

## VIRTUAL SIMULATION USING 3D MODELS FOR TECHNICAL DOCUMENTATION QUALITY ASSURANCE IN CONSTRUCTION PROJECTS

Vergara González, Eliseo P.<sup>1</sup>; Vergara González, David<sup>1</sup>; Nájera Hernández, Pilar<sup>2</sup>;  
Otaño Jiménez, Luis<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de La Rioja, <sup>2</sup> Universidad de La Rioja. Oficina Técnica de Obras e Infraestructuras, <sup>4</sup> Universidad de La Rioja. Servicio de Laboratorios

The complexity of current construction projects and the multiple participating agents leads a technical documentation fragmentation. Architects and engineers produce their own "fragments" of 2D documentation, and because there is no real integration of such documentation, it is common that there are plans overlaps, different versions, measures inconsistencies, etc-. , therefore appear conflicting information during the execution of the work, leading implementation delays, increased costs, frictions between the different parties involved and, possibly, legal problems. However, by their nature, multiple documents 2D CAD are necessary to define a construction, and promotes documentation fragmentation, but on the other hand, a high quality documentation of the core of the project is the basic condition for a good quality at all stages and processes throughout the project life cycle. The virtual construction is a process that allows modeling, simulating and visualizing the result of the construction, integrated into a single model, all elements of the project. Then, different agents can visualize and review the results of construction and it can be corrected in design phase problems that only appear during the implementation phase, such as spatial conflicts, collision detection, or other documentation inconsistencies, avoiding delays and cost overruns.

**Keywords:** 3D models; Virtual construction; BIM

## SIMULACIÓN VIRTUAL MEDIANTE MODELOS 3D PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA DOCUMENTACIÓN EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

La complejidad de los actuales proyectos de construcción y los múltiples agentes intervinientes da lugar a una fragmentación de la documentación técnica. Arquitectos e ingenieros producen sus propios "fragmentos" de documentación 2D, por lo que aparecen conflictos de información durante la ejecución de la obra, dando lugar a retrasos en la ejecución, incremento de los costes, fricciones entre las diferentes partes y, eventualmente, problemas legales. Sin embargo, el hecho de que sean necesarios múltiples documentos CAD 2D para definir una construcción, favorece la fragmentación de la documentación, por contra, una alta calidad de la documentación del proyecto es la condición básica para la buena calidad en todas las fases y procesos del ciclo de vida de una construcción y sus instalaciones. La construcción virtual es un proceso que permite modelar, simular y visualizar el resultado de la construcción, integrando en un único modelo, todos los elementos del proyecto. Los diferentes stakeholders pueden así visualizar y revisar los resultados de la construcción, pudiendo corregir en fase de proyecto, problemas que sólo saldrían a la luz durante la fase de ejecución, tales como conflictos espaciales, detección de colisiones, u otras inconsistencias en la documentación, evitando de esta forma, retrasos y sobrecostes.

**Palabras clave:** Modelos 3D; Construcción virtual; BIM

Correspondencia: Eliseo P. Vergara González . Universidad de la Rioja. Edificio Departamental - C/Luis de Ulloa, 20. C.P. 26004. Logroño, La Rioja. Teléfono:+34 941 299 275, Fax:+34 941 299 794, email: eliseo.vergara@unirioja.es

## 1. Introducción

El proceso de diseño de construcciones ha venido incrementando su complejidad desde la Segunda Guerra Mundial, reflejando la creciente complejidad intrínseca de las construcciones y de los procesos involucrados en su diseño, construcción y gestión. Según Kalay et al., (1998), estas complejidades se deben a la constante expansión de conocimientos teóricos, tecnológicos y organizacionales, y a las prácticas utilizadas por cada una de las distintas profesiones relacionados con la construcción, así como por el impacto creciente de las decisiones tomadas por uno de los participantes en el proceso de diseño y construcción tienen sobre el resto de los agentes intervinientes. Es evidente que este incremento de la complejidad de los propios procesos de diseño y construcción, agudiza el problema de deficiencias en la documentación de los proyectos, dando lugar a retrasos en la ejecución, incremento de los costes, fricciones entre las diferentes partes y, eventualmente, problemas legales; y provoca un aumento de la necesidad de mejorar la comunicación y coordinación de las actividades involucradas en la construcción.

Habitualmente, en el proceso de diseño y construcción intervienen un elevado número de organizaciones independientes –promotor, dirección facultativa, contratista principal, subcontratistas, ayuntamientos, consejerías, ministerios, etc.-, y dentro de esas organizaciones existen también un elevado número de agentes que pudieran considerarse independientes entre sí–arquitectos, calculistas de estructuras, ingenieros responsables de las diferentes instalaciones, paisajistas, etc.-, cada uno de los cuales genera su propia documentación gráfica en 2D e interacciona con el resto de una forma compleja.

Dentro de este escenario fragmentado, los dibujos arquitectónicos y de ingeniería en 2D han persistido durante cientos de años como la representación básica utilizada por todos los participantes en la industria de la construcción. Todas las empresas relacionadas con la construcción, las instituciones financieras y de seguros, las normas, los códigos y los materiales de referencia, se organizan en torno a los dibujos en 2D y sus convenciones de formato. (Eastman et al., 2002). Sin embargo, en general, se reconoce que, en la práctica, debido a esta fragmentación de la documentación, no es posible verificar la consistencia de los dibujos en 2D.

Si lo deseable es aumentar la calidad de la documentación, debe superarse esta fragmentación, y la forma de hacerlo deber ser de la mano de una herramienta que integre en un único documento, toda la información necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Pero si esta fragmentación es importante en todos los niveles del proyecto, es en los sistemas MEP, (*Mechanical, Electrican & Plumbing - Sistemas mecánicos, eléctricos y de tuberías*) donde la fragmentación de la documentación se manifiesta con mayor rotundidad y gravedad.

Khazode, (2010), afirma que en los proyectos de construcción técnicamente complejos, los sistemas MEP pueden suponer, a veces, hasta el 60 % del valor total del proyecto (típicamente entre el 40 y el 60%), y su complejidad ha aumentado drásticamente en los últimos años. En estos proyectos, los métodos y las secuencias para la instalación de los sistemas MEP se convierte en una actividad crítica.

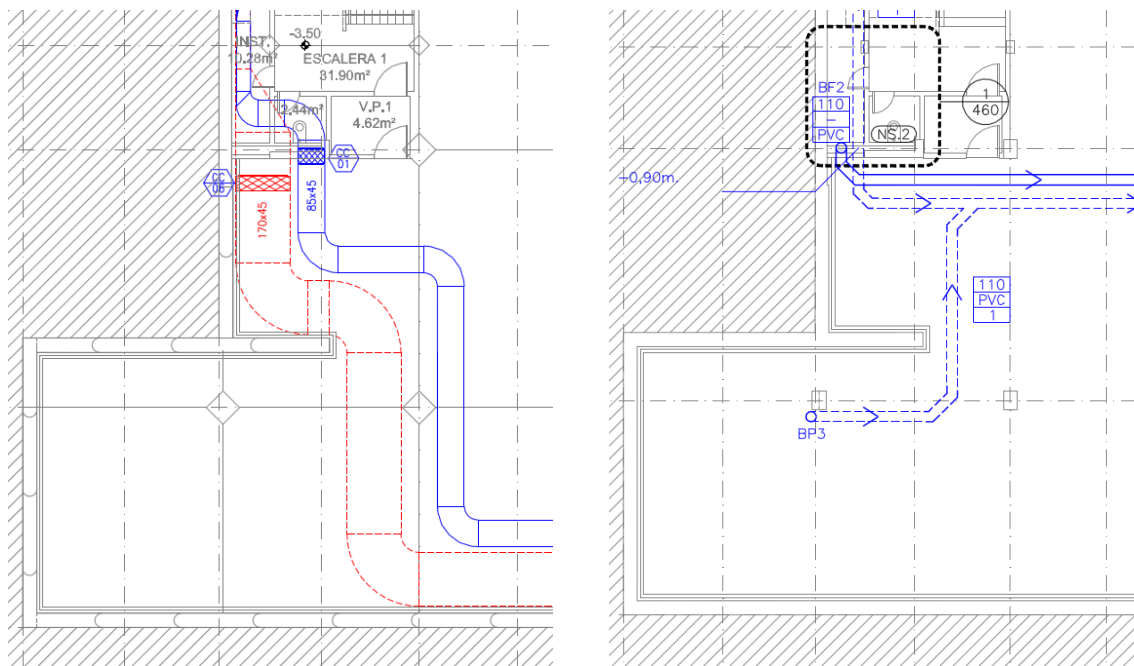
Por un lado, la reducción de tiempos en el diseño no permite detallar adecuadamente los sistemas MEP, de forma que alcance del trabajo para los contratistas especializados incluye, cada vez más, la decisión de cómo completar la instalación que no ha sido recogida de forma completa en el proyecto. Por otro lado, el espacio existente es limitado en toda construcción, y hace que el diseño y la ejecución sean mucho más dificultosos y menos eficientes. Tanto una cuestión como la otra llevan a un mismo destino: el subcontratista, a falta de documentación que represente adecuadamente su instalación, trazará el recorrido como mejor considere en función de sus intereses (facilidad de instalación, coste, tiempo,

etc.), sin pensar, o conocer, que otras instalaciones deberían coordinarse con la suya de una forma eficiente (p.e., que facilite posteriormente el mantenimiento de la instalación). La segunda cuestión redonda en lo mismo, dado que el espacio es limitado, aquel subcontratista que primero entre en la obra, trazará su instalación de la forma más cómoda, mientras que los siguientes deberán acomodar su trazado a los primeros.

Pero ni siquiera es necesario que falte documentación o esta sea inadecuada. Aún con una documentación adecuada, la mayor parte de las veces, los complejos recorridos que deben realizar las conducciones de los sistemas MEP, son imposibles de representar en un dibujo CAD 2D, por su propia naturaleza bidimensional, incapaz de representar la tercera dimensión.

En la siguiente imagen puede verse dos planos CAD 2D de una misma planta de un mismo edificio. El de la izquierda representa los conductos de climatización. El de la derecha el de saneamiento. Los planos son de gran calidad y detalle, pero por una cuestión inherente a la propia naturaleza 2D, no son capaces de representar adecuadamente cómo se solventará la intersección entre una conducción y la otra.

**Figura 1. Planos CAD 2D vs 3D**



Algo tan sencillo deberá ser resuelto en obra, con los problemas y conflictos que ello puede acarrear.

El CIFE (*Center for Integrated Facility Engineering*) dependiente del *Civil and Environmental Engineering Department*, de la Stanford University, ha venido desarrollando en las últimas dos décadas el concepto de *Virtual Design and Construction (VDC)*, que el propio CIFE define como “el uso de modelos de características multidisciplinares en proyectos de construcción, que incluyen el producto (por ejemplo, el edificio), el trabajo, los procesos y la organización de los equipos de diseño/construcción/operación, con el fin de dar apoyo a los objetivos de negocio” (Fischer y Kunz, 2004; Khanzode et al., 2006).

De un tiempo a esta parte, algunos gestores de proyectos han comenzado a explorar el uso de las tecnologías VDC como son los modelos 3D-4D (Fischer y Kunz, 2004; Kunz y Fischer, 2012), para reducir los problemas inherentes a los sistemas MEP, y tratar de lograr una mayor eficiencia y productividad en sus proyectos. En un trabajo de Khanzode et al.,

(2008), realizado sobre un proyecto en el norte de California, donde se aplicaron estas tecnologías, los beneficios reportados fueron los siguientes:

- Virtualmente cero conflictos en obra entre diferentes sistemas.
- Menos de un 0,2% del trabajo tuvo que ser rehecho.
- Productividad mejorada en más de un 30%.
- Menos de 2 horas por mes empleadas en coordinación en obra.
- Sólo existieron dos peticiones de información adicional.
- Cero modificaciones relacionadas con conflictos en la obra.

Esto sugiere, que el empleo de herramientas VDC (específicamente modelos 3D y 4D) genera importantes beneficios a la hora de evitar conflictos y mejorar la coordinación en obra (Koo y Fischer, 2000), debido a que la construcción virtual permite a los ingenieros examinar, desde la fase de diseño, los problemas que muy probablemente se presentarán en la fase de ejecución, y más importante aún, permite disponer de una documentación de calidad, completa, una documentación que ahora es 3D, y no 2D como venía siendo lo habitual.

## **2. Niveles de desarrollo (*levels of development-LOD*)**

El concepto de nivel de desarrollo (*Level of Development - LOD*) soluciona varios problemas que se presentan cuando un modelo se utiliza como una herramienta de comunicación o de colaboración, es decir, cuando una persona distinta del autor extrae información de él.

Durante el proceso de diseño, los sistemas y componentes del proyecto se desarrollan desde una idea conceptual vaga hasta llegar a una descripción precisa. Sin embargo, no existía una manera simple de definir en qué punto de este camino de desarrollo se encontraba el modelo. Es cierto que el autor lo sabe pero otros, a menudo, lo desconocen. Por ello es fácil malinterpretar el detalle con el que se encuentra modelado un elemento.

En un modelo, un componente genérico colocado aproximadamente puede tener exactamente el mismo aspecto que un componente específico ubicado exactamente, por lo que es necesario algo más que la apariencia para notar la diferencia. Además, es posible inferir información de un modelo que el autor no tiene la intención de facilitar -por ejemplo, las dimensiones no declaradas pueden medirse con precisión sobre el propio modelo-, por lo que puede darse el caso que se infiera información que se considere fiable desconociendo el grado de madurez del diseño.

El marco de referencia LOD permite a los autores de los modelos establecer, con claridad, la madurez del desarrollo de los elementos del modelo dado, por lo que debe resultar evidente para toda persona ajena al autor, cuál es el grado de madurez o de desarrollo de cada elemento del modelo.

Este aspecto es de importancia crítica allí donde las personas que no son el propio autor del modelo, y dentro de un entorno colaborativo, dependen de la información que se obtiene a partir del modelo para seguir avanzando en su propio trabajo. Es decir, es fundamental para los usuarios de los saber en qué momento el modelo ha alcanzado el grado de madurez suficiente como para considerar que su información es susceptible de ser tomada como fiable.

En 2008, el *American Institute of Architects (AIA)* desarrolló su primer conjunto de definiciones LOD en el documento *AIA E202-2008 Building Information Modeling Protocol*. Debido a la rápida evolución de la utilización los modelos 3D, 4D y BIM, la AIA revisó el documento AIA E202- 2008, incluidas las definiciones de LOD. El resultado fueron los

documentos *AIA E203 -2013, Building Information Modeling and Digital Data Exhibit, AIA G201-2013, Project Digital Data Protocol Form, y AIA G202-2013, Project Building Information Modeling Protocol Form* y que están acompañados por una guía titulada *Guide and Instructions to the AIA Digital Practice Documents*.

No existe una correspondencia estricta entre los niveles LOD y las fases de diseño o del ciclo de vida del proyecto -aunque sí pueden identificarse de una forma aproximada-, principalmente porque los proyectos de construcción llevan ritmos de diseño diferentes en sus diferentes partes. Así, el diseño de la estructura suele estar finalizado antes que las instalaciones. Esto implica que no existirá un modelo LOD 300 o LOD 400, sino que un modelo podrá contener elementos en diferentes grados de desarrollo, y por tanto con diferentes niveles LOD.

### **2.1. LOD 100. El diseño conceptual**

El nivel LOD 100 se corresponde con el nivel de diseño conceptual. El elemento del modelo puede ser representado mediante un símbolo u otra representación genérica.

Los usos autorizados para este nivel son: el análisis –el elemento puede ser analizado basándose en su volumen, área y orientación, por aplicación de criterios asignados a otros elementos-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en su volumen, área u otras técnicas similares-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar la duración total del proyecto-.

### **2.2. LOD 200**

El nivel LOD 200 se representa mediante un sistema, objeto o montaje genérico con, aproximadamente, las mismas cantidades, tamaños, forma, localización y orientación. No suele asociarse al elemento información no gráfica.

Los usos autorizados son: el análisis –el modelo puede ser analizado para verificar su rendimiento-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en técnicas de estimación de coste-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar el orden en la escala de tiempos de los principales elementos del sistema-; coordinación –el modelo puede ser utilizado para la coordinación general con otros elementos del modelo, en términos de tamaño, localización, y disponibilidad de espacio-.

### **2.3. LOD 300. El anteproyecto**

El elemento del modelo está gráficamente representado por un sistema, objeto o montaje específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, localización y orientación. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

Los usos autorizados son: el análisis –el modelo puede ser analizado para comprobar el rendimiento de un sistema específico-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en técnicas de estimación de coste útil para la contratación basada en datos específicos-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar el orden en la escala de tiempos de los principales en una planificación más detallada-; coordinación –el modelo puede ser utilizado para la coordinación general con otros elementos del modelo, en términos de tamaño, localización, y disponibilidad de espacio. Los elementos incluyen ya aspectos operativos generales-

## 2.4. LOD 350

El elemento del modelo está gráficamente representado por un sistema, objeto o montaje específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, localización, orientación e interfaces con otros sistemas del proyecto. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

El nivel LOD 300 especifica que los elementos constructivos se encuentran correctamente definidos, pero no incluye el nivel de detalle necesario para la plena coordinación. La información necesaria para el nivel LOD 400 puede no existir hasta bastante después, ya durante la fase de ejecución, creando así un vacío de información. El nivel LOD 350 cierra esta brecha, y muestra cómo los elementos van a ser montados o fijados.

## 2.5. LOD 400. El proyecto de ejecución

El elemento del modelo está gráficamente representado por un sistema, objeto o montaje específico, en términos de cantidad, tamaño, forma, localización, cantidad, y orientación, detallando la información de fabricación, montaje e instalación. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

Los usos autorizados son: el análisis –el modelo puede ser analizado para comprobar el rendimiento de un sistema específico-; la estimación del coste - el elemento puede ser utilizado para desarrollar una estimación del coste basándose en los costes actuales y de compra-; planificación de tiempos –el elemento puede ser utilizado para determinar el orden en la escala de tiempos detallando los medios y los métodos de construcción-; coordinación –el modelo puede ser utilizado para la coordinación general con otros elementos del modelo, en términos de tamaño, localización, y disponibilidad de espacio, incluyendo datos referentes a la fabricación, instalación y aspectos operativos generales-.

## 2.6. LOD 500. El proyecto “as built”

El elemento del modelo es una representación fiel en términos de tamaño, forma, localización, cantidad, y orientación del proyecto ya finalizado. Puede asociarse al elemento información no gráfica.

Esta clasificación de la AIA no es la única existente, aunque sí la más extendida. Otras clasificaciones pueden ser la del *Computer Integrated Construction (CIC) Research Program*, de la Penn State. Otra clasificación es la del cuerpo de ingenieros del ejército norteamericanos USACE (*US. Army Corps of Engineers*), que ha desarrollado la llamada *Minimum Modeling Matrix (M3)*, y una última clasificación es la de la AEC para el protocolo BIM (*Building Information Model*), *AEC (UK) BIM Protocols*, que especifica, también, una serie de grados en sus componentes (G0 – Esquemático, G1 – Conceptual, G2 – Definido, G3 – Renderizado).

## 3. Materiales y métodos

El modelo 3D se ha desarrollado a partir de la documentación técnica CAD 2D en formato DWG utilizando para ello el software *Trimble SketchUp*.

*Trimble SketchUp* –anteriormente *Google SketchUp*- es una herramienta informática para realizar bocetos 3D muy utilizada en las áreas de arquitectura, diseño comercial, diseño de interiores, paisajismo y planificación urbana, aunque es igualmente utilizada en ingeniería civil, mecánica y estructural, en construcción y diseño industrial, además de en educación y entretenimiento. Su origen se remonta a 1999 cuando esta aplicación fue desarrollada por la compañía *@Last Software*. Su primera versión fue lanzada al mercado en agosto de 2000,

con el propósito general de ofrecer una herramienta para la creación de edificios en 3D. En marzo de 2006 la compañía original fue adquirida por *Google*, y con ella, los derechos de desarrollo de *SketchUp*. Finalmente, en abril de 2012, *Google* vendió esta herramienta a la empresa *Trimble*.

Esta aplicación se caracteriza por poseer un interface de usuario muy intuitiva, con unas enormes posibilidades de manipulación y alineación de entidades directamente y sin necesitar acudir a la línea de comandos. Existen dos versiones, una de ellas gratuita aunque con algunas características limitadas, siendo las más importantes la no posibilidad de importar fichero DWG/DXF y la imposibilidad de crear componentes dinámicos. La otra, es una versión profesional (*SketchUp Pro*). Tanto la versión profesional como la gratuita soportan la programación de plug-ins en lenguaje Ruby. Existen numerosos scripts en dicho lenguaje que extienden las funcionalidades de *SketchUp*.

Algunos plug-in desarrollados para *SketchUp* pretenden implementar las tecnologías de visualización de proyectos de construcción, como pueden ser *4D Virtual Builder*, que permite enlazar los modelos de *SketchUp* con la planificación de MS Project, así como generar imágenes, transparencias para MS PowerPoint y vídeos; o *BuildEdge Plan*, un plug-in orientado a la construcción de muros y tejados, siendo escasa su aplicabilidad para otros elementos, como puede ser forjados, estructuras metálicas o instalaciones.

Las principales característica de este software, es su simplicidad de manejo, lo que permitiría ser empleado por todos los participantes en el proyecto, y la calidad de sus visualizaciones.

#### 4. Caso de estudio

El trabajo se llevó sobre el edificio denominado IV Fase del Centro Científico y Tecnológico de la Universidad de La Rioja. Un proyecto aún en construcción.

Este edificio, con un uso dominante de enseñanza universitaria, tiene una superficie total construida de 5.860,16m<sup>2</sup>. Se planteó la edificación de un semisótano y B+2 con una altura máxima en el último forjado de 11,25m. El semisótano estará dedicado a almacenes, salas de instalaciones y disponibles. La planta baja estará destinada a aulas, seminarios y el aula de grados, planta primera destinada a laboratorio de computación, espacios de investigación y aulas informáticas, y una planta segunda destinada a gestión y administración con despachos y zona de dirección y administrativa.

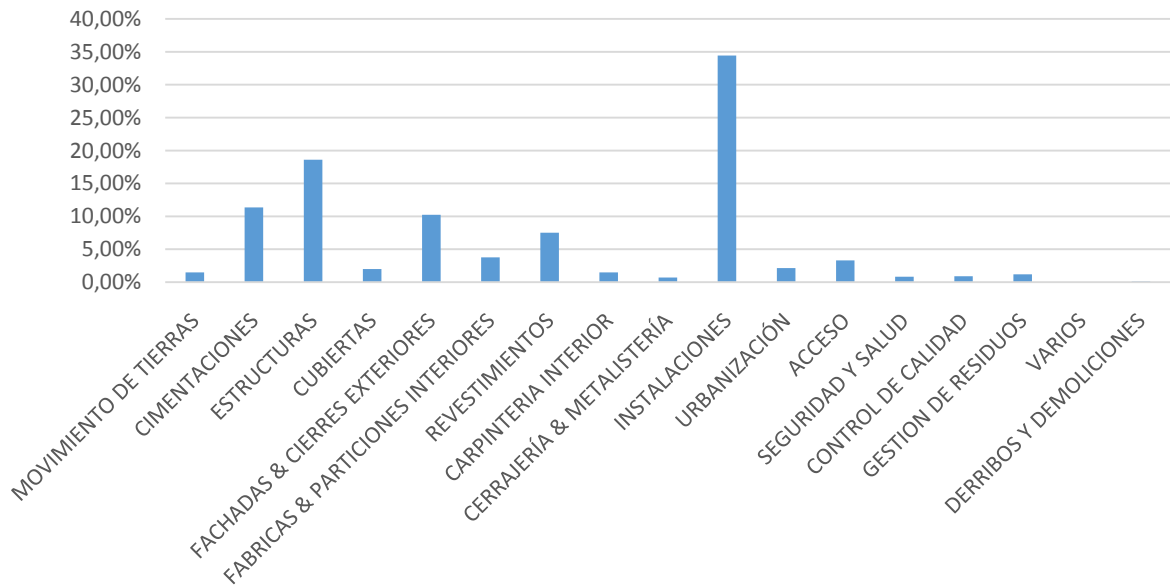
La estructura estará compuesta por muros de carga de hormigón en fachadas y pilares de hormigón en el interior. Los forjados serán de losa aligerada prefabricada con capa de compresión excepto en los voladizos que serán de losa maciza.

En este edificio, y tal como postulaba Khanzode, (2010), las instalaciones tienen un peso muy importante sobre el total. En este caso en concreto, alcanzan el 34,44% sobre el total del presupuesto de ejecución material, siguiendo a esta partida, muy de lejos, la estructura con un 18,59%. En la figura 2 puede verse el peso sobre el total de cada uno de los capítulos del presupuesto para este proyecto.

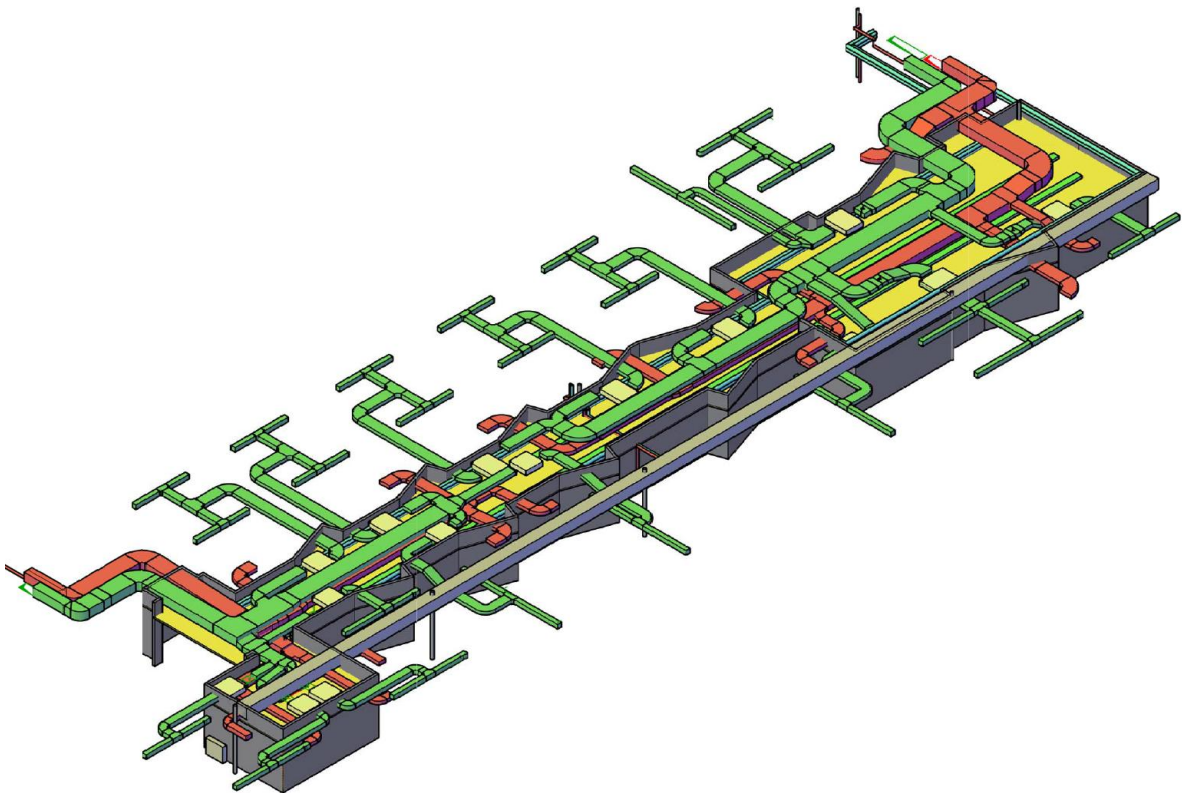
Dada la importancia y el peso que tienen las instalaciones en este proyecto, desde la Oficina Técnica de Obras e Infraestructuras se realizó un modelado 3D de algunas instalaciones, especialmente las de climatización (ver Figura 3), con el fin de evitar los problemas descritos en la introducción de este trabajo.

Dicho modelo se realizó planta por planta del edificio, situándose diversas vistas impresas en las paredes de la obra (ver Figura 4), como una forma de mejorar la coordinación MEP.

**Figura 2. Descomposición porcentual del presupuesto del proyecto del edificio de la IV Fase del Centro Científico y Tecnológico de la UR**



**Figura 3. Modelo 3D de las instalaciones de la planta baja del edificio de la IV Fase del Centro Científico y Tecnológico de la UR**

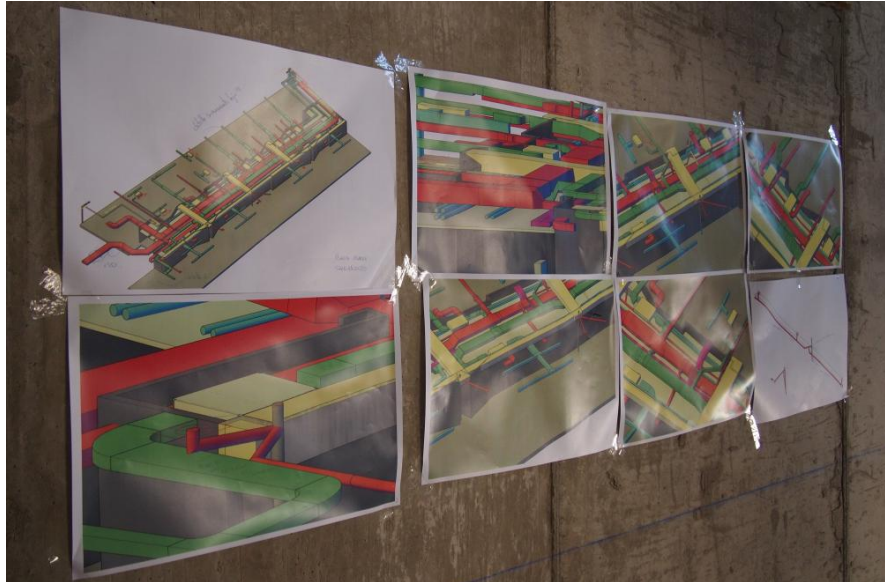


Se puede observar como un modelo 3D, a diferencia de lo que ocurría en la documentación 2D, sí puede representar correctamente los trazados de las diferentes conducciones de los sistemas MEP, y mostrar a los



contratistas la solución ideada por el ingeniero, sin dejar esta solución abierta a interpretaciones del propio contratista. Imagen cortesía de la Oficina Técnica de Obras e Infraestructuras de la Universidad de La Rioja

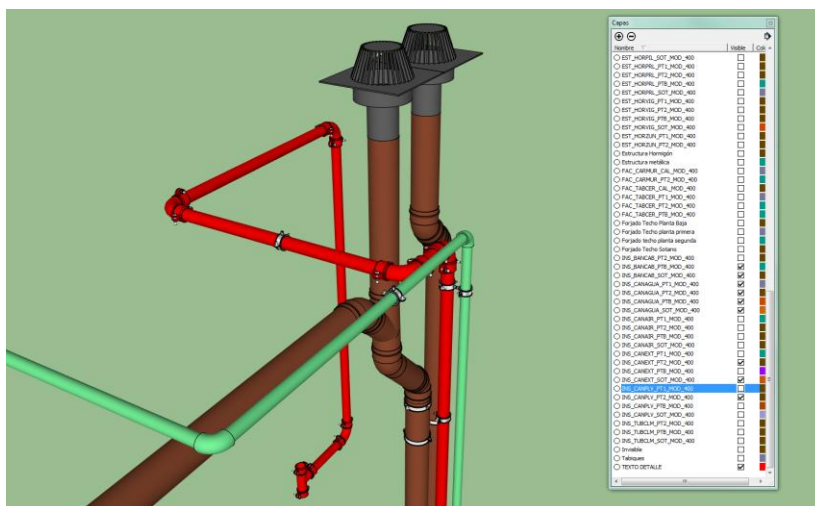
**Figura 4. Vistas 3D situadas en las paredes de la obra de la IV Fase con el fin de coordinar la instalación de los sistemas de climatización**



## 5. Resultados y discusión

El modelo se realizó con el software *Trimble SketchUp*, utilizando un nivel de desarrollo LOD 400, que se corresponde con el nivel de proyecto de ejecución, sin embargo, y dado el nivel de detalle y desarrollo del mismo, en algunas zonas puede considerarse alcanzado un LOD 500, nivel "as built". El modelo se encuentra distribuido en capas en función de la EDT del proyecto, y no de los tiempos, por lo que no puede considerarse un modelo 4D (modelo 3D al que se le ha asociado una cuarta dimensión, la temporal, en forma de planificación de tiempos).

**Figura 5. Capas del modelo relacionadas con la EDT**



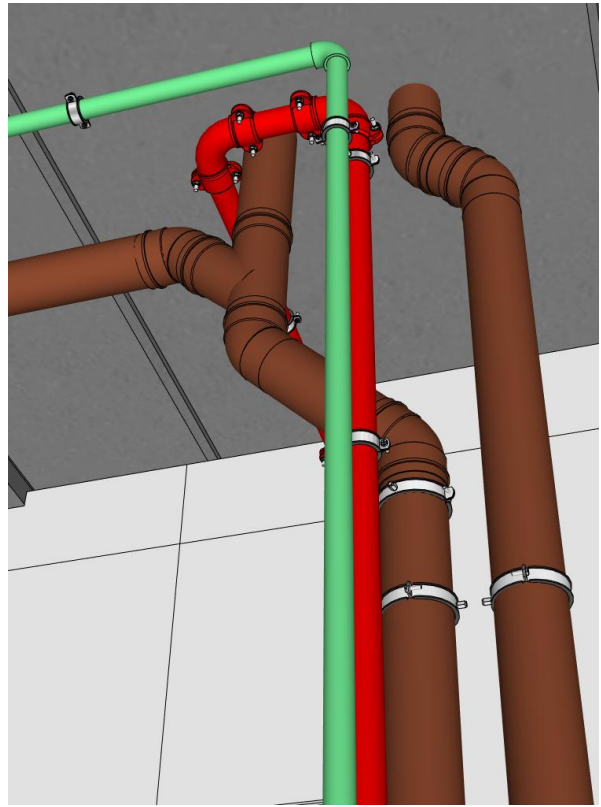
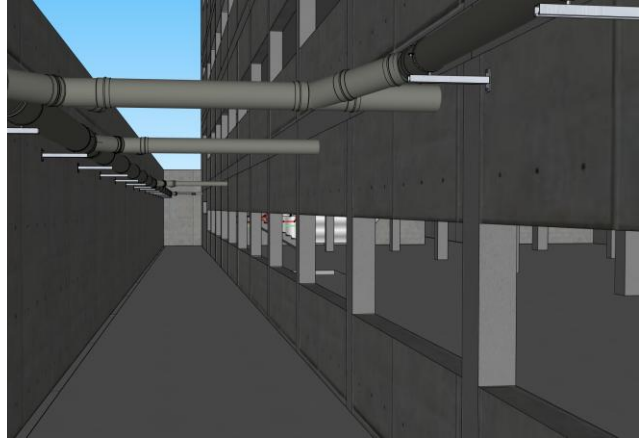
La imagen muestra, desde la cubierta del edificio, una de las bajantes de pluviales (color marrón), la conducción de agua (color verde), y la de incendios (color rojo). Se observa como el modelo 3D permite una integración de los diferentes sistemas. Mientras que en una documentación 2D, cada conducción que aquí se ve tendría un plano 2D por planta del edificio (fragmentación de la documentación), el modelo 3D integra, en

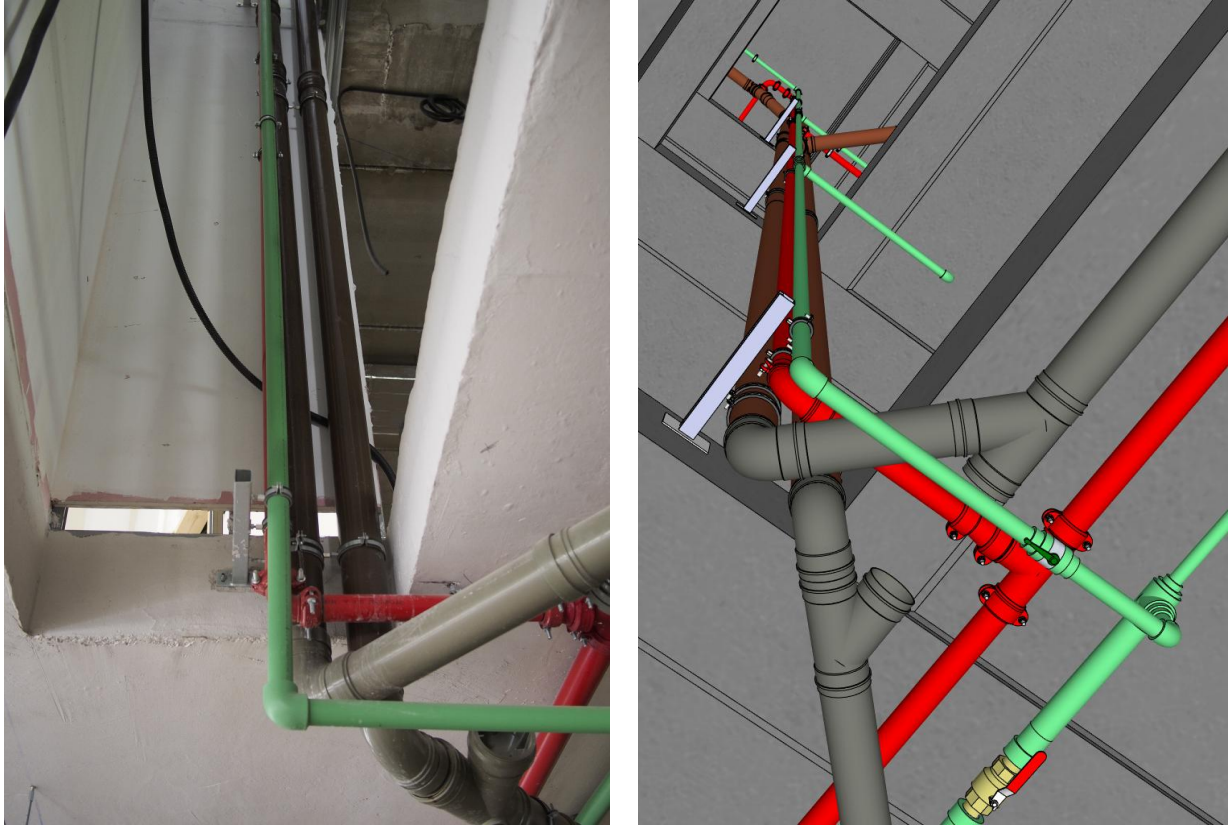
un único modelo, toda la información 2D fragmentada y dispersa en múltiples planos y documentos técnicos. Pueden verse también las capas que conforman el modelo 3D. En su designación se aprecia que se corresponden con un LOD 400.

Se ha hecho un gran hincapié en las instalaciones verticales, como aquellas que circulan por los tres patinillos de que dispone el edificio (uno central y dos situados uno en cada extremo del edificio), y en aquellas instalaciones susceptibles de sufrir colisiones.

En la figura 6 se muestra el modelo de las conducciones de pluviales y su desembocadura en el depósito que pluviales que ayudará al mantenimiento de las zonas verdes de la universidad.

**Figura 6. Algunos ejemplos del modelo 3D del edificio y algunas de sus instalaciones ya finalizadas**





En la imagen superior, se puede ver la zona superior del patinillo central y las conducciones que por él discurren. En la imagen inferior, el mismo patinillo de instalaciones, visto desde la zona del sótano distribuyéndose verticalmente las instalaciones por el patinillo.

**Figura 7. Modelo 3D. Vista desde la planta semisótano**

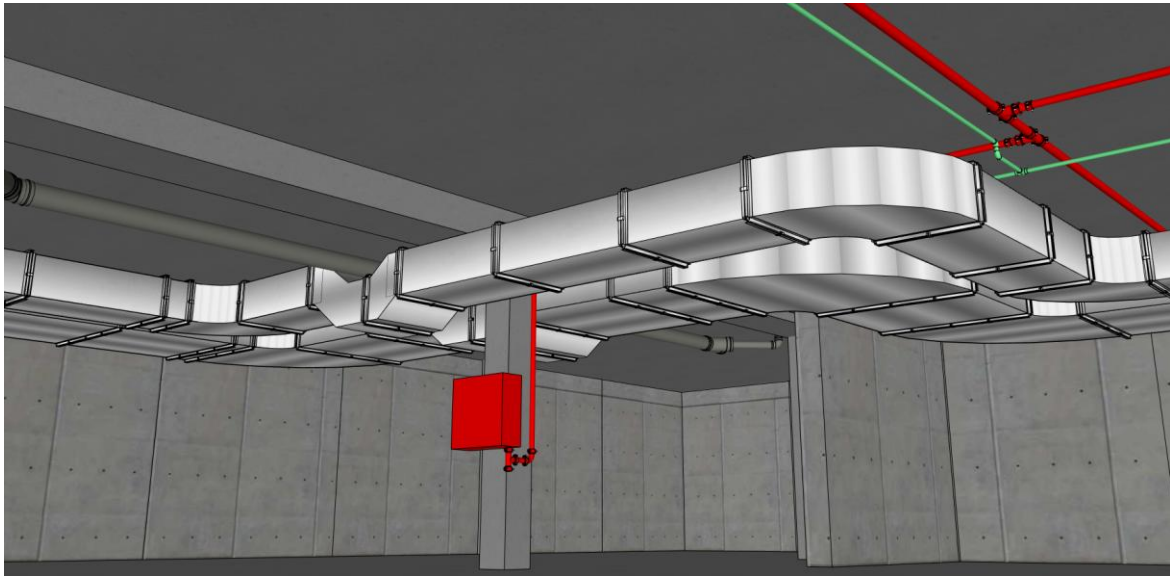


Vista de la planta semisótano, donde comienzan los tres patinillos de instalaciones. Se puede ver también las conducciones de climatización (color metálico), y en general, la calidad de visualización que permite el software *SketchUp*.

En la introducción de este trabajo se planteaba la cuestión de la intersección de la conducción de saneamiento con la conducción de climatización. En la Figura 8, puede

verse como representa el modelo 3D ese punto de la documentación gráfica, reflejando claramente cuál es la solución –un pequeño quiebro de la conducción de climatización–, sin que quede abierta a interpretaciones, y evitando la necesidad de solicitar información adicional por parte del subcontratista, optimizando la ejecución, y evitando el incremento de los plazos.

**Figura 8. Modelo 3D. Vista de las conducciones de climatización**



Vista de las conducciones de climatización (color metálico) en la planta semisótano. Puede verse, a la izquierda, como la conducción realiza un quiebro para adaptarse a una conducción de saneamiento.

## 6. Conclusiones

Este trabajo muestra una forma de lograr una mejor calidad en la documentación, evitando la habitual fragmentación de la documentación, especialmente en lo que se refiere a un elemento tan crítico como son los sistemas MEP.

Los modelos 3D y la construcción virtual, se muestran como un elemento clave en la mejora tecnológica de la construcción actual. La construcción virtual es un proceso que permite modelar, simular y visualizar el resultado de la construcción, integrando en un único modelo, todos los elementos del proyecto. Los diferentes stakeholders pueden así visualizar y revisar los resultados de la construcción, pudiendo corregir en fase de proyecto, problemas que sólo saldrían a la luz durante la fase de ejecución, tales como conflictos espaciales, detección de colisiones, u otras inconsistencias en la documentación, evitando de esta forma, retrasos y sobrecostos.

El software *SketchUp*, considerado un software menor en la industria de la ingeniería y la arquitectura, quizás por su bajo coste, se ha mostrado suficientemente capaz para gestionar el modelo 3D desarrollado, destacando su facilidad de uso y la excelente calidad de sus visualizaciones.

## 7. Bibliografía y referencias

Eastman, Ch., Sacks, R., Lee, G., (2002). Strategies for Realizing the Benefits of 3D Integrated Modeling of Buildings for the AEC Industry. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 19th (ISARC). Proceedings. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. September 23-25, 2002, 9-14.

- Fischer, M., Kunz, J., (2004). The scope and role of Information Technology in Construction. Technical Report 156, Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA
- Kalay, Y.E., Khemlania, L., Choi, J.W., (1998). An integrated model to support distributed collaborative design of buildings. *Automation in Construction* 7, 177- 188
- Khanzode, A., Fischer , M., Reed . D., Ballard . G., (2006). A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process. Working Paper #093. Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA
- Khanzode, A., Fischer, M., and Reed, D. (2008). Benefits and lessons learned of implementing building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. *ITcon Special Issue Case Studies of BIM Use*, Vol. 13, pp. 324-342.
- Khanzode, A., (2010). An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP. Technical Report #TR187. Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford, CA, USA
- Koo, B. and Fischer, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 126, No. 4, pp. 251-260.
- Kunz, J., Fischer, M., (2012). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. CIFE Working Paper #097. Version 14; January 2012