

Universidad de Oviedo



Master Interuniversitario en Dirección de Proyectos

Aplicación de herramientas n-dimensionales en la toma de decisiones
para la dirección de proyectos de construcción

Trabajo Fin de Master

Autor: Jorge Remartínez Ochoa
Director: Dr. Eliseo Vergara González
Fecha: Julio de 2013

Tabla de contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introducción | 6 |
| 1.1 | Diseño de proyectos de construcción | 7 |
| 1.2 | La comunicación entre los implicados | 10 |
| 1.3 | Las modificaciones durante el proyecto | 11 |
| 1.4 | Building Information Model | 13 |
| 1.4.1 | Evolución histórica | 13 |
| 1.4.2 | Tecnología BIM..... | 14 |
| 1.4.3 | Herramientas comerciales BIM..... | 15 |
| 1.4.4 | Modelos BIM n-Dimensionales | 16 |
| 1.4.5 | Modelos BIM 4D..... | 16 |
| 1.4.6 | Qué no es BIM | 17 |
| 1.5 | Objetivos del Trabajo | 17 |
| 2 | Estado del Arte | 20 |
| 3 | Materiales y métodos | 24 |
| 3.1 | Trimble SketchUp | 24 |
| 3.1.1 | Modelado 4D con capas y componentes | 24 |
| 3.1.2 | Plug-ins BIM existentes | 25 |
| 3.2 | Ruby..... | 26 |
| 3.2.1 | Extensión Ruby de SketchUp..... | 26 |
| 4 | Discusión de los Resultados | 28 |
| 4.1 | Conocer el proceso..... | 29 |
| 4.2 | Análisis y definición del problema..... | 30 |
| 4.3 | Diseño 3D a partir de los múltiples diseños 2D..... | 33 |
| 4.4 | Planificación de las tareas del proyecto..... | 34 |
| 4.5 | Estudio del nivel de detalle en tareas | 36 |
| 4.6 | Proceso de integración de tareas en el modelo 3D | 37 |
| 4.7 | Aplicación del estudio del nivel de detalle | 38 |
| 4.8 | Análisis de entidades del modelo..... | 41 |
| 4.9 | Asociación de entidades..... | 45 |
| 4.10 | Evolución global del proyecto | 49 |
| 4.11 | Evolución parcial del proyecto | 53 |

| | | |
|---|--|----|
| 5 | Conclusiones y líneas de investigación futuras | 57 |
| 6 | Bibliografía | 62 |

Tabla de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. CONTEXTO ACTUAL DEL DISEÑO DE CONSTRUCCIONES. (COLOMA PICÓ, 2008) | 8 |
| FIGURA 2. PROCESO DE DISEÑO CLÁSICO. (COLOMA PICÓ, 2008) | 9 |
| FIGURA 3. PROCESO DE DISEÑO BASADO EN BIM. (COLOMA PICÓ, 2008) | 10 |
| FIGURA 4. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN MENTAL DE MODELO 2D A 3D | 11 |
| FIGURA 5. PROCESO DE COORDINACIÓN Y COMUNICACIÓN ENTRE LOS STAKEHOLDERS DE UN PROYECTO | 12 |
| FIGURA 6. PROCESO DE SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE DISEÑO | 30 |
| FIGURA 7. PROBLEMA DEL ESPACIO EN LA PLANIFICACIÓN | 31 |
| FIGURA 8. VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PLAN DE PROYECTO | 32 |
| FIGURA 9. DISEÑO 3D DE CASA DE MADERA | 34 |
| FIGURA 10. PLAN DE PROYECTO | 35 |
| FIGURA 11. LISTA DE TAREAS | 35 |
| FIGURA 12. DIAGRAMA GANTT | 35 |
| FIGURA 13. ESTUDIO DE NIVELES | 37 |
| FIGURA 14. BARRA DE ACCIONES DE URTOOLS4D | 37 |
| FIGURA 15. CONSOLA RUBY | 37 |
| FIGURA 16. IMPORTAR TAREAS DEL PROYECTO | 38 |
| FIGURA 17. PROCESO DE IMPORTACIÓN DE TAREAS | 38 |
| FIGURA 18. BARRA DE ACCIONES DE URTOOLS4D | 39 |
| FIGURA 19. LISTA DE CAPAS | 39 |
| FIGURA 20. VINCULACIÓN DE TAREAS A CAPAS | 39 |
| FIGURA 21. VINCULACIÓN COMPLETA SEGÚN ESTUDIO DEL NIVEL DE DETALLE EN TAREAS | 40 |
| FIGURA 22. TABLA DE COMPROBACIÓN DE NIVELES APLICADOS | 41 |
| FIGURA 23. CONJUNTO DE ELEMENTOS GRÁFICOS QUE COMPONEN UN TABLÓN DE MADERA | 42 |
| FIGURA 24. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES GRÁFICOS PARA CREAR UN GRUPO O COMPONENTE | 43 |
| FIGURA 25. CREACIÓN DE UN GRUPO DE ELEMENTOS GRÁFICOS | 44 |
| FIGURA 26. ESTABLECER NOMBRE AL GRUPO | 44 |
| FIGURA 27. CREACIÓN DE UN COMPONENTE A PARTIR DE UN GRUPO | 45 |
| FIGURA 28. BARRA DE ACCIONES DE URTOOLS4D | 45 |
| FIGURA 29. LISTA DE COMPONENTES DE CONSTRUCCIÓN | 45 |
| FIGURA 30. LISTA DE COMPONENTES DE CONSTRUCCIÓN INCOMPLETO | 46 |
| FIGURA 31. LISTA DE COMPONENTES DE CONSTRUCCIÓN DEL MODELO CON ELEMENTOS SELECCIONADOS | 47 |
| FIGURA 32. LISTA DE COMPONENTES DE CONSTRUCCIÓN CORRECTAMENTE ASIGNADOS A CAPAS | 48 |
| FIGURA 33. BARRA DE ACCIONES DE URTOOLS4D | 49 |
| FIGURA 34. LISTA DE TAREAS DEL PROYECTO | 50 |
| FIGURA 35. LISTA DE TODAS LAS TAREAS DEL PROYECTO | 50 |
| FIGURA 36. EVOLUCIÓN DEL PROYECTO A FECHA 31/07/2013 | 51 |
| FIGURA 37. EVOLUCIÓN DEL PROYECTO A FECHA 28/08/2013 | 51 |
| FIGURA 38. EVOLUCIÓN DEL PROYECTO A FECHA 30/08/2013 | 52 |
| FIGURA 39. EVOLUCIÓN DEL PROYECTO A FECHA 05/09/2013 | 52 |
| FIGURA 40. EVOLUCIÓN DEL PROYECTO A FECHA 23/09/2013 | 53 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 41. BARRA DE ACCIONES DE URTOOLS4D..... | 53 |
| FIGURA 42. LISTA DE TAREAS DEL PROYECTO..... | 53 |
| FIGURA 43. FILTRAR TAREAS POR FECHA FINAL | 54 |
| FIGURA 44. TAREAS COMPRENDIDAS ENTRE EL INICIO DEL PROYECTO Y EL 04/09/2013 | 54 |
| FIGURA 45. TAREAS COMPLETADAS A FECHA DE FILTRO (04/09/2013) | 55 |
| FIGURA 46. METODOLOGÍA DE DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS 4D CON URTOOLS4D..... | 57 |
| FIGURA 47. CICLO DE VIDA DEL CONOCIMIENTO, LA EXPERIENCIA Y LA COMUNICACIÓN DENTRO DEL PROYECTO..... | 58 |

Capítulo 1

1 Introducción

El actual entorno del mundo de la arquitectura y la ingeniería es incierto y difícil, obligando a las organizaciones a vivir en un continuo proceso de adaptación y mejora, fruto de este proceso, la dirección de proyectos está sufriendo un proceso de transformación que adopta nuevos modelos y herramientas para facilitar el desarrollo de sus actividades y permiten el ahorro de costes, tiempo y recursos.

Como origen de estas tendencias de cambio dentro de la industria AEC (Architecture, Engineering and Construction), cada día se hacen más patentes los problemas derivados de los proyectos de construcción, en los que se dan infinidad de situaciones imprevistas y modificaciones durante la fase de ejecución, y en los que rara vez se consigue superar el proyecto en los términos en los que se planificó. Cada día se pueden leer artículos en prensa que hablan del sobrecoste producido en obras de carácter público y privado, en el que las desviaciones sorprenden cuanto menos por su enormidad y por el hecho de cuestionarse si se podrían haber evitado.

Ante esta situación cabe plantearse cuales son los problemas derivados de estos sobrecostes y si existe alguna manera de poder atajarlos mucho antes de que se produzcan, es decir, cuando ya es imposible solucionarlos, sin recaer claro, en una mayor asignación de recursos o en el retraso de los plazos planificados.

Para poder plantearse estas cuestiones se debe primero pensar en la complejidad que entrañan este tipo de proyectos y cuál es la raíz de estos problemas, en palabras de (Santos Granados, 2010), *“El hecho de que la actividad constructora presente frecuentemente una notable complejidad, tanto desde el punto de vista técnico como económico-administrativo, refuerza la necesidad de prestar una especial atención a esta industria, teniendo en cuenta las singularidades que le son propias”*.

De manera que para poder ahondar en la realidad de los proyectos de construcción, se debe primero identificar en la medida de lo posible estas singularidades, para poder detectar los problemas e intentar encontrar una solución a los mismos. Además, y siendo éste, el objetivo presente, se lleva años realizando un esfuerzo importante en este sentido, intentando paliar estos problemas mediante el uso de nuevos modelos de construcción y la integración de nuevas tecnologías en el ciclo de vida de las obras.

Como resultado de estas adopciones y del vertiginoso avance de las tecnologías es cada día más frecuente la incorporación de herramientas tecnológicas al ámbito de la construcción y de la dirección de proyectos en ingeniería, que permiten simplificar los sistemas de trabajo, aumentar la productividad y crear proyectos de mayor calidad superando las barreras de los

métodos de diseño hasta ahora comúnmente utilizados.

Por tanto, debemos tener presente que el sector de la construcción y la ingeniería se está transformando y los sistemas de trabajo descoordinados se están quedando obsoletos. Hoy en día se trabaja con una nueva eficiencia, todo ello gracias a las herramientas de diseño 3D, muchas de ellas, basadas en modelos de información para la edificación, estos modelos denominados BIM (Building Information Model), aparentemente podrían ser la solución a los problemas derivados de la construcción, pero para ello es necesario un proceso de adopción de estos modelos en las organizaciones.

Esta transformación se fundamenta en el conocimiento profundo de los aspectos relevantes de los proyectos de construcción, así como de las diferentes fases que integran un modelo BIM (diseño, construcción, gestión, explotación y mantenimiento), referido a un modelo virtual tridimensional y con la integración eficiente de todos los agentes partícipes del proyecto a través de unos flujos de información generados y compartidos en tiempo real.

Si hay más información y coordinación entre los agentes la posibilidad de entendimiento así como la posibilidad de detección de fallos se incrementa de manera notable.

1.1 Diseño de proyectos de construcción

La evolución de la metodología de diseño de construcciones en arquitectura está en proceso de evolución, pero es una evolución lenta y poco interesada, bien por la resistencia al cambio, bien por la necesidad de formación para la adaptación a las nuevas herramientas y tecnologías, pero el caso es que existe una fuerte negativa a evolucionar por parte de este sector, en claro contraste con los diseños en ingeniería, que llevan años utilizando nuevas herramientas y los últimos avances en los procesos industriales.

Según (Coloma Picó, 2008), actualmente las herramientas CAD de diseño por ordenador tienen una gran cuota de mercado, sobre todo, dentro del mundo de la arquitectura, pero el avance tecnológico del uso de estas aplicaciones ha sido, en general, bastante escaso. Obviando las razones del por qué, lo que es un hecho es que el uso de herramientas para la mayoría de tareas de delineación, se asemeja mucho a las arcaicas técnicas manuales, y esto es debido a que el diseño arquitectónico tradicional sigue dependiendo de múltiples representaciones independientes del modelo.

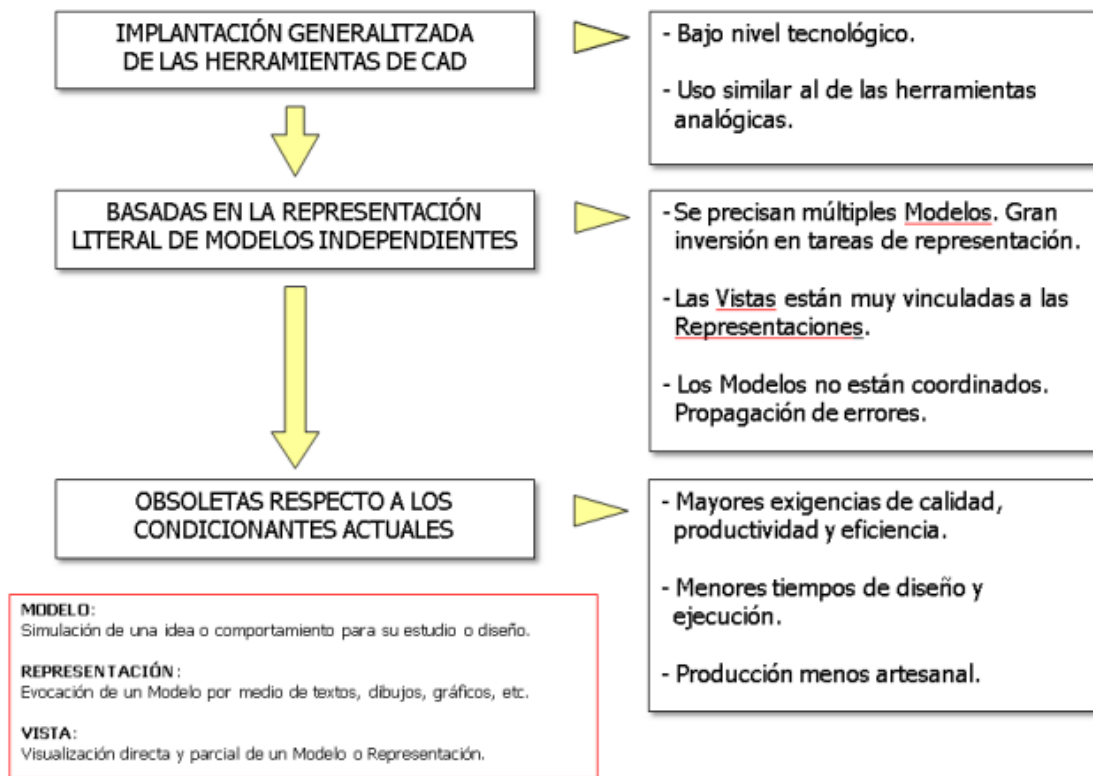


Figura 1. Contexto actual del diseño de construcciones. (Coloma Picó, 2008)

Normalmente se generan multitud de representaciones del modelo, que juntas conforman la construcción final, pero que por separado no son sino solo un conjunto de planos bidimensionales inconexos, que tratan de estudiar cada modelo independientemente del producto final. Desde un punto de vista no técnico, parece curioso pensar que siendo la construcción final una unidad completa por sí misma, como es posible que esta división en modelos independientes sea la solución al problema, pero aun aceptando esto, ¿no es lógico pensar, que si divides un modelo en un conjunto de submodelos, puede que haya algún aspecto en estos submodelos que no encaje con los demás?.

En la siguiente ilustración podemos ver cómo es el proceso de diseño clásico que sigue estando presente en las construcciones de hoy en día, en el podemos apreciar como de un proyecto global se esbozan múltiples modelos independientes para los cuales existen vistas en una relación de uno a uno:

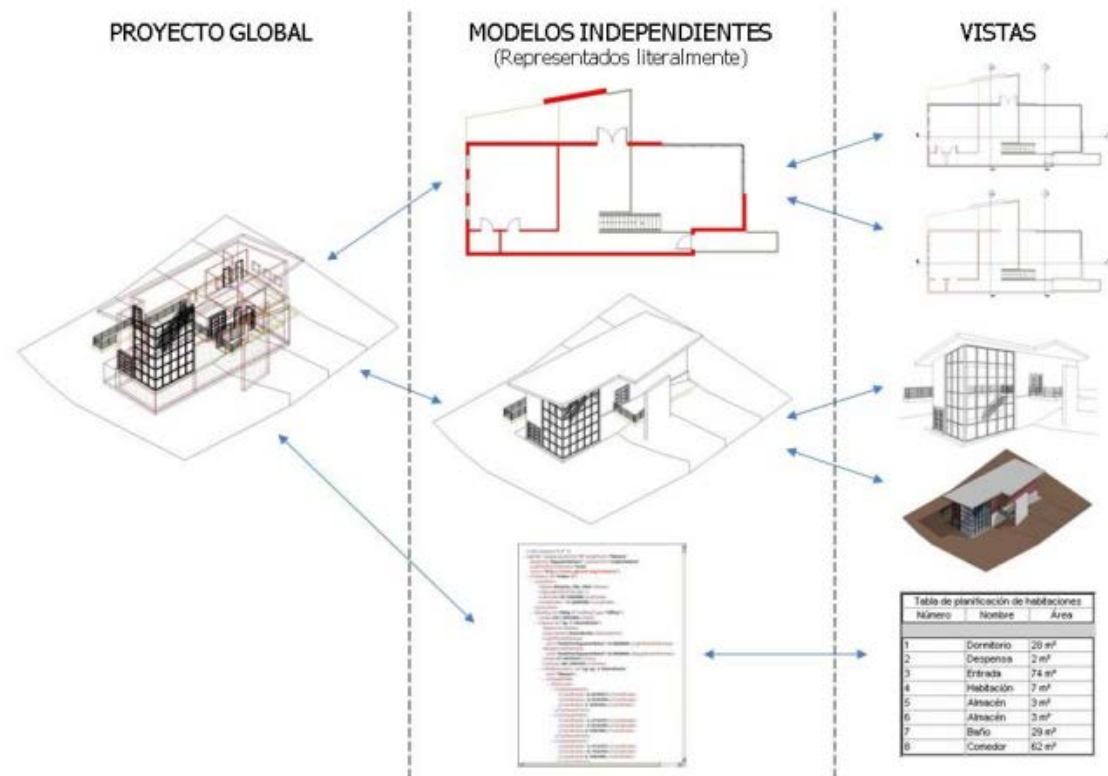


Figura 2. Proceso de diseño clásico. (Coloma Picó, 2008)

Esta forma de trabajo es susceptible de producir diversos errores que se propagarán desde el diseño y que acabarán apareciendo en la fase de ejecución de la obra, siendo necesario realizar modificaciones en el plan de proyecto, lo cual siempre tiene impacto sobre el coste o sobre el plazo.

Tomando como referencia la metodología BIM se establece una diferencia sustancial, dado que permite generar un modelo más consistente, basado en datos, desde el cual se pueden obtener fácilmente los submodelos de construcción, pudiendo además tener una visión más clara del proyecto como unidad completa.

En contraste con la anterior ilustración, vemos como a partir de la metodología BIM se puede generar un modelo de información unificado a partir del proyecto global y así poder generar vistas de cada modelo independiente pero desde una relación de uno a varios:

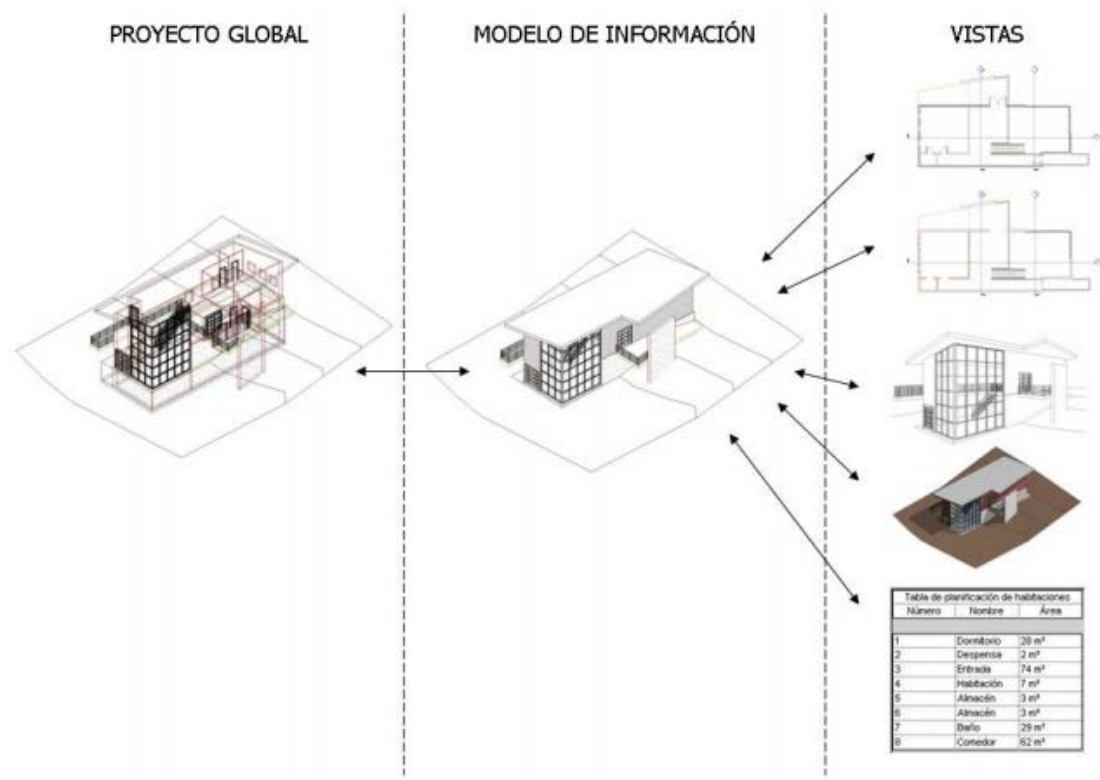


Figura 3. Proceso de diseño basado en BIM. (Coloma Picó, 2008)

1.2 La comunicación entre los implicados

El proceso de construcción se caracteriza por las interacciones dinámicas de un número independiente de implicados (arquitectura, oficinas de ingeniería, subcontratistas, fabricantes de productos, etc.). Estas organizaciones realizan una programación temporal del proyecto hasta la finalización del mismo, y por lo tanto la duración de las relaciones entre las organizaciones participantes, es relativamente corta en comparación con el lapso de vida de cada organización individual. Además, existen dos conjuntos de objetivos organizativos: los objetivos a corto plazo de la organización del proyecto y los objetivos de cada organización participante a medio o largo plazo. Es decir, los despachos de arquitectos, los ingenieros consultores, los subcontratistas, etc., una vez que se convierten en una parte de la organización del proyecto, luchan por satisfacer sus propias metas a largo plazo (por ejemplo, reputación, ganancia financiera, etc.) y los objetivos del proyecto a corto plazo. Estos dos conjuntos de metas pueden entrar en conflicto entre sí, por lo que, la correcta comunicación entre ellos es crucial para que la información fluya por todos los implicados y tengan presente el avance del proyecto.

Además, a parte de estos colectivos implicados en el proyecto no debemos olvidar que existen

más implicados, que no siempre son personal técnico pero que también requieren del conocimiento de la información. Por tanto, se debe entender que los modelos bidimensionales no solo son vistos por los diseñadores de los mismos, sino que hay otros agentes implicados en el proceso de construcción, que tienen la necesidad de observar estos modelos y hacer la transformación mental de un modelo 2D (2 dimensiones) a uno de la vida real en 3D (3 dimensiones), pero que, ineludiblemente siempre estará condicionado a su interpretación personal, ya que no se dispone de información más allá de la que aparece en el modelo 2D. De manera que este esfuerzo por “imaginar” o transformar el modelo en 2D a un modelo en 3D, es decir, visualizar cómo será el producto final realmente, es un esfuerzo grande y debería evitarse en la medida de lo posible, ya que dificulta la fluidez de ideas y limita la posibilidad de este personal no técnico para poder detectar aspectos, que podrían ser significativos desde un punto de vista no técnico o funcional.

Nos es familiar la imagen de un estudio de arquitectos presentando una idea mediante una maqueta a escala, donde poder vislumbrar el resultado de la inversión de sus clientes. Representar el proyecto final con un modelo en 3D, no es sino, crear una maqueta virtual de cuál será el resultado final del proyecto pero significativamente más rica, puesto que además de solamente la visualización se puede profundizar e interactuar con cada detalle de la construcción, e incluso realizar estudios o simulaciones por ejemplo de la incidencia de la luz solar, u otro tipo de situaciones que con un maqueta sería imposible.

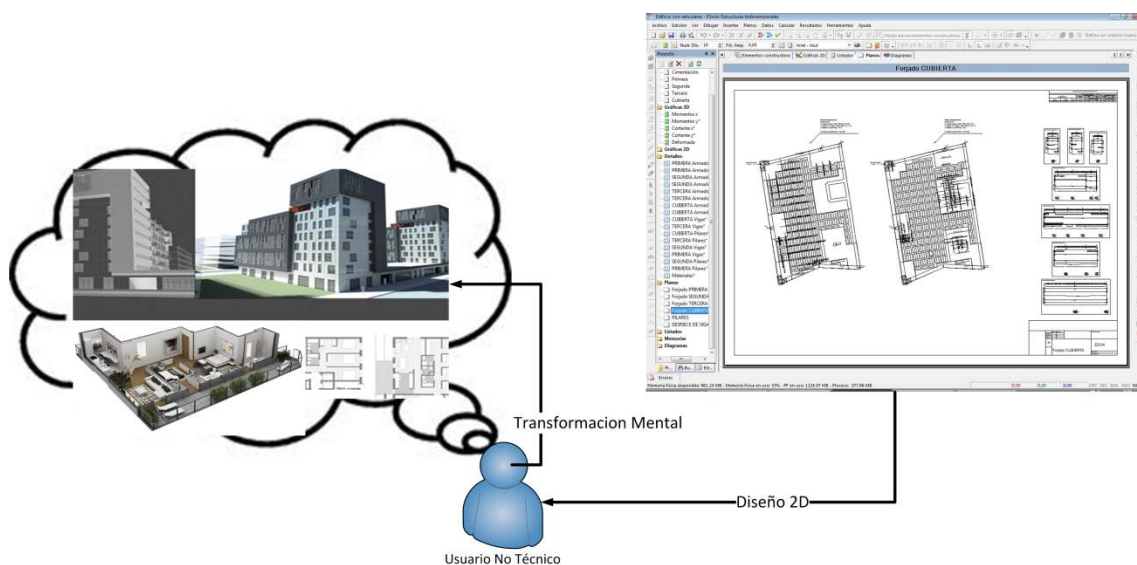


Figura 4. Proceso de transformación mental de modelo 2D a 3D

1.3 Las modificaciones durante el proyecto

En proyectos de gran envergadura, el diseño de la documentación gráfica del proyecto normalmente es realizado por diferentes personas, gabinetes de arquitectos o ingenieros, o por la dirección facultativa, pero sobre todo por el constructor que debe detallar al máximo cada tarea, puesto que finalmente será el encargado de ejecutar la obra. Cada una de estos

implicados genera sus diseños sin tener conocimiento de los diseños que otros están desarrollando, de manera que existe la posibilidad de que haya colisiones entre los diferentes modelos.

Por tanto, durante el ciclo de vida del proyecto hay muchos implicados y cada uno de ellos genera documentación propia que, debe integrarse en la documentación global del proyecto y debe ser coherente entre sí. Incluso si toda esta documentación generada durante la creación del plan de proyecto es coherente entre sí, con frecuencia durante la ejecución de la obra se producen rectificandos o modificaciones de obra, originados por problemas no previstos o incluso como acción de mejora del proyecto detectada en fases tardías de la ejecución.

Podemos ver en la siguiente figura gran parte de los implicados en un proyecto y su función en el mismo, y cómo además, cada una de estas partes implicadas genera una documentación y unos planes más o menos detallados de su visión de la obra.

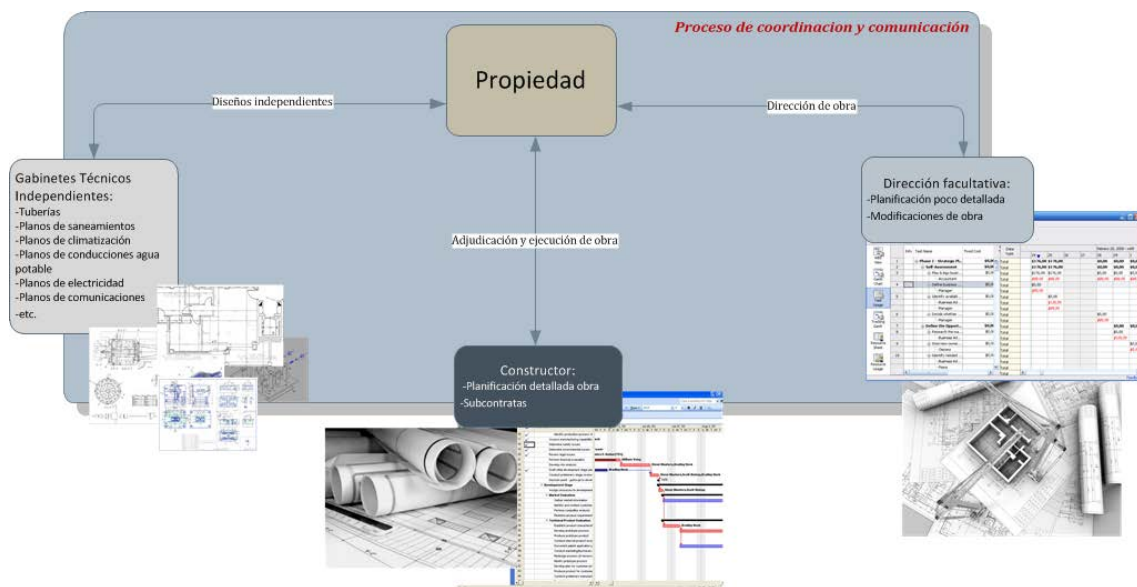


Figura 5. Proceso de coordinación y comunicación entre los stakeholders de un proyecto.

Hasta aquí se puede pensar que si todo el mundo hace bien su trabajo no debería presentarse ningún problema, pero para que esto se dé, es necesario que haya entre ellos un proceso, simplificado pero eficiente, de coordinación y comunicación, de forma que permita detectar problemas o posibles colisiones entre modelos de una forma temprana y eficaz, es aquí donde entran los modelos 3D y su carácter auto explicativo, ya que permiten de un simple vistazo reconocer la representación de la obra final que se pretende llevar a cabo, así como su aspecto terminado.

Estos modelos 3D permiten integrar la comunicación entre personal técnico y no técnico, y facilitan de esta manera la coordinación y la correcta comunicación entre las partes. Ante un modelo 3D no hay lugar a dudas de cuál será el resultado porque se hace palpable gracias al

modelo. Pero dando una vuelta de tuerca a estos modelos 3D, ¿qué pasaría si además de estas ventajas significativas pudiesen aportar otras como poder reflejar aspectos de la duración en plazos de las tareas, o los costes asociados a las mismas?. Este valor añadido es la visión n-Dimensional que aporta la metodología BIM, refiriéndonos con n dimensiones a aquellas que aportan valor a las 3 dimensiones del modelo, la planificación suele ser la vista 4D, los costes la vista 5D, y así sucesivamente incrementando con los aspectos que se desee añadir al modelo 3D.

1.4 Building Information Model

BIM (Building Information Modeling) es una metodología innovadora que permite facilitar la comunicación entre la arquitectura, la ingeniería, la construcción y la gestión. Con BIM, profesionales y empresas pueden generar e intercambiar información de manera eficiente, crear representaciones virtuales de todas las fases del proceso de construcción y simular el rendimiento de la edificación en la vida real. BIM incrementa la capacidad de integrar y compartir la información generada por todos los stakeholders del proyecto, sobre la que pueden trabajar en tiempo real. Mejora la comunicación y comprensión del proyecto a través de su visualización 3D y permite planificar con precisión, de forma más rápida y con menor coste. También permite anticipar la detección de problemas y colisiones, perfecciona el flujo de trabajo, aumenta la productividad y mejora la calidad del resultado final. Además, abarca todo el proceso de diseño y gestión de la información generada a lo largo del ciclo de vida del proyecto, permitiendo optimizar su explotación y definir nuevos flujos de trabajo e información que permiten hacer un seguimiento eficaz del edificio desde la concepción hasta su enajenación.

1.4.1 Evolución histórica

Las bases conceptuales del sistema BIM en sí remontan a los primeros días de la programación. Sobre 1962, Douglas C. Engelbart daba una visión misteriosa del futuro arquitecto en su artículo *Augmenting Human Intellect*. (Engelbart & English, 1962), en él, Englebart sugiere un diseño basado en objetos, un flujo paramétrico y una base de datos relacional donde almacenar dicha información. Hay una larga lista de Investigadores cuya influencia es considerable como Herbert Simon, Nicholas Negroponte y Ian McHarg que estaba desarrollando un camino paralelo a los Sistemas de Información Geográfica (GIS). El trabajo de Christopher Alexander, habría tenido un impacto importante en la escuela de principios de programación orientados a objetos con *Notes on the Synthesis of Form* (Alexander, 1964). Estos sistemas eran marcos conceptuales que no podían llevarse a cabo sin una interfaz gráfica, a través de la cual poder interactuar con estos modelos de construcción.

No mucho tiempo después, a principios de la década de los 80, empezaron a surgir las primeras herramientas BIM, con un entorno gráfico pobre y demasiado consumo

computacional pero ya se vislumbraban los primeros destellos de esta metodología. De esta época es la famosa herramienta conocida como ArchiCAD.

Sucesivos han sido los estudios y progresiva la adopción de esta nueva terminología Building Information Model, y según predijo Engelbart, la tecnología poco a poco ha hecho posible que el diseño por computador y el apoyo humano en dicha herramienta, sea hoy en día una realidad. Pero estas herramientas que facilitan todo el proceso de diseño asistido por ordenador de planos y construcciones, se van quedando atrás frente a la necesidad de los proyectos actuales, y la evolución de estos diseños 3D, que a la postre no son sino solo un plano plasmado en 3 dimensiones, y por tanto se hace necesaria la capacidad de dotar a estos dibujos de información extra que aporte un valor añadido y enriquezca los mismos, es decir poder añadir dimensiones a un modelo 3D.

1.4.2 Tecnología BIM

Building Information Model (BIM), también llamado modelado de información para la edificación, es el proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida, utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. Este proceso produce el modelo de información del edificio (BIM), que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de los componentes del edificio.

BIM es apto para soportar la simulación de un proyecto de construcción en un entorno virtual, con la ventaja de tomar lugar mediante el uso de un paquete de software apropiado. Un edificio virtual implica que es posible la construcción en la práctica, y sirve para experimentar, y realizar ajustes en el proyecto antes de que se esté realizado (Kymmel, 2008).

Permite integrar dibujos 3D y animaciones 4D para mejorar drásticamente la comunicación, coordinación y planificación de proyectos de construcción, reduciendo costos, riesgos y errores. Es un recurso para arquitectos y profesionales de la construcción que muestra cómo capitalizar conceptos, herramientas y técnicas para sus propios proyectos de construcción.

El concepto más preciso y la base en la que se apoya esta tecnología tiene que ver con los denominados objetos paramétricos, idea fundamental para la comprensión de BIM y su diferenciación de los objetos 3D tradicionales, por tanto un objeto paramétrico según (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011), es aquel que:

- Consta de definiciones geométricas, datos y reglas asociados.
- La geometría se integra sin redundancias, y permite que no haya inconsistencias. Cuando un modelo se muestra en 3D, no existe la posibilidad de que existan redundancias como pasaría en forma de múltiples vistas 2D.

- Las reglas paramétricas de objetos modifican automáticamente las geometrías asociadas puesto que existe una conexión entre ellos, de forma que cualquier elemento gráfico será dependiente también de sus reglas asociadas.
- Los objetos pueden ser definidos en distintos niveles de agregación, pero siempre guardan una relación dependiente entre sí.
- Las reglas de los objetos pueden identificar cuando, un cambio en particular viola la viabilidad del objeto tanto en tamaño, fabricación, etc.
- Los objetos tienen la posibilidad de enlazar conjuntos de atributos con otras aplicaciones o recibir datos y reglas desde otros modelos.

La capacidad que tiene BIM de que el modelo generado sea útil a lo largo de la vida del proyecto, desde el diseño inicial hasta la entrega, hace de esta tecnología una potente herramienta de trabajo en proyectos de construcción. Incluso posteriormente a la entrega de la obra, estos modelos pueden seguir siendo de utilidad puesto que gracias a ellos se tiene constancia del proyecto, planos, situación de los elementos constructivos, etc., que pueden facilitar la tarea de planificar modificaciones o reparar instalaciones.

Además BIM parte de un proceso de flujo de trabajo que rediseña los aspectos clave de la dirección de proyectos de construcción, ya que gran parte de los requisitos del cliente y la lógica constructiva se repercuten directamente en el modelo 3D a través de sus objetos inteligentes y su comportamiento, esto enriquece muchísimo el modelo, además de centralizar una parte importante de las características principales de la obra.

1.4.3 Herramientas comerciales BIM

Existen muchas herramientas comerciales BIM y la discusión de cuales de ellas son mejores o peores es amplia (Arayici, Coates, Koskela, Kagioglou, Usher, & O'Reilly, 2011), diversos estudios acerca de los productos comerciales que implementan la tecnología BIM, apuntan qué producto se adapta mejor o peor a cada organización, y si son potencialmente útiles, pero lo cierto es que, actualmente, las herramientas BIM más destacables existentes el mercado son entre otras Bentley Architecture, Autodesk Revit Architecture, Graphisoft ArchiCAD y Allplan de Nemetschek.

Estas herramientas son potentes y llevan recorrido un largo camino en la implantación BIM, SketchUp, por el contrario, no cumple con los requisitos para ser denominado una herramienta BIM a día de hoy, sin embargo su facilidad de uso y su capacidad para adoptar técnicas de la tecnología BIM junto con la relativa juventud del producto hacen que esta herramienta posea un prometedor futuro en el que tenga cabida en este grupo de herramientas de referencia.

1.4.4 Modelos BIM n-Dimensionales

En dirección de proyectos de construcción el estándar de facto en entrega de diseños es todavía bidimensional, es decir, se presentan los planos en 2 dimensiones, por lo tanto, la dirección no pueden obtener modelos 3D de diseño directamente. Estos modelos en 3 dimensiones son la agrupación en un solo diseño de todos los planos generados en 2D. Como hemos comentado anteriormente, esto es importante porque permite tener toda la información geométrica de la construcción en un solo documento, por tanto si generamos un modelo que agrupe todos los diseños en 2D tendríamos un modelo con 3 dimensiones.

Pero la dirección del proyecto, así como otros implicados, necesitan controlar integralmente la calidad, costo, seguridad, calendario de construcción, etc. durante el proceso de construcción. Usando modelos n-Dimensionales (nD) de construcción como unidad de control de la información puede ayudar a los implicados a entender con mayor precisión la situación actual de la construcción (Ding, Zhou, Luo, & Wu, 2012).

Por tanto, el concepto de añadir variables como el tiempo, el coste, la seguridad, etc. a un modelo 3D convierte el modelo en un modelo ampliado con más dimensiones, de forma que si al modelo en 3 dimensiones se le vincula datos de la planificación, se transformaría en un modelo 4D, si además se le dotase de datos económicos sería un modelo 5D y así sucesivamente.

1.4.5 Modelos BIM 4D

Como se ha comentado en el apartado anterior los modelos 4D son solamente modelos en 3 dimensiones, a los que se les vincula la planificación generada a partir del plan de proyecto.

Numerosas investigaciones han estudiado la aplicación real de la variable tiempo a los modelos 3D, y en todos se resaltan las aportaciones que este tipo de modelos generan sobre el proyecto. Aspectos como los que destacan (Zhang & Hu, 2011) son un factor común en todos ellos:

- Centraliza toda la información de construcción y planificación, y permite su aplicación unificada.
- Proporciona una representación fiel del procedimiento de construcción, así como cualquier cambio del plan de construcción puesto que la vinculación entre la geometría 3D y el plan de proyecto está implícita.
- Proporciona mecanismos para la gestión y análisis de conflictos y errores
- Simulación y análisis de colisiones. Los modelos no están limitado a sólo una simulación 3D que varía con el tiempo, permite además analizar y evitar posibles

colisiones según el calendario de construcción

Por otro lado (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011) se mejoran aspectos como la comunicación, ya que cada implicado en el proyecto puede analizar visualmente los datos de la planificación, el orden de las tareas e incluso en ocasiones realizar una simulación de la evolución del proyecto lo que también mejora el seguimiento de la obra, pudiendo comparar la situación real con la visión de lo planificado y permitiendo detectar y corregir errores. Pero esta comunicación además puede hacerse extensible a personal no técnico, que también necesite información de la obra. La coordinación de los trabajos, donde el espacio sea reducido, y la gestión de los espacios de acopio de materiales son otras características que se pueden mejorar mediante este tipo de modelos.

1.4.6 Qué no es BIM

A pesar de la abundancia de modelos y herramientas que dicen implementar la tecnología BIM, no se pueden considerar aquellos modelos que contengan datos 3D pero que tengan pocos o ningún objeto con atributos, que sólo se pueden utilizar para visualizaciones gráficas y no tienen inteligencia a nivel de objeto. Son buenos para la visualización, pero proporcionan poco o ningún apoyo para la integración de datos y el análisis del diseño. Un ejemplo es SketchUp, que es excelente para el desarrollo rápido de la construcción de diseños esquemáticos, pero su uso es limitado para cualquier otro tipo de análisis porque no tiene conocimiento de los objetos del diseño más allá de su propia geometría y apariencia para la visualización.

Modelos que tampoco se pueden considerar BIM son aquellos que no permiten añadir comportamiento, en estos modelos se pueden definir objetos pero no puede ajustar su posición o proporciones porque no utilizan la inteligencia paramétrica, y por tanto no proporcionan protección contra las inconsistencias o las incorrecciones en la vista del modelo.

Por último, tampoco se pueden considerar BIM aquellos modelos que estén formados por múltiples ficheros 2D que deben ser combinados para formar el diseño final o aquellos que permitan modificar las dimensiones en una vista pero que automáticamente no reflejen dichos cambios en el resto de las vistas

1.5 Objetivos del Trabajo

El objetivo de este trabajo es crear una metodología de modelado 3D y planificación de proyectos de construcción, que permita mediante el desarrollo de una herramienta 4D, dar apoyo a la dirección del proyecto en la toma de decisiones (particularmente en los proyectos de construcción de la Universidad de La Rioja) en momentos que se deban tomar decisiones, antes y durante los procesos constructivos que se lleven a cabo en el transcurso de la obra, y que sirva como método de detección de errores por parte de los implicados en los proyectos

desde la fase de planificación, facilitando así la construcción y evitando las desviaciones del plan.

Además, esta metodología, con el apoyo de la herramienta 4D aportará simplicidad en la comunicación entre los implicados del proyecto y servirá además como método de presentación y exposición de información a personal no técnico que tenga relación de algún tipo con estos proyectos.

Se va a desarrollar, por tanto, una metodología que facilite el proceso de transformación desde un modelo 2D hasta un modelo 4D, donde a través de la vinculación de los elementos constructivos con las tareas del plan de proyecto y mediante la herramienta generada, se pueda realizar una simulación de la evolución del proyecto, que bajo la visión experimentada del director, pueda detectar problemas, y comunicarlos para su solución.

Esta metodología de adaptación de la planificación y diseño de proyectos de construcción en la Universidad de La Rioja vendrá determinada por las fases siguientes:

DEFINICIÓN DE ALCANCE:

1. Conocer el proceso
2. Análisis y definición del problema

PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO:

1. Diseño 3D a partir de los múltiples diseños 2D
2. Planificación de las tareas del proyecto
3. Estudio del nivel de detalle en tareas

MODELO 4D:

1. Proceso de integración de tareas en el modelo 3D
2. Aplicación del estudio del nivel de detalle (Capas del modelo)
3. Análisis de entidades del modelo (Grupos y Componentes del modelo)
4. Asociación de entidades

SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCION DEL PROYECTO:

1. Evolución global del proyecto
2. Evolución parcial del proyecto

Capítulo 2

2 Estado del Arte

Se han realizado amplios estudios sobre la tecnología BIM y su aplicación práctica en el ciclo de vida de los proyectos de construcción. Hasta ahora la mayoría de estas investigaciones se han desarrollado principalmente sobre aspectos como el diseño y su aplicación, así como la colaboración, comunicación e interoperabilidad en proyectos, que habitualmente se caracterizan por las interacciones dinámicas de un gran número de implicados diferentes entre sí, pero que tienen repercusión directa sobre los resultados.

Comunicar información en 3 dimensiones a todos los implicados del proyecto frente a los clásicos diseños en 2 dimensiones o incluso los bocetos hechos a mano, es sin duda uno de los puntos iniciales y principales que plantea esta tecnología y fruto de ello se han realizado estudios (Ibrahim & Rahimian, 2010), en los que ciertamente se empiezan a vislumbrar las aptitudes del modelo BIM en este sentido.

De los problemas derivados de la colaboración y la comunicación en los proyectos existen muchos puntos de vista, pero todos ellos se basan en que un modelo con información, aporta ventajas en la comunicación y coordinación de los implicados. Algunos contemplan la creación de filtros computacionales basado en ontologías que permiten que cada implicado disponga de toda la información pero su visualización sea concreta según su perfil (Lee & Jeong, 2012). Otros se basan en aspectos determinados del proceso constructivo como es la cadena de suministro (Aram, Eastman, & Sacks, 2013) y como el uso de BIM permite la colaboración y cooperación de todos los participantes en la misma, y requieren la adopción de flujos de trabajo a través de BIM Collaboration Format (BCF), para compartir comentarios y valor añadido, sin tener que intercambiar constantemente los modelos 3D.

La interoperabilidad mediante BIM (Grilo & Jardim-Goncalves, 2010) puede contribuir a mayores niveles de eficiencia, a través del apoyo de la comunicación y las interacciones de la coordinación entre los participantes dentro de proyectos BIM, y de esto se deduce que para su implantación, se requieran grandes cambios no sólo en los sistemas de información, sino también creando nuevos procesos de negocios, sobre todo en lo que respecta a la cultura empresarial.

Existen estudios que investigan los productos existentes en el mercado, basados en la tecnología BIM como herramienta colaborativa en proyectos, es el caso de BIM server, y establecen marcos de trabajo para el uso y aprovechamiento de los mismas en un entorno de comunicación dentro del proyecto (Singh, Gu, & Wang, 2011), pero la clave para el éxito de BIM está en cómo se gestiona correctamente la información de la construcción y para ello se han explorado opciones tecnológicas como las arquitecturas orientadas a servicios y su

integración con la tecnología BIM (Isikdag, 2012).

Y es que la tecnología BIM es un referente en cuanto a automatización de los procesos constructivos y la mejora de aspectos como el diseño en proyectos de construcción. Focalizando en estos aspectos del diseño y de su mejora a partir de la tecnología BIM, existe una tendencia generalizada de estudios, que investigan la aplicación de nuevas dimensiones a los modelos 3D utilizando la tecnología BIM por completo, o mediante diversas características generales que enriquecen estos modelos tridimensionales y cómo dicha aplicación, permite integrar los diseños gráficos puros con otras disciplinas como la dirección de plazos, costes, y demás dimensiones existentes en la dirección de proyectos.

Vincular los plazos a un modelo 3D aporta al modelo una cuarta dimensión, el tiempo. En este sentido muchos muestran la posibilidad de automatizar esta tarea de diferentes formas y mediante diferentes metodologías, utilizar un procesamiento basado en mascarás de filtros de imagen, eliminación de ruido por colores y cálculo de progreso por áreas, para generar la planificación en un modelo CAD 3D (Kim, Kim, & Kim, 2013), o simplemente utilizar intercambio de datos basado en un estándar internacional como es ifcXML (formato para la interoperabilidad con herramientas XML y el intercambio parcial de modelos de construcción) para poder generar automáticamente una planificación del proyecto en Microsoft Project extrayendo información de objetos y materiales asignados de un modelo 3D (Kim, Anderson, Lee, & Hildreth, 2013).

Pero acercándonos cada vez más al objetivo de este trabajo, se deben tener en cuenta estudios más afines a los beneficios que se pueden obtener de la aplicación de herramientas 4D al modelado 3D, y es que el uso de herramientas 4D CAD es particularmente útil para comparar visualmente el progreso constructivo y detectar conflictos o colisiones (Mahalingam, Kashyap, & Mahajan, 2010) y de esta forma poder anticipar y solventar fallos de planificación, desde etapas tempranas del proyecto, o incluso detectar en tiempo real los sobrecostes producidos por la modificación de los elementos del modelo 3D (Cheung, Rihan, Tah, Duce, & Kurul, 2012).

La mayoría de los estudios se refieren a la implementación de la tecnología BIM y de su uso en proyectos a partir de productos CAD comerciales, de costosas licencias y difícil manejo, que no encajan perfectamente en todos los tipos de proyectos, pero el uso de la tecnología BIM en productos comerciales de coste reducido como SketchUp, herramienta que se adapta perfectamente a proyectos de tamaño medio, está aún por explorar. A pesar de que existen investigaciones que han aportado su visión del buen funcionamiento de esta herramienta y su facilidad de extensión para dotar a los modelos 3D con nuevas dimensiones como la de planificación o el coste (Cheung, Rihan, Tah, Duce, & Kurul, 2012), la industria se resiste a la adopción de este producto.

Particularizando en si el uso de BIM es necesario o no, hay estudios que plantean la verdadera necesidad de este uso, sus beneficios y sus desventajas (Barlish & Sullivan, 2012) a partir de datos de estudio, sin embargo no arrojan demasiada luz al respecto, ya que a la postre siempre

existen factores intangibles que no se pueden medir y que repercuten directamente sobre el éxito de BIM, como son el tamaño del proyecto, competencias BIM de los miembros del equipo, la comunicación de los implicados y del equipo del proyecto, así como factores externos de tipo organizacional. Y es que el uso de BIM en los proyectos de construcción no es trivial y muchas organizaciones son reacias a la integración de esta tecnología en sus sistemas constructivos. La razón es clara, requiere tiempo y coste, y muchas compañías no están dispuestas a gastar ni uno ni otro.

Sin embargo, todo parece indicar que el futuro de la industria pasa por la adopción de BIM, tecnología que aporta grandes beneficios. Existen estudios (Bryde, Broquetas, & Volm, 2013) en los que se constata la eficacia de BIM en algunos aspectos clave de los proyectos y el orden de influencia que tiene BIM en ellos, como son el coste, seguido por el tiempo, comunicación, mejora de la coordinación y la calidad, y muchas compañías, conscientes de esto participan en el desarrollo de metodologías y mecanismos que le faciliten la adopción de BIM (Tsai, Kang, & Hsieh, 2010) dentro de su organización.

Pero no solo los estudios respecto de BIM son significativos, existe una realidad palpable que indica el alto grado de madurez y desarrollo que la tecnología BIM tiene actualmente. Hoy en día existe un gran impulso desde las administraciones públicas en el uso de la tecnología BIM para abaratar costes, gobiernos como el de Estado Unidos o Inglaterra hacen gran hincapié en el uso de este tipo de tecnología en los proyectos de construcción que se llevan a cabo en estos países. Se ha demostrado ampliamente que los modelos BIM funcionan y que suplen carencias del proceso constructivo a partir de datos paramétricos y eso es algo que muchos gobiernos y organizaciones quieren aprovechar.

Capítulo 3

3 Materiales y métodos

3.1 Trimble SketchUp

SketchUp es un programa informático de diseño gráfico CAD y modelado 3D para entornos arquitectónicos (arquitectura, diseño comercial, diseño de interiores, paisajismo y planificación urbana), ingeniería civil, mecánica y estructural, construcción, diseño industrial, educación y ocio (videojuegos, películas). Trabaja sobre imágenes vectoriales, es decir, las imágenes estarán formadas por objetos los cuales se definen mediante sus características, tales como sus vértices, color, grosor, etc., así al aumentar el tamaño de una imagen vectorial ésta no pierde calidad.

Fue desarrollado por la compañía *@Last Software* en 1999, pero fue lanzada al mercado en agosto de 2000, con el propósito general de ofrecer una herramienta para la creación de edificios en 3D. Esta empresa fue adquirida por Google en 2006 y finalmente vendida a Trimble en 2012.

Esta herramienta permite conceptualizar rápidamente volúmenes y formas arquitectónicas de un espacio. Además, los edificios creados pueden ser geo-referenciados y colocados sobre las imágenes de Google Earth. También, los modelos pueden ser subidos a la red mediante el propio programa y almacenarse directamente en la base de datos y se incluye una galería de objetos, texturas e imágenes para descargar.

SketchUp fue diseñado para usarlo de una manera intuitiva y flexible, facilitando ampliamente su uso en comparación con otros programas de modelado 3D.

En cuanto a las licencias de uso existen dos versiones, una de ellas gratuita aunque con algunas características limitadas como la importación de ficheros, y otra de pago sin restricciones.

Las dos versiones soportan la programación de plug-ins en lenguaje Ruby que permiten extender la funcionalidad de SketchUp pudiendo aportar nuevas características y automatizaciones de todo tipo.

3.1.1 Modelado 4D con capas y componentes

El uso de capas en SketchUp tiene la finalidad de organizar los elementos gráficos dentro de los modelos, pero tienen diferencias significativas con el uso normal de capas en otras herramientas de diseño 3D. Las capas son objetos del ámbito de SketchUp, pero cada objeto gráfico tiene una propiedad, en la cual se establece la capa con la que está relacionado dicho

objeto. Por defecto, en un modelo de SketchUp solo existe una capa, Layer0, la cual no se puede eliminar ni cambiar el nombre, de manera que a cada objeto que se crea, automáticamente se le asigna la Layer0 en su propiedad capa. Pero además, es posible crear el número de capas que sea necesario y asignar los objetos a cualquiera de ellas. Lo interesante es que las entidades asociadas con capas distintas en SketchUp se intersectan entre ellas, por ello si se pretende utilizar capas para organizar el modelo, se debe convertir todas las entidades concretas en grupos o componentes. Estos objetos forman una unidad completa que permite que, aun estando en diferentes capas, sus vértices y caras no se intersecten entre sí al pertenecer a diferentes capas, ya que son objetos unitarios y completos, no solo un conjunto de lados y vértices.

El uso de capas es muy útil cuando se quiere controlar la visibilidad de grupos y componentes, ya que si estos están asociados a diferentes capas, mostrando u ocultando las diferentes capas lograremos mostrar u ocultar los diferentes objetos asociados a esas capas. Esta asociación será fundamental para lograr una correcta visualización de los modelos. Las capas permitirán por tanto crear organizaciones de los objetos que ya provienen implícitamente de los elementos de construcción diseñados como son las instalaciones, cimentación, forjados, etc.

En los modelos 4D el esquema de capas deberá tener una relación directa con las fases de construcción más que con los elementos constructivos de la obra, puesto que será esta relación la que permita generar la simulación del plan de proyecto mediante la ocultación o visualización de las diferentes capas y por ende de las diferentes fases del proyecto. En otras palabras, cada fase del proyecto tendrá una planificación con fechas y el esquema de capas asignadas tiene relación directa de uno a uno con estas fases, de manera que para incluir la cuarta dimensión en el modelo, cada capa deberá coincidir con cada Fase, y así generar la simulación por fases (fechas), y a medida que avance el tiempo de ejecución, más capas deberán estar visibles y más avanzado se verá el estado de la obra.

3.1.2 Plug-ins BIM existentes

Como ya se ha comentado anteriormente, SketchUp no es una herramienta BIM, ya que no cumple de base con las características que requiere este tipo de herramientas. Sin embargo, y es aquí donde está la potencia de SketchUp, permite ampliar su funcionalidad a través de la programación de plug-ins, pudiendo dotar al producto de las características que necesita para ser una herramienta BIM. Conscientes de esto, diversas empresas y usuarios han implementado plug-ins que tratan de transformar SketchUp en un verdadero producto BIM:

4D Virtual Builder, es una aplicación desarrollada por la empresa belga D-STUDIO. Entre sus características principales se pueden destacar la importación de tareas desde MS Project, la simulación de la construcción, generación de informes con exportación en Power Point, etc. Es un producto muy completo pero todas sus licencias (*Light*, *Pro* y *Ultimate*) son de pago.

OnTime5D, permite la simulación de la construcción de un edificio, incorporando las

dimensiones de plazos y costes, pudiendo visualizarlas comparativamente, pero su aplicación profesional parece improbable debido a su excesiva simplicidad y su incapacidad de adaptación a proyectos reales.

Turner Tools, es una aplicación propietaria de *Turner Construction Company* (importante constructora norteamericana), desarrollada para cubrir las necesidades de la propia compañía y con una funcionalidad específica para las situaciones en la que utilizan SketchUp Pro en determinados proyectos (planificación de demoliciones y construcciones, creación de presentaciones, formación en seguridad, etc.).

Otros plug-ins destacables son **BuildEdge Plan**, que facilita la construcción de muros y tejados, pero cuya orientación está dirigida más a facilitar la construcción de este tipo de elementos que a la implementación de BIM 4D para SketchUp. **SketchUp BIM**, o **bim-tools** son otras opciones pero su baja calidad y falta de funcionalidad no permiten tomarlas en consideración.

3.2 Ruby

Ruby es un lenguaje de programación interpretado, reflexivo y orientado a objetos, creado por el programador japonés Yukihiro Matsumoto, quien comenzó a trabajar en Ruby en 1993, y lo presentó públicamente en 1995. Combina una sintaxis inspirada en Python y Perl con características de programación orientada a objetos similares a Smalltalk. Comparte también funcionalidad con otros lenguajes de programación como Lisp, Lua, Dylan y CLU. Ruby es un lenguaje de programación interpretado en una sola pasada y su implementación oficial es distribuida bajo una licencia de software libre.

3.2.1 Extensión Ruby de SketchUp

SketchUp expone un API (Application Program Interface) compuesto por un conjunto de librerías y funciones, que permiten tener acceso a toda la funcionalidad que brinda la aplicación de forma gráfica. Entre estas funciones por ejemplo se encuentran el acceso a todos los objetos (características y atributos) del modelo, transformaciones en los mismos, creación de escenas y cualquier otro tipo acción que se nos ocurra y que se pueda realizar a través de la interfaz gráfica del programa. Pero además, partiendo de esta funcionalidad básica de la aplicación gráfica, es posible extender o modificar cualquier comportamiento de la misma o incluso generar nuevos comportamientos. Esta es la base para poder incluir BIM dentro de los modelos generados en SketchUp.

SketchUp implementa Ruby de forma nativa, de manera que a través de este lenguaje de programación es posible acceder al API de SketchUp y poder extender su funcionamiento. Esta extensión a través de Ruby se puede realizar mediante la visualización de páginas web para la interacción con el usuario y la ejecución de comandos del API de SketchUp, a partir de la información suministrada por el usuario.

Capítulo 4

4 Discusión de los Resultados

Con el fin de responder a las crecientes demandas sobre la eficiencia en planificación y el control de costes en la dirección de proyectos de ingeniería, es necesario desarrollar nuevos métodos e instrumentos que permitan a los equipos técnicos, integrar sus conocimientos desde las fases iniciales del proyecto, además de solucionar los continuos problemas que puedan presentarse a lo largo del mismo, intentando detectar anticipadamente los problemas y solucionarlos desde la fase de planificación, sin tener que solventar situaciones problemáticas en fases tardías de ejecución.

Con dicho objetivo, este trabajo pretende mejorar la colaboración de los profesionales que participan en el proceso de diseño y construcción, con el fin de racionalizar la toma de decisiones, optimizar procesos y mejorar la calidad del producto final reduciendo los errores en todas las fases e incrementando las prestaciones del diseño obtenido.

Se expondrán los diversos problemas existentes como el problema del espacio, las colisiones y el orden de ejecución de tareas, identificándolos como problemas generalizados, difícilmente previsibles desde la fase de planificación, pero que de hecho son una realidad durante la ejecución de los proyectos.

Utilizando parte de los conceptos que adoctrina la tecnología Building Information Modeling, el presente documento muestra la solución a una problemática comúnmente acaecida en los proyectos de ingeniería, la imposibilidad de realizar diversas tareas según planificación debido sobre todo a los problemas comentados anteriormente y que en la mayoría de las ocasiones no se tienen en cuenta cuando se realiza el plan de proyecto sobre el diseño 2D de los planos de construcción, pero que sí tienen un impacto real y palpable en las fases de construcción, teniendo que solucionar in-situ problemas que podrían haberse detectado en fases tempranas de la planificación.

Como parte principal del trabajo, se mostrará paso a paso, como se ha desarrollado una metodología que pretende paliar estos problemas a través de una herramienta que extiende la funcionalidad brindada por SketchUp y que permite de forma visual y progresiva, mostrar la evolución del proyecto por hitos, permitiendo detectar los posibles problemas comentados y derivados de la planificación, a partir de la inserción de una cuarta dimensión en los diseños 3D, y convirtiendo a SketchUp en una herramienta BIM 4D.

Esta metodología conlleva varias fases, que cubren desde el diseño en 2D original hasta conseguir un modelo 4D con SketchUp, a partir del cual se puede ver la evolución del proyecto por hitos. Primero se planteará el proceso constructivo que se desarrolla en la Universidad de la Rioja, y se identificarán los problemas que se pretenden resolver. Después y una vez

transformado el modelo 2D a 3D con SketchUp, se procederá a aplicar las acciones necesarias para transformar, fase por fase, dicho modelo 3D en un modelo 4D con la planificación como cuarta dimensión del modelo. Durante la realización del trabajo se generará una herramienta que permite añadir esta cuarta dimensión a los proyectos 3D y se enumerarán los pasos se han seguido para el desarrollo y la implantación de la metodología, así como describiendo tecnologías, integraciones con otras herramientas, etc.

Posteriormente, se diseñará un modelo 3D, sobre el cual se aplicarán las directrices expuestas en la metodología y se testeará la herramienta generada para verificar su corrección funcional.

4.1 Conocer el proceso

Habitualmente ante un proyecto de construcción los gabinetes de arquitectura o ingeniería estudian los requisitos del mismo y deciden como van a acometer el proceso de diseño y planificación del proyecto. Una de las decisiones que deben tomar, es la selección de la herramienta de diseño que van a utilizar para generar los modelos que han de presentar al resto de los implicados. Como se ha visto anteriormente la documentación en 2D de los diseños suele ser la más habitual. Pero en muchas ocasiones, la presentación del proyecto se debe realizar mediante una vista 3D de forma que otros implicados del proyecto como el promotor o personal no técnico puedan disponer de manera sencilla y visual, de una idea general del proyecto.

Ante esta situación, se presenta un problema y es que las herramientas que generan diseños en 3D de los modelos suelen acarrear costosas licencias de uso y no todos los implicados pueden tener acceso a ellas. Además, estas herramientas suelen ser complejas y requieren de una formación intensiva del personal para su uso de forma productiva. Todo esto redundan en grandes costes añadidos que muchos no están dispuestos a asumir, sobre todo en proyectos de tamaño pequeño o medio, en los que los costes asociados a estas decisiones reducen el margen de beneficios. Como consecuencia de esto, todavía hoy en día se siguen generando multitud de diseños 2D de proyectos de construcción que no proveen de la riqueza que aportan los diseños 3D.

SketchUp plantea un punto y aparte en este sentido ya que los costes asociados al uso de esta herramienta son mínimos con respecto al uso de otras herramientas comerciales. Además su facilidad de uso permite que con conocimientos básicos de diseño se puedan generar vistosos modelos de forma rápida. Evidentemente, la potencia de herramientas de uso comercial es significativamente superior en muchos aspectos, pero es en el mercado de los pequeños y medianos proyectos donde SketchUp tiene cabida y donde su uso puede aportar diferencias sustanciales. La mejor solución no es la más compleja sino la que mejor se adapta al problema. De manera que ante determinados proyectos de pequeña o mediana envergadura la decisión de utilizar SketchUp como herramienta de diseño es una buena opción:

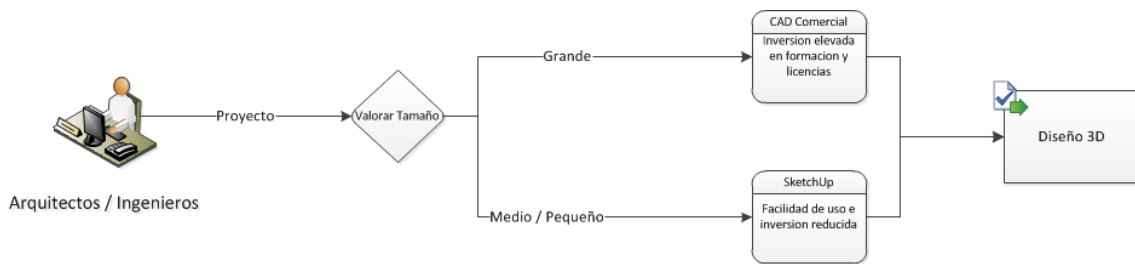


Figura 6. Proceso de selección de la herramienta de diseño

En la Universidad de La Rioja se utiliza SketchUp como herramienta de diseño 3D durante las fases de ejecución de determinadas obras que se realizan, debido principalmente a su facilidad de uso y su bajo coste de licencia. Esta herramienta aporta además la facilidad de realizar presentaciones a personal no técnico y permite compartir información de manera sencilla y rápida.

Partiendo de este punto, ante un nuevo proyecto, por ejemplo, la construcción de la IV fase del Complejo Científico Técnico de la Universidad de La Rioja, se reciben de las empresas implicadas en el proyecto, diversos diseños en 2D de los modelos que dan forma al proyecto. Con toda esta documentación, se realiza un diseño en 3D de la obra final utilizando la herramienta SketchUp. Por otro lado, e independientemente de la dirección facultativa, se realiza un seguimiento del cumplimiento del proyecto mediante las herramientas Microsoft Project y Excel, las cuales permiten controlar los costes y la planificación de cada tarea y detectar posibles desviaciones en las mismas.

La motivación que indujo la realización de este trabajo fue explorar la posibilidad de reunir toda esta información, que actualmente se gestiona de forma separada, y poder reunirla, aportando valor añadido al seguimiento del proyecto mediante la inclusión de la planificación dentro del modelo 3D, generando por lo tanto un modelo 4D que facilite la de por sí, complicada labor del seguimiento del proyecto, y además, permita detectar problemas que, observados por la experiencia de proyectos anteriores, habitualmente suelen suceder en proyectos de construcción.

4.2 Análisis y definición del problema

En toda obra, el diseño final generado es completo y correcto, es decir, la planificación es real y presenta todas las tareas que se necesitan para completar el proyecto, pero muchas veces en el momento crear esas tareas, que son correctas y completas, no se cuenta con variables como son el espacio o el orden de realización de las mismas.

Se puede dar el caso de que al asignar recursos para acortar una tarea no se cuente con que dichos recursos no puedan trabajar al mismo tiempo en el mismo lugar, y el resultado es que en el momento de la ejecución de obra se asigne, por ejemplo, una tarea de soldadura a dos

operarios (lo cual podría resultar lógico desde el punto de vista del plan de proyecto), pero en la ejecución de la misma no se ha contado con que, en el sitio donde se debe realizar la soldadura, no caben en el mismo lugar esos 2 operarios al mismo tiempo. La respuesta es clara, dicha tarea sufrirá un retraso en el plazo previsto.

Veamos un ejemplo gráfico de una tarea ficticia de movimiento de tierras, donde en el plan se han podido asignar 4 máquinas excavadoras para cavar la zanja y un camión para retirar el escomburo. La teoría es que desde el punto de vista de la planificación esta tarea se ejecutará el doble de rápido que con solamente 2 máquinas excavadoras realizando la tarea, pero lo cierto es que en el momento de la ejecución 4 excavadoras no van a poder realizar el trabajo el doble de rápido ya que existen restricciones espaciales que impiden su capacidad de movimiento.

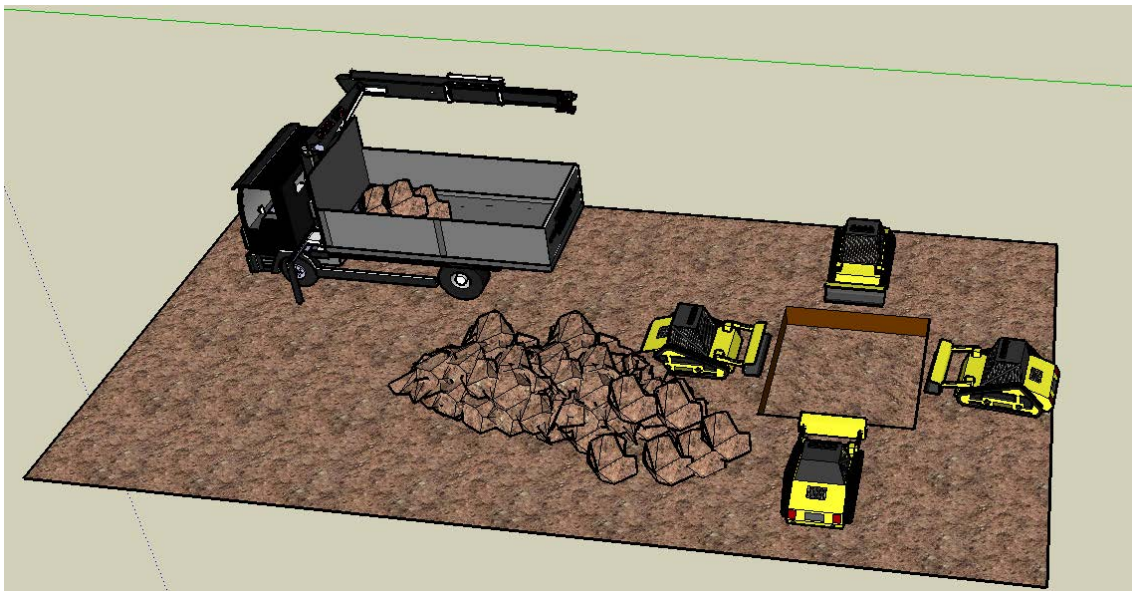


Figura 7. Problema del espacio en la planificación

Otro ejemplo de esta problemática podría ser que, en el momento del diseño de los planos, por ejemplo, de los diversos conductos de ventilación y los eléctricos, se planificase en tareas que la instalación de la ventilación fuese primero, y la eléctrica después, pero a la hora de ejecutar, la segunda no se pueda realizar porque la instalación anterior ha bloqueado un acceso que era necesario tener disponible. En este caso, habría que recurrir a la realización de una modificación de obra que habría que planificar y de nuevo incurriría en retraso de plazos y sobrecoste. Por tanto la situación ideal en la que, por ejemplo, 5 recursos acortan el plazo en 1/5 no siempre es cierto, se debe que contar con el espacio disponible:

| | semana1 | semana2 | semana3 | semana4 | semana5 |
|------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| recursos=1 | | | | | |
| recursos=5 | No siempre | | | | |

Por tanto, ante una planificación completa y correcta se pueden cometer fallos de cálculo al no contar con otras variables que influyen directamente sobre la obra como son el espacio y el orden:

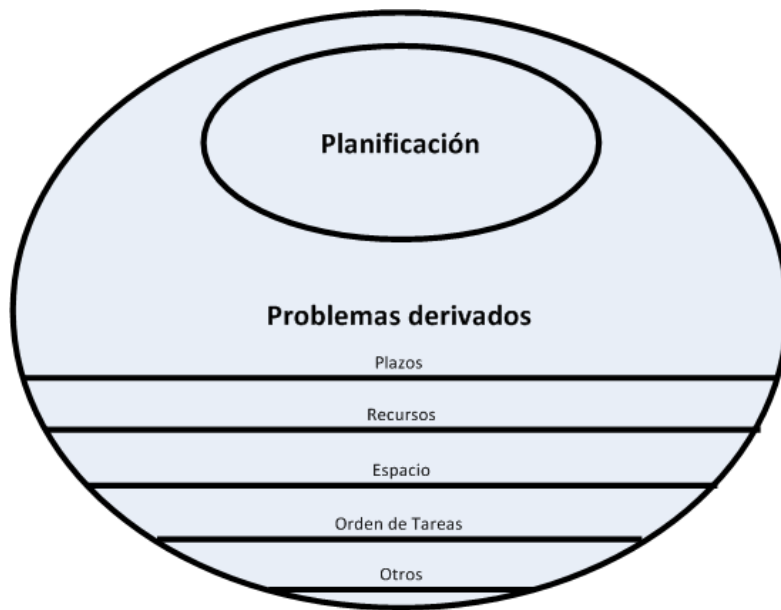


Figura 8. Variables que influyen en el plan de proyecto

Una vez planteada la problemática, se pretende demostrar que, herramientas n-Dimensionales de apoyo a la dirección, basadas en aspectos contemplados por la metodología BIM, aplicadas a la dirección de proyectos y que, junto con la experiencia y el buen juicio del director, aspecto que es inevitable, permiten detectar estos problemas desde la fase del diseño, a partir de simulaciones de la evolución del proyecto a lo largo de la ejecución de sus tareas, permitiendo ahorrar costes innecesarios y respetando los plazos.

Por tanto se pueden clasificar los puntos de estudio de los problemas derivados de la planificación sin prever variables como el espacio y el orden de ejecución, de la siguiente forma:

- Problema del **orden de ejecución de las tareas**: Las planificaciones se realizan comúnmente en base a diseños 2D, todavía utilizados hoy en día por arquitectos y constructoras, de manera que cuando se establece dicho orden de tareas en la planificación del proyecto pueden producirse errores de cálculo, que se suelen

subsanan con rectificaciones de obra, pero si fuese posible ver la evolución de las tareas ejecutándose, se podría detectar si el orden establecido al crear la planificación es correcto o puede generar problemas durante la ejecución, siempre de una forma visual y anticipada utilizando el juicio experto y la experiencia del director de proyecto.

- Problema de las **colisiones**: Es común también que diferentes gabinetes de ingeniería realicen planos 2D y planificaciones de diferentes instalaciones de obra como pueden ser tuberías, planos de saneamientos, planos de climatización, planos de PCI, planos de conducciones agua potable, planos de electricidad, comunicaciones, etc. Como cada uno hace los diseños por separado es posible que al juntarlos todos haya colisiones entre ellos. Se necesita por tanto una herramienta que permita realizar este **análisis de colisiones** de forma temprana y así detectar el problema desde la etapa de planificación y no en fases tardías de la ejecución del proyecto.
- Problema del **espacio**: Asignar más recursos a una tarea no siempre acorta los plazos, sobre todo en los casos en los que varios recursos no puede realizar una tarea en el mismo lugar en el espacio. Por tanto la variable espacio no es equivalente a la variable tiempo, hay un máximo de recursos que se pueden usar en un mismo lugar al mismo tiempo.

4.3 Diseño 3D a partir de los múltiples diseños 2D

El primer paso en la construcción de una obra es generar todos los planos que van a dar soporte a la construcción, y que detallan gráficamente cada una de las dimensiones del proyecto. En lo que concierne a la Universidad de La Rioja, normalmente viene dada por parte de los proyectistas que diseñan el proyecto, que suelen aportar toda la documentación de diseños 2D que implica el proyecto.

Con esta documentación 2D como entrada se deberá generar con SketchUp un modelo 3D que represente de forma fiel los diseños 2D recibidos de los diferentes implicados del proyecto. Este modelo es la representación de cada dimensión del proyecto, que reflejará cómo será la obra una vez construida y ejecutadas todas las tareas del plan de proyecto.

En la siguiente figura podemos observar un modelo a escala real del proyecto de construcción de una casa de madera, que se ha utilizado a efectos de modelado ficticio para desarrollar la metodología y probar la herramienta de apoyo a la toma de decisiones:

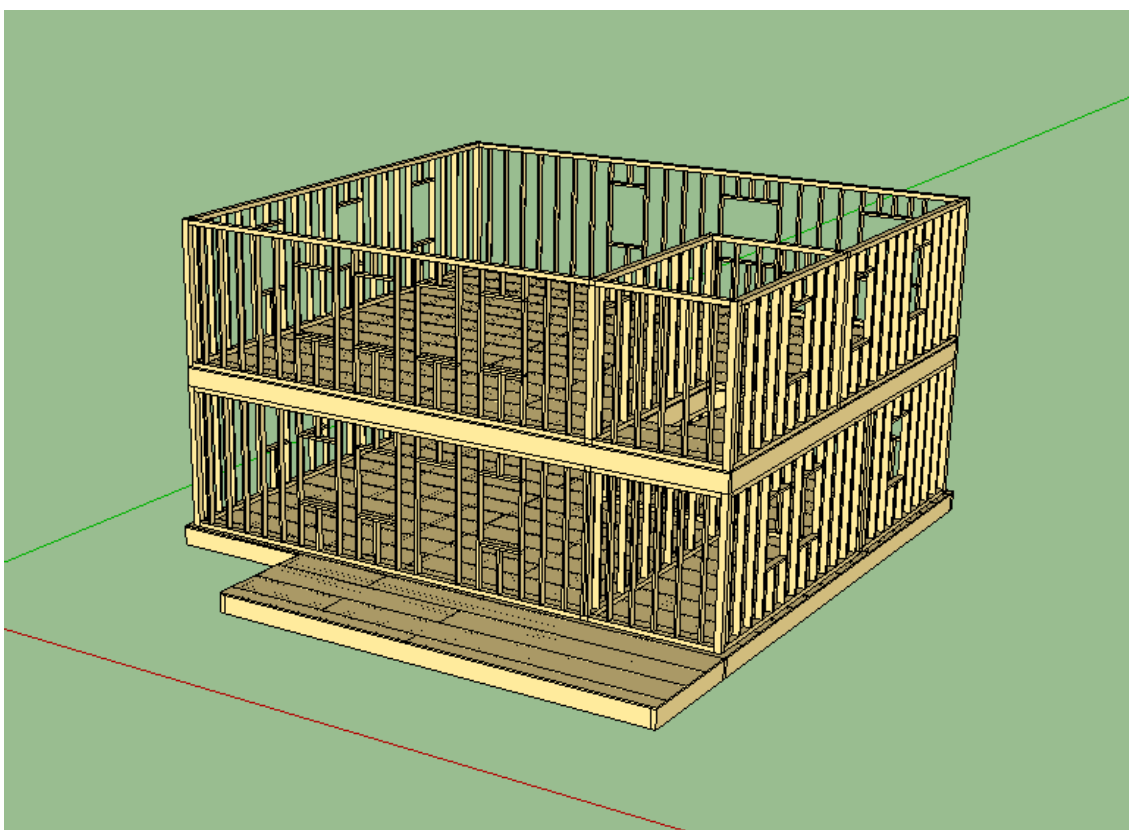


Figura 9. Diseño 3D de Casa de Madera

4.4 Planificación de las tareas del proyecto

Una vez generado el diseño en 3D con SketchUp de la construcción final, el siguiente paso que se deberá realizar es la planificación de tareas que soporten la construcción de dicho diseño completo, de manera que, cronológicamente, la sucesión de esas áreas tenga como fin la construcción completa de la obra que se desea ejecutar.

De nuevo, en la Universidad de La Rioja, esta fase se nutre de las planificaciones aportadas por agentes externos como son la constructora o la dirección facultativa y que permiten realizar por parte de la universidad un seguimiento interno del proceso y evolución de las mismas. Con esta entrada, en esta fase se deberá detectar que tareas son más relevantes, y por tanto de cuales queremos realizar un seguimiento más exhaustivo, detallándolas hasta el punto que nos interese.

En la siguiente figura podemos ver un plan de proyecto elaborado para conseguir desarrollar la metodología que se pretende establecer:

Aplicación de herramientas n-dimensionales en la toma de decisiones para la dirección de proyectos de construcción

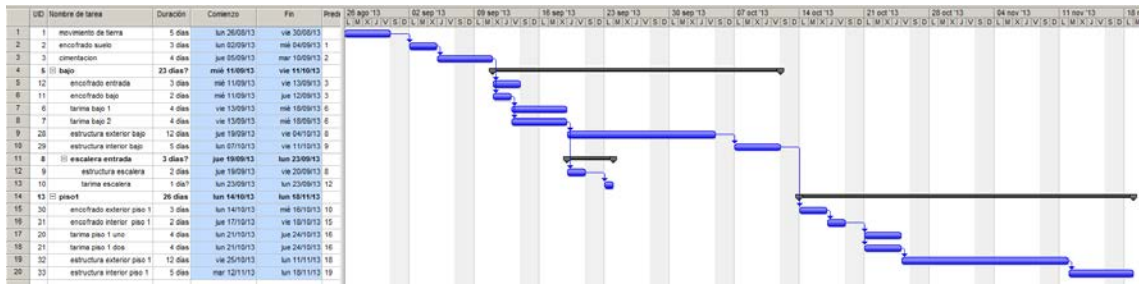


Figura 10. Plan de Proyecto

| | UID | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Prede |
|--|-----|---|----------|--------------|--------------|-------|
| | 1 | 1 movimiento de tierra | 5 días | lun 26/08/13 | vie 30/08/13 | |
| | 2 | 2 encofrado suelo | 3 días | lun 02/09/13 | mié 04/09/13 | 1 |
| | 3 | 3 cimentación | 4 días | jue 05/09/13 | mar 10/09/13 | 2 |
| | 4 | 5 <input type="checkbox"/> bajo | 23 días? | mié 11/09/13 | vie 11/10/13 | |
| | 5 | 12 encofrado entrada | 3 días | mié 11/09/13 | vie 13/09/13 | 3 |
| | 6 | 11 encofrado bajo | 2 días | mié 11/09/13 | jue 12/09/13 | 3 |
| | 7 | 6 tarima bajo 1 | 4 días | vie 13/09/13 | mié 18/09/13 | 6 |
| | 8 | 7 tarima bajo 2 | 4 días | vie 13/09/13 | mié 18/09/13 | 6 |
| | 9 | 28 estructura exterior bajo | 12 días | jue 19/09/13 | vie 04/10/13 | 8 |
| | 10 | 29 estructura interior bajo | 5 días | lun 07/10/13 | vie 11/10/13 | 9 |
| | 11 | 8 <input type="checkbox"/> escalera entrada | 3 días? | jue 19/09/13 | lun 23/09/13 | |
| | 12 | 9 estructura escalera | 2 días | jue 19/09/13 | vie 20/09/13 | 8 |
| | 13 | 10 tarima escalera | 1 día? | lun 23/09/13 | lun 23/09/13 | 12 |
| | 14 | 13 <input type="checkbox"/> piso1 | 26 días | lun 14/10/13 | lun 18/11/13 | |
| | 15 | 30 encofrado exterior piso 1 | 3 días | lun 14/10/13 | mié 16/10/13 | 10 |
| | 16 | 31 encofrado interior piso 1 | 2 días | jue 17/10/13 | vie 18/10/13 | 15 |
| | 17 | 20 tarima piso 1 uno | 4 días | lun 21/10/13 | jue 24/10/13 | 16 |
| | 18 | 21 tarima piso 1 dos | 4 días | lun 21/10/13 | jue 24/10/13 | 16 |
| | 19 | 32 estructura exterior piso 1 | 12 días | vie 25/10/13 | lun 11/11/13 | 18 |
| | 20 | 33 estructura interior piso 1 | 5 días | mar 12/11/13 | lun 18/11/13 | 19 |

Figura 11. Lista de tareas

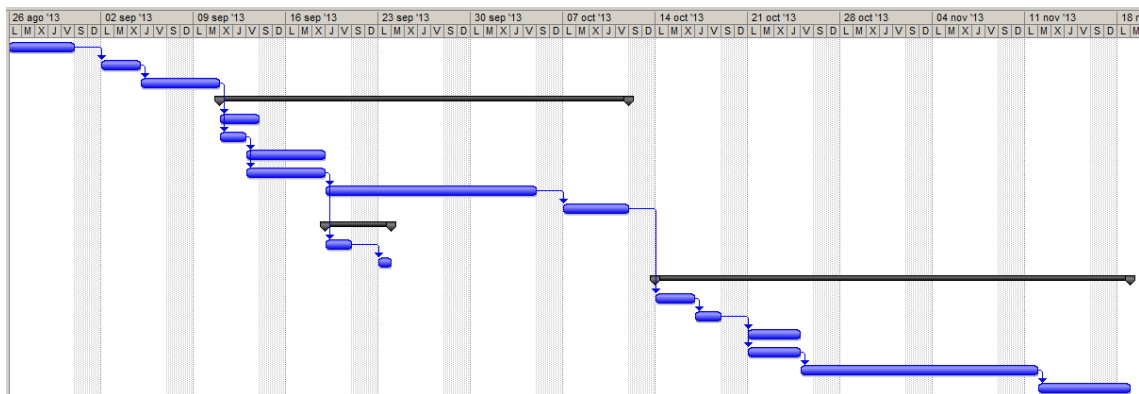


Figura 12. Diagrama Gantt

4.5 Estudio del nivel de detalle en tareas

En los planes de proyecto es común crear tareas que engloban a otras tareas, estas últimas se denominan tareas detalle y la tarea que engloba varias tareas detalle se denomina tarea resumen.

En esta fase se debe estudiar el nivel de tarea del que se desea realizar seguimiento y por tanto a que nivel de detalle se desea reflejar la evolución. Por lo tanto las decisiones que se han de tomar se refieren a detectar qué tareas y subtareas se van a vincular con el diseño 3D.

Esta asociación, por tanto, se puede establecer según el criterio de la persona que va a realizar el seguimiento y es libre de poder ser modificado con posterioridad.

El nivel de detalle que se va a vincular en el caso de estudio es de nivel 2, es decir, se pretende estudiar las tareas con una profundidad de 2 niveles, en este caso el nivel máximo es de 2 por lo tanto se va a estudiar cada tarea detalle, si quisiéramos estudiar las tareas resumen podríamos establecer un nivel de estudio de 0 o 1.

Con este nivel de detalle por tanto debemos seleccionar las tareas que tengan un nivel de profundidad de 2, si no tuviesen nivel 2, escogeremos las de nivel 1, y si no tuviesen nivel 1, escogeremos las de nivel 0. Las tareas seleccionadas para el estudio se pueden ver en la siguiente tabla, en ella ya se han descartado las tareas resumen, ya que dichas tareas se pueden explotar tanto en nivel 1 como 2, es el caso de la tarea **bajo** que es de nivel 0 pero que debemos descartar por tener subniveles (1 y 2), lo mismo ocurre con las tareas **piso1** y **escalera entrada**:

| UID | Nivel 0 | Nivel 1 | Nivel 2 | Duración |
|-----|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|
| 1 | movimiento de tierra | | | 5 días |
| 2 | encofrado suelo | | | 3 días |
| 3 | cimentación | | | 4 días |
| 12 | bajo | encofrado entrada | | 3 días |
| 11 | bajo | encofrado bajo | | 2 días |
| 6 | bajo | tarima bajo 1 | | 4 días |
| 7 | bajo | tarima bajo 2 | | 4 días |
| 28 | bajo | estructura exterior bajo | | 12 días |
| 29 | bajo | estructura interior bajo | | 5 días |
| 9 | bajo | escalera entrada | estructura escalera | 2 días |
| 10 | bajo | escalera entrada | tarima escalera | 1 día |
| 30 | piso1 | encofrado exterior piso 1 | | 3 días |

| | | | |
|----|-------|----------------------------|---------|
| 31 | piso1 | encofrado interior piso 1 | 2 días |
| 20 | piso1 | tarima piso 1 uno | 4 días |
| 21 | piso1 | tarima piso 1 dos | 4 días |
| 32 | piso1 | estructura exterior piso 1 | 12 días |
| 33 | piso1 | estructura interior piso 1 | 5 días |

Figura 13. Estudio de niveles

4.6 Proceso de integración de tareas en el modelo 3D

En esta fase se realiza la integración de las tareas del plan de proyecto en el diseño 3D generado con SketchUp. Para ello se ha desarrollado un mecanismo de importación de tareas que permite obtener las tareas del archivo del proyecto y tenerlas disponibles en SketchUp. Los orígenes de datos pueden ser tanto Microsoft Project o Microsoft Excel.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Configurar la ruta del archivo del plan de proyecto origen en el archivo de configuración de la herramienta de la siguiente manera:

`$plan_project_import_file = "/ruta/del/proyecto/ProjectPlan.mpp"`

El archivo de configuración de la herramienta es **ConfigGlobal.rb** y se encuentra en el directorio **URTools4D/config** dentro del directorio Plug-ins de la instalación de SketchUp.

2. Ejecutar la aplicación SketchUp.
3. Abrir consola para ver el proceso de ejecución de la acción pulsando el 1er botón de la paleta de acciones de la herramienta:



Figura 14. Barra de acciones de URTools4D



Figura 15. Consola Ruby

4. Importar tareas del plan de proyecto pulsando el 3er botón de la paleta de acciones de la herramienta:



Figura 16. Importar Tareas del Proyecto

El proceso se ejecuta en dos pasos, en el primero se importan todas las tareas del plan de proyecto para que estén disponibles en el modelo 3D, y en el segundo se crea una layer o capa por cada una de las tareas del proyecto. Esta importación se puede realizar las veces que se desee, ante cualquier actualización del plan del proyecto, creándose solamente las capas que no existiesen anteriormente.

Una vez ejecutada la acción se puede ver el proceso de importación a través de la consola Ruby:

```

Ruby Console
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:21 <ProjectPlanService>: CARGANDO TAREAS DEL PROYECTO...
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: ( 1) movimiento de tierra (08/07/2013 - 12/07/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: ( 2) encofrado suelo (15/07/2013 - 17/07/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: ( 3) cimentacion (18/07/2013 - 23/07/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: ( 4) bajo (24/07/2013 - 23/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- ( 5) encofrado entrada (24/07/2013 - 26/07/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- ( 6) encofrado bajo (24/07/2013 - 25/07/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- ( 7) tarima bajo 1 (26/07/2013 - 31/07/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- ( 8) tarima bajo 2 (26/07/2013 - 31/07/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- ( 9) estructura exterior bajo (01/08/2013 - 16/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (10) estructura interior bajo (19/08/2013 - 23/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (11) escalera entrada (01/08/2013 - 05/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (12) estructura escalera (01/08/2013 - 02/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (13) tarima escalera (05/08/2013 - 05/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: (14) pisol (26/08/2013 - 30/09/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (15) encofrado exterior piso 1 (26/08/2013 - 28/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (16) encofrado interior piso 1 (29/08/2013 - 30/08/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (17) tarima piso 1 uno (02/09/2013 - 05/09/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (18) tarima piso 1 dos (02/09/2013 - 05/09/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:24 <ProjectPlanService>: |- (19) estructura exterior piso 1 (06/09/2013 - 23/09/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <ProjectPlanService>: |- (20) estructura interior piso 1 (24/09/2013 - 30/09/2013)
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_movimiento de tierra
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_encofrado suelo
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_cimentacion
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_encofrado bajo
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_encofrado entrada
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_tarima bajo 1
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_tarima bajo 2
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_estructura escalera
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_tarima escalera
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_escalera entrada
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_estructura exterior bajo
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_estructura interior bajo
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_bajo
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_encofrado exterior piso 1
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_encofrado interior piso 1
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_tarima piso 1 dos
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_tarima piso 1 uno
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_estructura exterior piso 1
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_pisol
[CONSOLE] 2013-07-11 20:55:25 <main>: creando layer de tarea: L_estructura interior piso 1
    
```

Figura 17. Proceso de Importación de tareas

4.7 Aplicación del estudio del nivel de detalle

En esta fase se asocian las tareas importadas a cada una de las capas creadas automáticamente al realizar el proceso de importación. Para completar este proceso se debe seleccionar de la lista desplegable de tareas, la tarea que deseamos vincular con una capa

determinada. Se deben aplicar los criterios del nivel de asociación de tareas estudiados con anterioridad en la fase de *Estudio del nivel de detalle en tareas*, de forma que consigamos aplicar el nivel de estudio deseado con el nivel de detalle deseado. No se debe olvidar que la aplicación práctica del nivel de detalle se produce en esta fase con la vinculación consecutiva de tareas a capas.

Cabe destacar que la capa *Layer0* debería quedarse sin vinculación con ninguna tarea a efectos de facilitar la comprensión del proceso posterior de evolución del proyecto.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Listar las capas existentes en el modelo pulsando el quinto botón de la paleta de acciones de la herramienta:



Figura 18. Barra de acciones de URTools4D



Figura 19. Lista de Capas

2. Del listado de capas disponibles en el modelo se procederá asignando a cada capa, su correspondiente tarea de la lista desplegable de todas las tareas del plan de proyecto, como se muestra a continuación:

| # | Id | Tipo | Layer | Visible | Tarea |
|----|-------|-------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 21 | Layer | Layer0 | <input checked="" type="checkbox"/> | ## Selección tarea ## |
| 2 | 23 | Layer | L_encofrado bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | (6) encofrado bajo |
| 3 | 27 | Layer | L_tarima bajo 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | ## Selección tarea ## |
| 4 | 31 | Layer | L_tarima bajo 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | (1) movimiento de tierra |
| 5 | 35 | Layer | L_estructura escalera | <input checked="" type="checkbox"/> | (2) encofrado suelo |
| 6 | 39 | Layer | L_tarima escalera | <input checked="" type="checkbox"/> | (3) cimentación |
| 7 | 43 | Layer | L_encofrado entrada | <input checked="" type="checkbox"/> | (6) encofrado bajo |
| 8 | 47 | Layer | L_encofrado exterior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | (5) encofrado entrada |
| 9 | 51 | Layer | L_encofrado interior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | (8) tarima bajo 2 |
| 10 | 55 | Layer | L_tarima piso 1 uno | <input checked="" type="checkbox"/> | (7) tarima bajo 1 |
| 11 | 59 | Layer | L_tarima piso 1 dos | <input checked="" type="checkbox"/> | (12) estructura escalera |
| 12 | 63 | Layer | L_estructura exterior bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | (13) tarima escalera |
| 13 | 67 | Layer | L_estructura interior bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | (11) escalera entrada |
| 14 | 71 | Layer | L_estructura interior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | (9) estructura exterior bajo |
| 15 | 75 | Layer | L_estructura exterior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | (10) estructura interior bajo |
| 16 | 12643 | Layer | L_movimiento de tierra | <input checked="" type="checkbox"/> | (4) bajo |
| 17 | 12647 | Layer | L_encofrado suelo | <input checked="" type="checkbox"/> | (15) encofrado exterior piso 1 |
| 18 | 12651 | Layer | L_cimentación | <input checked="" type="checkbox"/> | (16) encofrado interior piso 1 |
| | | | | | (18) tarima piso 1 dos |
| | | | | | (17) tarima piso 1 uno |
| | | | | | (19) estructura exterior piso 1 |
| | | | | | (14) piso 1 |
| | | | | | (20) estructura interior piso 1 |
| | | | | | (20) estructura interior piso 1 |
| | | | | | (19) estructura exterior piso 1 |
| | | | | | (1) movimiento de tierra |
| | | | | | (2) encofrado suelo |
| | | | | | (3) cimentación |

Figura 20. Vinculación de Tareas a Capas

- Una vez terminada la asignación se comprobará que la vinculación de las tareas es coherente con el estudio del nivel de detalle realizado previamente, para ello se debe comparar la tabla generada en dicho *Estudio del nivel de detalle en tareas* y la lista de asignación de capas en el modelo:

A continuación se muestran la lista de layers del modelo

Tarea: undefined

| # | Id | Tipo | Layer | Visible | Tarea | |
|----|-----|-------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| 1 | 21 | Layer | Layer0 | <input checked="" type="checkbox"/> | ## Seleccione tarea ## | ⚠ |
| 2 | 23 | Layer | L_encofrado bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | -(6) encofrado bajo | ✓ |
| 3 | 27 | Layer | L_tarima bajo 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -(7) tarima bajo 1 | ✓ |
| 4 | 31 | Layer | L_tarima bajo 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | -(8) tarima bajo 2 | ✓ |
| 5 | 35 | Layer | L_estructura escalera | <input checked="" type="checkbox"/> | -(12) estructura escalera | ✓ |
| 6 | 39 | Layer | L_tarima escalera | <input checked="" type="checkbox"/> | -(13) tarima escalera | ✓ |
| 7 | 43 | Layer | L_encofrado entrada | <input checked="" type="checkbox"/> | -(5) encofrado entrada | ✓ |
| 8 | 47 | Layer | L_encofrado exterior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -(15) encofrado exterior piso 1 | ✓ |
| 9 | 51 | Layer | L_encofrado interior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -(16) encofrado interior piso 1 | ✓ |
| 10 | 55 | Layer | L_tarima piso 1 uno | <input checked="" type="checkbox"/> | -(17) tarima piso 1 uno | ✓ |
| 11 | 59 | Layer | L_tarima piso 1 dos | <input checked="" type="checkbox"/> | -(18) tarima piso 1 dos | ✓ |
| 12 | 63 | Layer | L_estructura exterior bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | -(9) estructura exterior bajo | ✓ |
| 13 | 67 | Layer | L_estructura interior bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | -(10) estructura interior bajo | ✓ |
| 14 | 71 | Layer | L_estructura interior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -(20) estructura interior piso 1 | ✓ |
| 15 | 75 | Layer | L_estructura exterior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | -(19) estructura exterior piso 1 | ✓ |
| 16 | 79 | Layer | L_movimiento de tierra | <input checked="" type="checkbox"/> | (1) movimiento de tierra | ✓ |
| 17 | 83 | Layer | L_encofrado suelo | <input checked="" type="checkbox"/> | (2) encofrado suelo | ✓ |
| 18 | 87 | Layer | L_cimentacion | <input checked="" type="checkbox"/> | (3) cimentacion | ✓ |
| 19 | 91 | Layer | L_escalera entrada | <input type="checkbox"/> | ## Seleccione tarea ## | ⚠ |
| 20 | 95 | Layer | L_bajo | <input type="checkbox"/> | ## Seleccione tarea ## | ⚠ |
| 21 | 107 | Layer | L_piso1 | <input type="checkbox"/> | ## Seleccione tarea ## | ⚠ |

Universidad de La Rioja - Departamento de Ingeniería Mecánica, Edificio Departamental
C/ Luis de Ulloa, 20 - 26004 Logroño, La Rioja, España

W3C XHTML 1.0 W3C CSS W3C WAI-ARIA | Sobre este sitio web

iberus
CAMPUS DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Figura 21. Vinculación completa según Estudio del nivel de detalle en tareas

Como podemos comprobar en la figura anterior existen 3 capas a las cuales no se le han vinculado ninguna tarea del plan de proyecto, tal y como se han indicado en el Estudio de nivel de detalle en tareas, por tanto las capas **L_escalera entrada**, **L_bajo**, **L_piso1**, correspondientes a las tareas resumen **escalera entrada**, **bajo** y **piso1** quedan sin vincular al modelo 3D, según dicho estudio. Además y por convención la capa **Layer0** se debe dejar sin asignación de tareas:

| UID | Nivel 0 | Nivel 1 | Nivel 2 | Asignada |
|-----|----------------------|----------------------------|---------------------|----------|
| 1 | movimiento de tierra | | | OK |
| 2 | encofrado suelo | | | OK |
| 3 | cimentación | | | OK |
| 12 | bajo | encofrado entrada | | OK |
| 11 | bajo | encofrado bajo | | OK |
| 6 | bajo | tarima bajo 1 | | OK |
| 7 | bajo | tarima bajo 2 | | OK |
| 28 | bajo | estructura exterior bajo | | OK |
| 29 | bajo | estructura interior bajo | | OK |
| 9 | bajo | escalera entrada | estructura escalera | OK |
| 10 | bajo | escalera entrada | tarima escalera | OK |
| 30 | piso1 | encofrado exterior piso 1 | | OK |
| 31 | piso1 | encofrado interior piso 1 | | OK |
| 20 | piso1 | tarima piso 1 uno | | OK |
| 21 | piso1 | tarima piso 1 dos | | OK |
| 32 | piso1 | estructura exterior piso 1 | | OK |
| 33 | piso1 | estructura interior piso 1 | | OK |

Figura 22. Tabla de comprobación de niveles aplicados

4.8 Análisis de entidades del modelo

En esta fase se debe explorar el modelo 3D para verificar el tipo de entidades que se han generado durante el diseño, debiendo convertir toda entidad que no lo sea, en un componente o grupo. Esta forma de trabajar es la aconsejada para construcciones de gran envergadura puesto que permite manejar estas entidades de forma más sencilla además de poder reutilizar cada entidad facilitando el manejo y la modificación del diseño global.

Un componente o grupo aporta propiedades y características que enriquecen el modelo más de lo que podrían un conjunto inconexo de vértices, lados y caras de un objeto que solamente aportan información gráfica. Los componentes o grupos permiten asignar metadatos que aportan el vínculo con la cuarta dimensión y facilitan su colocación en el modelo y su agrupación en otros componentes o grupos.

En el momento del diseño se debería haber tenido en cuenta esta premisa, pero para permitir la adaptación de cualquier diseño 3D a esta metodología, en esta fase se deberá comprobar que cualquier objeto del diseño es un componente o grupo, y en el caso de no serlo, se deberá transformar para que así sea. Se seleccionará del modelo 3D cada conjunto de elementos que en sí mismo formen un objeto lógico que se pueda construir, y se transformará adecuadamente en un grupo o componente.

Si inspeccionamos los elementos gráficos que componen un elemento gráfico, por ejemplo un tablón de madera podríamos ver los siguientes:

| | | | | | | |
|-----|-------|------|--|--|--------------------------|--|
| 153 | 13315 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 154 | 13309 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 155 | 13306 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 156 | 13301 | Face | | | <input type="checkbox"/> | |
| 157 | 13293 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 158 | 13300 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 159 | 13310 | Face | | | <input type="checkbox"/> | |
| 160 | 13267 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 161 | 13276 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 162 | 13317 | Face | | | <input type="checkbox"/> | |
| 163 | 13283 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 164 | 13279 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 165 | 13270 | Face | | | <input type="checkbox"/> | |
| 166 | 13273 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 167 | 13282 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 168 | 13285 | Face | | | <input type="checkbox"/> | |
| 169 | 13290 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | |
| 170 | 13294 | Face | | | <input type="checkbox"/> | |

Figura 23. Conjunto de elementos gráficos que componen un tablón de madera

Como se puede comprobar nos son más que un conjunto de vértices y caras, elementos que en

sí mismos no tienen un sentido de unidad ni de pertenencia lógica a una obra y que por supuesto no tienen cabida desde el punto de vista constructivo y de las tareas del plan de proyecto, sin embargo, si este conjunto de vértices y caras se transforma en un **grupo**, la mejoría sería patente, ya que dicho grupo es un elemento constructivo que se va a repetir con gran frecuencia durante el proceso constructivo y la evolución de la ejecución de las tareas, de manera que se puede copiar, pegar, y mover fácilmente de un sitio a otro del diseño, mucho más que si cada vez, tenemos que seleccionar cada cara o vértice del elemento gráfico y realizar operaciones sobre cada uno de ellos.

Pero yendo más allá, además se puede pensar en este grupo como la definición de un objeto constructivo o mejor llamado **definición de componente**, lo que nos permitirá aumentar sus características, como por ejemplo, haciendo que esté disponible para otros diseños y pudiendo realizar modificaciones a la definición que repercutirán sobre cada una de las **instancias** de esa definición (cada uno de los objetos con la misma definición que aparecen en el modelo), por último cabe destacar que podemos crear definiciones de componentes únicos de manera que cada instancia forme una unidad independiente del resto de la definición del componente.

A efectos de la visión n-dimensional elegir entre un componente o un grupo no es relevante más allá de la propia decisión del diseñador, pero lo que sí es una condición ineludible de esta metodología, es que cada elemento del modelo que sea susceptible de ser estudiado debe pertenecer a uno de los dos tipos, grupo o componente.

Los pasos a seguir son los siguientes para cada uno de los objetos lógicos que existen en el modelo, sigamos el ejemplo para un tablón de madera:

1. Seleccionar en el modelo 3D todos los elementos gráficos que componen ese objeto constructivo, que en el caso de un tablón de madera, son un conjunto de lados y vértices:

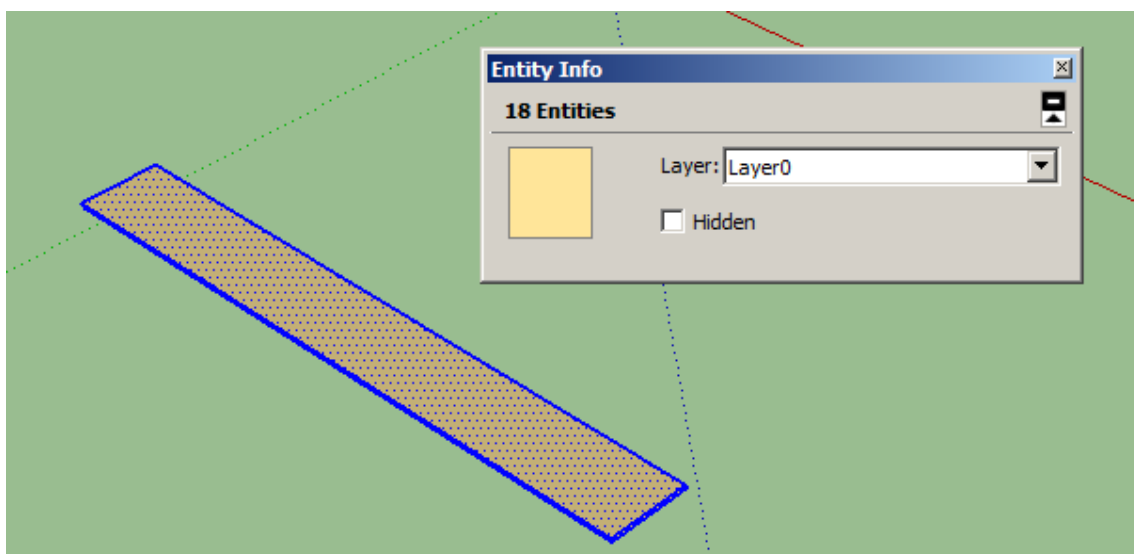


Figura 24. Selección de los componentes gráficos para crear un grupo o componente

2. Crear un grupo (o componente) con ellos haciendo clic con el botón derecho del ratón en la opción *Make Group* o *Make Component* del menú contextual:

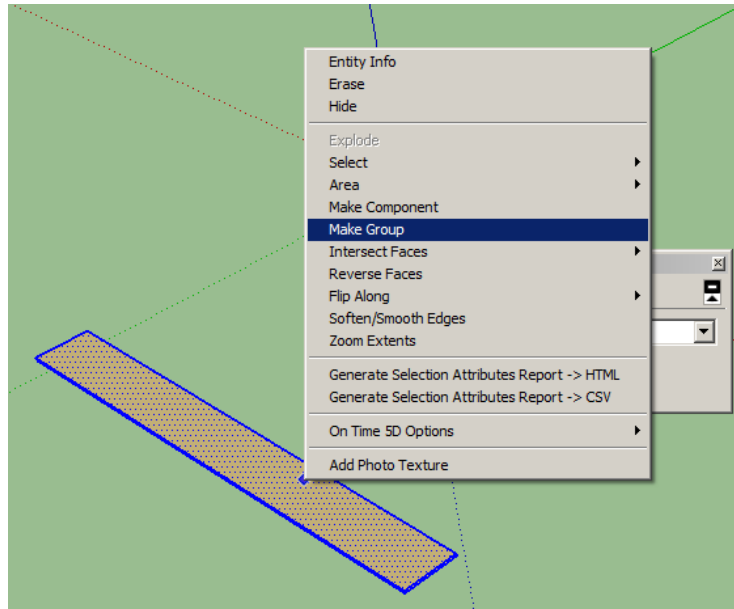


Figura 25. Creación de un Grupo de elementos gráficos

3. Opcionalmente se puede establecer un nombre al grupo recién creado:

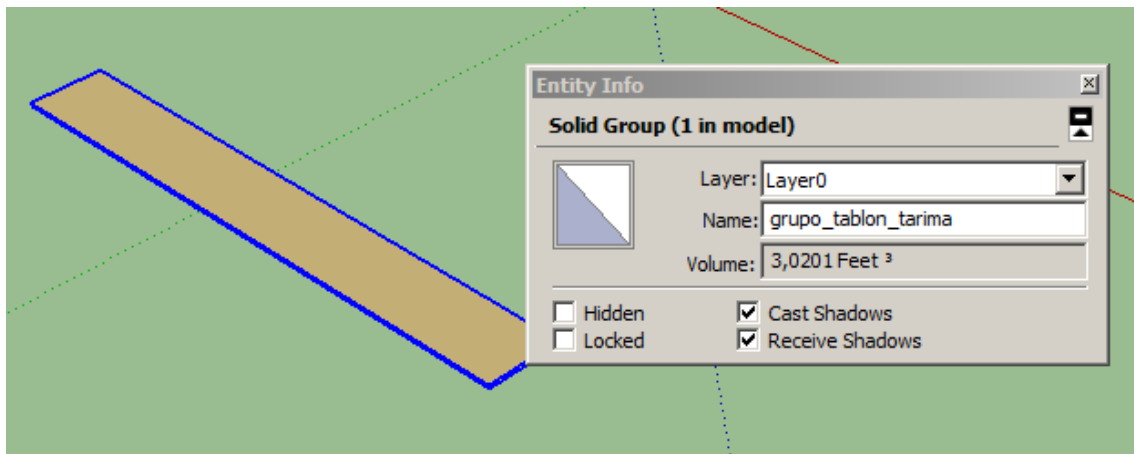


Figura 26. Establecer nombre al grupo

4. Posteriormente, si se desea, se puede crear un componente a partir de un grupo:

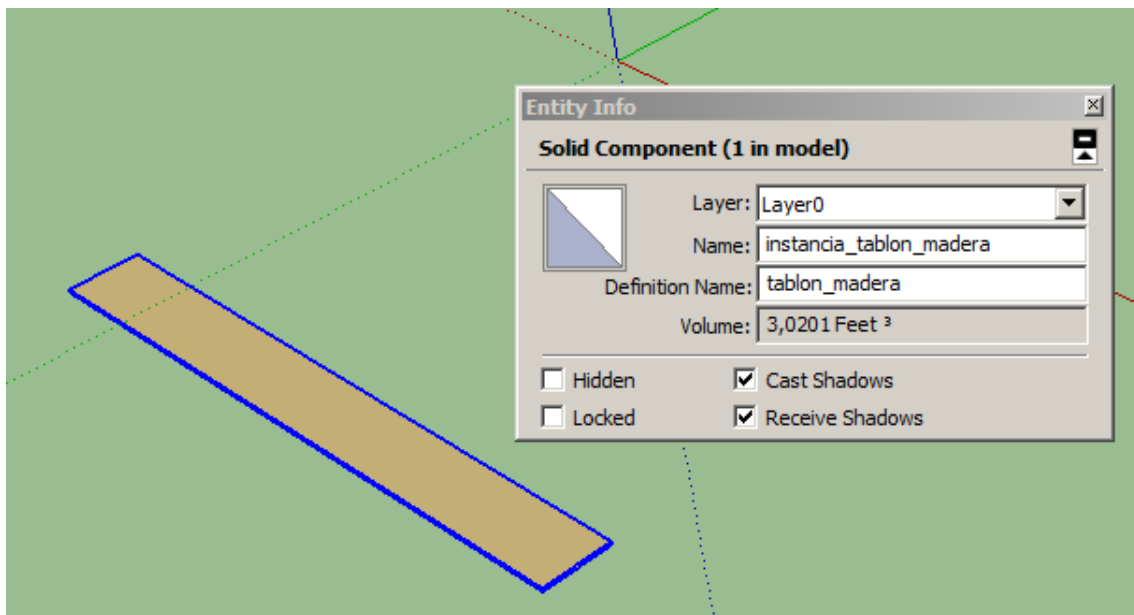


Figura 27. Creación de un componente a partir de un grupo

4.9 Asociación de entidades

En esta fase se deberá asociar cada grupo y componente del modelo a una capa del mismo, y por ende, a cada tarea del plan de proyecto, puesto que según el trabajo realizado en la fase de *Aplicación del estudio del nivel de detalle* cada capa del modelo está vinculada con una tarea del plan de proyecto.

De esta forma, se establece una relación directa entre las tareas del plan con los elementos constructivos que permiten ejecutar y completar dicha tarea, agrupando por tanto en cada tarea, todos los elementos del diseño que permitirán medir y comprobar de forma visual la completitud de la misma.

Para realizar esta vinculación de objetos de construcción se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Listar los **componentes de construcción** (elementos gráficos existentes en el modelo) pulsando el cuarto botón de la paleta de acciones de la herramienta:



Figura 28. Barra de acciones de URTools4D



Figura 29. Lista de Componentes de construcción

Este listado permite además cerciorarse de posibles elementos gráficos que no se han transformado correctamente en un grupo o componente como se puede ver en el siguiente ejemplo:

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------------------|--|-----------|--------------------------|-----------------|--------------------------|--------|--|
| 147 | 12662 | ComponentInstance | | Group#48 | | Group#48_10654 | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 148 | 12663 | ComponentInstance | | Group#49 | | Group#49_10655 | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 149 | 12664 | ComponentInstance | | Group#50 | | Group#50_10656 | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 150 | 12665 | ComponentInstance | | Group#51 | | Group#51_10657 | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 151 | 12666 | ComponentInstance | | Group#52 | | Group#52_10658 | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 152 | 12583 | ComponentInstance | | Group#151 | | Group#151_10776 | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 153 | 13407 | Face | | | | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 154 | 13383 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 155 | 13401 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 156 | 13412 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 157 | 13374 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 158 | 13414 | Face | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 159 | 13406 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 160 | 13394 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 161 | 13377 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 162 | 13389 | Face | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 163 | 13364 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 164 | 13369 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 165 | 13397 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 166 | 13398 | Face | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 167 | 13388 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 168 | 13371 | Face | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 169 | 13367 | Edge | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |
| 170 | 13380 | Face | | | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | Layer0 | |

Figura 30. Lista de componentes de construcción incompleto

Antes de visualizar la lista, se pueden seleccionar diversos componentes del modelo 3D de forma que al mostrarse en la lista aparecerán seleccionados y así facilite su identificación dentro del diseño. Además, una vez listados los componentes, se puede seleccionar cada uno de ellos haciendo clic en la casilla de la columna **Sel.**, junto a cada componente, y automáticamente el componente aparecerá resaltado en el modelo 3D.

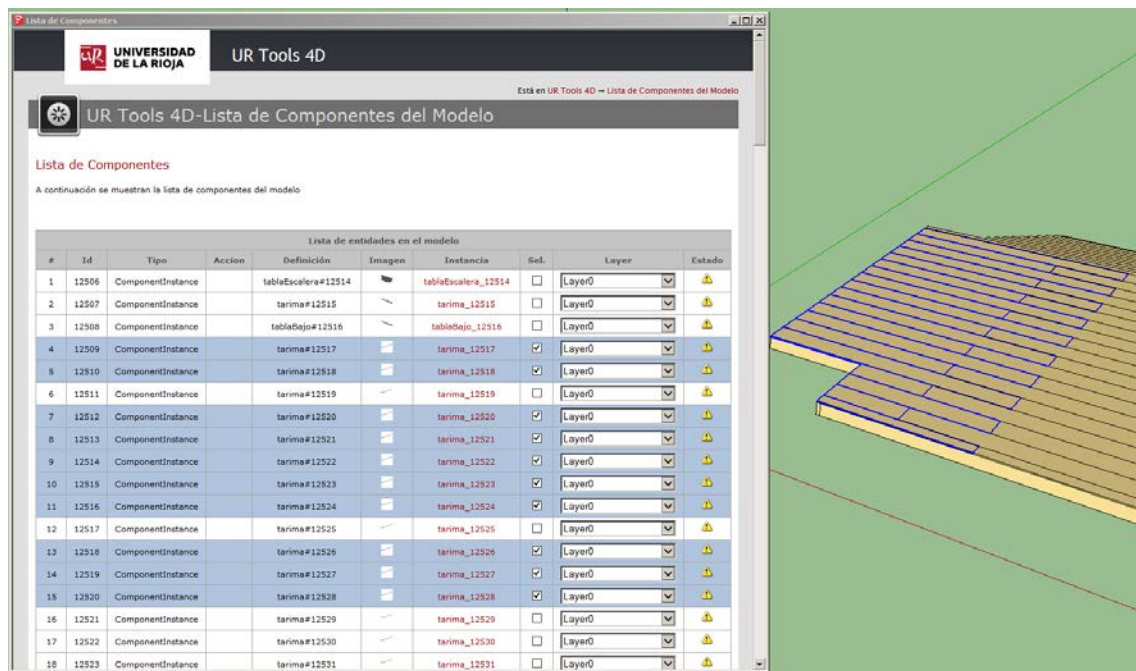


Figura 31. Lista de componentes de construcción del modelo con elementos seleccionados

2. Vincular cada componente de construcción de la lista a cada capa según criterio de pertenencia por tarea, puesto que por cada capa existe una relación de uno a uno con las tareas del proyecto, tal y como se ha visto anteriormente. Una vez todos los componentes de construcción estén vinculados aparecerá en la columna **Estado** la imagen de asignación correcta:

| Lista de entidades en el modelo | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------------------------|-----------------------|--------|
| # | Id | Tipo | Accion | Definición | Imagen | Instancia | Sel. | Layer | Estado |
| 1 | 12506 | ComponentInstance | | tablaEscalera#12514 | | tablaEscalera_12514 | <input type="checkbox"/> | L_estructura escalera | ✓ |
| 2 | 12507 | ComponentInstance | | tarima#12515 | | tarima_12515 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 3 | 12508 | ComponentInstance | | tablaBajo#12516 | | tablaBajo_12516 | <input type="checkbox"/> | L_encofrado bajo | ✓ |
| 4 | 12509 | ComponentInstance | | tarima#12517 | | tarima_12517 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 5 | 12510 | ComponentInstance | | tarima#12518 | | tarima_12518 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 6 | 12511 | ComponentInstance | | tarima#12519 | | tarima_12519 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 7 | 12512 | ComponentInstance | | tarima#12520 | | tarima_12520 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 8 | 12513 | ComponentInstance | | tarima#12521 | | tarima_12521 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 9 | 12514 | ComponentInstance | | tarima#12522 | | tarima_12522 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 10 | 12515 | ComponentInstance | | tarima#12523 | | tarima_12523 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 11 | 12516 | ComponentInstance | | tarima#12524 | | tarima_12524 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 12 | 12517 | ComponentInstance | | tarima#12525 | | tarima_12525 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 13 | 12518 | ComponentInstance | | tarima#12526 | | tarima_12526 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 14 | 12519 | ComponentInstance | | tarima#12527 | | tarima_12527 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 15 | 12520 | ComponentInstance | | tarima#12528 | | tarima_12528 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 16 | 12521 | ComponentInstance | | tarima#12529 | | tarima_12529 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 17 | 12522 | ComponentInstance | | tarima#12530 | | tarima_12530 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |

Figura 32. Lista de Componentes de construcción correctamente asignados a capas

| # | Id | Tipo | Accion | Definición | Imagen | Instancia | Sel. | Layer | Estado |
|----|-------|-------------------|--------|--------------|--------|--------------|--------------------------|-----------------|--------|
| 18 | 12523 | ComponentInstance | | tarima#12531 | | tarima_12531 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 19 | 12524 | ComponentInstance | | tarima#12532 | | tarima_12532 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 20 | 12525 | ComponentInstance | | tarima#12533 | | tarima_12533 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 21 | 12526 | ComponentInstance | | tarima#12534 | | tarima_12534 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 22 | 12527 | ComponentInstance | | tarima#12535 | | tarima_12535 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 23 | 12528 | ComponentInstance | | tarima#12536 | | tarima_12536 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 24 | 12529 | ComponentInstance | | tarima#12537 | | tarima_12537 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 25 | 12530 | ComponentInstance | | tarima#12538 | | tarima_12538 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 26 | 12531 | ComponentInstance | | tarima#12539 | | tarima_12539 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 27 | 12532 | ComponentInstance | | tarima#12540 | | tarima_12540 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 28 | 12533 | ComponentInstance | | tarima#12541 | | tarima_12541 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 29 | 12534 | ComponentInstance | | tarima#12542 | | tarima_12542 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 30 | 12535 | ComponentInstance | | tarima#12543 | | tarima_12543 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 31 | 12536 | ComponentInstance | | tarima#12544 | | tarima_12544 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 32 | 12537 | ComponentInstance | | tarima#12545 | | tarima_12545 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 33 | 12538 | ComponentInstance | | tarima#12546 | | tarima_12546 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 34 | 12539 | ComponentInstance | | tarima#12547 | | tarima_12547 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 35 | 12540 | ComponentInstance | | tarima#12548 | | tarima_12548 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 36 | 12541 | ComponentInstance | | tarima#12549 | | tarima_12549 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 37 | 12542 | ComponentInstance | | tarima#12550 | | tarima_12550 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 38 | 12543 | ComponentInstance | | tarima#12551 | | tarima_12551 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 39 | 12544 | ComponentInstance | | tarima#12552 | | tarima_12552 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 40 | 12545 | ComponentInstance | | tarima#12553 | | tarima_12553 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 41 | 12546 | ComponentInstance | | tarima#12554 | | tarima_12554 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 42 | 12547 | ComponentInstance | | tarima#12555 | | tarima_12555 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 43 | 12548 | ComponentInstance | | tarima#12556 | | tarima_12556 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 44 | 12549 | ComponentInstance | | tarima#12557 | | tarima_12557 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 45 | 12550 | ComponentInstance | | tarima#12558 | | tarima_12558 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 46 | 12552 | ComponentInstance | | tarima#12559 | | tarima_12559 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 2 | ✓ |
| 47 | 12562 | ComponentInstance | | tarima#12560 | | tarima_12560 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 48 | 12563 | ComponentInstance | | tarima#12561 | | tarima_12561 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 49 | 12564 | ComponentInstance | | tarima#12562 | | tarima_12562 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 50 | 12565 | ComponentInstance | | tarima#12563 | | tarima_12563 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 51 | 12566 | ComponentInstance | | tarima#12564 | | tarima_12564 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 52 | 12567 | ComponentInstance | | tarima#12565 | | tarima_12565 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 53 | 12568 | ComponentInstance | | tarima#12566 | | tarima_12566 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 54 | 12569 | ComponentInstance | | tarima#12567 | | tarima_12567 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 55 | 12570 | ComponentInstance | | tarima#12568 | | tarima_12568 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 56 | 12571 | ComponentInstance | | tarima#12569 | | tarima_12569 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 57 | 12572 | ComponentInstance | | tarima#12570 | | tarima_12570 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 58 | 12573 | ComponentInstance | | tarima#12571 | | tarima_12571 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 59 | 12574 | ComponentInstance | | tarima#12572 | | tarima_12572 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 60 | 12575 | ComponentInstance | | tarima#12573 | | tarima_12573 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 61 | 12576 | ComponentInstance | | tarima#12574 | | tarima_12574 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 62 | 12577 | ComponentInstance | | tarima#12575 | | tarima_12575 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 63 | 12578 | ComponentInstance | | tarima#12576 | | tarima_12576 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 64 | 12579 | ComponentInstance | | tarima#12577 | | tarima_12577 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 65 | 12580 | ComponentInstance | | tarima#12578 | | tarima_12578 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 66 | 12581 | ComponentInstance | | tarima#12579 | | tarima_12579 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 67 | 12582 | ComponentInstance | | tarima#12580 | | tarima_12580 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 68 | 12583 | ComponentInstance | | tarima#12581 | | tarima_12581 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 69 | 12584 | ComponentInstance | | tarima#12582 | | tarima_12582 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 70 | 12585 | ComponentInstance | | tarima#12583 | | tarima_12583 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 71 | 12586 | ComponentInstance | | tarima#12584 | | tarima_12584 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 72 | 12587 | ComponentInstance | | tarima#12585 | | tarima_12585 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |
| 73 | 12588 | ComponentInstance | | tarima#12586 | | tarima_12586 | <input type="checkbox"/> | L_tarima bajo 1 | ✓ |

| ID | Componente | Nombre | Estado | Acciones |
|-----|---------------------|-------------|--------|----------|
| 74 | ComponenteInstancia | tsome_12027 | ... | ... |
| 75 | ComponenteInstancia | tsome_12028 | ... | ... |
| 76 | ComponenteInstancia | tsome_12029 | ... | ... |
| 77 | ComponenteInstancia | tsome_12030 | ... | ... |
| 78 | ComponenteInstancia | tsome_12031 | ... | ... |
| 79 | ComponenteInstancia | tsome_12032 | ... | ... |
| 80 | ComponenteInstancia | tsome_12033 | ... | ... |
| 81 | ComponenteInstancia | tsome_12034 | ... | ... |
| 82 | ComponenteInstancia | tsome_12035 | ... | ... |
| 83 | ComponenteInstancia | tsome_12036 | ... | ... |
| 84 | ComponenteInstancia | tsome_12037 | ... | ... |
| 85 | ComponenteInstancia | tsome_12038 | ... | ... |
| 86 | ComponenteInstancia | tsome_12039 | ... | ... |
| 87 | ComponenteInstancia | tsome_12040 | ... | ... |
| 88 | ComponenteInstancia | tsome_12041 | ... | ... |
| 89 | ComponenteInstancia | tsome_12042 | ... | ... |
| 90 | ComponenteInstancia | tsome_12043 | ... | ... |
| 91 | ComponenteInstancia | tsome_12044 | ... | ... |
| 92 | ComponenteInstancia | tsome_12045 | ... | ... |
| 93 | ComponenteInstancia | tsome_12046 | ... | ... |
| 94 | ComponenteInstancia | tsome_12047 | ... | ... |
| 95 | ComponenteInstancia | tsome_12048 | ... | ... |
| 96 | ComponenteInstancia | tsome_12049 | ... | ... |
| 97 | ComponenteInstancia | tsome_12050 | ... | ... |
| 98 | ComponenteInstancia | tsome_12051 | ... | ... |
| 99 | ComponenteInstancia | tsome_12052 | ... | ... |
| 100 | ComponenteInstancia | tsome_12053 | ... | ... |
| 101 | ComponenteInstancia | tsome_12054 | ... | ... |
| 102 | ComponenteInstancia | tsome_12055 | ... | ... |
| 103 | ComponenteInstancia | tsome_12056 | ... | ... |
| 104 | ComponenteInstancia | tsome_12057 | ... | ... |
| 105 | ComponenteInstancia | tsome_12058 | ... | ... |
| 106 | ComponenteInstancia | tsome_12059 | ... | ... |
| 107 | ComponenteInstancia | tsome_12060 | ... | ... |
| 108 | ComponenteInstancia | tsome_12061 | ... | ... |
| 109 | ComponenteInstancia | tsome_12062 | ... | ... |
| 110 | ComponenteInstancia | tsome_12063 | ... | ... |
| 111 | ComponenteInstancia | tsome_12064 | ... | ... |
| 112 | ComponenteInstancia | tsome_12065 | ... | ... |
| 113 | ComponenteInstancia | tsome_12066 | ... | ... |
| 114 | ComponenteInstancia | tsome_12067 | ... | ... |
| 115 | ComponenteInstancia | tsome_12068 | ... | ... |
| 116 | ComponenteInstancia | tsome_12069 | ... | ... |
| 117 | ComponenteInstancia | tsome_12070 | ... | ... |
| 118 | ComponenteInstancia | tsome_12071 | ... | ... |
| 119 | ComponenteInstancia | tsome_12072 | ... | ... |
| 120 | ComponenteInstancia | tsome_12073 | ... | ... |
| 121 | ComponenteInstancia | tsome_12074 | ... | ... |
| 122 | ComponenteInstancia | tsome_12075 | ... | ... |
| 123 | ComponenteInstancia | tsome_12076 | ... | ... |
| 124 | ComponenteInstancia | tsome_12077 | ... | ... |
| 125 | ComponenteInstancia | tsome_12078 | ... | ... |
| 126 | ComponenteInstancia | tsome_12079 | ... | ... |
| 127 | ComponenteInstancia | tsome_12080 | ... | ... |
| 128 | ComponenteInstancia | tsome_12081 | ... | ... |
| 129 | ComponenteInstancia | tsome_12082 | ... | ... |
| 130 | ComponenteInstancia | tsome_12083 | ... | ... |
| 131 | ComponenteInstancia | tsome_12084 | ... | ... |

| ID | Componente | Nombre | Estado | Acciones |
|-----|---------------------|-------------|--------|----------|
| 129 | ComponenteInstancia | tsome_12084 | ... | ... |
| 130 | ComponenteInstancia | tsome_12085 | ... | ... |
| 131 | ComponenteInstancia | tsome_12086 | ... | ... |
| 132 | ComponenteInstancia | tsome_12087 | ... | ... |
| 133 | ComponenteInstancia | tsome_12088 | ... | ... |
| 134 | ComponenteInstancia | tsome_12089 | ... | ... |
| 135 | ComponenteInstancia | tsome_12090 | ... | ... |
| 136 | ComponenteInstancia | tsome_12091 | ... | ... |
| 137 | ComponenteInstancia | tsome_12092 | ... | ... |
| 138 | ComponenteInstancia | tsome_12093 | ... | ... |
| 139 | ComponenteInstancia | tsome_12094 | ... | ... |
| 140 | ComponenteInstancia | tsome_12095 | ... | ... |
| 141 | ComponenteInstancia | tsome_12096 | ... | ... |
| 142 | ComponenteInstancia | tsome_12097 | ... | ... |
| 143 | ComponenteInstancia | tsome_12098 | ... | ... |
| 144 | ComponenteInstancia | tsome_12099 | ... | ... |
| 145 | ComponenteInstancia | tsome_12100 | ... | ... |
| 146 | ComponenteInstancia | tsome_12101 | ... | ... |
| 147 | ComponenteInstancia | tsome_12102 | ... | ... |
| 148 | ComponenteInstancia | tsome_12103 | ... | ... |
| 149 | ComponenteInstancia | tsome_12104 | ... | ... |
| 150 | ComponenteInstancia | tsome_12105 | ... | ... |
| 151 | ComponenteInstancia | tsome_12106 | ... | ... |
| 152 | ComponenteInstancia | tsome_12107 | ... | ... |
| 153 | ComponenteInstancia | tsome_12108 | ... | ... |

4.10 Evolución global del proyecto

Como resultado de la aplicación de las fases de la metodología en el modelo 3D se obtiene un modelo 4D que permitirá seguir la evolución del proyecto por hitos completados, según se indica en el plan de proyecto. En esta fase, se podrá ver el progreso cronológicamente por fecha de finalización, de todas las tareas asignadas al modelo 3D y de esta manera contemplar la evolución de la construcción de la obra. Para ello se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Listar las **tareas** del proyecto pulsando el sexto botón de la paleta de acciones de la herramienta:



Figura 33. Barra de acciones de URTools4D



Figura 34. Lista de tareas del proyecto

En la lista de tareas se mostrarán todas las tareas del plan de proyecto, tanto las vinculadas a capas como las que no lo están. Estas tareas aparecerán ordenadas cronológicamente por fecha de finalización de forma que se pueda ver su evolución secuencialmente.

Mediante la casilla de *Ocultar Tareas no asignadas* se podrán ocultar las tareas que no tengan vinculación con capas y por tanto no sean necesarias para observar la evolución del proyecto, puesto que no mostrarán ninguna evolución. Estas tareas en concreto son las tareas resumen que habíamos descartado en fases anteriores.

| Lista de tareas del proyecto | | | | | | | | |
|------------------------------|------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------|------------|-------|---|
| Id | IdId | Nombre | Layer | Completada | Inicio | Fin | Prev. | |
| 1 | 1 | movimiento de tierra | L_movimiento de tierra | <input type="checkbox"/> | 08/07/2013 | 12/07/2013 | | ✓ |
| 2 | 2 | encofrado suelo | L_encofrado suelo | <input type="checkbox"/> | 15/07/2013 | 17/07/2013 | 1 | ✓ |
| 3 | 3 | cimentación | L_cimentacion | <input type="checkbox"/> | 18/07/2013 | 23/07/2013 | 2 | ✓ |
| 6 | 11 | encofrado bajo | L_encofrado bajo | <input type="checkbox"/> | 24/07/2013 | 25/07/2013 | 3 | ✓ |
| 5 | 12 | encofrado entrada | L_encofrado entrada | <input type="checkbox"/> | 24/07/2013 | 26/07/2013 | 3 | ✓ |
| 8 | 7 | tarima bajo 2 | L_tarima bajo 2 | <input type="checkbox"/> | 26/07/2013 | 31/07/2013 | 6 | ✓ |
| 7 | 6 | tarima bajo 1 | L_tarima bajo 1 | <input type="checkbox"/> | 26/07/2013 | 31/07/2013 | 6 | ✓ |
| 12 | 9 | estructura escalera | L_estructura escalera | <input type="checkbox"/> | 01/08/2013 | 02/08/2013 | 8 | ✓ |
| 13 | 10 | tarima escalera | L_tarima escalera | <input type="checkbox"/> | 05/08/2013 | 05/08/2013 | 12 | ✓ |
| 11 | 8 | escalera entrada | | <input checked="" type="checkbox"/> | 01/08/2013 | 05/08/2013 | | ⚠ |
| 9 | 28 | estructura exterior bajo | L_estructura exterior bajo | <input type="checkbox"/> | 01/08/2013 | 16/08/2013 | 8 | ✓ |
| 10 | 29 | estructura interior bajo | L_estructura interior bajo | <input type="checkbox"/> | 19/08/2013 | 23/08/2013 | 9 | ✓ |
| 4 | 5 | bajo | | <input checked="" type="checkbox"/> | 24/07/2013 | 23/08/2013 | | ⚠ |
| 15 | 30 | encofrado exterior piso 1 | L_encofrado exterior piso 1 | <input type="checkbox"/> | 26/08/2013 | 28/08/2013 | 10 | ✓ |
| 16 | 31 | encofrado interior piso 1 | L_encofrado interior piso 1 | <input type="checkbox"/> | 29/08/2013 | 30/08/2013 | 15 | ✓ |
| 18 | 21 | tarima piso 1 dos | L_tarima piso 1 dos | <input type="checkbox"/> | 02/09/2013 | 05/09/2013 | 16 | ✓ |
| 17 | 20 | tarima piso 1 uno | L_tarima piso 1 uno | <input type="checkbox"/> | 02/09/2013 | 05/09/2013 | 16 | ✓ |
| 19 | 32 | estructura exterior piso 1 | L_estructura exterior piso 1 | <input type="checkbox"/> | 06/09/2013 | 23/09/2013 | 18 | ✓ |
| 14 | 13 | piso1 | | <input checked="" type="checkbox"/> | 26/08/2013 | 30/09/2013 | | ⚠ |
| 20 | 33 | estructura interior piso 1 | L_estructura interior piso 1 | <input type="checkbox"/> | 24/08/2013 | 30/09/2013 | 19 | ✓ |

Figura 35. Lista de todas las tareas del proyecto

- Mostrar hitos uno a uno pulsando el botón *Hito Siguiente*. Con cada pulsación se irá completando (activando) cada tarea tanto en la lista como en el modelo, de manera que podremos ir viendo cómo evoluciona la construcción a partir de cada hito o fecha completada. Además, si queremos mostrar u ocultar todos los hitos bastará con pulsar los botones existentes *Todas Incompletas* o *Todas Completas*. Pulsando el botón *Hito Siguiente* podemos ver en las siguientes figuras como se va completando la construcción hito por hito:

Aplicación de herramientas n-dimensionales en la toma de decisiones para la dirección de proyectos de construcción

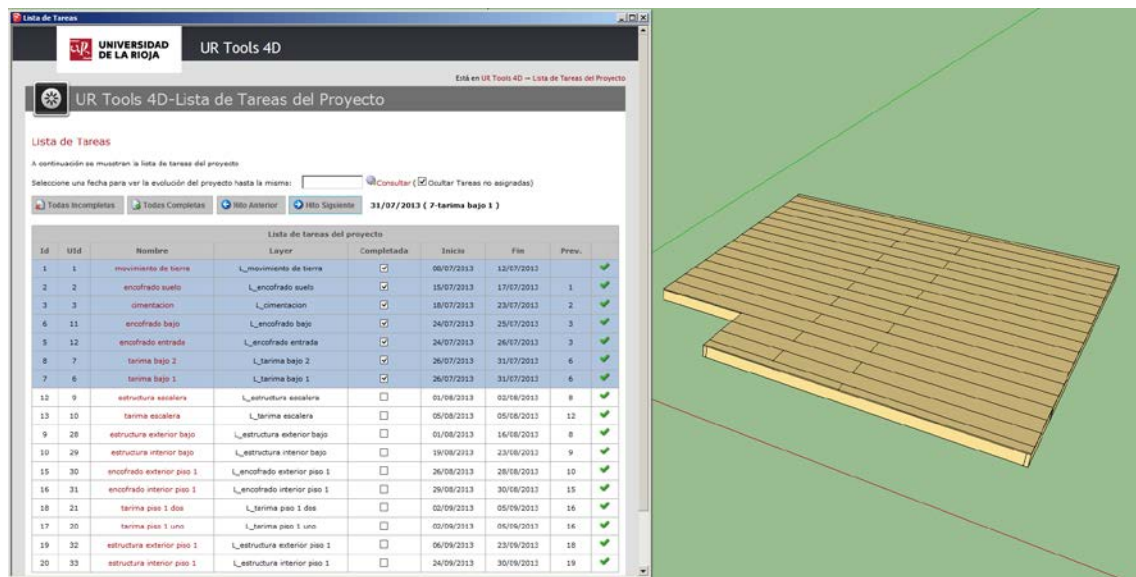


Figura 36. Evolución del proyecto a fecha 31/07/2013

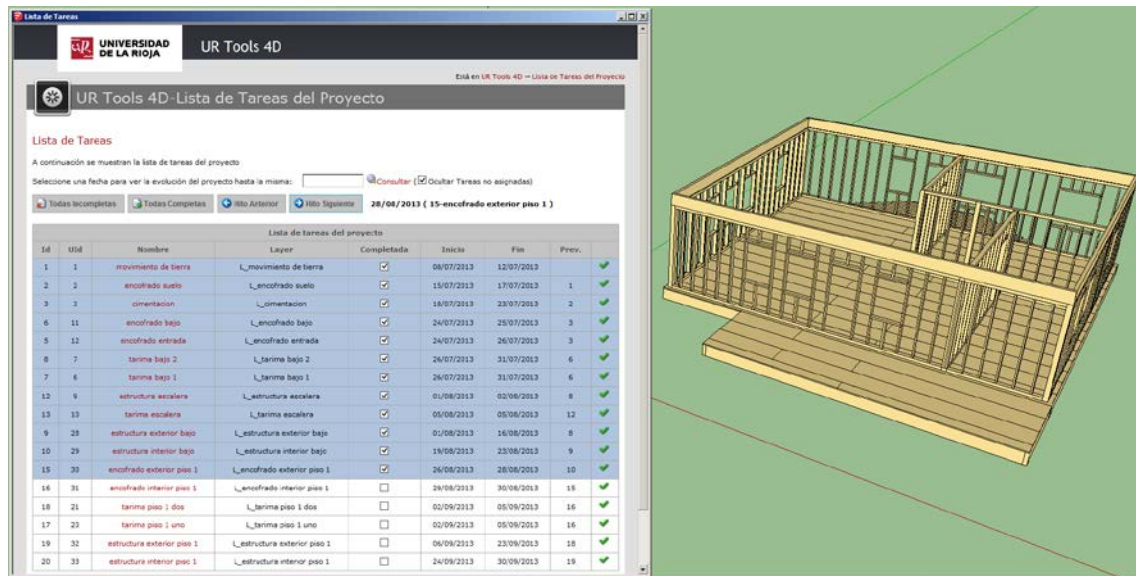


Figura 37. Evolución del proyecto a fecha 28/08/2013

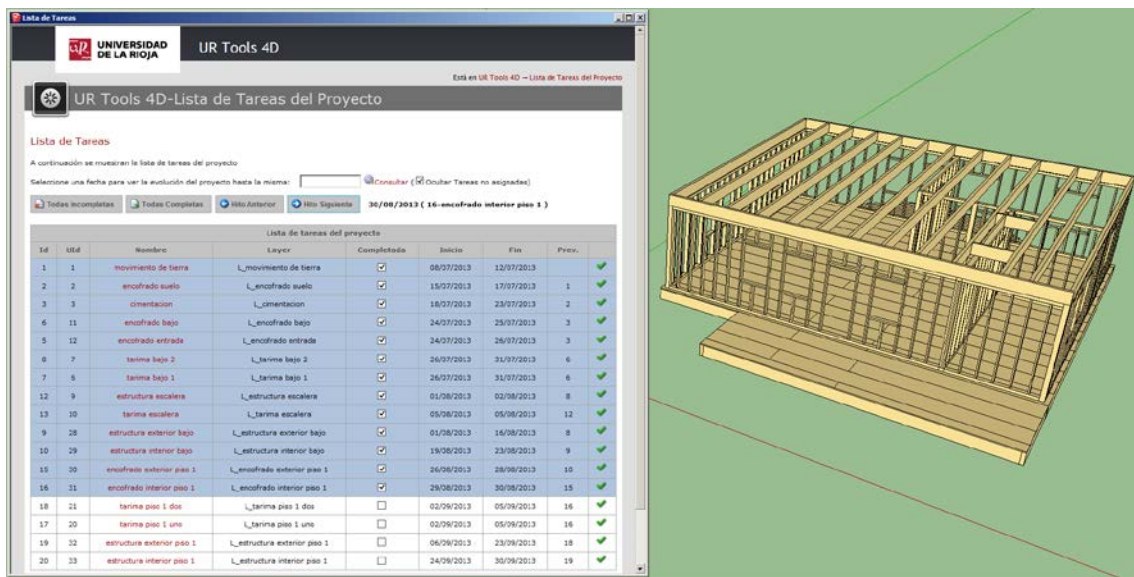


Figura 38. Evolución del proyecto a fecha 30/08/2013

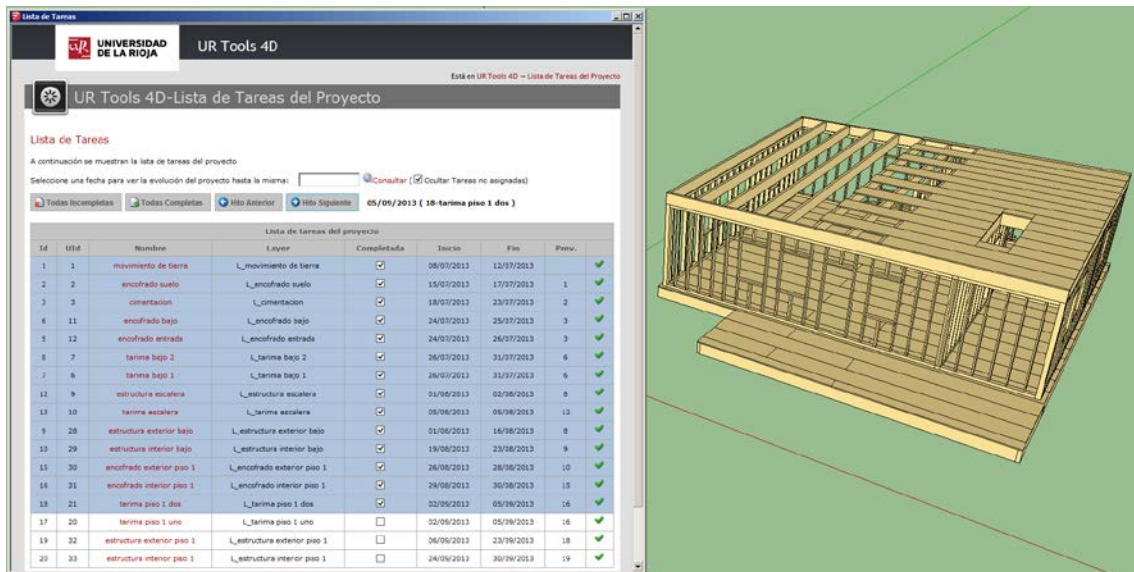


Figura 39. Evolución del proyecto a fecha 05/09/2013

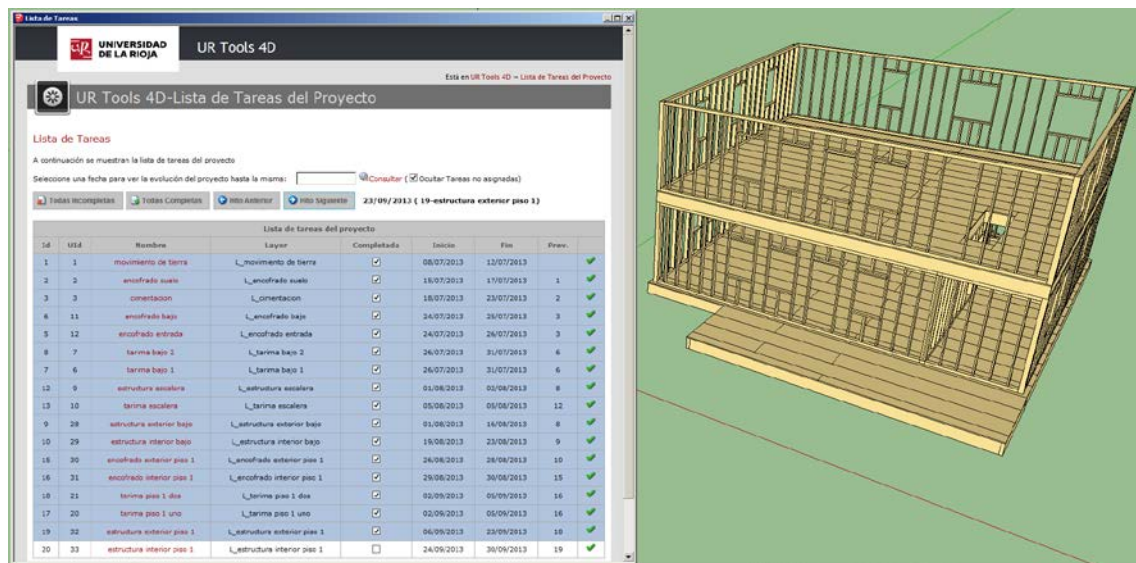


Figura 40. Evolución del proyecto a fecha 23/09/2013

4.11 Evolución parcial del proyecto

Esta fase es análoga a la fase anterior puesto que permite ver la evolución del proyecto de la misma forma que la anterior, solo que en esta fase se filtra la lista de tareas por fecha de finalización, es decir, podemos ver la evolución del proyecto por hitos hasta una fecha concreta como máximo. La lista de tareas que se podrán visualizar deberá, por tanto, estar comprendida entre la fecha de inicio del proyecto y la fecha final seleccionada. Los pasos son los mismos que en la fase anterior pero antes se debe seleccionar una fecha final:

1. Listar las **tareas** del proyecto pulsando el sexto botón de la paleta de acciones de la herramienta:



Figura 41. Barra de acciones de URTools4D



Figura 42. Lista de tareas del proyecto

En la lista de tareas del proyecto se mostrarán todas las tareas del plan de proyecto, de la misma forma que en la fase anterior.

2. Seleccionar fecha final de las tareas :

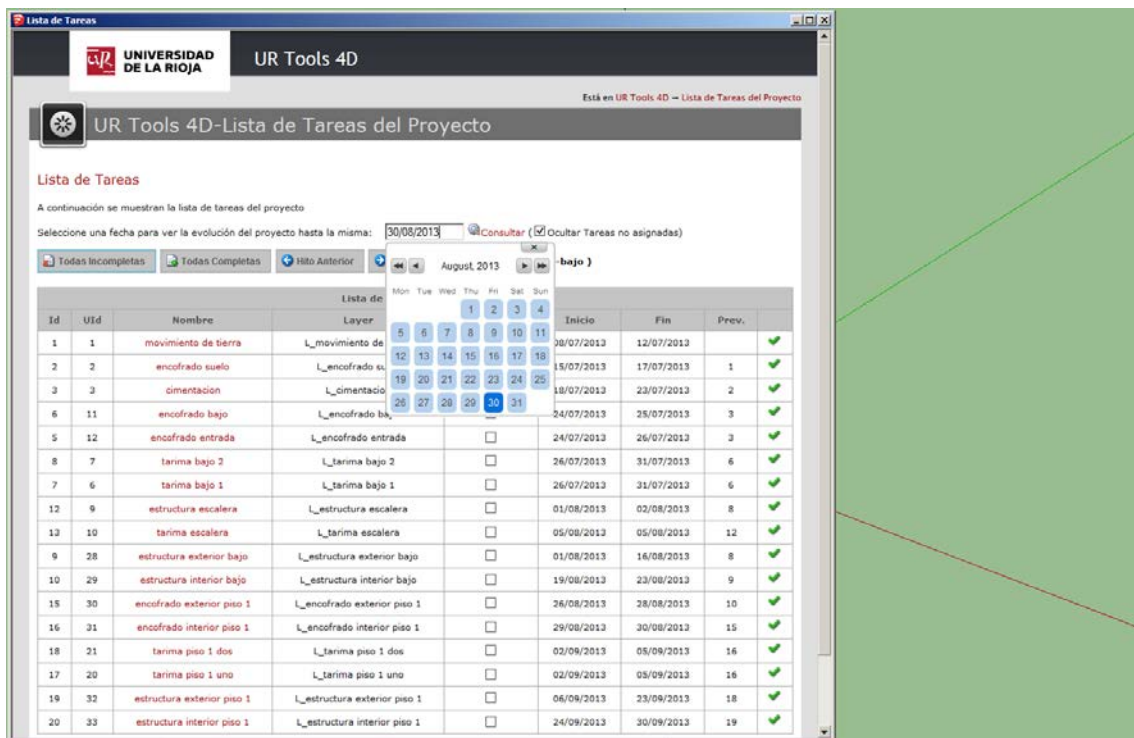


Figura 43. Filtrar tareas por fecha final

3. Filtrar tareas comprendidas entre el inicio del proyecto y la fecha final seleccionada pulsando el botón *Consultar*:

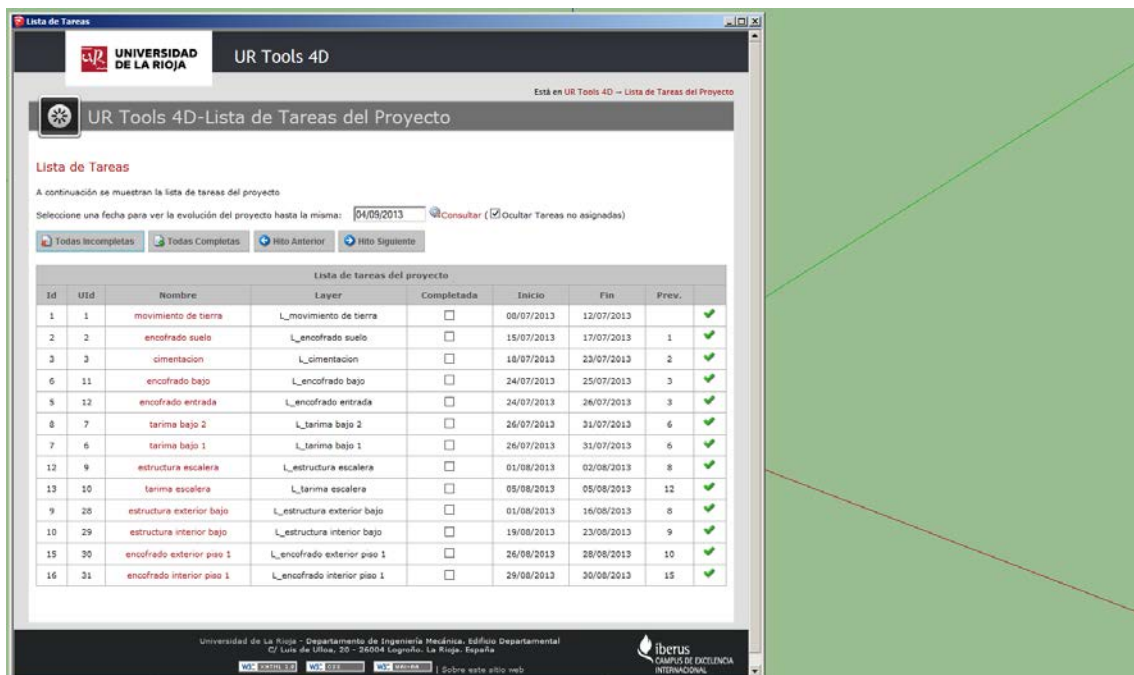


Figura 44. Tareas comprendidas entre el inicio del proyecto y el 04/09/2013

- Mostrar hitos uno a uno pulsando el botón *Hito Siguiente*. La ejecución de este paso es exactamente igual que en la fase anterior pero la lista de tareas sobre la que mostrar la evolución se encuentra filtrada por fechas, completando todas podemos ver el estado de la obra a fecha seleccionada en el cuadro de texto:

The screenshot displays the 'UR Tools 4D' software interface. On the left, a window titled 'Lista de Tareas' (Task List) shows a table of project tasks. The table includes columns for ID, UfID, Nombre, Layer, Completada, Inicio, Fin, and Prev. The date filter is set to 04/09/2013. On the right, a 3D wireframe model of a building's structural frame is shown, with the completed tasks highlighted in yellow.

| ID | UfID | Nombre | Layer | Completada | Inicio | Fin | Prev. |
|----|------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------|------------|-------|
| 1 | 1 | movimiento de tierra | L_movimiento de tierra | <input checked="" type="checkbox"/> | 08/07/2013 | 12/07/2013 | ✓ |
| 2 | 2 | encofrado suelo | L_encofrado suelo | <input checked="" type="checkbox"/> | 13/07/2013 | 17/07/2013 | 1 ✓ |
| 3 | 3 | cimentacion | L_cimentacion | <input checked="" type="checkbox"/> | 18/07/2013 | 23/07/2013 | 2 ✓ |
| 6 | 11 | encofrado bajo | L_encofrado bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | 24/07/2013 | 25/07/2013 | 3 ✓ |
| 5 | 12 | encofrado entrada | L_encofrado entrada | <input checked="" type="checkbox"/> | 24/07/2013 | 26/07/2013 | 3 ✓ |
| 8 | 7 | tarima bajo 2 | L_tarima bajo 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | 26/07/2013 | 31/07/2013 | 6 ✓ |
| 7 | 6 | tarima bajo 1 | L_tarima bajo 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 26/07/2013 | 31/07/2013 | 6 ✓ |
| 12 | 9 | estructura escalera | L_estructura escalera | <input checked="" type="checkbox"/> | 01/08/2013 | 02/08/2013 | 8 ✓ |
| 13 | 10 | tarima escalera | L_tarima escalera | <input checked="" type="checkbox"/> | 05/08/2013 | 05/08/2013 | 12 ✓ |
| 9 | 28 | estructura exterior bajo | L_estructura exterior bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | 01/08/2013 | 16/08/2013 | 8 ✓ |
| 10 | 29 | estructura interior bajo | L_estructura interior bajo | <input checked="" type="checkbox"/> | 19/08/2013 | 23/08/2013 | 9 ✓ |
| 15 | 30 | encofrado exterior piso 1 | L_encofrado exterior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 26/08/2013 | 28/08/2013 | 10 ✓ |
| 16 | 31 | encofrado interior piso 1 | L_encofrado interior piso 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 29/08/2013 | 30/08/2013 | 15 ✓ |

Figura 45. Tareas completadas a fecha de filtro (04/09/2013)

Capítulo 5

5 Conclusiones y líneas de investigación futuras

Se ha desarrollado un metodología clara y concisa de diseño y planificación, que permitirá, que la mayor parte de los proyectos de construcción que se realizan en la Universidad de La Rioja, se puedan apoyar en la herramienta generada en este trabajo, para controlar y medir el progreso del proyecto, así como detectar y solventar problemas en fases tempranas de la planificación mediante una interfaz visual, siempre contando con la visión experta del personal encargado de realizar el seguimiento.

Así podemos visualizar gráficamente la metodología desarrollada de la siguiente forma:

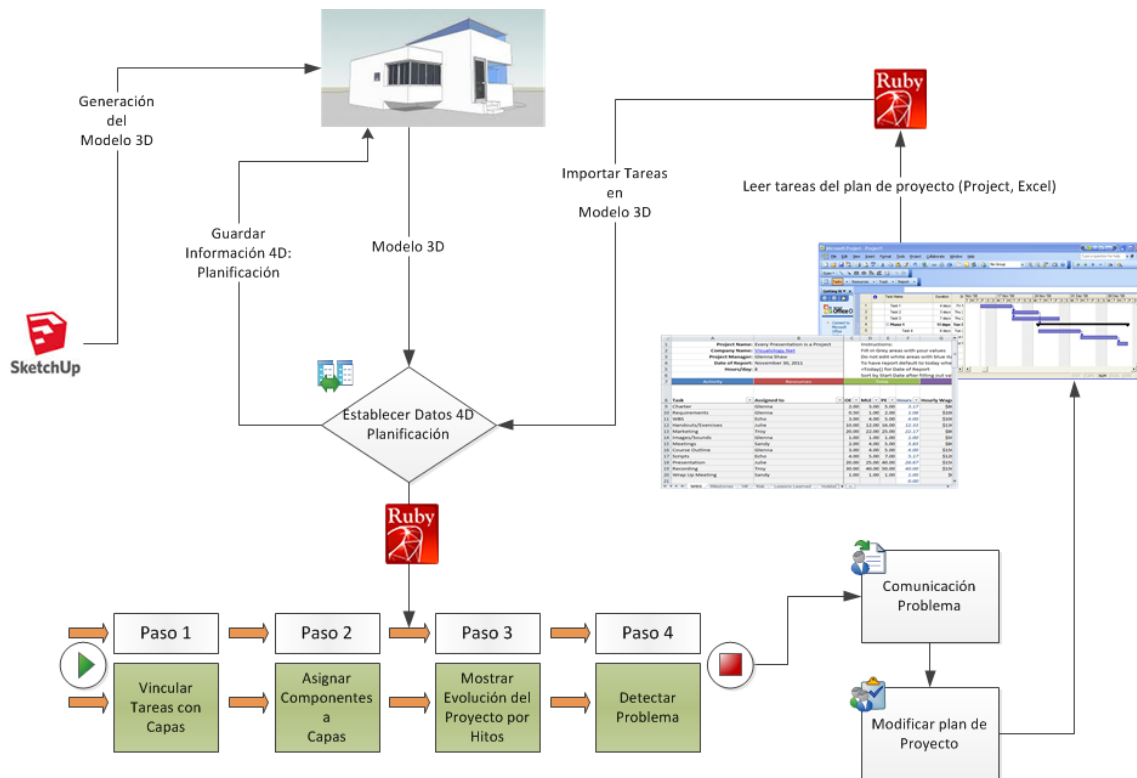


Figura 46. Metodología de diseño y planificación de proyectos 4D con URTools4D

La comunicación entre los implicados del proyecto es crucial y tomando la mejora de este aspecto del proyecto como parte de la base para la realización de este trabajo, la metodología desarrollada y la herramienta de apoyo tienen como objetivo principal detectar problemas y mejorar la comunicación entre los implicados aportando además un ciclo de vida del conocimiento, la experiencia y la comunicación dentro del proyecto:

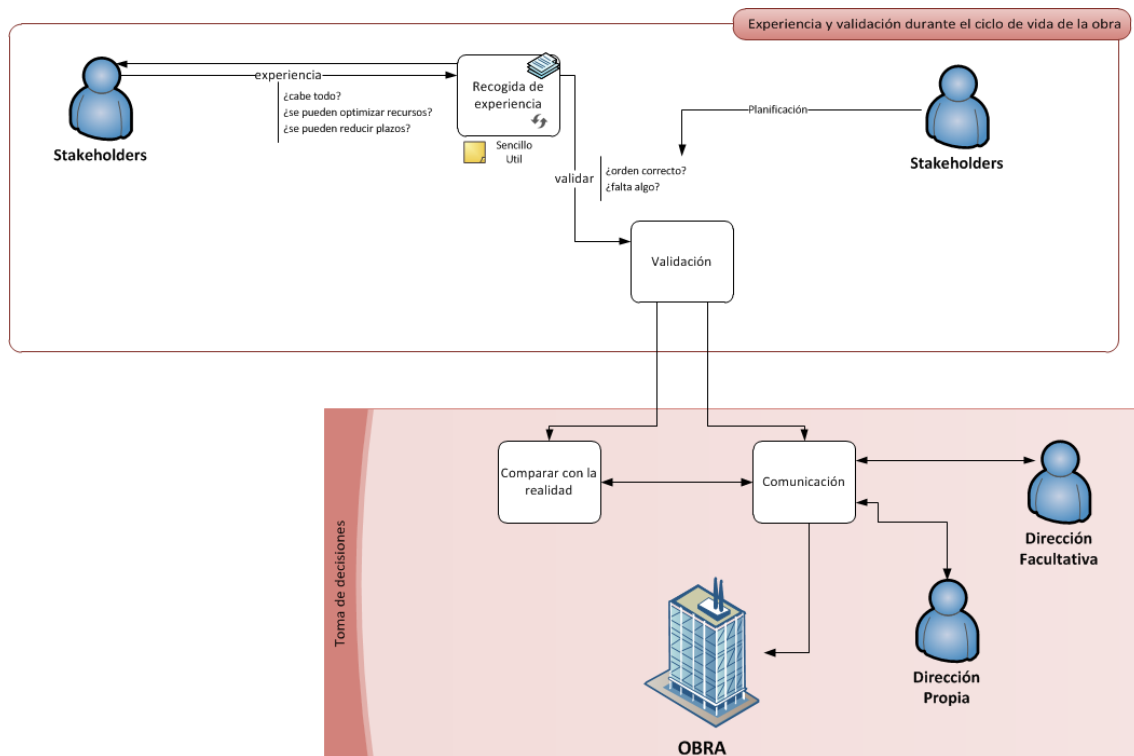


Figura 47. Ciclo de vida del conocimiento, la experiencia y la comunicación dentro del proyecto

En los procesos de diseño 3D utilizando SketchUp, en los cuales se desee aportar una visión n-dimensional, es decir, añadir otras dimensiones más allá de la visualización 3D, enriqueciendo con datos no gráficos como pueden ser la planificación y los costes, es necesario realizar una serie de operaciones que permitan vincular de forma sencilla estas nuevas dimensiones con el diseño puramente gráfico. Para ello, se debe tener en cuenta que los diseños 3D deben estar supeditados a la creación de capas y componentes o grupos, que permitan jugar con la visualización de elementos, con el objetivo de poder explotar los datos de otras dimensiones desde la propia herramienta SketchUp de diseño 3D.

SketchUp es una herramienta potente y de calidad para el diseño 3D de construcciones, que permite abordar el diseño de proyectos de forma sencilla y rápida y aunque quizá para proyectos de gran envergadura tenga carencias, cubre perfectamente las expectativas en proyectos de menor calibre, sobre todo por su reducida curva de aprendizaje y su facilidad de uso, así como su reducido coste de licencias. Además la funcionalidad de SketchUp es fácilmente ampliable mediante la programación de plug-ins en Ruby lo cual aporta mucha flexibilidad. Permite trabajar con los elementos gráficos como objetos de un lenguaje de programación y de esta manera se pueden manejar y parametrizar externamente mediante comandos Ruby, por ello ante construcciones complejas es una buena práctica la creación de componentes y grupos, que aportan propiedades más allá de las gráficas y permiten su reutilización durante todo el diseño, así como su ubicación en diferentes capas, las cuales aportan aspectos como la agrupación y la visualización, esto permite realizar operaciones

como completar la ejecución de las tareas cronológicamente o la posibilidad de detectar colisiones durante el diseño.

La combinación de la tecnología BIM, así como herramientas fácilmente extensibles y de uso cada vez más generalizado, como SketchUp, pueden dotar a los profesionales de la construcción, de los métodos y herramientas que necesitan para responder a las demandas de eficacia en los procesos de trabajo y de calidad en las construcciones, y pueden servir para simular el plan de proyecto de forma visual y legible por personal no técnico, hecho por el cual es cada día más común su uso real en proyectos profesionales.

El modelo propuesto en este trabajo proporciona un método intuitivo para incorporar la planificación desde la fase inicial de diseño. El prototipo de este sistema se ha implementado como un módulo dentro de la versión gratuita de SketchUp, sin embargo el paradigma puede ser fácilmente aplicado en otros entornos de edición y podría integrarse en sistemas profesionales.

Este estudio también ha demostrado que el entorno de SketchUp puede ampliarse para incluir un sistema BIM, plasmando la idea equivocada de que es imposible utilizar SketchUp como una herramienta BIM y potencialmente, allanando el camino para el desarrollo de nuevas herramientas similares en este área.

En futuras versiones del prototipo, también se podrán incluir otras dimensiones permitiendo que el modelo que se lleva a través del proceso de diseño sea aún más completo.

Finalmente, podemos concluir que la herramienta generada, aun siendo susceptible de mejora, es un prototipo válido que abre un amplio abanico de posibilidades de trabajo y estudio y como tal se va a proceder en las siguientes etapas de desarrollo. Así, considerando las posibilidades que puede aportar en campos de conocimiento y de trabajo tan diferentes entre sí, como el industrial, tecnológico o incluso educativo, es muy probable que en los próximos años se encuentre ampliamente utilizada en proyectos de diversa índole dentro de la Universidad de La Rioja.

Líneas de investigación futuras

Se ha demostrado que herramientas como SketchUp, que en principio no estaban pensadas para trabajar con tecnología BIM pueden ser fácilmente adaptadas y extendidas para conseguir este objetivo, de manera que no siempre es necesario utilizar productos comerciales, costosos y complejos, para lograr el éxito en la dirección de proyectos de construcción y se insta a continuar líneas de investigación que vayan por este camino, aportando ideas y mecanismos que permitan trabajar con este tipo de herramientas para casos determinados donde su aplicación sea factible.

Además en este trabajo se ha explorado la posibilidad de añadir una cuarta dimensión, el tiempo, a modelos virtuales de construcción en 3D, pero la cuestión es si es posible seguir añadiendo y explotando nuevas dimensiones a productos como SketchUp, tales como el coste,

la comunicación, etc.

Por último, se deja abierta una línea de estudio y mejora para la herramienta generada a disposición de La Universidad de La Rioja, que puede ser tomada para la mejora y extensión de nuevas funcionalidades de la misma, y que permitan enriquecer y a la vez simplificar la dirección de proyectos de construcción en esta organización.

6 Bibliografía

- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press.
- Aram, S., Eastman, C., & Sacks, R. (2013). Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. *Automation in Construction*.
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction, Volume 20, Issue 2*, 189-195.
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM — A case study approach. *Automation in Construction, Volume 24*, 149-159.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*.
- Cheung, F. K., Rihan, J., Tah, J., Duce, D., & Kurul, E. (2012). Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models. *Automation in Construction, Volume 27*, 67-77.
- Coloma Picó, E. (2008). *Introducción a la tecnología BIM*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Expressió Arquitectònica I (EGA1), 2008. ISBN 978-84-95249-44-9.
- Ding, L., Zhou, Y., Luo, H., & Wu, X. (2012). Using nD technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction. *Automation in Construction, Volume 21*, 64-73.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. John Wiley & Sons, Inc.
- Engelbart, D. C., & English, W. K. (1962). AUGMENTING HUMAN INTELLECT: EXPERIMENTS, CONCEPTS, AND POSSIBILITIES. *STANFORD RESEARCH INSTITUTE*, 72.
- Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction, Volume 19, Issue 5*, 522-530.
- Ibrahim, R., & Rahimian, F. P. (2010). Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design. *Automation in Construction*.
- Isikdag, U. (2012). Design patterns for BIM-based service-oriented architectures. *Automation in Construction, Volume 25*, 59-71.
- Kim, C., Kim, B., & Kim, H. (2013). 4D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring. *Automation in Construction*.
- Kim, H., Anderson, K., Lee, S., & Hildreth, J. (2013). Generating construction schedules through

automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. *Automation in Construction*.

Kymmel, W. (2008). *Building Information Modeling — Planning and Managing Construction Projects with 4D and Simulations*. McGraw-Hill.

Lee, J., & Jeong, Y. (2012). User-centric knowledge representations based on ontology for AEC design collaboration. *Computer-Aided Design, Volume 44, Issue 8*, 735-748.

Mahalingam, A., Kashyap, R., & Mahajan, C. (2010). An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects. *Automation in Construction, Volume 19, Issue 2*.

Santos Granados, L. d. (2010). Análisis multidimensional de la estructura del coste en las obras y su integración en el resultado de la empresa constructora en función del establecimiento de objetivos. *Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid*.

Singh, V., Gu, N., & Wang, X. (2011). A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. *Automation in Construction, Volume 20, Issue 2*, 134-144.

Tsai, M.-H., Kang, S.-C., & Hsieh, S.-H. (2010). A three-stage framework for introducing a 4D tool in large consulting firms. *Advanced Engineering Informatics, Volume 24, Issue 4*, 476-489.

Zhang, J., & Hu, Z. (2011). BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in Construction, Volume 20, Issue 2*, 155-166.