fin de realizar desarrollos que actúen en la ciudad de forma absoluta en caso de necesitarlo. Esta plataforma será el nexo de unión y “explotación” de los distintos agentes que se ven involucrados en dicho proyecto.

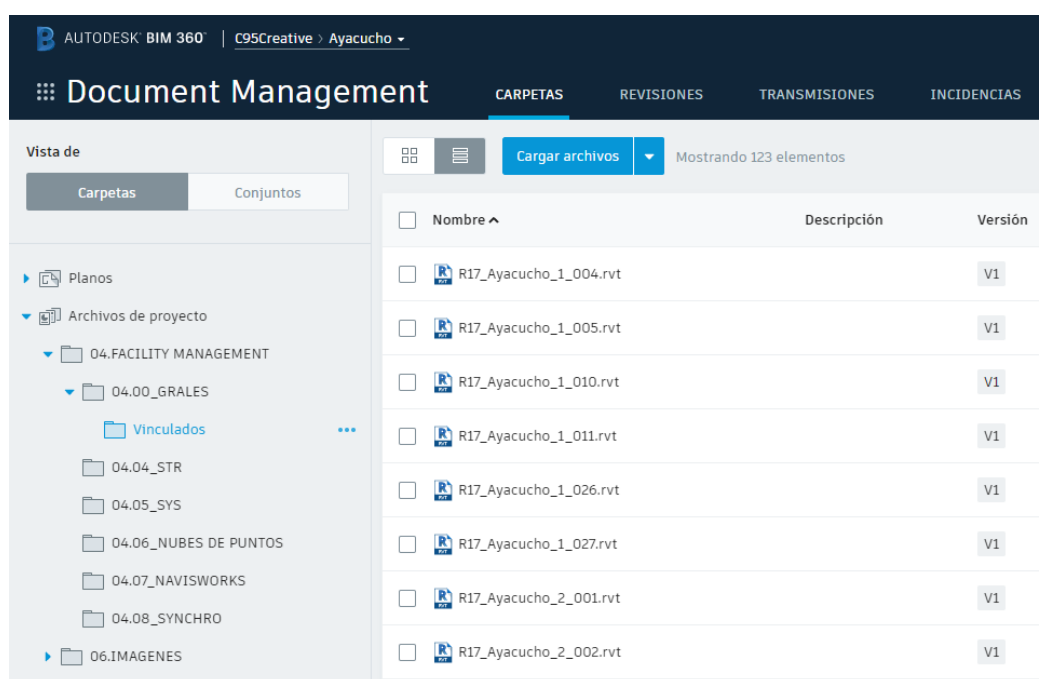


Figura 23 Proyecto de Ayacucho dentro de BIM360. Fuente propia (2020)



Figura 24 Proyecto de Ayacucho dentro de BIM360. Fuente propia (2020)

¿En qué estado se encuentra ahora el proyecto?

Son múltiples las usabilidades que se le pueden dar a un proyecto de esta escala tanto de dimensiones como de datos.

Hace dos años, dentro del “Smart City World Congress” de Barcelona:
<https://www.smartcityexpo.com>, IDC tenía un decálogo de predicciones y nos llamó la atención la predicción 5, que decía lo siguiente:

“By 2023, 25% of successful Smart Cities digital twin platforms will be used to automate processes for increasingly complex, interconnected ecosystems of assets and products”

“Para 2023, el 25% de las plataformas gemelas digitales de Ciudades Inteligentes que hayan tenido éxito se utilizarán para automatizar procesos para ecosistemas de bienes y productos cada vez más complejos e interconectados”.

IDC FutureScape: Worldwide Smart Cities 2020 Predictions. Prediction 5

Esto viniendo de IDC, International Data Corporation (IDC), que es el principal proveedor mundial de inteligencia de mercado, servicios de consultoría y eventos para los mercados de tecnología de la información, telecomunicaciones y tecnología de consumo nos llevó a pensar en la posibilidad de cruzar modelos BIM precisos con bases de datos de distintas fuentes a escala de ciudad, generando análisis preventivos y predictivos en base a la información de esas fuentes que en principio no tienen relación, pero que pueden aportar valor al desarrollo futuro de las ciudades.

Como comentamos en el punto anterior, la tecnología ha cambiado y con respecto al inicio del proyecto han evolucionado dos áreas que son importantes para el punto en el que se encuentra el proyecto. Por una parte, una clara tendencia a cruzar las áreas de impacto dentro del mercado de las Smart Cities a través de sus áreas funcionales con las metas de desarrollo sostenible (SDG's) y por otra parte la capacidad de, a través de BIM360 y Forge, hacer desarrollos que nos permitan gestionar todos los datos incluidos en el modelo y cruzarlos con datos de otras bases de datos.

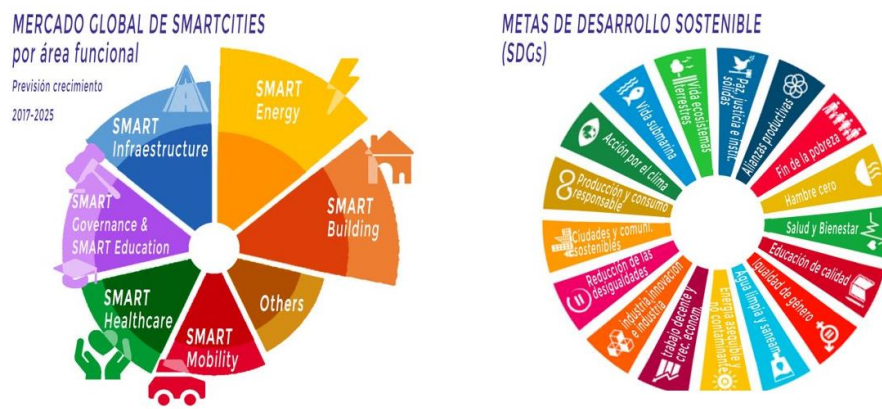


Figura 25 Mercado global de Smartcities + Metas de Desarrollo Sostenible (SDGs). Fuente propia (2020)

Figura 26 Plataforma de gestión de proyectos. Fuente propia (2020)

