

21 DE JUNIO DE 2013

TRABAJO FIN DE GRADO

INTERACCIÓN DE PROCESOS BIM SOBRE UNA VIVIENDA DEL
MOVIMIENTO MODERNO. LA VILLE SAVOYE.



DIRECTOR:

DR. JOSÉ A. VÁZQUEZ RODRÍGUEZ

ALUMNO:

IVÁN GÓMEZ FERNÁNDEZ

ESCOLA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA

RESUMEN

En los últimos años ha irrumpido con fuerza un nuevo método de trabajo en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción. Se llama BIM y está llamado a ser el futuro salto de calidad en el sector. En este Trabajo Fin de Grado (TFG) se analizará el modelo digital del edificio desde sus orígenes, viendo cómo surge la idea y su desarrollo por diferentes vertientes analizado a nivel mundial.

Más adelante, y basándonos en la creación de un modelo digital, analizaremos diferentes facetas que el BIM presenta en la actualidad, para poder entender toda su dimensión y el alcance que los procesos BIM pueden tener en un futuro cercano. El modelo a analizar será la Villa Savoye, proyectada y ejecutada en realidad por Le Corbusier en 1929.

Se realiza una aproximación al estado actual del BIM en España y a nivel internacional, y las previsiones de futuro.

PALABRAS CLAVE

BIM, modelo 3D, estandarización, parametrización, Revit.

ABSTRACT

Over the years it has burst a new way of working in the industry of architecture, engineering and construction. It's named BIM and it's called to be the future leap in quality in the sector. In this Bachelor Thesis (TFG) we will analyze the digital model of the building from it's beginnings, seeing how the idea born and it's development through different stages analyzed globally.

Later, and based on the creation of a digital model, we will analyze different facets that BIM presents today, to understand all the dimension and scope of BIM processes may have in the near future. The model to be analyzed is the Ville Savoye, actually planned and executed by Le Corbusier in 1929.

It is an approach to the current state of BIM in Spain and internationally, and future forecasts.

KEYWORDS

BIM, 3D model, standardization, parametrization, Revit

CONTENIDO

Resumen.....	2
Palabras clave	2
Abstract	3
Keywords	3
1. Introducción	6
1.1 Observación de la práctica profesional.....	6
2. El significado de 'BIM'	8
3. Antecedentes y claves del conocimiento actual.....	11
3.1 Los estudios teóricos desde los albores del BIM	11
3.1.1 Nacimiento del pensamiento BIM.....	11
3.1.2 Primera interfaz gráfica	12
3.1.3 Primeras representaciones.....	12
3.1.4 El modelo de producto de construcción.....	12
3.2 La industria del software - del CAD al BIM.....	13
3.2.1 RUCAPS.....	17
3.2.2 SONATA y REFLEX	17
3.2.3 Intergraph Corporation	18
3.2.4 REVIT.....	18
3.2.5 TEKLA.....	19
3.2.6 Autodesk.....	20
3.2.7 Graphisoft.....	21
3.2.8 Nemetschek.....	22
3.2.9 Gehry Technologies	23
3.3 Tendencias del proceso de proyecto digital actuales	23
3.3.1 Los sistemas CAD-4D y CAD-5D	24
3.3.2 Prototipado rápido.	24
3.3.3 Proceso digital bidireccional.....	25
3.4 La industria AEC	25
4. La estandarización	30
4.1 Un sistema de información estructurada.	30
4.2 La normalización de los procesos	35
5. Estándares existentes.....	36
5.1.1 Estados Unidos	36
5.1.2 Europa	39
5.1.3 España - FIDE	40

5.2	Mejora de la entrega de información	42
6.	Análisis práctico en BIM - <i>La Ville Savoye</i>	43
6.1	Las dimensiones del BIM.....	45
6.2	La dimensión plana – 2D.....	47
6.3	La incorporación del tercer eje – 3D.....	50
6.4	El análisis de la programación temporal – 4D.....	54
6.5	El aspecto del coste/presupuesto – 5D.....	57
6.6	Sostenibilidad – 6D	63
6.7	Gestión del ciclo de vida – 7D	68
7.	El presente del BIM	73
8.	El futuro del BIM.....	75
8.1	S-BIM.....	77
8.2	Modelo de información patrimonial.....	78
8.3	iBIM.....	82
9.	Conclusión	85
10.	Bibliografía	89
11.	Tabla de ilustraciones.....	92
12.	Índice de planos adjuntados	94

1. INTRODUCCIÓN

La concepción de la idea de este *Trabajo Fin de Grado* (TFG) parte de la visión de la situación actual de las empresas de ingeniería, arquitectura y construcción, en lo que se refiere a la utilización de software para la generación de documentación en los procesos de edificación.

La situación de crisis actual, acentuada en nuestro sector, hace pensar que es el momento de tomar un cambio en positivo, un cambio que nos permita evolucionar en la forma de trabajo tradicional de nuestro país, y que permita dar un salto cualitativo en los procesos de edificación. Es evidente que antes de la crisis la industria de la construcción no alcanzó la cima de su modernización y automatización de los procesos, así pues, era común ver proyectos en los que los fallos en la representación y ejecución eran comunes. Por otro lado, también cabe resaltar los errores en ejecución de las obras que, si bien se pueden atribuir en ciertos casos a la mala concepción de la obra, en otros muchos podemos atribuirlo a la falta de coordinación entre los distintos agentes intervinientes a lo largo de todo el proyecto. Es muy común en nuestro sector que el proyecto pase de técnico en técnico, a la vez que cada uno implementa su parte de trabajo. Se puede hablar así de una falta de coordinación, que ocasiona en muchos casos errores e interferencias entre los diferentes modelos: el arquitectónico, el de instalaciones, el de estructuras,...

Todo esto genera un retraso en la ejecución y, en muchos casos, pérdidas económicas que serían subsanables si el proyecto estuviese bien ensamblado desde un principio.

Para ver cómo solucionar estos problemas, partimos de la hipótesis fundamental de que las herramientas digitales asisten a los técnicos en las tareas mecánicas como la producción de dibujos técnicos, al mismo tiempo que proporcionan un modelo de arquitectura virtual. Esto amplía las posibilidades basadas en procesos BIM en fase conceptual del proyecto, facilitando la toma de decisiones.

En general así nace el concepto de los programas BIM, con la idea de centralizar en una única base datos todo el modelo de información de un edificio y analizar de antemano las posibles colisiones entre ellos. Otra parte fundamental que veremos a lo largo del Trabajo será la incorporación de los conceptos de tiempo (modelo 4D) y coste (modelo 5D).

1.1 OBSERVACIÓN DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL

A lo largo del tiempo se ha ido percibiendo la importancia de la integración de los estudios tridimensionales para la comprensión global de los proyectos durante el proceso de creación y ejecución de las disciplinas de arquitectura e ingeniería.

Las herramientas de dibujo utilizadas hasta la fecha están en su mayoría pensadas para trabajar en 2D y sus limitaciones en el campo de la representación virtual en 3D son evidentes.

Como grandes inconvenientes podríamos señalar que en la mayoría de los casos es necesario modelar todos los elementos del proyecto, ya que:

- en el caso de la existencia de errores durante el proceso de dibujo, o en la concepción del mismo, es necesario reelaborar todo el dibujo.
- durante el modelado se producen operaciones mecanizadas y repetitivas.
- es bastante complejo realizar cambios después de que el modelo está completamente ejecutado

Uno de los aspectos a mejorar sería la posibilidad de realizar diseños más consistentes, mejorar la comunicación entre los diversos técnicos que colaboran en el diseño, facilitar la visualización de interferencias y fallos, y permitir la representación y ejecución de formas complejas.

Parece claro que la tecnología digital puede convertirse en un instrumento para incrementar e impulsar el proceso de diseño tradicional. El área del proceso proyectivo y de ejecución está sufriendo continuas transformaciones motivadas por el uso de las nuevas tecnologías digitales y grupos de discusión teórica. Conjuntamente con los movimientos alrededor de la investigación y los estudios, que buscan mejorar la calidad de los proyectos de construcción, también ha aumentado la presión ejercida por la industria de la construcción sobre los propios diseñadores. Se genera un gran impacto con las piezas arquitectónicas creadas con herramientas digitales que influyen a muchos proyectistas alrededor del mundo. Todo este entorno crea grandes expectativas con respecto al uso de un nuevo software, impulsando a las empresas de software, que aprovechan estos resultados para el lanzamiento de nuevos productos llamados a ser 'revolucionarios'.

Por otro lado, la tendencia de los profesionales de las empresas de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC¹) es la de incorporar esta tecnología en su práctica sin un cuestionamiento ni reflexión previa de su forma de trabajo. Por esta razón parece conveniente la realización y planteamiento de este TFG para aclarar las implicaciones del uso indiscriminado de estas herramientas, y su justificación.

Otra cuestión sobre la mesa será la total ausencia de estándares de trabajo en nuestro país, cosa contraria a lo que sucede en países muy avanzados en este sentido como son Reino Unido, Estados Unidos, Finlandia, Holanda, Dinamarca y Australia, entre los más destacados.

¹ AEC – Se conoce así al conjunto de las empresas que abarcan los sectores de arquitectura, ingeniería y construcción, por sus siglas en inglés (Architecture/Engineering/Construction).

2. EL SIGNIFICADO DE 'BIM'

Existen varias definiciones de BIM. Como los límites están cambiando habitualmente, estos se confunden o, por lo menos, quedan mal definidos. Si unimos su rápida expansión, al problema de que la mayoría de la industria AEC todavía no ha adoptado el término, el resultado inicial podría llegar a ser descorazonador.

BIM procede del acrónimo de la frase inglesa '*Building Information Modelling*' (modelado de información de la edificación). Se refiere a la creación y el uso de información computable, coordinada y con coherencia acerca de un proyecto de edificio tanto en el diseño como en la construcción.

Podríamos decir que el BIM es una representación digital de características físicas, funcionales, de la creación y del conocimiento compartido de los recursos para obtener información acerca de lo que forma conceptos básicos para los análisis de su ciclo de vida, desde la concepción hasta la demolición.

Simplificando, podemos hablar de que BIM es una metodología de diseño que trata de automatizar el trabajo generado para la producción de planos en 2D y aprovechando las ventajas de modelado en 3D para simulaciones que ayuden a tomar decisiones sobre el proyecto y obra.

Para comprenderlo de forma más práctica, la metodología presenta diversas perspectivas de aprovechamiento. BIM representa:

- Aplicado a un proyecto: BIM representa gestión de la información. Datos aportados coordinados y compartidos por todos los participantes del proyecto. La información correcta, a la persona idónea, en el momento adecuado.
- Para los agentes participantes en el proyecto, BIM representa un proceso interoperable para la entrega de un proyecto y obra, definiendo tanto los equipos de trabajo individual y como el número de equipos que trabajan juntos.
- Para el equipo de diseño, BIM representa el diseño integrado. Aprovechamiento de las soluciones tecnológicas, fomento de la creatividad, proporcionando más información.

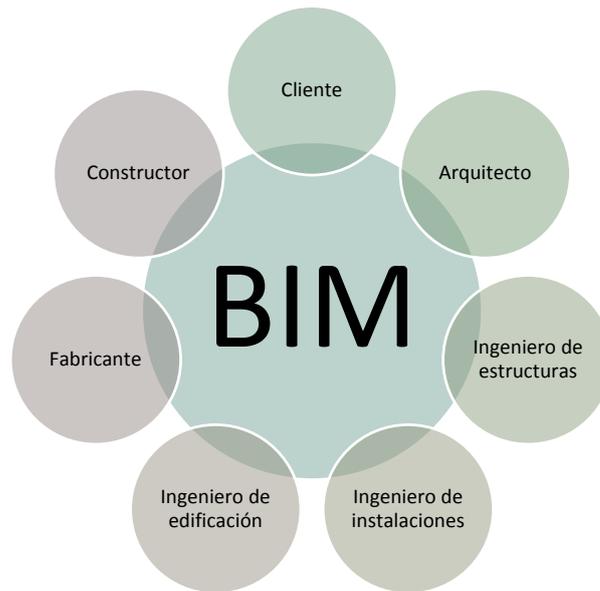


Ilustración 1 - El trabajo en BIM se entiende como colaborativo entre todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo. Fuente: Propia del TFG.

Conseguir que la información esté coordinada es esencial para que el desarrollo del proyecto pueda llevarse a término por parte de múltiples usuarios, aunque se ocupen de disciplinas diferentes. Así, diversos técnicos podrían trabajar en el mismo proyecto con la seguridad de que la información que uno actualice estará disponible automáticamente para el segundo. Esto es bastante fácil de conseguir con las aplicaciones de CAD convencionales, si se emplean los procedimientos adecuados si hay pocos usuarios, pero empieza a ser complicado en proyectos grandes dónde intervienen muchos estudios profesionales. La diversidad de archivos hace complicada su administración si no se dispone de la ayuda de un software específico que nos asista. Pero todavía resulta más complicada la colaboración entre todo el equipo. Cada uno trabaja con archivos e información diferentes y su actualización por parte de las dos partes suele hacerse manualmente. Un sistema basado en procesos BIM establece procedimientos dónde estas operaciones se hacen de manera coordinada.

Para BIM los objetos no son representaciones, sino entidades definidas según sus características que después se generan y muestran a través de todo tipo de consultas (como plantas, secciones o axonometrías). Por otra parte, para que su modelado resulte controlable y rápido, estos componentes se definen como objetos paramétricos cuyas características y comportamientos vienen más o menos preestablecidos. Así, el diseñador ya no solo representa elementos arquitectónicos sino que además los maneja de acuerdo a sus especificaciones, siguiendo patrones más o menos flexibles, dependiendo de las prestaciones del software y de sus propias habilidades.

Uno de los aspectos más importantes de BIM es la capacidad de cuantificar eficazmente los parámetros no formales de un edificio. Es el caso de las mediciones, pero también de otras cualidades como volúmenes de aire, recorridos de evacuación o consumo

energético. En realidad, todo esto representa información contenida en modelos digitales que es posible unificar en mayor o menor grado con el fin de conseguir las prestaciones de coordinación y coherencia anteriormente comentadas. La clave está en comprender que el diseño no se refiere sólo a criterios formales, sino también a otras variables que no son tratables desde el punto de vista de las herramientas de representación tradicionales.

Es importante reseñar que los procesos BIM tienen en cuenta el estudio completo del ciclo de vida de un edificio. Esto incluye la fase de diseño, la de producción y también la de explotación. Así, sus futuros usuarios podrán acceder a información que les será útil para, por ejemplo, planificar el mantenimiento del edificio o para realizar la reparación de una instalación concreta.

3. ANTECEDENTES Y CLAVES DEL CONOCIMIENTO ACTUAL

Aunque el concepto BIM puede parecer coetáneo con nuestra generación, la realidad es que podemos describir su nacimiento en los años 60, después de que un conjunto de circunstancias favoreciesen su evolución.

La introducción de la tecnología informática en el proceso de diseño coincide con la primera fase de los métodos de investigación en estos años, en un intento de utilizar algoritmos matemáticos y matrices para racionalizar el proyecto. Desde entonces la computadora ha influido en la práctica profesional de los diseñadores.

A continuación analizaremos la evolución del proceso de desarrollo e implantación, apoyado en por proyectos, tesis o investigaciones que aunque son pequeños, en realidad nos conducen a la situación actual.

3.1 LOS ESTUDIOS TEÓRICOS DESDE LOS ALBORES DEL BIM

Entre los diferentes estudios resultan significantes determinados trabajos que nos ayudan a comprender el amplio concepto BIM.

3.1.1 NACIMIENTO DEL PENSAMIENTO BIM

Quizá el primero de ellos fue el llevado a cabo por *Douglas C. Engelbart*, que ya en 1962, en los inicios de la computación, nos da una visión extraordinaria del arquitecto del futuro en su escrito *'Augmenting Human Intellect: A conceptual framework'* (1) (Aumentando el intelecto humano: un marco conceptual). Su estudio refiere que:

'...el próximo arquitecto comienza a introducir una serie de especificaciones y datos: un piso de losa de quince centímetros, 30 centímetros de muros de hormigón de dos metros de alto dentro de la excavación, y así sucesivamente. Cuando ha terminado, la escena revisada aparece en la pantalla. Una estructura está tomando forma. Se examina, ajusta... Estas listas crecen a otra cada vez más detallada, la estructura interrelacionada, que representa la maduración del pensamiento detrás del diseño real...'

Engelbart sugiere un diseño basado en objetos, manipulación paramétrica y una base de datos relacional. Ha sido influenciado también por los *Sistemas de Información Geográfica* (SIG). Estos sistemas, que eran los marcos conceptuales, no podrían realizarse sin una interfaz gráfica a través de la que interactuar con un modelo de construcción. Se puede considerar que son las bases conceptuales de los procesos BIM actuales.

Con la incorporación de las computadoras, nacen las primeras investigaciones y propuestas de evolución de los procesos gráficos.

3.1.2 PRIMERA INTERFAZ GRÁFICA

En 1963, *Ivan Edward Sutherland*, desarrolla 'SketchPad' como asistente de dibujo de una parte de su tesis doctoral titulada '*SketchPad: A man-machine graphical communication system*' (2) (SketchPad: Un sistema de comunicación gráfica hombre-máquina). Este se presenta como uno de los primeros programas informático que permitía la manipulación directa de objetos gráficos, es decir, el primer programa de dibujo por computadora. El Dr. Sutherland diseñó un sistema que permitía a los usuarios dibujar puntos, segmentos de líneas y arcos circulares directamente sobre la pantalla mediante el lápiz de luz. Su trabajo en esta tesis ayudó a establecer las bases del desarrollo de la interfaz gráfica de usuario tal y como la conocemos hoy en día, ya que ha introducido conceptos como la interactividad, el diseño modular y el modelo orientado a objetos, que no influyeron solamente en la arquitectura, sino en la ingeniería en general.

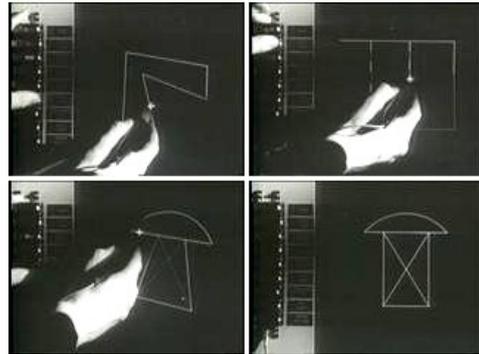


Ilustración 2 - Demostración del funcionamiento de SketchPad. Fuente: Extraído de un video de 1987 de University Video Communications, en <http://archive.org/details/AlanKeyD1987> - Acceso: Abril de 2013

3.1.3 PRIMERAS REPRESENTACIONES

Durante los años 70 y 80 comenzaron a aparecer una serie de métodos para la visualización y el registro de información. Entre los que destaco por su interés:

- La geometría sólida constructiva (CSG).

El sistema de CSG utiliza una serie de formas primitivas que pueden ser o bien sólidas o huecas, de modo que las formas se pueden combinar y se cruzan, se resta o se combinan para crear la apariencia de formas más complejas. Este desarrollo es especialmente importante en la representación de la arquitectura como penetraciones y sustracciones, son procedimientos comunes en el diseño (ventanas, puertas...).

- La representación de frontera (B-rep o BREP).

Por otro lado, el sistema BREP es un método para representar formas utilizando los límites. Un sólido se representa como una colección de elementos de superficie conectados, el límite entre sólidos y no sólidos.

3.1.4 EL MODELO DE PRODUCTO DE CONSTRUCCIÓN

De forma paralela, en 1974 *Charles M. Eastman* comienza a hablar del '*modelo de producto de construcción*', un concepto que se ajusta al BIM actual. En su trabajo '*An outline of the building description system*' (3) (Un esbozo del sistema de descripción de

la edificación), incorpora las bases de datos como un paso más en la búsqueda de la calidad de los proyectos. Esta forma conceptual de intentar ver los edificios a través de la lente de una base de datos, ha contribuido a la ruptura de la arquitectura en sus elementos constitutivos, lo que exige una taxonomía literal de algunas partes que constituyen los edificios. Fue uno de los primeros proyectos para crear una base de datos de la construcción con éxito y se llamaba *Building Description System* (Sistema de descripción del edificio, o BDS). Fue uno de los primeros software para describir los distintos elementos de la biblioteca que pueden ser recuperados y añadidos a un modelo. Este programa utilizaba una interfaz gráfica de usuario y una base de datos ordenable que permitía al usuario recuperar la información de forma categorizada por atributos, incluyendo el tipo de material y su proveedor.

Eastman afirma que los dibujos para la construcción son ineficientes y causan redundancias de un objeto que se representa en varias escalas. También critica dibujos en papel por su tendencia a empobrecerse con el tiempo y el hecho de no poder representar las reformas. Surge así la noción de la revisión del modelo automatizado para *‘verificar la regularidad de diseño*.

3.2 LA INDUSTRIA DEL SOFTWARE - DEL CAD AL BIM

Las TIC² han ido transformando y complementando al proceso clásico de diseño. El CAD ha ido sustituyendo al papel y las maquetas de cartón de finales de los 70, para convertirse en una herramienta fundamental e imprescindible, hasta el punto que todavía hoy en día sigue siendo la herramienta profesional más extendida y conocida en el sector AEC gracias, en parte, al avance y abaratamiento de las computadoras personales.

El CAD se puede combinar con otras tecnologías (como CAM³) para hacer un desarrollo integral de un proyecto desde su fase de diseño hasta su producción en línea, con lo que consigue un ahorro en el tiempo de desarrollo del proyecto. CAD/CAM se utiliza tanto para el diseño de un producto y para el control de procesos de fabricación. Las geometrías en el dibujo CAD se utilizan por parte del programa CAM para controlar una máquina que crea la forma exacta que fue dibujada.

Según explica el Dr. Vázquez Rodríguez (4),

‘[...] La incorporación integral de los procesos informáticos al diseño y fabricación [...] rompe con los límites formales de las estructuras posibilitando la concepción y construcción de tipologías irrealizables tan sólo hace unos años.

² TIC – Se conoce así a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (según sus siglas), y va intrínsecamente asociado con el concepto de tecnología informática. Se puede entender como el conjunto de recursos, procedimientos y técnicas usadas en el procesamiento, almacenamiento y transmisión de información de forma digitalizada.

³ CAM – Computer Aided Manufacture - Fabricación asistida por ordenador.

El estadio de Split en Croacia, constituye probablemente el primer ejemplo de importancia en la aplicación del CAD a esta tipología. El Palau San Jordi del arquitecto Arata Isozaki muestra la máxima expresión del empleo del CAD, CAM y CNC⁴, en todo el proceso de definición geométrica, cálculo y construcción de una malla espacial.'



Ilustración 3 - El Palau San Jordi. Barcelona. Fue construido utilizando herramientas CAD/CAM. Fuente: Tesis doctoral José A. Vázquez Rodríguez (4)

Siguiendo el informe *'The effects of information and communication technology (ICT) on architectural profession'* (5) (Los efectos de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la profesión de la arquitectura) de los arquitectos *Hannu Penttilä* y *Tor-Ulf Weck* para la *Universidad de Tecnología de Helsinki (HUT)*:

'...podemos dividir la implantación en tres etapas:

- *La primera es la etapa de 1980 a 1985, que representa los últimos días de los proyectos hechos a mano, se inicia la adopción de los sistemas CAD. Se caracteriza por la producción de los proyectos en papel vegetal, las reuniones presenciales y los documentos enviados por correo o con mensajeros.*
- *Entre 1993 y 1998, los profesionales consolidan la sustitución de la mesa de dibujo por el uso de programas CAD, que se convierten en una realidad irrefutable e irreversible impulsada, principalmente, por la popularización de los ordenadores y las impresoras. Además de contar la facilidad causada por la similitud conceptual entre el método tradicional y los programas de CAD. Reflejado, también, en la rutina operacional que los proyectos presentan en los estudios. Los proyectos aún se envían en soporte papel por correo o mensajeros, pero las copias de los diseños fueron reemplazados por el trazado o la impresión. Esta situación se ha visto reforzada por los problemas*

⁴ CNC - Computerized Numeric Control – Control numérico por ordenador.

causados por la, todavía incipiente, Internet, que aún era muy lenta y el envío de archivos ‘pesados’ era complicado.

- *La siguiente época a remarcar es, aproximadamente, desde el 2000 hasta el 2005. En esta época el desarrollo de las TIC, en particular Internet, ha generado nuevas posibilidades que influyeron en toda la sociedad. Los diseñadores no serían la excepción, también la comunicación y el envío de documentos, incluyendo proyectos entre los profesionales, se hace ahora a través del formato digital. Aparecen los teléfonos celulares, las computadoras portátiles, los proyectores multimedia, las nuevas formas de trabajo colaborativo habilitados o reuniones en las que los profesionales no deben ocupar el mismo espacio físico para realizar el trabajo. Por otro lado, la mejora del desarrollo de ordenadores y software ha hecho que muchos profesionales, académicos e investigadores desarrollen nuevos métodos de proceso de diseño digital, como veremos más adelante.’*

Como hemos visto hasta ahora, la ampliación y el enriquecimiento de las TIC fueron responsables de la remodelación de la sociedad contemporánea, lo que representa un capítulo aparte en este proceso, ya que revolucionó la práctica y el proceso de diseño. Señalando lo que *Gerhard Schmitt* escribe sobre esto en su libro *‘Information Architecture: Basis and Future of CAAD⁵’* (6) (*Arquitectura de la Información: Bases y futuro del CAAD*), la información se está convirtiendo en una de las principales herramientas y debe ser declarada como una nueva dimensión de la arquitectura.

‘...esta información se puede clasificar en cuatro categorías:

- *La información que está en la memoria del proyectista y que influye directamente en su proyecto.*
- *La información externa que se formaliza a través de referencias externas.*
- *La información generada en el proceso de proyecto y construcción en sí mismo.*
- *La información que surge durante la vida útil del proyecto.’*

Esta declaración muestra cómo las TIC juegan un papel clave en la sociedad actual y se irradia por todos los campos. En arquitectura, se potenciaron nuevas formas de diseño, creando nuevas oportunidades. Estas herramientas afectan igualmente a la vida cotidiana de las personas y, en consecuencia, a las hipótesis de diseño.

Todo esto no se puede entender sin el desarrollo llevado a cabo por el sector de la industria del software. En este campo, podemos resaltar varios procedimientos y trabajos que, junto con los estudios que se realizaban al mismo tiempo, y que ya hemos visto anteriormente, se combinan para ir obteniendo resultados cada vez más significativos.

⁵ CAAD – Acrónimo de la frase inglesa *‘Computer-Aided Architectural Design’* (diseño arquitectónico asistido por ordenador)

Actualmente hay un buen número de aplicaciones BIM en el mercado, a pesar de que se trata de un tipo de software costoso de desarrollar y que precisa de mucho servicio post venta. En general, todas llevan muchos años en el mercado, con excepción de aquellas que están desarrollándose de la mano de grandes compañías de CAD genérico, que tienen una historia más corta. Antes de realizar una numeración de las aplicaciones diferenciaremos entre dos grupos, las aplicaciones BIM nativas y las aplicaciones BIM implementadas.

- **Aplicaciones BIM nativas**

Con más antigüedad, en general, que las BIM implementadas, existen las aplicaciones creadas con la intención de trabajar en esta dirección desde un buen principio. Naturalmente, son mucho más coherentes y potentes que las BIM implementadas, pero tienen el inconveniente de que la migración desde un software CAD genérico hacia ellas resulta más complicada. Aunque permiten trabajar con archivos provenientes de estas aplicaciones siempre hay ciertas limitaciones, puesto que resulta más difícil incluir información literal en modelos BIM. Por otra parte, todas ellas tienen una estructura de archivos coherente con el concepto de base de datos. Es decir, los proyectos se gestionan de manera integral y se concentran en un solo archivo o carpeta.

Sería este el caso de Autodesk Revit, Nemetscheck Allplan o Graphisoft ArchiCAD.

- **BIM implementado sobre CAD literal**

Se trata de aquellas aplicaciones de CAD literal que han implementado módulos BIM que se superponen de manera más o menos transparente. Tienen el inconveniente de que su funcionamiento no puede ser tan coherente ni fluido como el de las BIM nativas, puesto que deben adaptarse al motor y estructura de sus huéspedes. Siguen empleando capas para organizar el dibujo, mantienen una estructura de ficheros dispersa y su interface es bastante más compleja. En cambio, tienen la ventaja de permitir una migración hacia los sistemas BIM mucho más flexible y modular. El grado de implementación de BIM puede hacerse al nivel y en el campo en que se desee. Por ejemplo, se puede emplear BIM sólo por mantener la consistencia dimensional entre plantas, secciones y modelo tridimensional, pero seguir trabajándolas independientemente o aprovechar sólo sus características para mejorar el rendimiento de las mediciones. Todo esto con la comodidad de seguir trabajando con la misma aplicación de siempre de manera totalmente transparente, con las ventajas de colaboración multidisciplinar que esto implica.

Es este el caso de aplicaciones tales como *Autodesk AutoCAD Architecture* y *Bentley Architecture*.

Partiremos ahora a hacer una breve descripción de las empresas y programas que de algún modo u otro resaltaron en el camino que nos conduce a la era del BIM. Se clasifican según su aparición e importancia.

3.2.1 RUCAPS

A finales de la década de los 70 nace *RUCAPS*, uno de los primeros sistemas de CAD que se hizo importante debido a su temprana aparición y consecuente expansión. El proyecto lo desarrollan el *Dr. John Davison* y el *Dr. John Watts* para *GMW Computers*, en Londres, mientras trabajaban en un proyecto para la *Universidad de Riad*. Su nombre procede del acrónimo de la frase inglesa '*Really Universal Computer Aided Production System*' (*sistema de producción asistida por ordenador realmente universal*). En *RUCAPS* toda la información está coordinada, y si un elemento se cambia en planta, también se modificará la vista de alzado. También tiene la capacidad, no sólo para representar los planos, sino que también permite el diseño del modelo geométrico. Puede estructurar el proyecto en componentes, capas, y es capaz de crear cortes de sección del proyecto. Un auténtico avance si tenemos en cuenta el desarrollo de las computadoras de la época.

Las desventajas de este temprano sistema 3D están en su falta de flexibilidad para producir las formas geométricas complejas, el alto costo y la velocidad lenta del sistema.

Algunas de las principales ideas de *RUCAPS* se pueden encontrar en el software BIM actual, como de *Autodesk Revit*, *TriForma* de *Bentley*, *ArchiCAD*, así como *Digital Project* de *Gehry Tech*.

3.2.2 SONATA Y REFLEX

En 1984, *Jonathan Ingram*, antiguo desarrollador de *RUCAPS*, crea el producto *SONATA*. El objetivo del sistema es construir un modelo digital único, que representa el edificio en todos los aspectos. Los objetos y componentes se ensamblan en el modelo. Los objetos son paredes típicas, ventanas, conductos de climatización, así como los espacios y, de hecho, cualquier cosa que se utilice en un edificio. Los objetos tienen variables (paramétricas), vistas en planta,



Ilustración 4 - Renderizado de un proyecto a través de Pro/REFLEX.
Fuente: www.ptc.com - Acceso: Abril de 2013

alzado y sección, vistas 3D, y el sistema sabe cómo representarlos en situaciones de visualización diferentes.

SONATA fue vendido en 1991 a la empresa *Alias Systems Corporation*, que a su vez fue absorbida por *Autodesk Inc.* en el año 2005.

Después de vender SONATA, comienzan a desarrollar *REFLEX*, una versión más sofisticada de *SONATA*. *REFLEX* es un software de modelado en tres dimensiones, orientado al modelado de objetos y al sistema de gestión que permite a los diseñadores utilizar objetos, creados y almacenados en bases de datos de una biblioteca, para diseñar, visualizar, administrar y operar los distintos tipos de proyectos. En 1997 la empresa *Parametric Technology Corporation* adquiere *REFLEX*.

3.2.3 INTERGRAPH CORPORATION

La empresa *Intergraph Corporation* crea, en 1986, el software *Master Architech*, también conocido como *M-Arch*. Comienza como una herramienta de diseño avanzado e integrado para dibujar y redactar proyectos de arquitectura. Usa 'objetos inteligentes', describiendo y almacenando operaciones gráficas y datos descriptivos en cada objeto. Es un principio de software BIM que nace y se extiende en Estados Unidos de la misma forma que lo hace *RUCAPS* en Reino Unido, *Anchtrion* en Francia y *Brics* en Bélgica.

3.2.4 REVIT

La historia de Revit empieza en 1997, cuando dos trabajadores de *Parametric Technology Corporation*, *Leonid Raiz* e *Irwin Jungreiz*, crean una empresa llamada *Charles River Software* para resolver lo que ellos pensaban que era la ausencia de una plataforma de modelado paramétrico para la arquitectura.

Así pues lanzan un producto (en fase de desarrollo), que permite crear muros e insertarle puertas y ventanas, apenas puede hacer algo más. Aun así, cabe destacar que fue uno de los primeros intentos de crear una herramienta paramétrica de software desde el sector de la arquitectura para el sector de la arquitectura.

En 1999, y después de unir a más gente a su empresa, deciden cambiar el nombre del proyecto al de '*Revise Instantly*' (*revisión instantánea*), más conocido hoy día por su nombre corto, *Revit*. La empresa cambia así su nombre al de *Revit Technology Corporation* y, cuatro versiones después (en el 2002), es comprada por *Autodesk Inc.*

El gran éxito de este programa fue la idea de su concepción, ya que a medida que se trabaja gráficamente, dibujando el edificio, el modelo de construcción paramétrico capta información sobre el desarrollo del proyecto de construcción de otros dibujos y documentación. Como resultado, la información adicional se crea simultáneamente y permite a los profesionales de la construcción cuantificar el alcance de los contenidos de un proyecto y materiales.

El programa usa un archivo único que contiene toda la información del proyecto, incluidas las vistas, las láminas y las bibliotecas de objetos paramétricos. De todas las aplicaciones BIM, es la que está más orientada hacia la tecnología de modelos de información, disfrutando de una estructura interna muy coherente en la que cualquier elemento del proyecto es tratado de manera similar. Por otra parte, dispone de una interface gráfica parametrizada, al estilo del software especializado, que le permite modelar cualquier elemento con independencia de su uso. También disfruta de herramientas que le permiten establecer determinadas relaciones asociativas entre objetos, sean del tipo que sean.



Ilustración 5 - Una de las primeras imágenes del Revit 1.0 en funcionamiento. Fuente: <http://revit.in> - Acceso: Abril de 2013

3.2.5 TEKLA

Otro desarrollador importante comenzó sus andanzas en 1966, en Finlandia, y su primer nombre fue 'Teknillinen Laskenta Oy', aunque se hizo más conocida por su abreviatura 'Tekla'. Esta empresa fue una de las emprendedoras en el desarrollo de *Procesos de Datos Automáticos* (ADP).

Aunque el primer enfoque de desarrollo de software se desplaza a la ingeniería estructural, construcción de carreteras y movimiento de tierras, en pocos años empieza a abordar el cálculo por el método de elementos finitos.

A partir del año 1986, desarrolla una tecnología de *base de datos virtual*, lo que provoca que el uso de *bases de datos relacionales*⁶ se vuelva más rápido.

⁶ Una *base de datos relacional*, es una base de datos en donde todos los datos visibles al usuario están organizados estrictamente como tablas de valores, y en donde todas las operaciones de la base de datos operan sobre estas tablas. Permiten establecer interconexiones entre los datos, y a través de dichas conexiones relacionar los datos de ambas tablas.

En el año 1993 saca al mercado *X-Steel*, renombrado a *Tekla Structures* a partir del 2004, una aplicación de software que permite crear un modelo 3D en tiempo real de la estructura que está siendo diseñada, ya sea de acero u hormigón.

Ya en 2011 lanzan *Tekla BIMsight*, que es una aplicación de software de colaboración en proyectos de construcción basado en BIM. Puede importar modelos de otras aplicaciones BIM utilizando el formato IFC.

3.2.6 AUTODESK

Autodesk Inc. se funda en 1982 cuando el programador *John Walker* compra el software *AutoCAD* a su creador, *Michael Riddle*. *AutoCAD* nació desde su versión 1.0 como un programa de diseño asistido por ordenador a partir del programa *MicroCAD*, al que en 1978 se le pasó a llamar *INTERACT*. Fue uno de los primeros programas CAD en trabajar en un PC.

En 1992 y después de conseguir un rápido crecimiento comprando *Generic CADD*⁷ y *AutoSketch* (ambos programas de dibujo en 2D), lanza *3D Studio R2* un programa de creación de gráficos y animación en 3D.

En 1998 da un paso más al lanzar *AutoCAD Architectural Desktop*, basado en *AutoCAD R14*. Un programa dirigido primordialmente al sector de la arquitectura y en el que los objetos interactúan y tienen relación entre ellos, más allá de la mera representación gráfica. Puede ser este el principio de la implementación BIM en Autodesk, que se completará, al fin, en 2002 con la integración de *Revit* e *Inventor* en Autodesk.

Uno de los hitos más importantes de Autodesk, y que debemos destacar, es la creación del formato de trabajo DWG. Un formato de archivo binario que almacena la información de los dibujos en tres dimensiones de forma vectorial y que se ha convertido en un estándar de trabajo. Su nombre proviene de la palabra inglesa 'drawing' (dibujo). A día de hoy existen veinte versiones diferentes del formato, que se han ido incorporando con las diferentes versiones de AutoCAD a lo largo del tiempo.

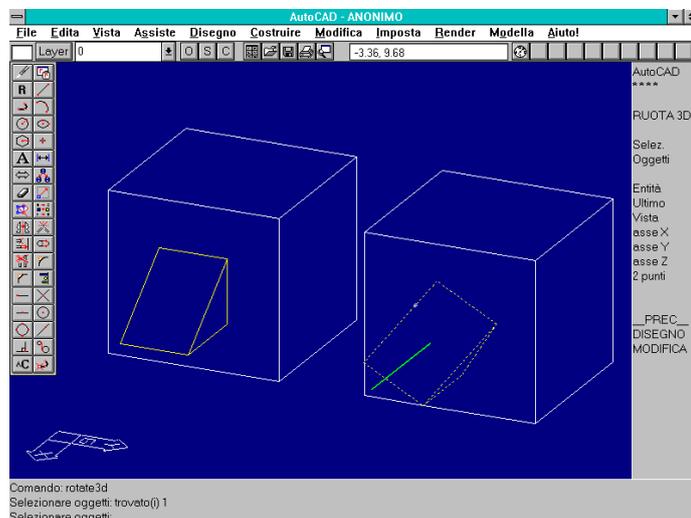


Ilustración 6 - Secuencia de trabajo en AutoCAD 12. Fuente: <http://www.camillotrevisan.it> - Acceso: Abril de 2013

⁷ CADD viene del acrónimo de la frase inglesa 'Computer-Aided Design and Drafting' (dibujo y diseño asistido por ordenador).

Para poder intercambiar información con otros programas CAD se ha creado otro formato llamado DXF⁸.

Aunque, debido a su naturaleza vectorial, DWG no es un formato adecuado para los procedimientos BIM, todos los programas con esta tecnología lo adoptan como soporte para importación/exportación de datos.

3.2.7 GRAPHISOFT

Graphisoft SE, es una empresa que nace en 1982 en Budapest, Hungría. Es fundada por *Gábor Bojár* e *István Gábor Tari* con el objetivo de desarrollar software modelador 3D para ordenador.

En 1984 y merced a la cooperación con *Apple Computer*, sale al mercado *Radar CH* (también conocido como *ArchiCAD 1.0*), uno de los primeros software de CAD en 3D que solo funcionaba con las computadoras *Apple Lisa*. No fue hasta 1993 que sale la primera versión de este programa con soporte para *Windows*, en este caso era *ArchiCAD 4.16* y funcionaba sobre *Windows 3.1*.

En 1996, y después de alcanzar récords de ventas en programas de CAD, Graphisoft pasa a formar parte de IAI (*Industrial Alliance for Interoperability*), establecida por las principales compañías de CAD para el desarrollo de una normativa común para la industria de la construcción.

Tal y como la hace Revit, se organiza en torno a un archivo único con un sistema de librerías que puede ser referido a archivos externos o que pueden pertenecer al propio proyecto. Su estructura de proyecto es muy similar, pero está más desarrollada y distingue entre las vistas y sus localizaciones en el modelo del edificio. Así, de una misma planta se pueden crear variantes diferentes y guardarlas como vistas bajo una estructura en árbol totalmente configurable. ArchiCAD no regenera las vistas de manera instantánea, como lo hace Revit, pero sí que lo hace de manera automática y, además, es capaz de editar el modelo a través de la modificación de cualquier vista o desvincularlo completamente de ella.

Conserva algunos vestigios de las herramientas de CAD tradicional, como el sistema de capas o el ploteado según conjuntos de plumillas, cosa que lo conecta con los usuarios de AutoCAD.

Los elementos paramétricos se guardan de forma de librerías y como archivos individuales y tienen un gran número de opciones que buscan cubrir todas las necesidades de diseño del usuario, objetivo que, a la práctica, consigue en la mayoría de los casos. No obstante, los objetos paramétricos deben estar preparados previamente con herramientas que exigen conocimientos de programación. Por esto, la biblioteca

⁸ Su nombre procede de la frase inglesa 'Drawing eXchange File' (archivo de intercambio de dibujos)

que viene con el programa es bastante completa y, gracias a la flexibilidad de sus opciones, consigue cubrir la mayoría de los casos.

3.2.8 NEMETSCHKEK

En 1963 el ingeniero *Georg Nemetschek* funda la empresa *Ingenieurbüro für das Bauwesen* (en español, *oficina de estudios técnicos para la construcción*) en Múnich. Esta empresa consigue ser una de las primeras empresas del sector de la construcción en utilizar el ordenador para el diseño y la construcción de obras de ingeniería. También comienza a desarrollar software para ingenieros, en un primer momento solo para cubrir las necesidades propias.

En 1980 presenta un software para el cálculo integrado y la construcción de componentes estándar para la construcción de fábrica, lo que permite utilizar por primera vez el software CAE⁹ en un ordenador personal.

En 1984 lanzan el primer software de CAD, se llamaba *Allplan V1*. En un principio este software permite la planificación tridimensional de edificios. Con el tiempo destacó como su producto más famoso y extendido, ya que ha incorporado procedimientos BIM.

A partir de la década de los 80 comienza su expansión internacional a través de la nueva empresa *Nemetschek Programmsystem GmbH*, la cual comercializa su software, hasta que a finales de los años 90 realiza varias adquisiciones de empresas como *Friedrich + Lochner GmbH*, dedicada al cálculo de estática. Hoy en día esta empresa se conoce como *Nemetschek Frilo GmbH*. También cabe destacar la compra de la empresa *Diehl Graphsoft* que se conoce actualmente como *Nemetschek North America* y que fue la creadora del producto *VectorWorks*, que ofrece capacidades de dibujo 2D, 3D y gestión de la producción para todas las fases del proceso de diseño, así como la adquisición de la empresa *Graphisoft*, creadora de *ArchiCAD*.



Ilustración 7 - Imagen del Allplan V1.
Fuente: <http://www.nemetschek-allplan.es> – Acceso abril 2013

Su estructura de documentación es radicalmente diferente al del resto de aplicaciones BIM nativas. Los proyectos se guardan en carpetas que contienen multitud de archivos que contienen la información del modelo. Estos representan divisiones físicas del modelo, generalmente por plantas y categorías de objetos. Por ejemplo, un archivo contendrá las distribuciones de la planta primera, mientras que otros guardarán el mobiliario, otros las fachadas, etc. Se trata de sistema que posibilita directamente el trabajo en equipo, puesto que cada usuario puede ocuparse un archivo diferente y

⁹ CAE procede del acrónimo de la frase inglesa 'Computer Aided Engineering', en español 'ingeniería asistida por ordenador'

permite estructurar el proyecto como se desee, por muy grande que sea. También limita el consumo de memoria de la aplicación. Además, a diferencia de otros, Allplan es capaz de editar más de un archivo a la vez, aunque las nuevas entidades se crearán siempre en el archivo activo, que siempre es único. Por el contrario, esta manera de organizarse lo hace mucho menos ágil a la hora de navegar por el proyecto si lo comparamos con ArchiCAD y Revit y también limita las relaciones asociativas entre objetos paramétricos, puesto que a menudo se encontrarán en archivos diferentes. También la distribución del trabajo en equipo será más tediosa puesto que debe modificarse el contenido de los archivos de proyecto.

3.2.9 GEHRY TECHNOLOGIES

La empresa *Gehry Technologies* (7) se funda en el 2002 por el equipo de investigación y desarrollo de *Gehry Partners* (la firma del estudio del prestigioso arquitecto *Frank O. Gehry*).

A partir del programa *CATIA v5* (usado en empresas de ingeniería) crean el software *Digital Project*, un programa nacido desde BIM y para BIM. Uno de los cambios introducidos por las tecnologías de *Gehry* a *CATIA* fue una nueva interfaz visual adecuada para el trabajo en arquitectura.

Hay muchas características avanzadas de implementación del sistema *CATIA*, que incluyen que el usuario puede definir y parametrizar las variables a nivel de geometría de detalle, así como la relación entre los objetos paramétricos. Además *CATIA* y el *Digital Project* son famosos por su capacidad para manejar geometrías complejas y paramétricas. Se ha utilizado en gran medida para aprovechar la dinámica de fluido en los aviones, la construcción naval y el diseño del automóvil. Por otro lado, ambos programas, pueden almacenar datos por productos y de forma separada, lo que permite aprovechar los diseños de ciertas partes para otros proyectos. El programa también puede producir información para muchos subsistemas como el cálculo de estructuras y el cálculo de instalaciones.

3.3 TENDENCIAS DEL PROCESO DE PROYECTO DIGITAL ACTUALES

Después de estudiar el contexto en el que aparece el énfasis en las tecnologías digitales de hoy, vamos a analizar cuáles son realmente las tendencias actuales.

El interés que rodea el proceso de diseño digital ha llevado a los investigadores y profesionales a examinar las diversas escuelas de pensamiento en la búsqueda de alternativas para mejorar el proyecto. Una cantidad considerable de profesionales se ven insatisfechos con el proceso de diseño tradicional. Se señala a varios problemas: la calidad estética y funcional de los objetos construidos, fallos y retrasos en la ejecución de la obra debido a la falta de comunicación entre los profesionales implicados, primeras patologías derivadas de los proyectos de conceptos erróneos, la ineficiencia energética,

el medio ambiente y el confort térmico. Profesionales, constructores y usuarios sienten las consecuencias de la ineficiencia de este proceso. La investigación de soluciones se puede describir en las siguientes direcciones:

3.3.1 LOS SISTEMAS CAD-4D Y CAD-5D

Una tecnología que ha recibido una amplia aceptación en la industria AEC han sido los sistemas CAD-4D. Este nuevo enfoque con una dimensión extra, implica la combinación de los datos de diseño 3D con la dimensión añadida de la variable tiempo. Los beneficios y ahorros son considerables y, por tanto, los propietarios y contratistas adoptan esta técnica como una herramienta de planificación de la construcción de complejos proyectos industriales y comerciales. Durante las últimas décadas la ratio coste/beneficio comienza a ser más atractiva gracias al aumento de la potencia de procesamiento de datos por computación y al aumento del tratamiento de datos en 3D.

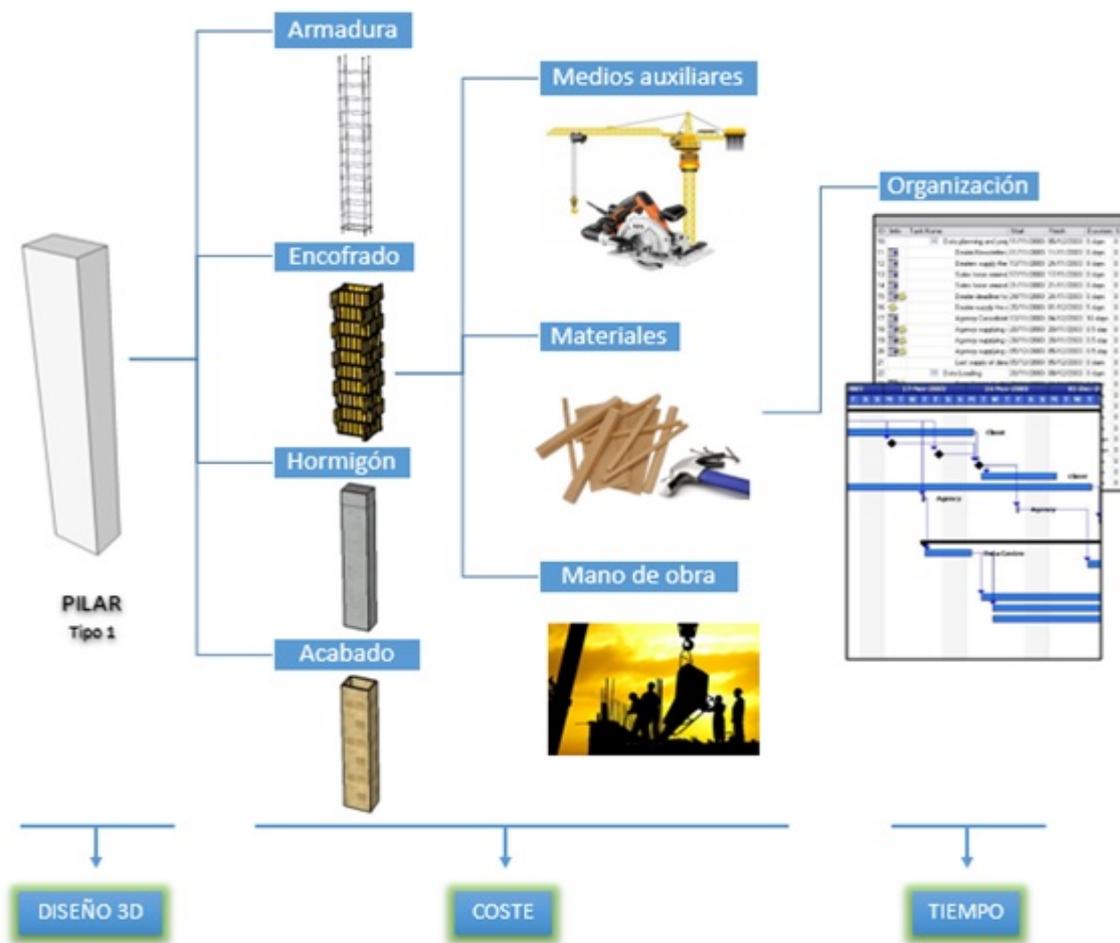


Ilustración 8 - Esquema secuencial de la construcción de un pilar para entender las cinco dimensiones. Fuente: Propia del TFG.

3.3.2 PROTOTIPADO RÁPIDO.

El 'Rapid Prototyping' (prototipado rápido) es una herramienta para ayudar en el proceso de diseño y ejecución. Son maquetas físicas rápidas hechas a partir de la

impresión del modelo en 3D en impresoras especiales. Los objetivos son probar las alternativas de diseño, mostrar las ideas a los clientes y producir prototipos de detalles constructivos para mejorar la comunicación entre los arquitectos y constructores. También se utiliza como una herramienta educativa para ayudar al desempeño de los estudiantes en el campo del diseño arquitectónico.

3.3.3 PROCESO DIGITAL BIDIRECCIONAL

En este modelo hay un intercambio entre los modelos digitales y los modelos físicos. Su ejemplo más notorio es el arquitecto estadounidense *Frank O. Gehry*. Su metodología consiste en crear modelos físicos utilizados para el diseño que son 'escaneados' y transformados en un modelo virtual. Una vez en formato digital, este modelo tridimensional permite una serie de análisis para facilitar su ejecución: análisis estructural, confort térmico, resistencia de materiales, etc. También permite la ejecución de piezas directamente a partir del modelo 3D, eliminando el uso de dibujos.

3.4 LA INDUSTRIA AEC

Como ya hemos visto hasta ahora, el campo del estudio teórico de las posibilidades y el campo del desarrollo informático, han evolucionado conjuntamente, de lo cual la industria del sector AEC ha ido tomando ventaja. Las empresas han tomado los frutos de esta provechosa relación y han convertido las partes teóricas en resoluciones prácticas, lo que a su vez retroalimenta la entrada de datos para nuevos estudios y nuevos desarrollos de software. Se cierra así un círculo que nunca deja de crecer, puesto que cuanto mejores son las herramientas de software que las empresas reciben, más beneficios pueden sacar de sus proyectos y, por tanto, más empeño pondrán en utilizar nuevas herramientas informáticas.

Así iremos viendo algún proyecto que, partiendo de la idea de trasladar la organización empresarial del sector industrial al sector de la construcción, se dan cuenta de que los beneficios y los ahorros que se producen son lo suficientemente interesantes como para empezar a tomarse en serio estas nuevas formas de ver la arquitectura.

Como primer ejemplo podemos ver que en 1976 la *Scottish Special Housing Association* (SSHA) (8), una asociación escocesa creada para proporcionar viviendas sociales de buena calidad, contrata a un gran número de ingenieros, arquitectos y aparejadores para edificar 80 viviendas en *Coatbridge*. En esta intervención, la SSHA, demuestra ser capaz de ahorrar un 4% de los costes de construcción usando diseños, detalles y herramientas totalmente automatizadas. Se percatan en ese momento de que los datos de los proyectos de construcción se pueden tratar como los de proyectos industriales, de forma que se consigue ahorrar costes.

En 1983 se desarrolla el proyecto del *Royal Bank of Scotland*. El desarrollo a estas alturas de mediados de los 80 en el sector de la informática, permite avances significativos y el proyecto se consigue modelar de tres formas: en 2D, en 3D y como modelo de propiedades térmicas. Finalmente se le muestra al cliente como un tutorial de animación, aunque quizás lo más interesante de todo es que se realiza íntegramente desde un solo modelo.

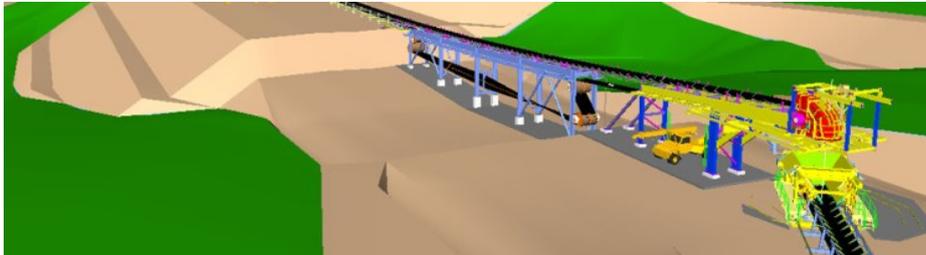


Ilustración 9 - Diseño de una planta de procesamiento de mineral, diseñada con el software Navigator de Bentley. Fuente: <http://www.globalskm.com> – Acceso: Abril 2013

El sector minero ha sido de siempre un gran impulsor de estas tecnologías, ya que demostraron ser capaces de mejorar las explotaciones. En 1997, *Bentley* adquiere *Jacobus* para desarrollar *Navigator*. La empresa *SKM* (9) utilizó el software para la expansión del procesamiento de mineral de hierro y la exportación, debido a, según sus propias palabras, 'su funcionalidad, facilidad de uso, la implementación y la configuración; los gastos generales de administración bajos y diseño abierto de los objetos'.

El sector público nunca ha dejado de quedarse atrás (aunque quizás si lo ha hecho en nuestro país). Un ejemplo de ello es Singapur que, en 2002, lanza *CORENET e-submission*, una herramienta digital de colaboración para la planificación de las aplicaciones. El *Construction and Real Estate Network (CORENET)* es un programa impulsado por la *Building and Construction Authority (BCA)* para rediseñar la industria de la construcción de Singapur que pretende dar un salto cualitativo en productividad y calidad, mediante el uso de tecnologías de la información. Su objetivo es rediseñar los procesos de negocio de la industria de la construcción para lograr una mejora en el tiempo de respuesta, productividad y calidad.

Quizás todo esto puede parecer insuficiente si sólo se tiene en cuenta el uso de estas herramientas en el campo aislado del diseño. Por eso nace la necesidad de crear un hilo conductor que aúne los esfuerzos de todas las partes implicadas en el proceso de construcción de un proyecto, desde su concepción hasta su puesta en marcha e incluso más allá. Fruto de esta necesidad se crea, en 1995, *Industry Alliance for Interoperability (IAI)*, que más adelante pasa a denominarse como *BuildingSMART*.

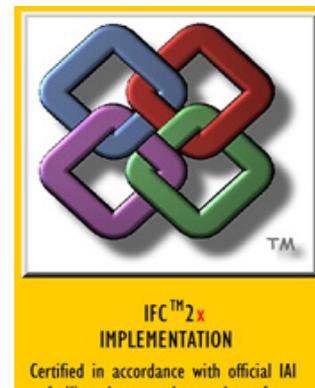


Ilustración 10 - Logotipo del formato IFC 2x2 – Fuente: www.buildingsmart.org – Acceso: Abril 2013

Es así como nace el protocolo de trabajo IFC, al cual dedicaremos un capítulo más adelante y que, básicamente, es un protocolo que permite a los arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros de edificación, estimadores de costo, desarrolladores, administradores de instalaciones, etc., compartir la descripción fundamental de todo el proyecto. Así pues lanza en el año 2003 el protocolo *IFC 2x2*, que posteriormente tendría más versiones.

Una obra a resaltar puede ser la de la *Terminal 5* (en adelante *T5*) del *Aeropuerto de Heathrow*, en Londres.

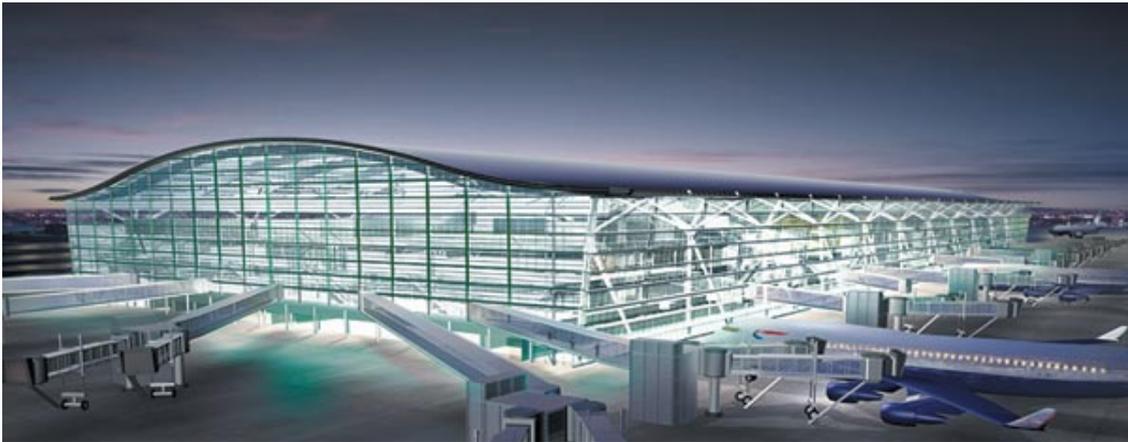


Ilustración 11 - Impresión artística de la Terminal 5 del aeropuerto de Heathrow. La terminal se inauguró en abril de 2008 y la segunda fase se inauguró en 2011. Fuente: <http://www.airport-technology.com/> - Acceso abril 2013

En 1995 la empresa *British Airports Authority* (BAA) inició un proyecto de recuperación para el proyecto de tren Heathrow Express tras el colapso de uno de los túneles el año anterior. Se creó un único modelo de representación (llamado *Single Model Environment - SME*), lo que permitió (entre otras cosas) el modelado 3D, la coordinación espacial, la visualización y gestión del dibujo electrónico. Se observó que se reducen los riesgos mediante el uso del SME.

El proyecto de la T5 se remonta alrededor de treinta años atrás, en la década de los 80, con un primer hito en el diseño cuando, en 1989, *Richard Rogers Partnership* ganó el concurso de diseño. En 1993 se presentaron solicitudes de planificación y de 1995 a 1999 se examinó en una investigación pública cada necesidad y cada aspecto del diseño con lo que se elaboró un informe. Posteriormente esto dio lugar a la aprobación por el Gobierno de Reino Unido en 2001, a pesar de que diferentes procesos intermedios duraron hasta el 2003.

Anteriores proyectos demostraron a BAA la importancia de un proceso de diseño más colaborativo. Esto se reforzó en 1995 con el proyecto anteriormente visto de *Heathrow Express*. En 1996 la empresa *Excitech* comenzó un proyecto para investigar cómo la información geográfica y los datos de diseño de construcción podrían coordinarse en un solo proyecto. *Excitech* no sólo demostró que era posible, sino que también expuso los

beneficios que traería. En 1997 estas técnicas se aplicaron a todos los datos del proyecto de BAA (unos 4 gigabytes). Esta gran cantidad de datos se manipuló y se fusionó en los diferentes formatos, sistemas y unidades de coordenadas para formar un SME, que además era conforme al estándar británico de representación en CAD y producción de información digitalizada (BS-1192 (10)). Este SME no se contenía en un solo archivo, pero se tomó la precaución de que cualquier elemento estuviera representado solamente una vez y, además, estuviera relacionado con todo el conjunto a través de ese único modelo representado.

La construcción comienza en 2002, dividida en 16 grandes proyectos. Ese mismo año se cambia la herramienta de diseño principal a *AutoCAD Architecture* (en ese momento llamada *Autodesk Architectural Desktop*), lo que hizo que la gestión de datos en 3D y objetos fuesen más eficientes. Entre otros también se usaron *MX*, *CAD-Duct*, *3D+*, *Xsteel* y *NavisWorks*. Este último, es un software que permite la detección de conflictos e interferencias mediante la revisión en tiempo real de los modelos. El objetivo principal, además del diseño y la construcción de la T5, consistió en asegurar que fuese entregado en plazo y dentro del presupuesto.

Como es de suponer, un aeropuerto no es una construcción cualquiera ya que abarca muchos campos diferentes y que además se deben realizar de forma coordinada y funcional. A mayores BAA se aseguró de que la información generada durante el proyecto fuese útil para el futuro mantenimiento de la terminal.

La Terminal 5 del aeropuerto de Heathrow fue finalmente inaugurada en el año 2008.

Como estamos viendo, la contribución de las TIC, y en concreto del BIM al sector AEC, es muy amplia y ha demostrado ser muy útil y beneficiosa. Cabe señalar que no todos los países han adoptado esta forma de trabajo y además en los países en donde se está trabajando todavía no está plenamente incorporado.

Según un estudio publicado por la editorial *McGraw Hill* (11), el uso de BIM en la industria en los Estados Unidos alcanza el 48%.

A medida que todo esto se establece en la industria y que los sectores públicos empiezan a involucrarse, se van abriendo nuevos campos, pero quizás lo más interesante es que desde las instituciones públicas se van consolidando los conocimientos adquiridos en el sector. A medida que los profesionales alcanzan estos conocimientos avanzados y los convierten en prácticas de buena costumbre, los nuevos mandatarios alrededor del mundo van observando que las formas de trabajar de la, cada vez más moderna, industria AEC, adquieren un rango que puede ser necesario establecer como un estándar de trabajo para mejorar la sociedad en sí misma, así como la economía del país.

De esta manera, diversos países han creído necesario estandarizar estos procesos. A partir del año 2007, en Finlandia y Dinamarca se requiere el uso de BIM para proyectos

del sector público. En los EE.UU., la GSA (Administración de Servicios General), dependiente del Gobierno, también obliga a utilizar BIM. En el año 2011, el Gobierno de Reino Unido anunció la adopción de BIM para proyectos públicos de más de 5 millones de libras, en un plazo de 5 años (a partir de 2016). En concreto exigirá usar *BIM Nivel 2* (del que se hablará más adelante).

Esto supondrá un repunte de proyectos adaptados a BIM, y por lo tanto una oportunidad de los técnicos para encontrar un campo extenso de trabajo. Además, cabe esperar que otros países tomen ejemplo y se adapten a lo que parece un trabajo más lógico y acorde con nuestra generación.

4. LA ESTANDARIZACIÓN

Un paso más avanzado sería buscar la operatividad y conectividad entre todos los programas que giran alrededor del BIM. Para ello es preciso una estandarización de los procesos, de forma que sea más sencillo la traducción entre un formato y otro. De esta idea nace en 1994 el desarrollo del estándar IFC.

El formato IFC, '*Industry Foundation Classes*', es un formato de datos de especificación abierta. Fue desarrollado por la IAI (*International Alliance for Interoperability*), predecesora de la actual *BuildingSMART*, con el propósito de convertirse en un estándar que facilite la interoperatividad entre programas del sector de la construcción.

Las clases y objetos IFC representan un modelo de información tanto geométrico como alfanumérico, formado por un conjunto de más de 600 clases y en continua ampliación. Todos los programas de software que soportan IFC pueden leer y escribir información e intercambiarla con otros programas. De este modo comunicamos 'objetos', con funcionalidad y propiedades.

Obviamente la funcionalidad no es total entre aplicaciones de software, pues cada programa puede tener su parcela propia. Sin embargo el solo hecho de poder traspasar de un programa a otro un muro y sus relaciones geométricas ahorra muchísimo tiempo y es una herramienta eficaz para el desarrollo del proyecto, la entrega, la documentación '*as-built*'¹⁰ o la gestión del mantenimiento.

Entre sus múltiples beneficios puede destacarse la comunicación entre los diferentes agentes que intervienen en el proceso constructivo, que permite dar soporte a la interacción entre ellos mediante un formato estándar.

De esta forma, los datos relativos al modelo constructivo son definidos solamente una vez por cada agente responsable, y son compartidos por los demás agentes intervinientes. Todo ello consigue un aumento de la calidad, la reducción de los costes, así como una consistencia de la información en la fase de proyecto y durante el uso de las construcciones.

4.1 UN SISTEMA DE INFORMACIÓN ESTRUCTURADA.

Tal y como ya hemos analizado, para organizar la información con el fin de maximizar su uso, se puede incluir el trabajo de un ordenador para facilitar su tratamiento. La información estructurada incluye bases de datos, hojas de cálculo y tablas.

Para entender mejor la diferencia de cómo BIM y CAD tratan la información, tomaré el ejemplo del diseño de un vaso como 'bloque' o 'símbolo' (dependiendo del programa

¹⁰ Se le llama '*as-built*' a aquella documentación que se redacta teniendo en cuenta el estado de la obra terminada, puesto que esta documentación no siempre es igual a la que se proyecta en un principio. Se puede traducir como documentación 'conforme a obra'.

de CAD que usemos), utilizando la información estructurada de un conjunto de líneas y formas.

En el caso de un programa de CAD, la información no estructurada nos conducirá a poder dibujar el objeto, aunque no nos permitirá pasar la información a través de todos los participantes en el proyecto, ya que no contiene la información completa del objeto y puede llevar a que una pequeña modificación conduzca a la pérdida de las propiedades fundamentales del vaso.

in embargo, en el caso del trabajo BIM, al tratar la información de modo estructurado y no como un objeto, se podrá modificar por otros colaboradores sin que el vaso pierda sus propiedades inherentes.

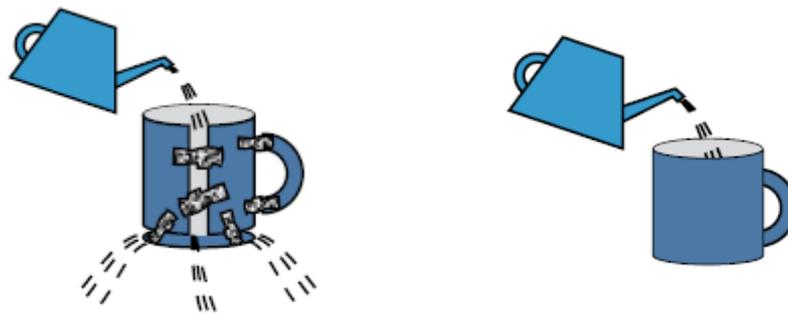


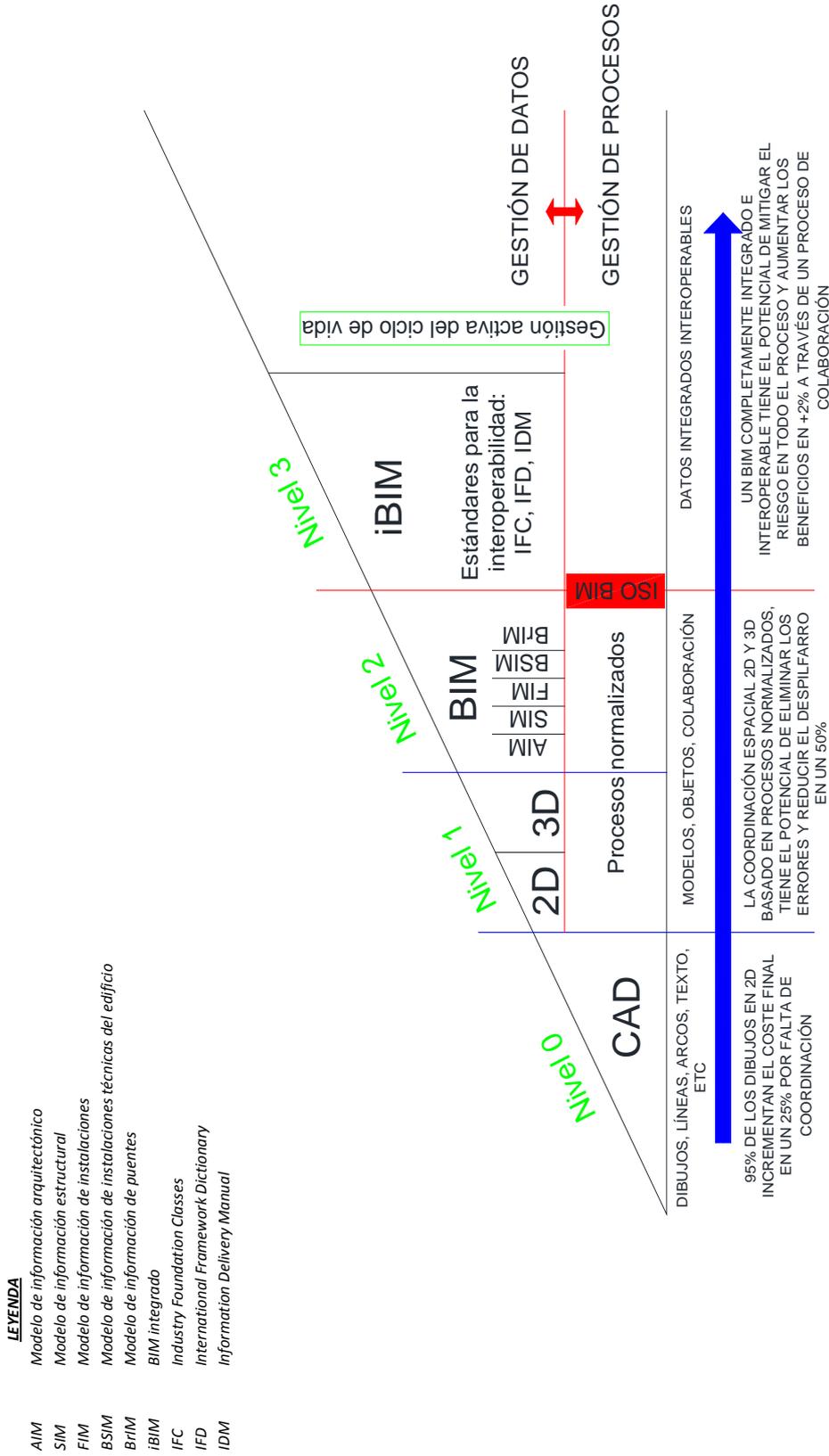
Ilustración 12 – A la izquierda simplificación del tratamiento de objetos con programas CAD. A la derecha Simplificación del tratamiento de objetos con programas BIM. Fuente: *Constructing the business case. BuildingSMART.2010. (29)*

Incluso en un caso más extremo, la información puede ser creada a trozos más simples por diferentes personas colaboradoras dentro del mismo proyecto. Una vez terminado el trabajo, podemos reunir los conjuntos de datos creados en uno solo.

Así pues, podemos entender que la información aportada por cada colaborador en el proyecto está inmediatamente disponible para los demás. De forma que el trabajo no pierde información y calidad, pero si gana en gestión de tiempo y, por lo tanto, de costes.

BIM ofrece la posibilidad de introducir en el proyecto los beneficios de la información compartida y estructurada. Permite a los procesos ser más eficientes y la introducción de un mejor análisis y métodos de control. Simplemente, el hecho de compartir documentos, podría mejorar los procesos manuales, pero el intercambio de información estructurada permite la validación y la comprobación de la calidad de la información utilizada en los procesos a controlar.

En una simple gráfica, llamada '*BIM Maturity Diagram*' y elaborada por *Mark Bew* y *Mervyn Richards* en el 2008 para el RIBA, y que recoge el documento *PAS 1192 (10)*, nos muestra de una forma visual cómo establecer los diferentes niveles de adaptación al trabajo colaborativo a través del BIM, teniendo en cuenta tanto la práctica profesional como los estudios teóricos que nos apuntan a cómo deben gestionarse los proyectos en un futuro próximo.



Distintos niveles de trabajo colaborativo

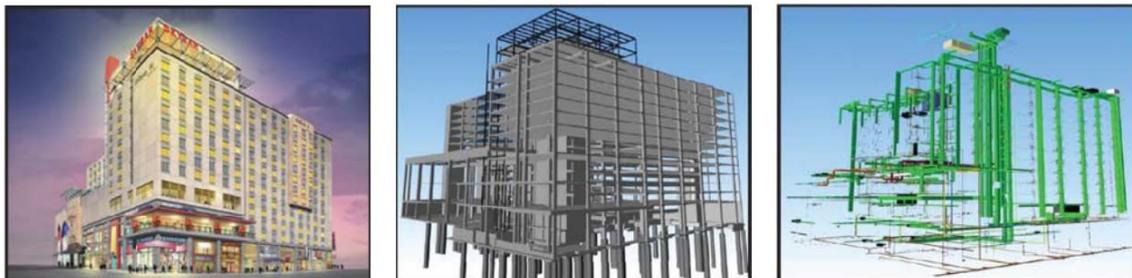
Ilustración 13 - BIM Maturity Diagram - Subiendo a través de los niveles de uso de la tecnología conduce a datos de trabajo y gestión de procesos eficaces. Fuente: Royal Institute of British Architects (RIBA).

Se definen cuatro niveles de adaptación al trabajo colaborativo, y es fácil de reconocer la ventaja que el BIM nos ofrece para poder ascender por esa recta de niveles, hasta el punto más alto que sería la integración completa de la interoperatividad en nuestros proyectos profesionales.

El primer nivel, se llamaría *Nivel 0*. En buena medida este nivel se basa en confiar toda la información a los archivos CAD en 2D con pocos, o ningunos, estándares o procesos comunes en relación al uso de CAD. La mayoría de los promotores y diseñadores de nuestro país han alcanzado y trabajan en este nivel.

El siguiente es el *Nivel 1*, en el que se usa el modelado 3D basado en CAD en etapas tempranas del proceso de diseño del proyecto, pero es poco frecuente que la información se use de forma colaborativa entre todos los agentes intervinientes. A pesar de que cada vez más empresas requieren el uso de esta tecnología, no es muy frecuente que se use controles coordinados a través de software especializado. Ya no solamente son importantes los datos generados, sino que además los procesos comienzan a tener algún tipo de norma a cumplir.

En el *Nivel 2* los equipos de diseño están integrados y coordinados, y se le requiere la presentación de información del modelo en 3D. Estos modelos 3D pueden ser plenamente integrados o pueden ser realizados por separado, pero el desarrollo del diseño debe ser gestionado y coordinado por una norma o estándar. El uso del BIM se hace imprescindible para una total coordinación entre los diferentes modelos del diseño (el de arquitectura, el de estructura y el conjunto de los MEP¹¹).



Modelo arquitectónico

Modelo estructural

Modelo de instalaciones

Ilustración 14 - Los programas BIM contemplan todos los modelos en un solo archivo. Fuente: Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice. NED University. Paquistán

Ya el *Nivel 3* requiere un único modelo de información y un enfoque totalmente colaborativo a través del diseño, la entrega y la posterior gestión del mantenimiento del edificio durante su vida útil. Quizás en nuestro país debemos de ser más realistas y debemos hablar de que este nivel es muy difícil de alcanzar en pocos años debido a la falta de formación entre los técnicos en esta materia y a la poca disposición de la

¹¹ MEP – Se conoce así al conjunto de la instalaciones mecánicas, de electricidad y de fontanería, por sus iniciales en inglés (Mechanical/Electrical/Plumbing)

inversión en nuevas tecnologías de las empresas del sector AEC en la situación de crisis actual. Aunque un punto muy interesante sería el de ver esto como una oportunidad de salida profesional para los técnicos, y de ahorro de costes a largo plazo para las empresas que los contraten.

Así pues, nos deja claro que para poder avanzar en los trabajos colaborativos, no sólo debemos de tener en cuenta las herramientas de diseño y gestión de la documentación, sino también la gestión de procesos, es decir, la forma en que se realizan. Para ello es inevitable establecer unos estándares de trabajo comunes para todos los técnicos participantes en los proyectos. Aunque sería todavía más interesante que la propia administración establezca unos parámetros de estandarización comunes para todo el sector AEC.

Para entender mejor el sistema que propone el RIBA debemos pensar que una vez que empezamos a estructurar y compartir información, nos estamos moviendo a un nivel completamente nuevo. En este nivel, el trabajo es a menudo en 3D (aunque todavía se utiliza el 2D), pero hay un mayor uso de las normas comunes y los elementos virtuales de construcción (Nivel 1).

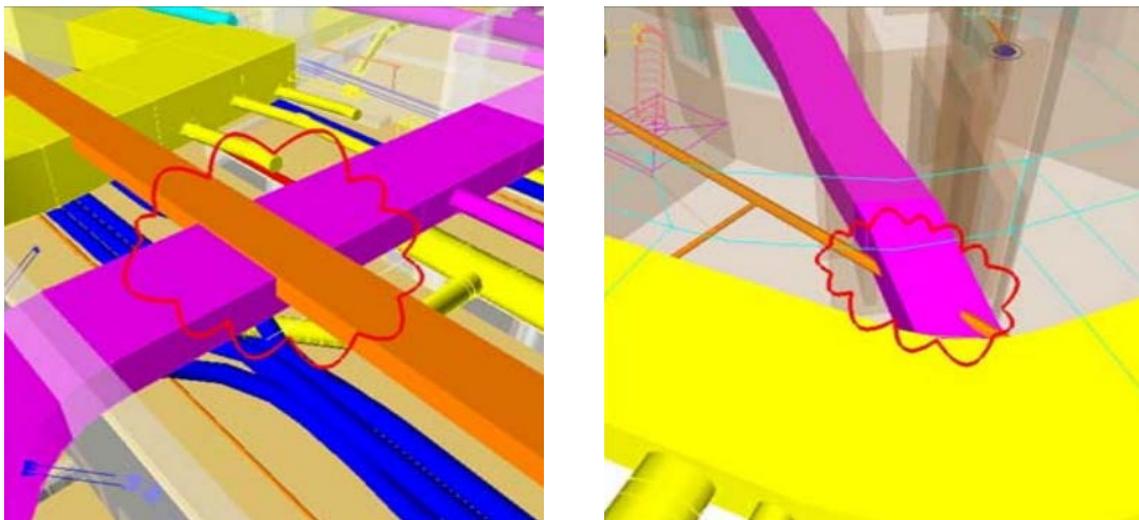


Ilustración 15 - La detección de errores a través de programas BIM se realiza durante la elaboración del proyecto. Fuente: Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice. NED University. Paquistán

La información estructurada se presenta en diversas formas, desde pequeños modelos temporales creados para un propósito específico, hasta modelos de uso compartido con múltiples propósitos.

Moviéndose a lo largo de la recta, un modelo realizado mediante una disciplina específica (estructura, arquitectura, ingeniería), ofrece un paso intermedio en el que los modelos pueden existir de forma independiente, pero pueden ser reunidos para un propósito determinado. Esto refleja la práctica convencional donde los dibujos se reúnen para la coordinación en momentos específicos de un proyecto. Al reunir a varios

modelos se pueden detectar conflictos (interferencias) o incluso nos puede servir como un tutorial interactivo, las partes podrán descubrir los problemas que necesitan ser resueltos.

Por último, un modelo BIM compartido, o colaborativo, puede ser utilizado por todos los contribuyentes al proyecto para agregar y modificar sus desarrollos de trabajo a lo largo del proyecto.

Tal y como se muestra en esta ilustración, BIM sigue desarrollándose. Es evidente que no todas las empresas adoptarán sistemas y tecnologías a la misma velocidad. Además, las empresas que adoptan BIM tendrán que pasar a través de un proceso controlado de cambio que abarca no sólo su organización interna, sino también la forma en que interactúan con sus empresas colaboradoras y sus clientes. La mayor parte del mercado sigue trabajando con los procesos de Nivel 1, y en el mejor de los casos están experimentando importantes beneficios al pasar a nivel 2.

4.2 LA NORMALIZACIÓN DE LOS PROCESOS

Es evidente que para conseguir alcanzar el *Nivel 3* tiene que ser de la mano del BIM. Pero avanzando un poco más sobre esa idea, es necesario que las empresas adopten estándares para lograr la normalización adecuada de los procesos.

Los estándares deben de ser creados por las empresas a nivel individual o por empresas u organizaciones normalizadoras para permitir que la información compleja pueda ser compartida. También se pueden establecer normas para un proyecto en particular con el objeto de garantizar su coherencia interna.

Las normas pueden llegar a normalizar aspectos como:

- el uso de identificadores únicos y confiables,
- el uso de nombres que se entiendan de forma inequívoca,
- el intercambio y los métodos de intercambio de información, como por ejemplo el uso de formatos tales como el *Industry Foundation Classes* (IFC),
- el uso de catálogos de productos para tipos o familias de productos.
- Las normas deben establecer los requisitos para mantener la coherencia, incluido el uso de las unidades y orígenes geográficos. Estos requisitos básicos deben complementarse con acuerdos sobre la identificación y designación de puntos específicos del proyecto de referencia, espacios, zonas, sistemas, tipos de costes y mediciones de cantidad. Los sistemas de clasificación como el *FIDE* (se verá más adelante) y *Uniclass*¹² pueden ser muy útiles en esta labor.

¹² Uniclass - *Unified Classification for the Construction Industry* (Clasificación Unificada para la Industria de la Construcción), publicada por *Construction Project Information Committee* (Comité de Información del proyecto de construcción de Reino Unido) en 1997. Es una norma pensada para la organización de bibliotecas de materiales y la estructuración de la documentación y la información del proyecto.

A menudo los proyectos y, por lo tanto, los promotores, requieren a sus proveedores utilizar unas normas particulares. Es decir, que todo proveedor que no pueda hacerlo estará en desventaja, ya sea de no poder ganar la licitación en el primer lugar o, al no implementarlas correctamente, incurriendo sanciones o responsabilidades a posteriori. Esto puede suponer un empuje para el enfoque de la metodología BIM.

Los acuerdos contractuales y cláusulas deben dejar claro las expectativas de información. En este sentido la norma *ISO 29481-1: 2010*¹³ ofrece una guía de las mejores prácticas sobre la manera de aprovechar los métodos formales de entrega de información.

Todos estos documentos también se deben de estructurar de manera que la información pueda ser rastreada y se pueda volver a utilizar. Esto va muy unido al nivel de *calidad* del producto de la construcción que queremos obtener y al análisis de ciclo de vida, del que hablaremos más adelante.

Los estándares deben de permitir las revisiones y los registros de problemas de mantenimiento, y exhaustividad con la que deben de evaluarse.

5. ESTÁNDARES EXISTENTES

Llegados a este punto, debemos resaltar la situación internacional en lo que se refiere a normas y estándares aplicables, ya sean privados o públicos. Partiendo de lo más cercano, cabe destacar que en nuestro país no es habitual que ninguna empresa utilice estándares. Esto se hace todavía más lejano si tenemos en cuenta la poca repercusión que tiene el BIM en el panorama de la industria AEC a día de hoy. Además el sector público de la Administración, todavía no se ha atrevido a dar el paso definitivo a incorporar el BIM a sus proyectos (salvo alguna excepción). Como ya hemos visto anteriormente, algunos de los países más volcados con la implementación de esta nueva metodología de trabajo, todavía no lo han hecho obligatorio. Es este el caso de Reino Unido, el cual tiene pensado incorporar la obligación de utilizar el BIM en proyectos públicos a partir de 2016. Todavía falta mucho para que en España nos empecemos a plantear este tipo de cosas, aunque sí existe alguna metodología de trabajo estandarizada que se podría popularizar.

5.1.1 ESTADOS UNIDOS

Una de las primeras normativas para instalaciones de carácter públicas fue la de *Texas Facilities Commission (Comisión de instalaciones de Texas, en los EE.UU., o TFC)*. La TFC es un organismo en el Estado de Texas que supervisa el desarrollo inmobiliario del estado actuando como propietarios y operadores de instalaciones estatales.

¹³ *ISO 29481-1: 2010 - Building information models – Information Delivery Manual - Part 1: Methodology and format* (Modelo de información de la edificación - Manual de entrega de información - Parte 1: Metodología y formato)

En el desarrollo de estas normas BIM la TFC ha sido muy exhaustiva e intentan abarcar tanto la construcción como la información geográfica. Esta tecnología de diseño digital, en forma de modelos BIM coordinados con abundancia de datos, da a TFC y sus profesionales de arquitectura e ingeniería la capacidad de explorar conceptos de diseño iniciales en 3D, análisis visual y simular proyectos antes de que comience la construcción, ayudar a identificar y reducir los costosos conflictos de diseño, y trabajar de una manera más colaborativa para producir una construcción más rentable, mejor y más rápido.

Según el documento *'Texas Facilities Commission – Professional service provider guidelines and standards'* (12) (*Comisión de Instalaciones de Texas - Directrices y normas para proveedores de servicios profesionales*):

[...] La TFC ha adoptado Building Information Modelling (BIM) como estándar para producir el diseño y la documentación de todos los proyectos bajo la autoridad TFC. El software CADD sólo podrá ser utilizado para producir documentos de reformas menores o proyectos de mantenimiento cuando sea aprobado por escrito por uno de los directores de TFC [...] y sólo para dibujos en 2D [...]

Además cita que los modelos BIM que se presenten deben de ser creados en formatos de archivos nativos legibles de las versiones más actuales del software que utilizan. En este caso sólo utilizan software de Autodesk (que ya hemos visto que tiene un software especializado llamado Revit).

Evidentemente, al tratarse de un estándar, lo que intenta esta comisión es que todas las empresas que concurren en sus obras trabajen con un mismo software, pero también con el mismo tipo de objetos definidos dentro de los proyectos. Para ello, y para ayudar en la incorporación de las normas BIM, la TFC proporciona los archivos de plantilla que se utilizarán en los proyectos estatales. Esas plantillas contienen objetos personalizados 'estandarizados' que ya cuentan con materiales y configuraciones predefinidos. Esto incluye las puertas con sus respectivos acabados y métodos de apertura y herrajes, así como los tipos de pared, estilos de habitación, y las definiciones de materiales personalizados. Vistas estándar, láminas y bloques de título también se proporcionan en las plantillas, además de todos los valores típicos que se establecen dentro de las plantillas.

Una cuestión interesante es que la TFC obliga a entregar dos archivos diferenciados del modelo, uno con el edificio real totalmente terminado (archivo de modelo), y otro más con las dimensiones, notas y detalles anotativos (archivos de anotaciones). Aunque este es un proceso poco usual en los usuarios de Revit, la TFC nos da tres razones:

- Limitar el tamaño del 'archivo central'.
- Maximizar la eficiencia del flujo de trabajo.

- Limitar el acceso a la documentación sólo a los responsables de cada ámbito de trabajo.

Este hecho puede parecer, en principio, algo raro, pero debemos de pensar que los edificios con carácter público pueden contener información de alto riesgo, y se debe de tener mucho cuidado los accesos que se permiten durante el proceso de diseño, construcción y mantenimiento de los mismos.

BIM STANDARDS – REVIT DOOR TYPES (KEY SCHEDULE)

The Project Template file has a library of TFC standard "Door Types" based on the function of the space the door is serving. Schedule information parameters are pre-defined as follows:

1. "2-" IN FRONT OF THE DOOR PANEL TYPE DENOTES A DOUBLE DOOR
 DOUBLE DOOR VISION PANEL CONFIGURATIONS ARE SIMILAR TO SINGLE DOOR CONFIGURATIONS
 2. PROVIDE 1/4" CLEAR TEMPERED GLASS IN ALL NON-FIRE RATED DOORS WITH VISION PANELS
 3. PROVIDE 1/4" CLEAR WIRE GLASS IN ALL FIRE RATED DOORS WITH VISION PANELS
 4. NOT ALL DOOR TYPES ARE UTILIZED IN THIS PROJECT - SEE DOOR SCHEDULE FOR RELEVANT DOOR TYPES

Hardware Abbreviations	CL – Closer EA – Electronic Access ED – Exit Device FBA – Flush Bolt (Automatic) PA – Power Assist KP – Kick Plate	LA – Latchset LO – Lockset (Office) LP – Lockset (Privacy) LS – Lockset (Storage) PP – Push Plate PU – Pull	RH – Robe Hook RM – Removable Mullion STW – Stop (Wall) SS – Smoke Seal TH – Threshold WS – Weatherstripping
-------------------------------	---	--	---

Ilustración 16 - Claves para la programación de puertas indicada en el 'Professional service provider guidelines and standards'. Fuente: Texas Facilities Commission (TFC).

Además da un vuelco a la forma de trabajo tradicional al incorporar un servidor que centraliza la documentación. Obliga a que tanto los archivos de Revit 'centrales' como los archivos 'locales' deben ser almacenados y accedidos desde *Servidor de Colaboración Central* de TFC. Si un proveedor de servicios profesionales desea trabajar en el archivo de Revit 'central', o incluso un archivo 'local', en los ordenadores de su propia casa, tienen que obtener una autorización para hacerlo por escrito. Este proceso es diferente que el proceso típico de un usuario que trabaja en su archivo 'local' en su propio ordenador. Los arquitectos, los ingenieros, y otros colaboradores del proyecto tendrán que acostumbrarse a no tener los archivos de diseño reales almacenados en sus propios equipos. Esta forma de trabajo garantiza la calidad en los procesos de solicitud de información y de control de trabajo para los coordinadores de equipo, puesto que todos los accesos quedan registrados en un solo servidor.

En definitiva el documento '*Texas Facilities Commission – Professional service provider guidelines and standards*' es un documento muy detallado que proporciona mucha información a todos los proveedores de servicios profesionales, aunque en el fondo intenta ser un documento que sea algo más que un mero contenedor de normas BIM.

De lo que se trata es de eliminar inconsistencias entre las diferentes empresas que proporcionan los archivos BIM a TFC, y documentar de forma exacta lo que se desea hacer. La finalidad última es crear archivos coherentes y que sean fáciles de comprender por el propietario (TFC) durante el ciclo de vida del proyecto, para poder mejorar y ahorrar en su mantenimiento.

5.1.2 EUROPA

Uno de los primeros países de Europa en dar el paso fue Dinamarca mediante la iniciativa 'Det Digitale Byggeri' (la construcción digital), que data del año 2007. A partir de ese año fue obligatorio la entrega en formato IFC de los proyectos públicos. En un principio, y mientras se estaba adaptando todo el sector a la nueva normativa, su aplicación fue bastante blanda y las propias empresas clientes del Estado decidían que sistema debía de ser usado o no, pero en la actualidad ya no existe esa flexibilidad.

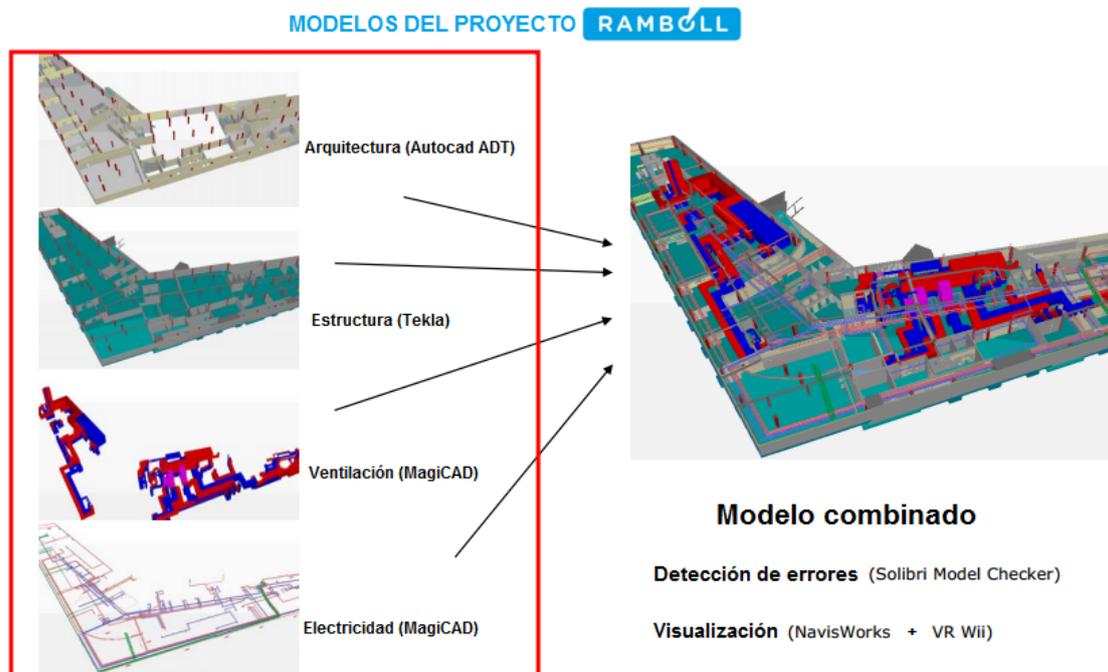


Ilustración 17 - La empresa privada Rambøll, ha decidido adoptar la norma 'Det Digitale Byggeri', para construir su sede central en Dinamarca. En la imagen se ven cómo diferentes modelos se han unido en uno solo, incluso usando diferentes tipos de software. Fuente: www.ramboll.com Acceso: Mayo de 2013.

El uso de modelos 3D de los proyectos se ha relacionado con el precio del proyecto. Para proyectos de más de 5,5 millones de euros, los modelos de diseño 3D tienen que cumplir una serie de requisitos en materia de contenido, los niveles de información para las distintas fases han de ser definidos por el cliente para cada proyecto individual. También hay algunos municipios y clientes privados en Dinamarca que exigen el modelado basado en objetos.

El marco de trabajo *Det Digitale Byggeri* (13) fue iniciado por la *Danish Enterprise and Construction Authority*, de carácter público, y se elaboró un conjunto de directrices

relativas a 3D. Las directrices abarcan tanto a la creación como al cumplimiento de las condiciones en el archivo de base de datos y aplicaciones en base CAD/BIM.

5.1.3 ESPAÑA - FIDE

Mención aparte requiere el desarrollo en nuestro país. En el año 2011, se formaliza el primer estándar BIM en España que fue promovido por la Generalitat Valenciana y el Ministerio de Vivienda y que fue bautizado como FIDE (14) (Formato de Intercambio de Datos de la Edificación). FIDE nace como un modelo de datos BIM que establece un marco de referencia de intercambio de información común a todos los agentes que participan en un proyecto de edificación a lo largo de toda la vida útil del mismo. El modelo de datos FIDE se centra en el ámbito del Código Técnico de la Edificación (CTE), que comprende el marco normativo que establece las exigencias que tienen que cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

El modelo de datos FIDE no es un formato propietario, sino que es un modelo público y abierto, apoyado por el Ministerio de Vivienda, y disponible para todos los agentes que participan en un proyecto de edificación. FIDE no es una aplicación informática ni un tipo de software, sino que es una herramienta que establece la metodología de intercambio de información entre los agentes del sector de la construcción y entre éstos y la Administración Pública.

Además, es un modelo basado en la información semántica del edificio. Esto significa que el modelo define todos los componentes que forman parte de un proyecto de edificación, las características y propiedades de los mismos y, sobre todo, las relaciones existentes entre ellos. De esta forma, la información completa asociada a un proyecto y generada a lo largo de la vida útil de un proyecto estará disponible para todos los agentes.

FIDE está pensada para que la compatibilidad entre distintas aplicaciones de software sea posible, reduciendo la dependencia de los proyectos de edificación de los formatos y sistemas propietarios.

Aunque este modelo contiene una gran cantidad de información, los ámbitos específicos que se han desarrollado más en profundidad son los Documentos Básicos (DB) del CTE referentes a la Limitación de la Demanda de Energía (DB-HE), y a la Acústica (DB-HR), aunque el modelo también contiene actualmente información relativa a los ámbitos de seguridad de utilización y accesibilidad (DB-SUA) y seguridad frente a incendios (DB-SI). Además el modelo incluye información en ámbito del control de la calidad en la edificación, y de otros documentos de carácter administrativo, como el *Libro del Edificio*.

Unos ejemplos de aplicación del modelo FIDE son la captura y el flujo de información en las fases iniciales del diseño, los intercambios para automatizar la validación de reglas, el intercambio de información entre el diseño y distintos cálculos como, por ejemplo, el

cálculo de la demanda energética del edificio, del consumo de sus instalaciones y de las propiedades acústicas de sus recintos.

Como es de entender, cualquier modelo de datos relacionado con la construcción, está en continua evolución. Es por eso que FIDE ha querido asegurar la calidad del modelo y su usabilidad, y para ello ha establecido una metodología de desarrollo que describe los procedimientos que se han de seguir para el mantenimiento y las extensiones futuras.

Para ello establece unas normas básicas de desarrollo relacionadas, por una parte, con la nomenclatura y la estructura del modelo y, por otra parte, con una buena documentación del mismo. Tampoco hay que perder de vista el estándar internacional IFC que servirá de referencia a la hora de desarrollar el modelo, estableciendo la estructura básica que seguirá éste.

El modelo FIDE contiene la información de los componentes que forman parte de un proyecto de edificación, incluyendo sus características, propiedades y, por supuesto, incluyendo las relaciones con otros elementos del proyecto. Entrando un poco más a fondo, FIDE contiene:

- **Descriptor de la edificación:** Incluye la información administrativa e identificativa asociada a un edificio. Esto incluye datos como su situación geográfica, su estructura principal, sus datos de entorno,...
- **Agentes:** Recoge la información necesaria para describir a una persona u organización que va a intervenir de algún modo en el ciclo de vida de la edificación, bien sea en su concepción, en su ejecución, en su mantenimiento, o en su explotación.
- **Elementos constructivos:** Engloba la información que define los elementos constructivos que componen la edificación. Actualmente, en FIDE están desarrollados los siguientes elementos constructivos:
 - Cerramiento horizontal.
 - Cerramiento vertical.
 - Ventana.
 - Puerta.
 - Escalera.
 - Rampa.
 - Barandilla.
 - Viga.
 - Pilar.
 - Muro cortina.
 - Materiales.
 - Instalaciones.



Ilustración 18 - Las aplicaciones de Software compatibles con FIDE podrán colocar un logo con la versión de FIDE para la que son compatibles y la fecha de la Certificación. Fuente: <http://www.fide.org.es> Acceso: Mayo 2013.

5.2 MEJORA DE LA ENTREGA DE INFORMACIÓN

Una de las claves para implicarse en el proceso de cambio a BIM es la mejora en la entrega de información. En el corazón de BIM hay tres beneficios clave para la gestión de la información:

- La información, una vez capturada, se puede reutilizar una y otra vez.
- La información puede ser examinada y revisada, corregida y controlada.
- La información puede ser verificada y validada.

Los técnicos del sector, en general, no saben expresar sus necesidades de forma simple y fácil de comprobar. Sin embargo, podemos decir que cuando la industria comience a expresar sus expectativas con antelación será capaz de asignar las personas adecuadas en los momentos en que se requiera el intercambio de información. Estos requisitos de intercambio, en forma de *'checklist'*, no son nada nuevo en sí mismos, pero cuando los participantes en el proyecto están utilizando BIM y trabajan de forma colaborativa, estos requisitos pueden formalizarse. Pueden dividirse en partes funcionalmente importantes, por lo que es posible verificar los resultados del intercambio de información y certificar que las herramientas que se utilizan para ello cumplen a la perfección con los requisitos establecidos.

Esto conlleva un efecto que tiende a repetirse y a generar confianza. Las mediciones tradicionales de productividad se solían hacer en función de las veces que se solicita información. Esto se vuelve menos relevante con BIM. La información es capturada y transportada a un nivel mucho más pormenorizado y está disponible de forma continuada, pero únicamente puede acceder a ella las personas que tengan los permisos adecuados. Esto es posible gracias a que con la metodología BIM se puede almacenar la información en un servidor colaborativo que esté disponible para nuestro proyecto.

Un beneficio importante de BIM es su capacidad para hacer que la información esté disponible antes y durante el proyecto. Las paradas imprevistas en el camino crítico debido a la falta de información son tan destructivas como la falta de recursos materiales, pero por otra parte la producción convencional (sin BIM) sólo proporciona información hacia el final de cada fase.

Sin embargo, mediante el uso de BIM, se dispone de información más rápido y se pueden producir con mucha frecuencia informes de verificación provisionales. El número de solicitudes de información es probablemente la medida más útil del valor que ofrece BIM. Con la alta colaboración que se produce en BIM, cabe esperar que el número de las solicitudes de información vaya a caer significativamente. Como cada solicitud requiere trabajo para que pueda ser resuelta, cuantas menos existan significará que invertimos menos tiempo de trabajo en eso, y se tendrá más tiempo de trabajo disponible para producir y mejorar el diseño y para la construcción.

6. ANÁLISIS PRÁCTICO EN BIM - LA VILLE SAVOYE

Para comprender mejor el funcionamiento de BIM y su método de trabajo procederemos al estudio de una de las viviendas de referencia del prestigioso arquitecto *Charles-Eduard Jeanneret* (más conocido como *Le Corbusier*).

La *Villa Savoye* es un edificio situado en *Poissy*, a las afueras de París, que fue construido entre 1929 y 1931 por encargo de *Pierre Savoye*. Como datos característicos podemos señalar que:

- El edificio descansa sobre *pilotis* (columnas) en planta baja, dejando la superficie en su mayoría libre.
- Cubierta plana, sobre la que se sitúa un jardín.
- Espacio interior libre, debido a la estructura basada en pilares y tabiques.
- Fachada libre de elementos estructurales, de forma que puede diseñarse sin condicionamientos.
- Ventanas corridas en las fachadas para conseguir una profusa iluminación natural en el interior (*fenêtre en longueur*).

La *Villa Savoye* se encuentra hoy restaurada como casa-museo, y está protegida como monumento nacional francés.

Pero antes de comenzar con su estudio, debemos de entender como es la metodología de trabajo de BIM.

Tal y como explica *Bouzas Cavada* en su informe '*Abramos la caja de herramientas BIM*' (15),

'...para comprender lo que BIM significa debemos de dejar de encorsetarlo como un conjunto de herramientas informáticas, debe de ser entendido como un nuevo enfoque del trabajo, una forma distinta de gestionar el proceso proyectual y constructivo con el objeto de mejorar la productividad y rentabilidad del mismo. Ahora bien, tampoco podemos olvidar que esta metodología utiliza procesos, herramientas y técnicas cuyo conocimiento y dominio es imprescindible para conseguir los objetivos antes citados.

Es conveniente entender el significado de ciertos conceptos para entender la profundidad y la cadena de trabajo en el método BIM.

Entenderemos como proceso a un conjunto de acciones y actividades interrelacionadas realizadas para obtener un producto, resultado o servicio predefinido. Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las herramientas y técnicas que puedan aplicarse y por las salidas que se obtienen.

Por otro lado las entradas son cualquier elemento del proyecto, interno o externo, que sea requerido por un proceso antes de que dicho proceso continúe. Puede ser el resultado de un proceso anterior.

Como herramienta entendemos algo tangible, como una plantilla o un programa de software utilizado al realizar una actividad para producir un producto o resultado.

Una técnica será un procedimiento sistemático definido y utilizado por una o más personas para realizar una o más actividades para producir un producto o un resultado, o prestar un servicio, y que puede emplear una o más herramientas.

Para finalizar, una salida no es más que un producto, resultado o servicio generado por un proceso. Puede ser un dato inicial para un proceso sucesor.

Así queda claro como sería el proceso de trabajo de modelado de un edificio:

En este proceso tenemos entradas y salidas, y para procesar los datos necesitamos herramientas y técnicas. El programa de modelado es una herramienta y por eso no se debe entender BIM solo como un programa, sino como un conjunto de procesos interrelacionados, como una metodología.

Por otro lado nos habla de las diferentes herramientas que podemos encontrar para trabajar, y las clasifica en don grandes grupos:

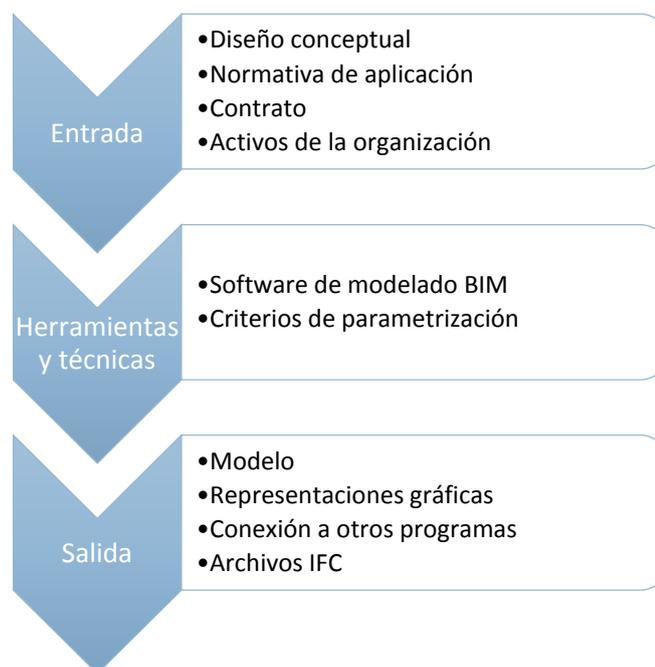


Ilustración 19 – Proceso de trabajo de modelado según Bouzas Cavada. (15).

- *Herramientas para la creación de contenidos (o authoring tools): Es el instrumento más importante a disposición del equipo de diseño, pues con él se crea el modelo que servirá para su posterior análisis y dotación de información asociada, que se realizará de forma gradual a medida que se avanza en el ciclo de vida del proyecto.*
- *Herramientas de auditoría y análisis (o audit and analysis tools): Están pensadas para hacer una sola cosa, complementan a las herramientas de creación de contenidos y necesitan de ellas para obtener el modelo sobre el que trabajar. A su vez, pueden clasificarse en interactivas y unidireccionales conforme a la relación que se establezca con el entorno de modelado [...]’.*

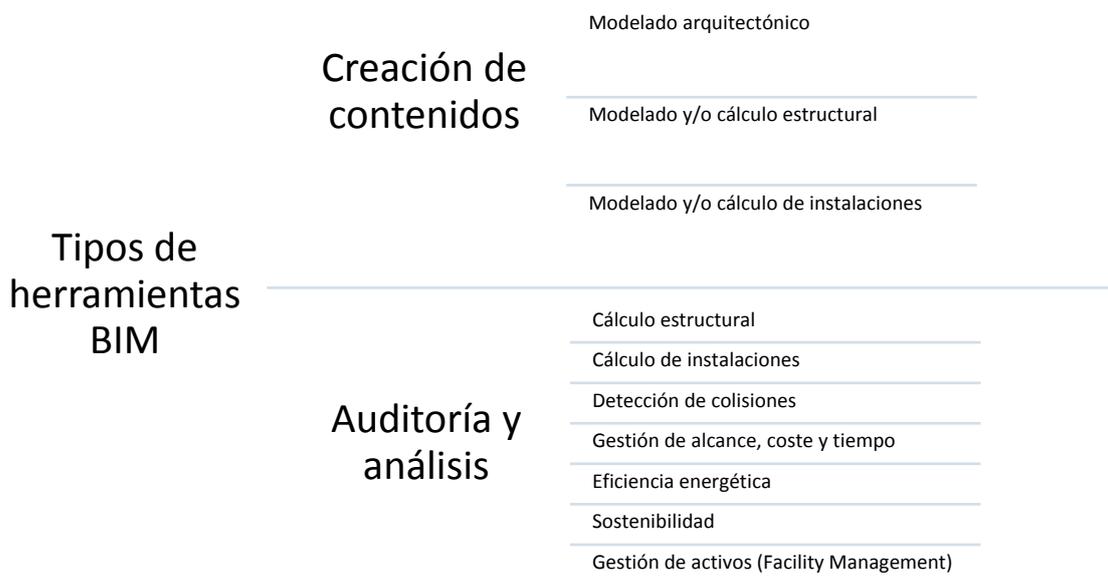


Ilustración 20 – Clasificación de las herramientas BIM según Bouzas Cavada (15).

6.1 LAS DIMENSIONES DEL BIM

A medida que el uso de BIM se establece a lo largo del mundo, vamos observando como la productividad de los proyectos aumenta. Así pues es normal que surjan nuevos campos de especialización. Ya hemos visto con anterioridad como el proceso integrado (iBIM) abarca muchos campos de trabajo convencionales (estructuras, instalaciones,...).

Países como Reino Unido están ya en la vanguardia del uso de esta herramienta. El informe del RIBA y el NBS ‘National BIM report’ (16), del año 2013, nos indica el nivel de uso de BIM entre los profesionales de Reino Unido. De la encuesta que han realizado se desprende que en un período de tres años el 90% de los profesionales de la industria AEC esperan usar BIM como herramienta de trabajo. Además los profesionales dicen

estar de acuerdo con que el gobierno obligue a utilizar BIM en los proyectos públicos a partir de 2016.

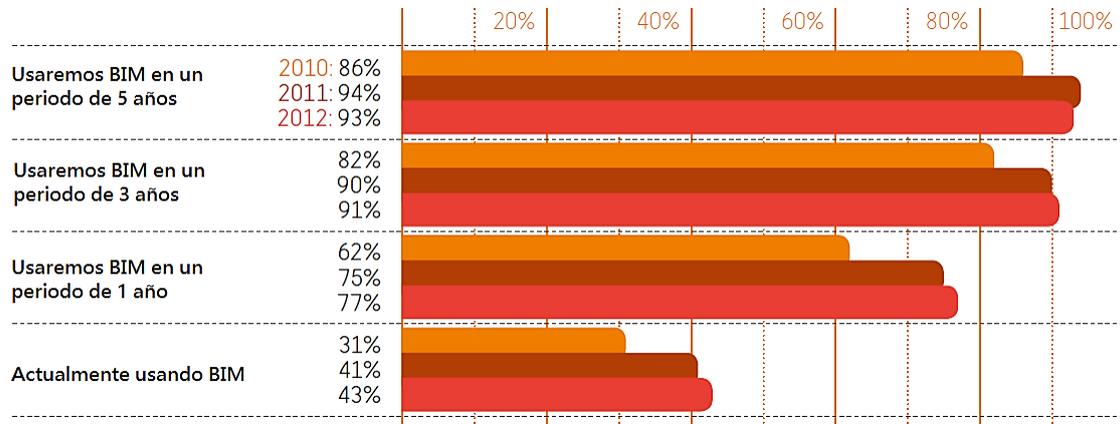


Ilustración 21 - Encuesta sobre la utilización prevista del BIM entre los profesionales de la industria AEC en Reino Unido. Fuente: National BIM Report 2013. RIBA y NBS (16).

Sin embargo si tenemos en cuenta la forma de trabajo en España en el campo de construcción, es evidente que no cuaja de forma definitiva como sucede en los países nórdicos, Reino Unido y Estados Unidos. La idiosincrasia de nuestro sector hace que muchas veces los proyectos se realicen entre varios profesionales y que cada uno proteja su campo por no revelar el *know how*¹⁴, por no incurrir en futuras responsabilidades por errores o porque se llega a considerar que el modelo completo no formaba parte del encargo inicial. Es este un comportamiento habitual en la construcción en España, sobre todo entre los técnicos que se encuentren en un nivel de adaptación al BIM muy bajo y que trabajan con documentación en dos dimensiones, y que suelen recibir y entregar documentación incompleta o, cuanto menos, degradada, ya que se ha realizado simplemente para cumplimentar su parte del trabajo. Un ejemplo de esto es la práctica habitual de no enviar las plumillas o los enlaces externos junto con los documentos CAD, o enviar los bloques descompuestos. Estamos hablando, por tanto, de profesionales que se encuentran en el *Nivel 0* o *Nivel 1* y que sólo realizan tareas con un valor a corto plazo. Los procesos que requieren un importante trabajo previo de preparación, sin obtener resultados inmediatos, sólo son apreciados por los usuarios más exigentes o que están ya incorporados a un nivel más superior en la escala del RIBA. Y aun así, estos procedimientos tan particulares que buscan la máxima eficiencia, sin un entorno que los entienda, pueden llegar a ser perjudiciales para el resto de los colaboradores puesto que la información no queda accesible de una forma sencilla.

¹⁴ Expresión para denominar a los conocimientos preexistentes y que incluyen las técnicas utilizadas, información secreta, teorías e incluso datos privados.

Para evitar ese tipo de problemas las herramientas BIM ofrecen cada vez más posibilidades de ampliación de documentación, buscando así que un solo modelo pueda contener toda la información accesible y actualizada para todos los técnicos en cualquier momento del proceso de diseño, ejecución y mantenimiento durante todo el ciclo de vida del edificio. Nace así la idea de incorporar otras dimensiones al modelo inicial.

6.2 LA DIMENSIÓN PLANA – 2D

BIM y CAD representan dos aproximaciones fundamentalmente diferentes al diseño arquitectónico y su documentación. Las aplicaciones de CAD imitan el tradicional proceso de papel y lápiz con dibujos electrónicos de dos dimensiones creados desde elementos gráficos 2D como líneas, tramas y textos, etc. Los dibujos de CAD, de forma similar a los dibujos en papel, son creados de forma independiente por lo que cada cambio en el diseño debe revisarse y modificarse manualmente en cada uno de ellos. Las aplicaciones BIM imitan el proceso real de construcción. En lugar de crear dibujos con líneas 2D se construyen los edificios de forma virtual modelándolos con elementos reales de construcción, como muros, ventanas, forjados, cubiertas, etc. Esto permite a los arquitectos diseñar edificios de la misma forma en que son construidos. Como todos los datos están guardados en un solo modelo virtual central, los cambios en el diseño son automáticamente detectados y realizados en todos los dibujos individuales generados desde el modelo. Con esta aproximación integrada del modelo, BIM no solo ofrece un significativo incremento en la productividad sino que sirve como base para unos diseños mejor coordinados y para un proceso de construcción basado en el modelo. Mientras que el cambio desde CAD a BIM está ya justificado con los beneficios obtenidos durante la fase de diseño, BIM todavía ofrece más beneficios durante la construcción y operativa de los edificios.

Aunque el software de modelado en 3D es casi tan antiguo como el software de diseño en 2D, el software 2D, de forma sorprendente, se hizo mucho más popular. Podríamos señalar dos razones por las cuáles se produce esto que sería, por una parte la facilidad de uso y aprendizaje de la mayoría de las herramientas CAD y, por otro lado, que el precio del software es, por lo general, más asequible que el software BIM o la combinación de otros.

Ambos sistemas continuarán funcionando bien mientras se mantengan en sus propios campos de trabajo. Los intercambios de trabajo entre usuarios 2D se realizan de forma sencilla ya que el concepto de los programas que usan esta tecnología es el mismo.

Aun así, el CAD no deja de ser una herramienta muy productiva y que puede incorporar diseño en tres dimensiones. De hecho sigue siendo la herramienta de diseño más utilizada hoy en día entre los profesionales tal y como refleja la encuesta realizada por el RIBA y el NBS en Reino Unido durante el año 2012 (16).

Uno de los mayores inconvenientes que aporta el uso de CAD es la dificultad a la hora de añadir cambios al proyecto una vez se ha terminado. El proceso puede llegar a ser muy largo y además se lleva a cabo de una forma muy rudimentaria cambiando plano por plano. Aunque es cierto que en los últimos años las innovaciones en el proceso de escalado y anotación han mejorado, facilitando así los cambios.

Este proceso todavía se complicaría mucho más si tenemos en cuenta que los proyectos suelen llevarse a cabo entre varios profesionales. En estos casos la coordinación es fundamental porque el software no consigue discernir conflictos entre copias dentro de un mismo proyecto que se ha avanzado de forma paralela por diferentes técnicos, como por ejemplo el técnico que proyecta la estructura y el que proyecta las instalaciones.

La adopción de los modelos de información produjo cambios significativos en las prácticas de trabajo tradicionales. Un cambio predecible que se debe de esperar cuando dejamos atrás el CAD para incorporarnos al BIM, es el hecho de poder anticipar las decisiones sobre los requerimientos del diseño desde las primeras etapas del proceso de proyecto. La anticipación de las decisiones de diseño tiene ventajas significativas sobre las prácticas actuales. En efecto, el coste de las modificaciones producidas en los proyectos de construcción va aumentando a medida que se vayan haciendo sobre el final de la etapa del proceso de construcción. La siguiente imagen representa el impacto de la anticipación de decisiones de proyecto en la construcción.

El significado de las cuatro curvas mostradas en la figura es la siguiente:

1. Posibilidad de producir impacto en los costos y aspectos funcionales del proyecto.
2. Coste de los cambios producidos en el proyecto.
3. Proceso CAD.
4. Proceso BIM.

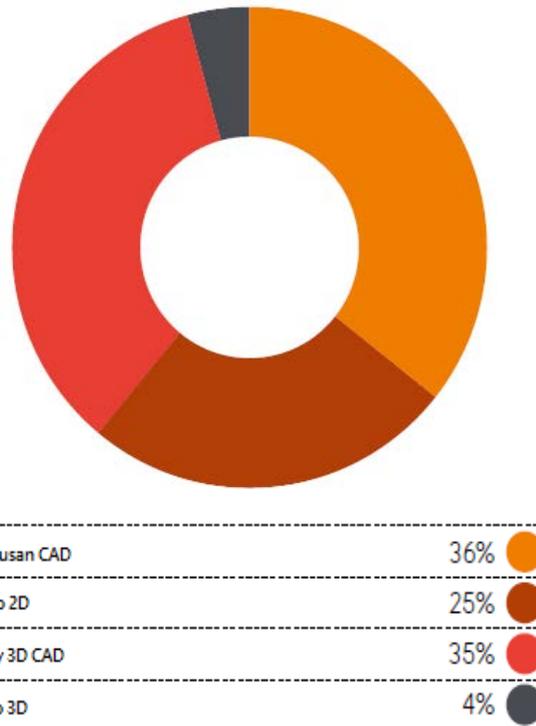


Ilustración 22 - Encuesta sobre la utilización de CAD entre los profesionales de la industria AEC en Reino Unido. Fuente: National BIM Report 2013. RIBA y NBS (16).

En el eje de abscisas, las letras A a G representan las etapas sucesivas del proceso de construcción:

- A. Promoción y pre-diseño.
- B. Estudio previo.
- C. Desarrollo del diseño (proyecto).
- D. Proyecto de ejecución (documentación de la construcción).
- E. Contratación.
- F. Gestión de la construcción.
- G. Explotación.

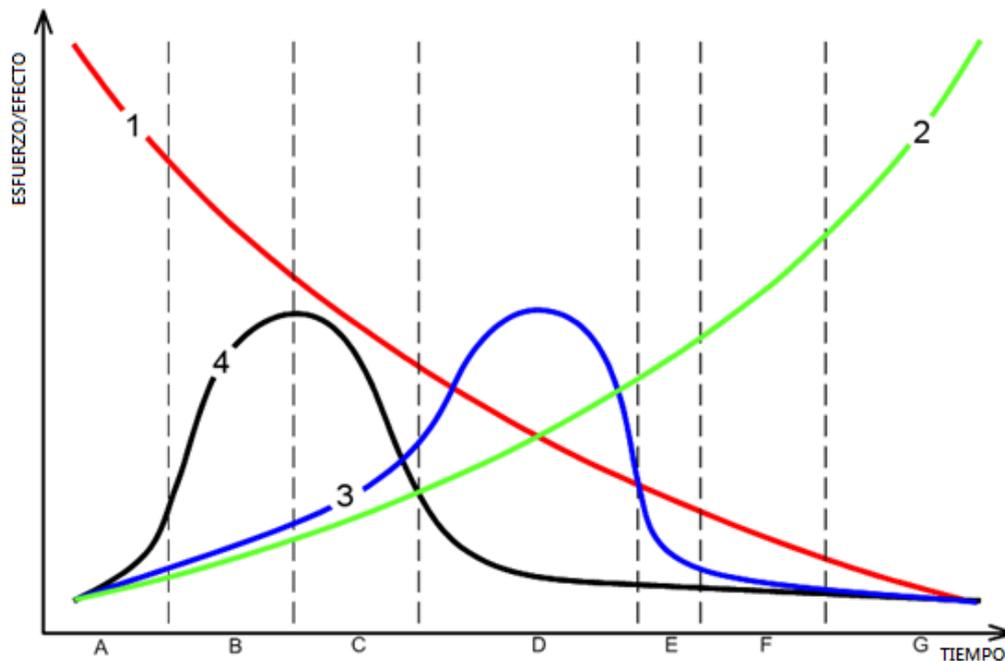


Ilustración 23 - Curva de MacLeamy. Fuente: <http://paginas.fe.up.pt>. Acceso: Mayo 2013

A esta curva se dio el nombre de *curva de MacLeamy* en honor al director ejecutivo de la firma de arquitectos *HOK*, *Patrick MacLeamy*, quien en el 2004 dibujó una serie de curvas basadas en la evidencia de que un proyecto es más difícil de cambiar cuanto más avanzado está y además el coste de estos cambios se incrementa.

MacLeamy argumenta que un aumento del esfuerzo en la fase de diseño beneficia a todo el proyecto, aunque donde encontramos los beneficios es en términos de coste, ya que este esfuerzo se llega a percibir como un valor añadido al proyecto. Además con este cambio se asume que el proceso de diseño se puede anticipar a los acontecimientos y se pueden conocer los problemas del diseño antes de que lleguen a suceder.

Realmente con el sistema de trabajo y pagos fraccionados que practicamos habitualmente en España, este método se podría considerar un fútil esfuerzo que requiere una cierta cualificación de los técnicos que lo desarrollen y, por lo tanto, un aumento del coste. Es por esta razón que el paso de CAD a BIM no debe de ser

únicamente un simple cambio de software en los departamentos técnicos, sino que debe realizarse un cambio en la mentalidad de todos los agentes intervinientes y por tanto en todo el proceso constructivo. Como sucede en todo cambio profundo, se ha de valorar de antemano que los beneficios no se reflejarán a corto plazo, pero una continua aplicación de estos métodos aumentará los beneficios a largo plazo.

Pasando al caso de la *Villa Savoye*, el proceso de trabajo BIM me ha permitido generar gran documentación en planos 2D de la misma forma que lo haría con un programa CAD. La diferencia es que los errores que se corrigen durante el diseño en uno de ellos, se corrigen de forma automática en el resto de planos que se vean afectados.

Al final del documento se incorpora un amplio ejemplo de estos planos en 2D, creados sobre el proyecto de la *Villa Savoye*. Los planos se sacan de forma directa de un modelo de información BIM creado con la herramienta *Autodesk Revit 2014*. El proceso de creación de planos es la parte más sencilla. Todo comienza con la introducción de datos para conformar el modelo arquitectónico, la creación de plantillas de trabajo, esquemas, y la incorporación de familias con objetos creados con anterioridad. Una vez creado el modelo es muy sencillo pedirle que nos arroje datos, ya sean en forma de planos o en forma de hojas de cálculo, tablas, o esquemas de color. Esto se debe a que BIM almacena los datos de una forma coherente en bases de datos.

6.3 LA INCORPORACIÓN DEL TERCER EJE – 3D

Quizás esta sea la dimensión más visualmente atractiva del BIM. Esto es debido a la aparición de programas de diseño que pueden realizar la visualización en tres dimensiones. Pero no debemos de confundir la mera visualización en tres dimensiones con los modelos de información que usan la tercera dimensión. En un sistema BIM, la tercera dimensión es una herramienta para introducir y mostrar datos. La visualización en sí misma dependerá a partes iguales del software que usemos y del hardware del que disponemos. Así pues la visualización no es la finalidad de los sistemas BIM ya que, aunque son programas tecnológicamente avanzados en esta dirección, existen otros que nos permiten llevar acabo renderizados¹⁵ con una calidad muy alta.

El modelo 3D representa la geometría del edificio y es una colección de objetos: como muros, losas, columnas, puertas, ventanas, etc. Es una manera perfecta de visualizar que el producto final se verá tal y como lo hemos diseñado.

Hoy en día es relativamente sencillo que los programas BIM incorporen métodos que permitan realizar cambios en el modelo 3D y se visualicen automáticamente en el modelo 2D. En el caso de Autodesk Revit el cambio es instantáneo, en los demás

¹⁵ Renderizado – Es un término utilizado para referirse al proceso de crear una imagen mediante iluminación indirecta, partiendo de un modelo en 3D.

automático. Esto permite al usuario BIM una mejor percepción y coordinación de los elementos que está dibujando en cada momento.

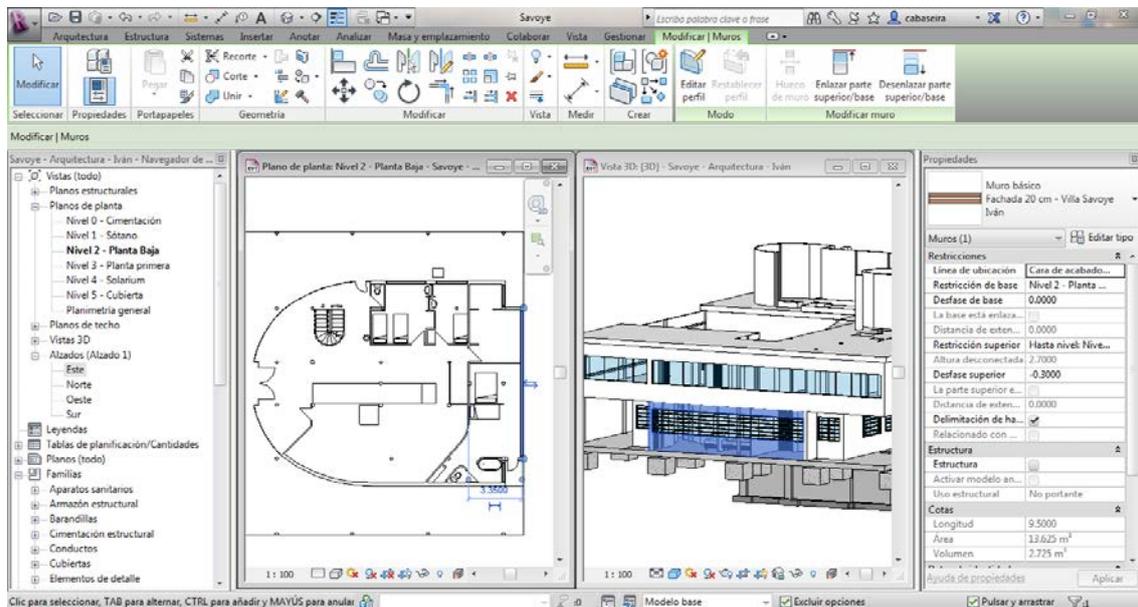


Ilustración 24 - En los modelos de información BIM, los cambios se realizan de manera automática en todas las visualizaciones. En la imagen podemos ver la modificación de un muro en una vista 3D y su instantánea modificación en el modelo 2D, sin que el usuario tenga que intervenir. Fuente: Propia del TFG.

La primera inyección de procesos BIM fue algo primaria, se trataba de una simple transición de CAD-2D a BIM-3D. En esta primera oleada se crea una gran cantidad de modelos BIM, pero siempre después de que se haya creado ya la documentación de la construcción del proyecto. Debido a la forma de trabajar que tenían estos equipos, la información podía incluso llegar a ser errónea o, cuanto menos, contradictoria.

Estos modelos anteriores son una mera representación CAD-3D de edificios que sólo controlan la geometría del proyecto y coordina las posibles 'colisiones' entre la estructura y los sistemas de construcción.

Ya en una segunda fase, las oficinas de arquitectura comenzaron a coordinar el trabajo en un entorno BIM. El verdadero avance llegó cuando se encontraron con los beneficios de la automatización y la generación de documentación, así como los sistemas de detección de colisiones. Un caso aparte merecen los sistemas que comentaremos más adelante como son los BIM-4D, 5D, 6D y 7D, que revolucionaron el mercado aportando una implementación de calidad a los proyectos tradicionales y cambiando el mercado y la forma de trabajar del sector AEC.

Junto con los desafíos que representa la implementación de este sistema de trabajo, se presenta otro reto para las organizaciones y empresas que quieren adoptarlo, estamos hablando de la propia resistencia de unos técnicos a los que les cuesta actualizarse. Es evidente que la formación que requiere BIM es un cambio de mentalidad en la forma de concebir los proyectos. En muchos casos, debido a la inmediatez de trabajo que

requieren los proyectos, los profesionales optan por ceñirse al uso de herramientas CAD-2D y en el mejor de los casos el uso de BIM-3D.

Esto nos lleva a pensar que quizás no sólo debe de cambiar la forma de pensar de nuestros profesionales, sino también debe de cambiar la forma en que educamos a nuestros futuros profesionales en las escuelas técnicas hoy en día.

En este sentido quizás esta, la tercera dimensión, sea el punto por donde debemos de empezar la formación y la puesta a punto del conjunto de los profesionales activos y que se están formando en estos momentos, ya que esta dimensión es la más atractiva visualmente y más fácil de comprender su funcionamiento.

Sin embargo gran parte de lo que se anuncia hoy sobre el BIM está sobrevenido. BIM sigue siendo un proceso relativamente manual o en el mejor de los casos de automatizar parcialmente los procesos. Arquitectos e ingenieros utilizan mucho tiempo de modelado y los objetos que se especifican suelen ser objetos ya fabricados con anterioridad, pero cuya información todavía permanece en analógico, catálogos PDF o CAD. Actualmente hay signos iniciales de un movimiento masivo para crear catálogos digitales poblados de objetos inteligentes que podrían ser incorporados en los modelos BIM. Los metadatos de esos objetos pueden ser buscados y requeridos automáticamente tal y como hoy buscamos hoteles y billetes de avión. A través de los fabricantes, distribuidores y contratistas, incluso se podrían proporcionar ofertas iniciales para mejorar significativamente las tareas tales como: la estimación de costos, adquisiciones y cumplimiento de pedidos. También un motor de precios podría hacer del modelo BIM un portal de internet: un motor BIM-3D de metadatos integrado de forma completa con un sistema de distribución global.

El modelo podría proporcionar precios en tiempo real de múltiples marcas que se pueden conectar automáticamente con todas las partes interesadas: como constructores, subcontratistas y distribuidores.

Así podemos entender que un modelo de información BIM-3D, deja de ser un mero renderizado de unas operaciones hechas en el espacio plano.

El hecho de que el futuro pasa por la tercera dimensión es claro. Podemos recordar la transición de los planos dibujados a mano a CAD de ingeniería. En principio CAD no era un cambio tan importante como BIM está demostrando ser, sin embargo, CAD, ha cambiado la manera en que diseñamos, nuestros procesos y la economía de las empresas de diseño. Tendremos que multiplicar esto por muchas veces y añadir a los fabricantes, contratistas, propietarios y operadores como parte integrante de BIM para poder empezar a comprender el verdadero impacto de BIM.

Sin embargo, para poder alcanzar estos objetivos que nos proponemos para dar el salto del CAD-2D al BIM, seguramente, tendremos que pasar por estos cuatro pasos:

- Filtro de datos – Los datos de diseño que se han creado en un programa de CAD-2D normalmente se pueden convertir en una base de datos de CAD en 3D. Generalmente estos datos como las dimensiones, los parámetros y las capas de tipo de línea son filtrados antes de ser importados en un sistema BIM. El proceso de filtrado por lo general tiene como resultado una conversión precisa de 2D a 3D.
- Identificar geometría proyectada – Para evitar fisuras en la transición de datos de un sistema CAD-2D a una herramienta CAD-3D paramétrico, es esencial permitir la orientación rápida y precisa de los datos de varios puntos de vista (un modelo 3D puede ser visto desde seis orientaciones diferentes). Este proceso se establece orientando varias vistas dentro de una caja de visualización que proporciona los tres planos - XY, YZ, ZX.
- Alinear varias vistas geométricas - Se debe identificar en primer lugar los puntos de vista básicos necesarios para la creación de un modelo 3D, ya que la orientación y la alineación son importantes para la extrusión del modelo 3D. Estas alineaciones pueden ser llevadas a cabo usando una técnica de traducción básica que incluye por lo general sólo un comando para mover al plano apropiado. Esta es la mejor manera de asegurar un modelo 3D preciso.
- Extrusión - Este proceso se utiliza para modelar superficies complejas.

Debido a la naturaleza precisa de los pasos necesarios para convertir los dibujos en 2D a modelos BIM, en muchas ocasiones persisten los errores, para eso las visualizaciones BIM nos permiten futuras modificaciones.

En el caso de la Villa Savoye, el modelo de información arquitectónico en 3D no sólo es un modelo para sacar visualizaciones. En BIM el modelo 3D es la herramienta básica de trabajo. Desde el principio del proyecto se trabaja en este modelo, así pues es posible crear rápidas vistas que nos permitirán una mejor percepción del modelo, pero no sólo esto, si no que nos permite analizar el edificio desde diferentes perspectivas de forma instantánea, de manera que cualquier cambio que se realice sobre el modelo en cualquiera de estas visualizaciones, también se hará permanente para el resto de ellas.

Al final del documento se muestran imágenes renderizadas del modelo 3D, así como otras visualizaciones útiles del modelo para el trabajo.

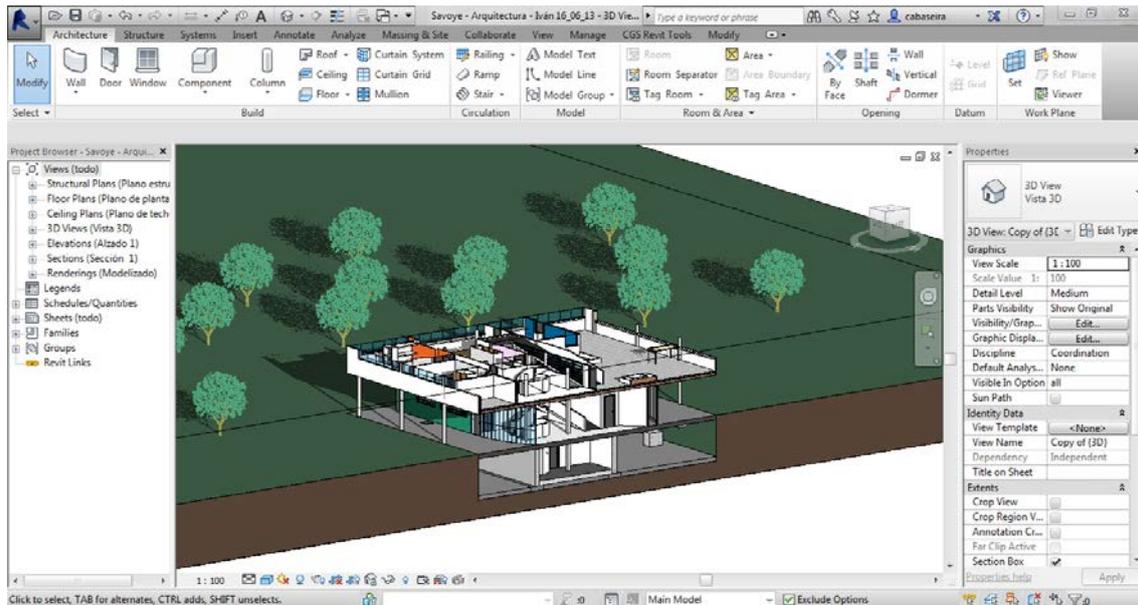


Ilustración 25 – Las diferentes formas de visualización de BIM nos permiten trabajar de una forma más realista sobre un modelo único de información. Fuente: Propia del TFG.

6.4 EL ANÁLISIS DE LA PROGRAMACIÓN TEMPORAL – 4D

Uno de los desarrollos más recientes e interesantes en el mundo BIM ha sido la introducción de una nueva dimensión. Mientras CAD-3D y BIM recorren de forma exhaustiva las dimensiones del espacio, BIM-4D integra el tiempo en el proceso.

Ya hemos visto el potencial de los modelos BIM en 3D. Estos modelos son ideales para visualizar el aspecto que tendrá el proyecto, cómo se integra en el paisaje actual, y tal vez incluso para hacer un recorrido virtual para mostrar cómo los visitantes interactúan y fluyen a través del edificio.

Pero hay otros usos para la geometría en el modelo. A partir de la geometría y la experiencia combinada del *Project Manager* y del *Jefe de Obra*, podemos obtener las cantidades de construcción a grueso modo. Estas cantidades pueden ser el alimento a partir del cual se pueden crear las programaciones y las estimaciones. Sin embargo, en el mercado se cuestiona si el BIM-4D puede representar la secuencia del proyecto o si por el contrario debe derivarse como una consecuencia de una programación.

Las personas con más experiencia piensan que el BIM-4D ha de ser a la vez secuenciación y programación, además de control de producción en obra con el Jefe de Obra y las Subcontratas, y que incluso se podría llegar a la confrontación de estos datos con facturas en la misma obra. Estos pioneros afirman además que 4D BIM debe integrar la medición de materiales necesarios para la obra, recursos, índices de productividad y los costes laborales en el BIM (recordemos que la 'I' de BIM significa *información*), aunque esta última parte la dejaremos para cuando hablemos del BIM-5D.

Hay diferentes tipos de software que incluso realizan una secuencia propia de construcción y planificación y que también pueden producir una animación 4D. Esto significa que a los elementos del modelo se les asigna una secuencia de construcción lógica y se pueden poner juntos en una animación que muestra al futuro propietario cómo se reunirán para formar el edificio. Hay una gran diferencia entre una animación 4D y una programación 4D, pero muchos propietarios están confundidos sobre este matiz.

Una programación BIM-4D es una derivación directa de la geometría BIM-3D y una optimización de los recursos. A partir de la geometría, extraemos cantidades y asignamos estas cantidades a los recursos. Ahora podemos aplicar la secuencia lógica, incluyendo personal necesario, tasas de productividad y precios, llegado el caso. Mediante la creación de un programa optimizado conseguimos que el proyecto fluya sin problemas.

Además de aportar un alto nivel de inteligencia en el procesado y una fácil colaboración para el diseño y construcción de edificios, la cuarta dimensión entrelaza la información BI-3D con la programación del método de ruta crítica (CPM) del proyecto, optimizando la cadena de suministro, los plazos y las operaciones de la obra, colocando todos los datos en un modelo 3D visualmente digerible.

Uno de los principales usos del 4D en proyectos de construcción es su capacidad para facilitar guías sencillas, visualmente intuitivas para los propietarios e interesados en la obtención de un análisis detallado de ejecución constructiva dirigida por una línea de tiempo. Ésta incluye simulaciones animadas en las que se indica el orden en que los trabajos van a ser completados, junto con el tiempo que tardará en completarse sobre la base de una compleja serie de algoritmos de programación.

El hecho de que estas accesibles simulaciones tomen algunos puntos del diseño matemático sin contar las ecuaciones, también proporciona una clara ventaja en el proceso de licitación. Una presentación simulada 4D tiene el doble propósito de definir una visión integral del plan de construcción de un contratista y, a la misma vez, demostrar que el constructor está al día con las tecnologías más avanzadas. BIM-4D ya ha demostrado su eficacia en una amplia gama de proyectos inmobiliarios de gran escala.

Sin embargo, el software BIM-4D no trata sólo de hacer presentaciones accesibles para el usuario. La utilidad de los datos 4D es mucho más profundo, permitiendo a los contratistas hacer una planificación improvisada en los cambios de horario y logística, con base en la información de los modelos BIM-4D, optimizando así los flujos de trabajo.

La construcción es un trabajo repetitivo en las localizaciones donde se realiza. Estos lugares pueden ser identificados visualmente en modelos 3D, donde se complementa con los datos de tránsito que pueden ser usados para calcular la duración exacta en las

operaciones en cada lugar. Este cálculo automático permite optimizar el tiempo utilizado por el personal, para lograr así un continuo flujo de trabajo y reducir diversos problemas en el proceso. Lo más interesante es que esta optimización puede reducir la duración del proyecto en un 10% sin aumentar los recursos.

Con todas estas ventajas que se disponen desde las primeras etapas del diseño hasta el final de la construcción, sería fácil asumir que los métodos basados en BIM-4D, se han convertido en la actualidad en un estándar de la industria en todos los lugares del mundo.

Sin embargo, los aspectos económicos afectan claramente a un proyecto en su diseño y construcción, tanto como en las tecnologías empleadas para su diseño. En el actual panorama de recesión del mercado, el énfasis en proyectos de construcción se ha centrado en la entrega de edificaciones seguras, pero con el presupuesto más bajo posible.

Para muchos proyectos más pequeños o de tamaño medio, el costo asociado que viene con el uso de tecnologías avanzadas de BIM es simplemente demasiado alto para ser viable. Esto limita su uso a gran escala y mega-proyectos, en los que BIM afronta mediante un diseño inteligente un producto de gran detalle visual, tomando en cuenta los datos más complejos en su desarrollo, lo que realmente justifica su elevado costo.

Pero a medida que los precios bajen y aumente la eficiencia del software, como es inevitable, lo más probable es que vayamos empezando a ver el uso de herramientas basadas en BIM-4D a través de una franja mucho más amplia de proyectos de diseño y construcción.

Cabe decir que existen muchos programas que permiten crear tablas de programación temporal como por ejemplo: *Microsoft Project*, *Oracle Primavera*, *Vico Software*, *Innovaya Simulation*, *Asta PowerProject*,...

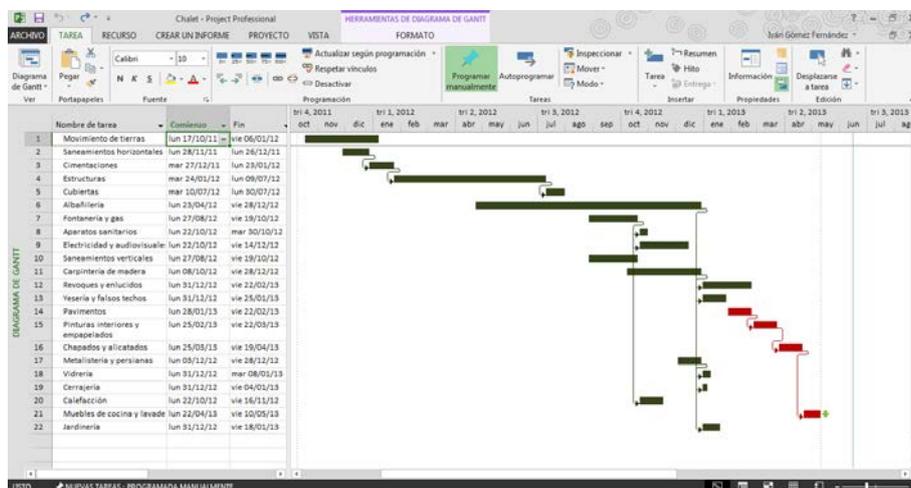


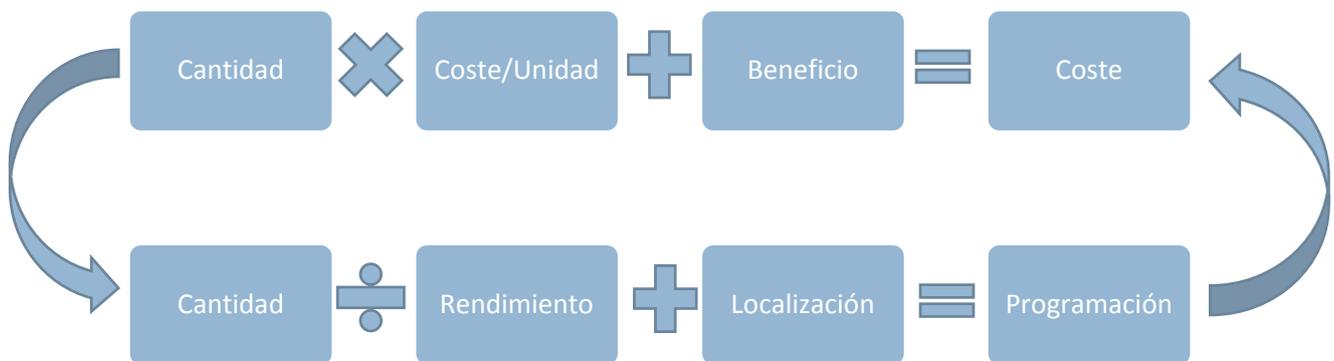
Ilustración 26 – Imagen del programa Microsoft Project 2013, que permite crear programaciones temporales. Fuente: Elaboración propia del TFG.

6.5 EL ASPECTO DEL COSTE/PRESUPUESTO – 5D

Como ya hemos visto con anterioridad, la cuarta y quinta dimensión ya fueron incorporadas al CAD hace tiempo y, además, con gran aceptación debido al amplio uso de los programas CAD.

Pero vamos a echar un vistazo atrás y ver como se fueron incorporando estas prácticas al proceso de modelado BIM.

La progresión parece lógica: todo comienza con planos 2D y luego recibimos o hacemos los modelos 3D y se coordinan, entonces realizamos las mediciones de los materiales con programas 4D y a continuación realizamos una estimación del coste para alcanzar así la quinta dimensión del BIM.



Una vez que tenga las cantidades, es sólo una cuestión de conseguir la tasa de producción (rendimiento) de las ofertas de las contratistas (y/o los datos históricos de su empresa), dividir el proyecto en localizaciones lógicas, y aplicar los costos unitarios a los materiales, equipos y mano de obra.

Para poder alcanzar el BIM-5D desde este paso, tenemos que empezar a utilizar el modelo 3D para conseguir las mediciones. Corregir y coordinar cantidades es la clave tanto para la programación 4D como la estimación del 5D.

Con todo esto las aplicaciones del BIM-5D (como *Autodesk Quantity TakeOff*, *SkyBIM*, *Presto*, *Vico Software*,...), pueden llegar a ser muy productivas, pudiéndose resumir en:

- Es posible mostrarle al promotor que sucede cuando se efectúa un cambio en la programación o el presupuesto mediante una virtualización del proyecto.
- Es posible organizar una base de datos interna de nuestra empresa con una relación de precios, costos, tasas de productividad de trabajo, composición de cuadrillas de manos de obra especializadas o indicadores clave del rendimiento de nuestros subcontratados.
- Prever el flujo de caja.

- Proporcionar múltiples e iterativas estimaciones de coste al promotor, para que pueda compararlo rápidamente con el coste objetivo de la operación.

BIM-5D es más que la estimación basada en modelos. Es una nueva forma de trabajar con los grupos técnicos del proyecto y propietario, abarcando una gran cantidad de información y experiencias en el proyecto de una manera visualmente comunicativa.

Por otro lado es interesante conocer el desarrollo de estas herramientas y como han evolucionado los últimos años.

Según el informe de G. Valderrama y S. Acosta titulado *‘Algunas experiencias, tres claves y una propuesta para integrar el modelo BIM y el presupuesto’* (17)

‘[...] existen programas de modelado de arquitectura enriquecidos con información constructiva y documental desde mucho antes de que se definiera y popularizara el término BIM [...].

Pudiera parecer que, a partir de aquí, los enlaces con BIM fueran los que contaban con mayor proyección, pero no es así. Los enlaces se han ido desarrollando en el sentido que los usuarios se han ido decantando por un software de trabajo.

(17)‘[...] Históricamente, el enlace con más éxito entre los usuarios fue precisamente el que presentaba un menor atractivo a priori como es la generación de mediciones a partir de archivos DWG. Esto puede parecer difícil de explicar, pero no es así.

La extracción automática tradicional de las mediciones a partir de un modelo BIM se basa en la idea de un proyectista integrado, que realiza el modelo y en el momento deseado realiza las acciones necesarias para extraer el presupuesto.

La lectura de archivos DWG, por el contrario, se realiza por un profesional distinto de quien realizó el modelo BIM. Trabajando directamente desde el programa de presupuestos organiza la información gráfica a su manera, filtra, ordena o elimina las entidades y las capas, en un proceso dirigido manualmente que reconstruye las intenciones del diseño, corrige errores y completa lagunas. Durante este proceso asigna las unidades de obra a las entidades gráficas, ya que esa información no figura en el archivo de origen, y las traspassa al presupuesto, donde continua realizando ajustes y cambios [...].’

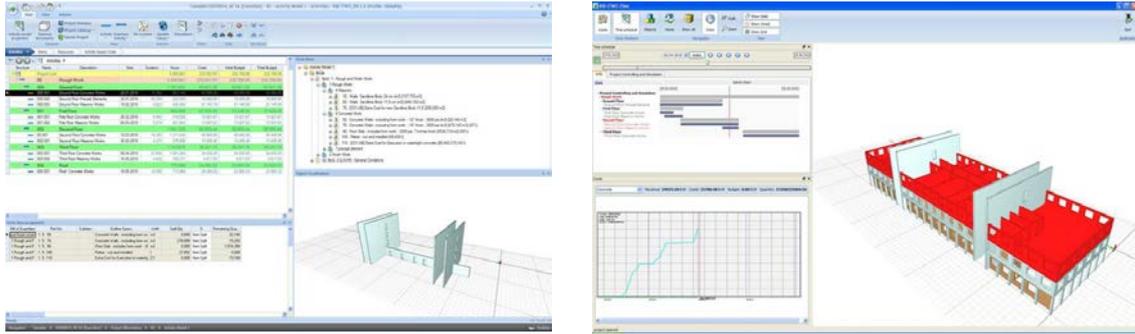


Ilustración 27 - Diferentes fases del proceso constructivo con un software BIM llamado RIB iTWO y que incorporan 5D. Fuente: <http://www.rib-software.com>. Acceso: Mayo 2013

En los últimos años ha ido creciendo el interés sobre el desarrollo de programas capaces de enlazar el software BIM con el software de estimación de costo. Este interés ha hecho que los técnicos tiendan a sobre-definir los modelos de información en un intento de que se use un solo software en el amplio campo de los espectros dimensionales del BIM.

(17) '[...] El modelo BIM se convierte así en una base de datos alfanumérica para cuya gestión no está preparado.

- Los datos introducidos no se reutilizan con facilidad entre los sucesivos proyectos
- No se dispone de procedimientos adecuados para su actualización y mantenimiento respecto de la realidad
- No existe una relación integrada con los elementos gráficos a los que corresponden.

Este sistema además requiere un desarrollo informático importante y un esfuerzo inicial de carga de datos por parte del usuario que se superpone al trabajo habitual [...].'

También los técnicos de sistemas BIM han desarrollado enlaces de interoperabilidad como el IFC. Este enlace que en un principio podría parecer el más oportuno para trabajar con software de estimación de costos se puede volver un estorbo si no se usa de la forma adecuada. El formato IFC permite una sencilla transacción de datos siempre y cuando el software emisor de la información use el mismo código que el software que recibe la información, el propio IFC se ocupa de ello. Sin embargo, la transferencia de elementos de información complejos requiere un acuerdo más allá del propio formato IFC y, en muchos casos, no existe.

(17) '[...] La conclusión [...] es que para que un enlace entre dos programas funcione no es suficiente con crear condiciones de interoperabilidad técnicamente adecuadas entre las dos bases de datos respectivas, sino que debe tener en cuenta cómo se desarrolla la relación entre los profesionales implicados [...].'

Así pues se hace imprescindible un análisis profundo de las personas que están implicadas en el proceso de trabajo.

La mayoría de los equipos de trabajo actuales no se encuentran en una situación que se les pueda considerar equipos que trabajen de forma colaborativa, según BIM lo requiere, pero tampoco trabajan de forma individual, se suele colaborar, pero cada técnico suele realizar su parte del trabajo sin tener en cuenta el trabajo de los demás técnicos intervinientes.

Esto ocasiona que el desarrollo de programas de estimación de costos tenga diferentes derivadas.

Un equipo colaborativo (17)'[...] *representa el comportamiento teórico esperado. Los criterios de diseño para este proceso son bien conocidos. Se basan en un trabajo previo en el modelo, diferente al estrictamente necesario para generar la documentación gráfica, que permite obtener el presupuesto con facilidad cuando es necesario. En ese momento se extraen los datos del modelo BIM y se insertan en el presupuesto, en un proceso clásico de exportación-importación [...]*. Sin embargo, si los profesionales trabajan de forma individual, el proceso de se hace una vez se termina todo el trabajo sobre el modelo de información.

Cuando se trabaja continuamente de forma individual, no se pueden prever las necesidades de todo el equipo en su conjunto. Así pues, surgen eventualidades provocadas por el nivel de detalle de un técnico que otro técnico no requiere o le son insuficientes.

(17)' [...] Es frecuente oír, tanto en ámbitos comerciales como académicos, que el modelo BIM contiene o debe contener la totalidad del presupuesto. Sin embargo, otros autores creen que no todos los componentes de un presupuesto provienen del modelo BIM. Diferente bibliografía nos advierte sobre qué elementos no deben modelarse, bien porque para cuantificarlos y especificarlos no merece la pena dibujarlos, porque provienen de otros programas de cálculo o simplemente porque no tienen existencia física. Incluso en la documentación de un programa comercial se reconoce directamente que hay artículos en una estimación de costo que no están incluidos en el modelo BIM.

Esto no se debe a deficiencias superables de los medios digitales actuales, sino a la eficacia histórica de la escritura y de la representación gráfica en dos dimensiones para definir la ejecución de una obra sin necesidad de graficar todos y cada uno de sus componentes, gracias al conocimiento implícito que añaden los sucesivos agentes implicados.

En consecuencia, el proceso de enlace no puede ser una sola exportación definitiva, sino que debe permitir que se reciban los datos del mismo proyecto una y otra vez, sin que estén documentados los añadidos, las eliminaciones y los cambios, pero que puedan integrarse con facilidad en el presupuesto existente.[...].'

G. Valderrama y S. Acosta (17) nos hablan también sobre el desarrollo de nuevos sistemas de enlace que se pueden adaptar a una gran variedad de procesos de uso. Nos hacen una descripción de los procesos soportados por los programas BIM y que pueden ser el primer paso de un desarrollo prometedor en este campo.

'En primer lugar, la selección de unidades de obra se puede realizar directamente desde el sistema BIM a partir de catálogos previamente generados por el programa de presupuestos, que pueden contener un cuadro de precios completo o una selección de partidas específicas de un proyecto concreto.

Además los datos que genera el responsable del modelo se pueden verificar íntegramente antes de enviarse al responsable del coste, mediante herramientas integradas en el sistema BIM o con otros recursos. Si el catálogo anterior incluye costes unitarios, en esta fase ya se puede conocer el importe de la parte modelada del proyecto.

Una cosa importante en el proceso es que el responsable del coste puede verificar y modificar los datos recibidos antes de su inserción en el presupuesto, sin necesidad de disponer del programa que gestiona el modelo BIM ni conocer su uso.

Cuando cambia el modelo, la nueva información recibida se compara con la existente para detectar los elementos añadidos, los eliminados y los modificados, presentando sólo la información relevante para la toma de decisiones. De esta forma se pueden integrar sucesivamente nuevas versiones de los datos sin perder el trabajo realizado, aunque no vengan documentados explícitamente.

Cuando se reciban versiones sucesivas, los datos de los elementos gráficos pueden insertarse automáticamente en sus unidades de obra aunque este dato no provenga del modelo BIM, ya que el programa de presupuestos conserva las equivalencias de importaciones anteriores. También pueden prepararse plantillas de asignaciones predefinidas para recibir datos de modelos BIM en los que no se ha realizado el trabajo previo de asignación. Se resuelven así procesos de uso en los que existe una elevada independencia entre el responsable del modelo y el del coste.

El programa de presupuestos mantiene internamente toda la información del modelo BIM que sea relevante para la asignación del coste, para la especificación o para la identificación de cada elemento. De esta forma se

consigue la trazabilidad entre modelo, presupuesto y obra ejecutada, ya que cada entidad queda identificada unívocamente en todos estos ámbitos. El sistema BIM puede mostrar visualmente las entidades gráficas que corresponden a cada elemento del presupuesto.

El programa de presupuestos mantiene localizados los datos que provienen del modelo BIM y los introducidos manualmente por el responsable del coste, que se pueden modificar por separado sin interferencias entre ambos, permitiendo la introducción de los componentes del presupuesto que no provienen del modelo.

Esta posibilidad, junto con la trazabilidad recíproca, representa la vuelta de información desde el presupuesto hacia el modelo, cerrando el círculo por cual este proceso deja de ser simplemente una importación unidireccional o un enlace y puede llamarse propiamente una integración o un proceso de interoperabilidad.

Se describe así un nuevo método de trabajo que permite la colaboración de todos los integrantes en los sistemas BIM. Una colaboración que hace posible entender la integración de los sistemas 5D y que facilita la labor del equipo de trabajo durante la concepción de la obra, pero sobre todo, durante la ejecución de la propia obra en sí misma.

Es evidente que los sistemas 5D tienen un largo camino de evolución pero, tal y como los hemos presentado, queda meridianamente claro que su evolución queda supeditada al uso que los técnicos demos de ella.

En el caso de la Villa Savoye, el programa *Autodesk Revit* nos ha permitido crear una medición de todos los objetos contenidos en el modelo. Incluso permitiría introducir un coste, y, aunque no la generación de un presupuesto en el formato tradicional que los conocemos, si permite tener una valoración de todas las entidades que se han modelado.

El proceso pasa por asignar un 'código de montaje' a cada elemento que utilizemos en el modelo. Revit une este código con los códigos que tenga pre-cargados en su base de datos y, automáticamente, le asigna una descripción que puede incluir precios.

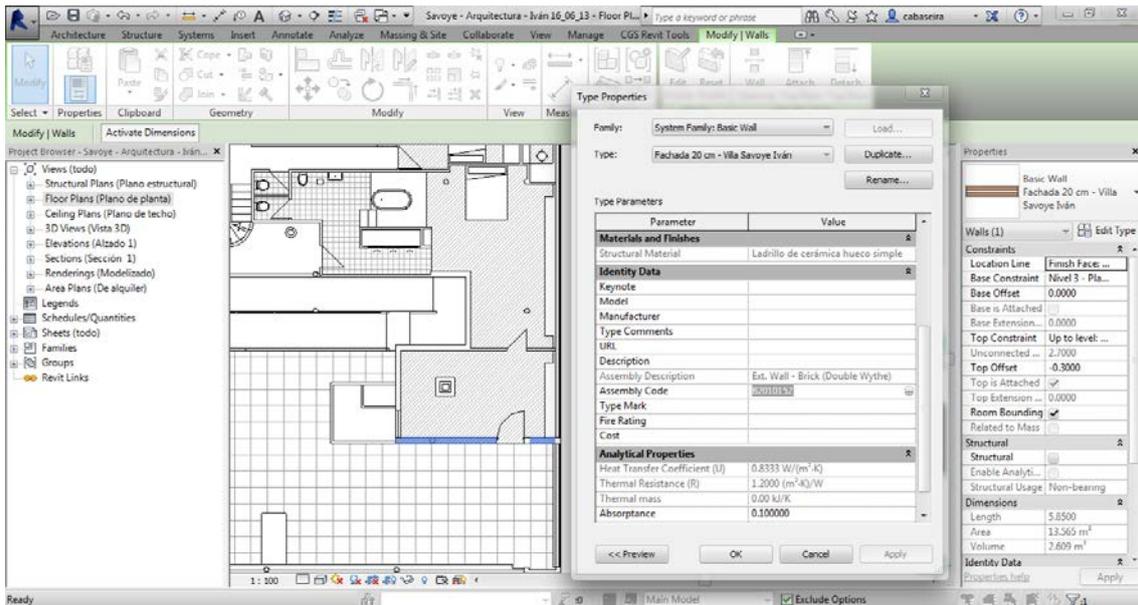


Ilustración 28 – Proceso de asignación de un código de montaje a un tipo de muro del proyecto de La Villa Savoye. Fuente: propia del TFG.

Una vez asignados los *códigos de montaje*, para Revit es muy sencillo volcarlos a una tabla con todos los materiales asignados al modelo.

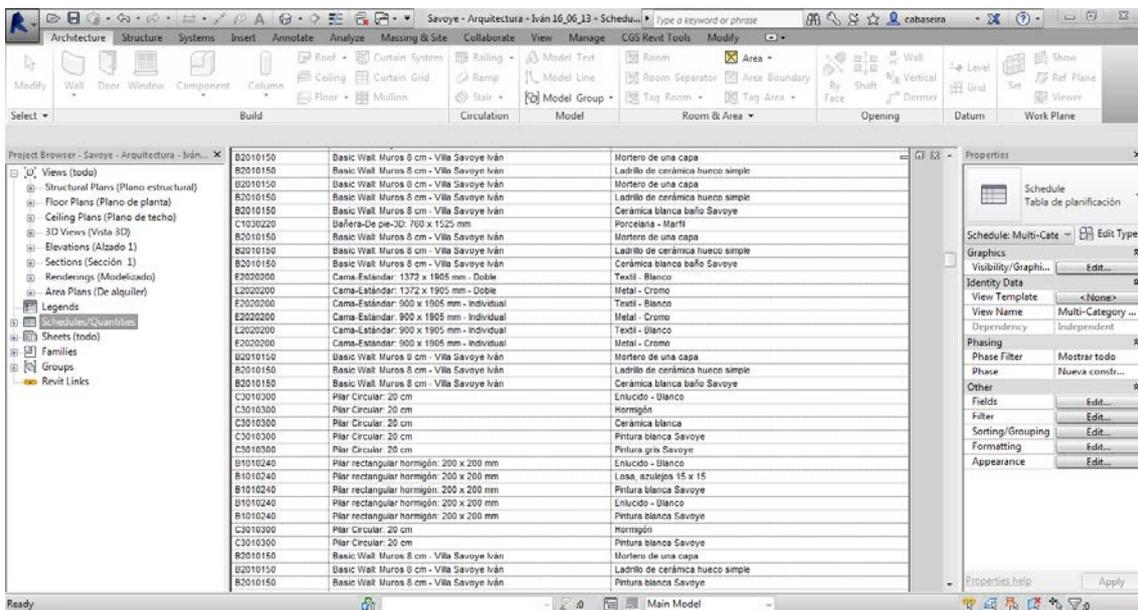


Ilustración 29 – Listado ejecutado en Revit con la medición de elementos utilizados en el modelo. Fuente: Propia del TFG.

6.6 SOSTENIBILIDAD – 6D

Los edificios, de forma individual o colectiva, tienen impactos ambientales, económicos y sociales que se producen en todas las etapas del ciclo de vida de múltiples maneras y en las escalas local, regional y global. La organización de normalización ASTM¹⁶, en su norma E2114-08, define edificio sostenible como *aquel edificio que proporciona los*

16 ASTM - American Society for Testing Materials. Organismo de normalización internacional y colaboradora técnica de ISO.

requisitos de rendimiento de construcción especificados al mismo tiempo que minimiza la perturbación y mejora el funcionamiento de los ecosistemas, tanto durante como después de su construcción y vida útil. También añade que un edificio verde optimiza la eficiencia en la gestión de recursos y el rendimiento operativo y, minimiza los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Podríamos entender esto como un concepto de ciclo de vida 'eco-eficiente'. Según J. Brunett (18) podríamos expresar la ratio de eco-eficiencia durante el ciclo de vida como:

$$\text{Ratio ecoeficiencia} = \frac{\text{calidad ambiental interior} + \text{servicios} + \text{comodidades}}{\text{consumo de recursos} + \text{cargas ambientales}}$$

Este es el punto al que mira esta nueva dimensión del BIM. Debemos de ser capaces de crear edificios con las mejores condiciones económicas y sociales, pero al mismo tiempo tenemos que pensar en el entorno que nos rodea y en cómo gestionar las obras de forma eficiente también en este campo.

En este sentido la sexta dimensión del BIM (en ocasiones llamada *Green BIM* o *BIM verde*), nos brinda la oportunidad de conocer cómo será el comportamiento del edificio proyectado antes de que se tomen decisiones importantes y mucho antes de que comience la construcción.

Nos permite crear variaciones e iteraciones en la envolvente, los materiales utilizados, el tipo de combustible utilizado para enfriar/calentar la vivienda y la huella de carbono que produce la totalidad del proyecto teniendo en cuenta incluso su situación, su posición relativa con respecto a los proveedores, su orientación... y muchos aspectos más.

Según escribe Liébana Carrasco (19): *La sostenibilidad es una tendencia emergente en la industria de la edificación y más concretamente, en el proyecto de estructura está casi iniciando, simultáneamente, técnicos de diferentes partes del mundo comienzan a entender las ventajas o incluso entienden como revolución, el BIM. Esta base de datos tridimensional del edificio, es sin duda la que mejores resultados puede dar en el Análisis del Ciclo de Vida del Edificio y por tanto de su estructura. Es lo que se empieza a conocer como Green BIM y que el certificado LEED se está comenzando a introducir en Estados Unidos.*

Queda claro pues, que es una de las tendencias actuales, y que todavía queda mucho desarrollo por delante. Las empresas han de empezar a entender esto como una oportunidad de trabajo y como un hito para destacar en un mundo cada vez más competitivo por la falta de oportunidades laborales.

En este sentido, tal y como apunta Liébana Carrasco, en algunos países han desarrollado certificados de eficiencia energética como el LEED¹⁷. LEED es un sistema de certificación

17 LEED - Acrónimo de *Leadership in Energy & Environmental Design* (Liderazgo en energía y diseño ambiental).

de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (*US Green Building Council*). Fue inicialmente implantado en el año 1998, utilizándose en varios países desde entonces. Se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales. Existen cuatro niveles de certificación.

Este tipo de estrategias pueden llegar a generar fuentes de trabajo aun sector atenuado por la crisis económica generalizada.

En el caso de nuestro país crecientemente se ha publicado el *Real Decreto 235/2013*, de 5 de abril, por el que se aprueba el *procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*. El *Certificado Energético (20)* es un documento técnico en el que queda formalizado el nivel energético que tiene la vivienda a estudiar. Los niveles energéticos pueden ir del A al G, siendo A el más eficiente y G el menos eficiente.

Además también se le adjunta una etiqueta energética, documento estandarizado en el que sólo se representa la escala energética y la letra que corresponde al edificio.

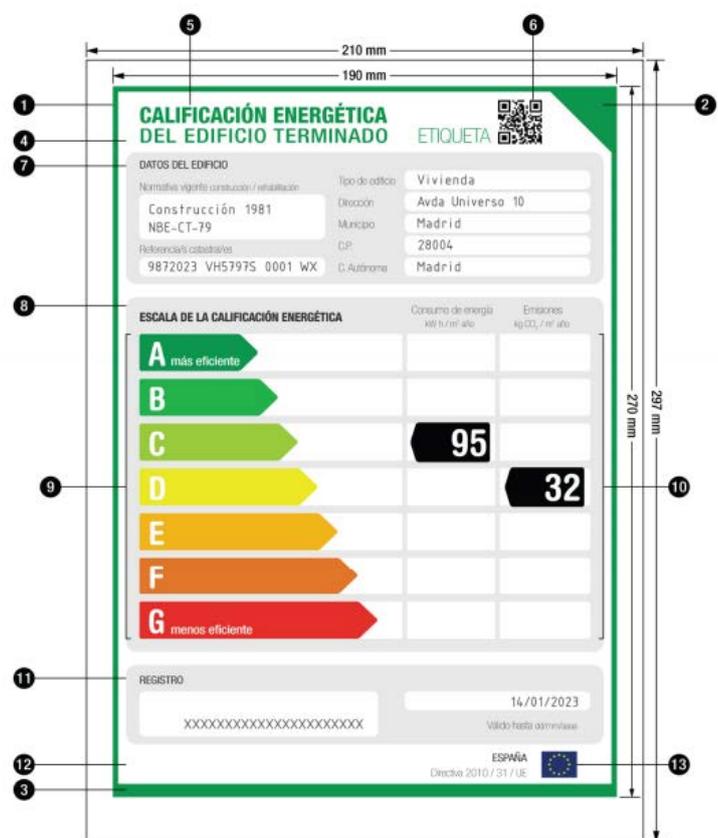


Ilustración 30 - Etiqueta del certificado energético indicada en el RD 235/2013. Fuente: <http://www.minetur.gob.es>. Acceso: Mayo 2013

Es obligatorio desde Junio de 2013 para edificios de nueva construcción, edificios que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario y edificios públicos que ocupen más de 250 m² y sean frecuentados habitualmente por el público.

Será esto un punto y aparte en el estudio pormenorizado de las viviendas, y una buena oportunidad para incorporar el BIM-6D a las metodologías de trabajo aplicadas en las empresas de nuestro país.

El software BIM ha ido incorporando esta dimensión y ya es posible analizar un edificio de manera íntegra, teniendo en cuenta todas sus características funcionales, arquitectónicas y de localización.

El proceso del análisis de La Villa Savoye con Autodesk Revit ha sido de la siguiente forma. Una vez realizado el modelo de información arquitectónica, Revit nos permite utilizar un formato de intercambio de datos (*gbxml*) con otra herramienta de Autodesk pensada para el estudio de la sostenibilidad de los edificios.

La herramienta utilizada es *Green Building Studio* de Autodesk y, aunque ciertas versiones de *Autodesk Revit* lo traen incorporado al programa, en el caso de la versión utilizada para este TFG, fue necesario usar la versión web de la herramienta.

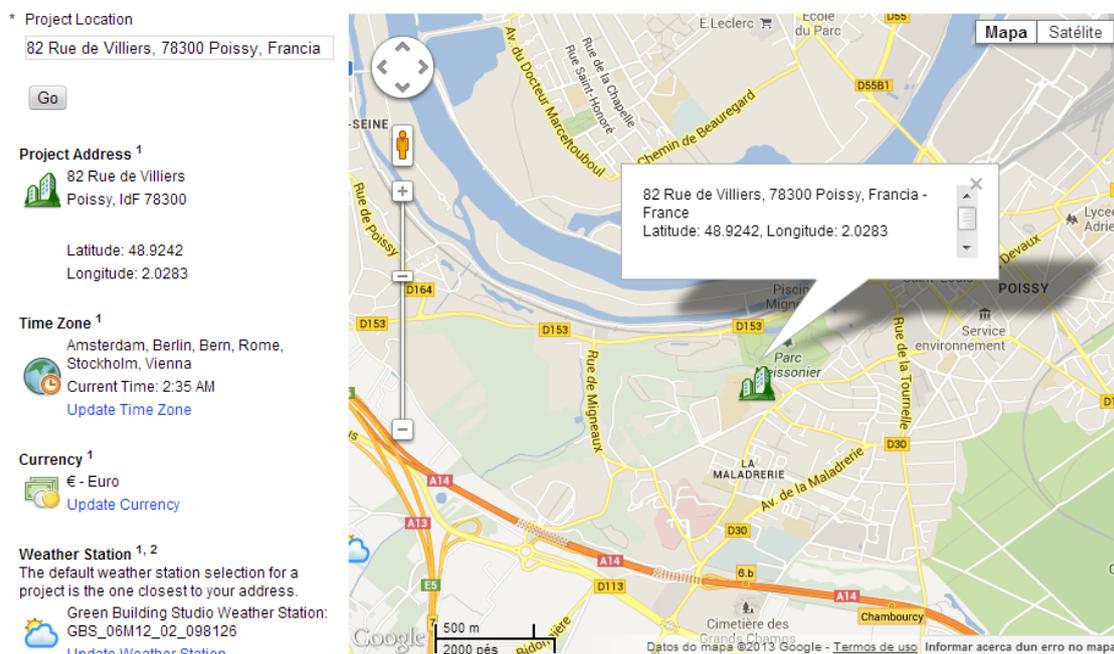


Ilustración 31 – Localización de la vivienda mediante la herramienta *Green Building Studio* de Autodesk. Fuente: <https://gbs.autodesk.com/>

Lo primero que debemos de hacer es localizar la ubicación del edificio. A continuación insertamos los datos de nuestro edificio mediante el archivo *gbxml* creado desde *Autodesk Revit* y la aplicación genera documentación que podremos utilizar para nuestro proyecto. Nos permite hacer comparaciones de consumos energéticos de nuestro proyecto alternando los materiales que se han utilizado en el diseño, para conseguir una mejor optimización.

Name	Date	User Name	Floor Area (m ²)	Energy Use Intensity (MJ/m ² /year)	Electric Cost (/kWh)	Fuel Cost (/MJ)	Total Annual Cost ¹			Total Annual Energy ¹			Carbon Emissions (Mg)	Potential Energy Savings
							Electric	Fuel	Energy	Electric (kWh)	Fuel (MJ)	Energy		
Project Default Utility Rates														
Project Default Utility Rates														
Base Run														
Savoie - TFG Iván Gómez	6/16/2013 7:12 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	406.2	€0.16	€0.02	€5,984	€4,197	€10,181	37,587	207,257	11.8		
Alternate Run(s) of Savoie - TFG Iván Gómez														
Savoie - TFG Iván Gómez_Lighting Efficiency _1.0_Wsqft	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	442.5	€0.16	€0.02	€8,920	€3,472	€12,392	56,028	171,458	17.1		
Savoie - TFG Iván Gómez_Lighting Efficiency _0.37_Wsqft	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	405.9	€0.16	€0.02	€5,586	€4,373	€9,959	35,086	215,952	11.3		
Savoie - TFG Iván Gómez_Plug Load Efficiency _2.00_Wsqft	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	533.8	€0.16	€0.02	€14,626	€2,418	€17,044	91,870	119,412	28.3		
Savoie - TFG Iván Gómez_Plug Load Efficiency _0.60_Wsqft	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	419.5	€0.16	€0.02	€6,975	€3,970	€10,945	43,815	196,023	13.6		
Savoie - TFG Iván Gómez_Building Orientations _(-)135	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	408.8	€0.16	€0.02	€5,994	€4,236	€10,230	37,650	209,177	11.9		
Savoie - TFG Iván Gómez_Building Orientations _(-)90	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	398.7	€0.16	€0.02	€5,991	€4,065	€10,056	37,632	200,744	11.5		
Savoie - TFG Iván Gómez_Building Orientations _(-)45	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	401.4	€0.16	€0.02	€6,048	€4,086	€10,134	37,992	201,748	11.7		
Savoie - TFG Iván Gómez_Building Orientations _(+)180	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	417.2	€0.16	€0.02	€5,963	€4,394	€10,357	37,456	216,997	12.3		
Savoie - TFG Iván Gómez_Building Orientations _(+)	6/16/2013 7:13 PM	ivan.gomez.fernandez@udc.es	843	421.0	€0.16	€0.02	€5,968	€4,457	€10,425	37,490	220,065	12.4		

Ilustración 32 – Tabla de Autodesk Building Studio con el proyecto de la Villa Savoye y sus posibles comparaciones. Fuente: <https://gbs.autodesk.com/>

El definitiva nos da una gran cantidad de información determinante para poder tomar decisiones a la hora de conseguir un edificio más sostenible.

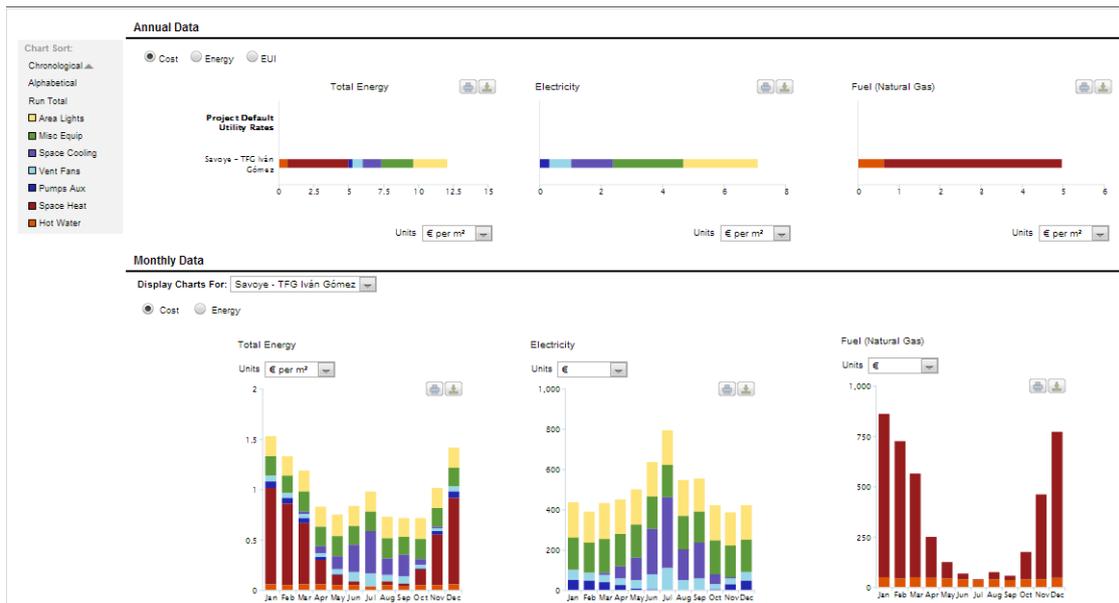


Ilustración 33 – Consumo anual y mensual de energía para el modelo de información de la Villa Savoye creado para este TFG. Fuente: <https://gbs.autodesk.com/>

Además nos enseña en que partes podemos mejorar el edificio para conseguir un mayor ahorro.

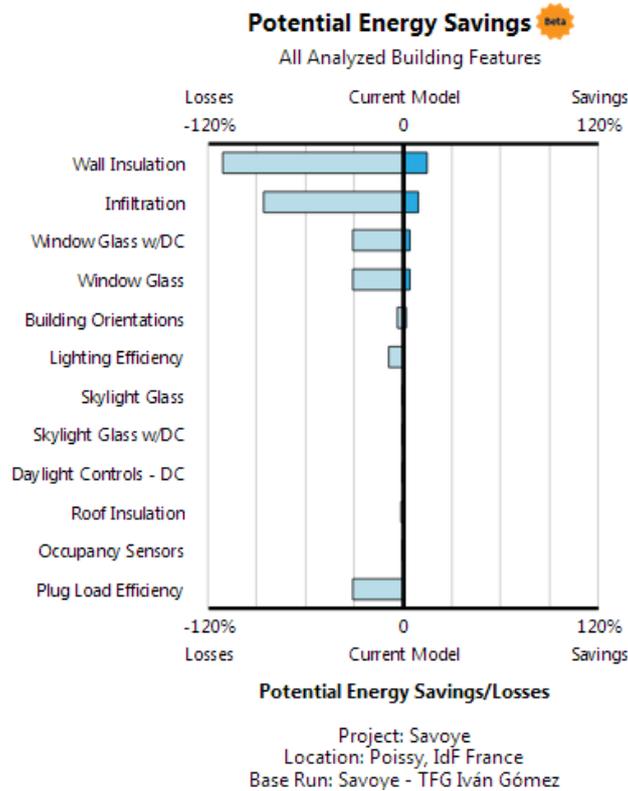


Ilustración 34 – Análisis de las partes del edificio donde se desperdicia energía. Fuente: <https://gbs.autodesk.com/>

6.7 GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA – 7D

El siguiente paso en el uso del BIM parece que todavía queda lejos de alcanzar en nuestro país, pero parece el siguiente paso lógico en la cadena. Hemos hecho un recorrido desde la idea de la concepción del edificio que tiene el promotor, que le transmite al diseñador, este al arquitecto, pasando por los diferentes agentes que calculan instalaciones y estructuras y para finalizar las colaboraciones que deben de hacer los fabricantes y constructores. Parece entonces que el siguiente paso debe de ser incluir al cliente final. Para ello nace la séptima dimensión, que aparece para facilitar al cliente final la gestión de las instalaciones durante todo su ciclo de vida.

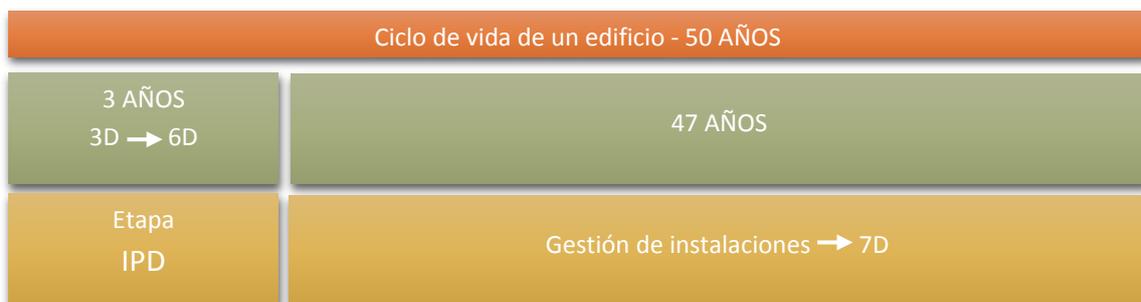


Ilustración 35 - La séptima dimensión abarca la mayor parte del ciclo de vida de un edificio. Fuente: Propia del TFG

Cuando hablamos de ciclo de vida de un edificio debemos de tener en cuenta que este abarca desde su concepción hasta su demolición. Así pues, el nuevo concepto de modelo de información que BIM quiere asumir, ha de ser coherente con este ciclo. La forma tradicional de trabajo en la industria AEC de España consistía en crear un modelo para la fase de concepción y construcción, y que solamente los técnicos podían tener acceso o que solo ellos podían interpretar. En España incluso el concepto de planos *'as built'* es relativamente reciente. Cuando hablamos de esta primera etapa de concepción y construcción, estamos hablando de los sistemas integrados de ejecución de proyectos (IPD¹⁸). El IPD no es más que un conjunto de métodos de trabajo que garantizan una alianza de colaboración de las personas, los sistemas, las estructuras empresariales y las prácticas en un proceso que aprovecha los talentos y puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados de los proyectos, aumentar el valor para el propietario, reducir los gastos y maximizar la eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.

Pero esta etapa no abarca más de 3 o 4 años del monto total del ciclo de vida de un proyecto, que es cuando se construye. Es la etapa de diseño, contratación, construcción y puesta en marcha. Lo que resta de la vida útil del edificio será el campo que abarca la séptima dimensión del BIM.

Existe un interés creciente en la industria en torno al uso de modelos de información de edificios para la gestión de instalaciones (BIM-7D), pero lo complicado es hacer que esto funcione de forma real.

Después de la entrega de información a los Gestores de Instalaciones una vez terminada la construcción, los Gestores de Instalaciones luchan a menudo con la limitada información suministrada para gestionar el edificio. Sin embargo, debemos admitir que es esta la parte más larga y más costosa del ciclo de vida del edificio. Es la fase de operación y gestión de activos y los Gestores necesitan una mejor información, en particular en las primeras fases de la operación.

Una vez que el proyecto se construye, se crea un modelo BIM *'as-built'* y además se completa con toda la información de componentes de construcción pertinentes (por ejemplo, datos del producto y detalles, manuales de mantenimiento y operación, hojas de especificaciones técnicas, fotos, datos garantía, enlaces web del producto, información del fabricante y contactos, etc.) generando una completa base de datos 3D. Esta información se pondrá a disposición del usuario a través de un entorno personalizado que garantice que el propietario tiene la accesibilidad total. El propietario o su gestor tendrán así un potente pero simple modelo de construcción virtual que

¹⁸ IPD – Acrónimo de la frase inglesa *Integrated Project Delivery*

contiene toda la información relevante para la gestión de la propiedad, sistemas y componentes de construcción para la vida de la instalación.

A veces se puede llegar a entender que la Gestión de Instalaciones y el BIM son cosas diferentes, o se habla de cómo integrarlos, pero si tenemos en cuenta la definición de ambas llegaremos a otra conclusión. Según la *International Facility Management Association* (IFMA), la *Gestión de Instalaciones* es una profesión que abarca múltiples disciplinas para asegurar la funcionalidad del entorno constituido por la integración de las personas, el lugar, los procesos y la tecnología empleados. Por otro lado podríamos decir que el modelado de información (BIM) es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. El BIM es una fuente de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación que forma una base fiable para decisiones durante su ciclo de vida, que se define como existente desde la primera concepción hasta su demolición.

El problema sigue siendo, sin embargo, que muchos no entienden los múltiples ámbitos de conocimiento o competencias relacionadas con la gestión del ciclo de vida del entorno construido, ni cómo se han integrado. O, lo que es aún peor, es que algunos de los que deben hacerlo entender no están dispuestos a compartir la información debido a los problemas que perciben en ese hecho.

Así pues, no nos queda más que volver a hablar de un cambio en mentalidad de la industria AEC, en los profesionales que la conforman.

Claramente los propietarios deben presionar en la dirección de BIM y la gestión de instalaciones del ciclo de vida. Un aspecto evidente es que son los propietarios los que deben de controlar que su inversión es la adecuada y para ello deben de conseguir la mejor técnica para asegurarse la mayor optimización en el retorno de inversión (ROI). Dicho esto, los propietarios no pueden hacerlo solos. Por la propia naturaleza de la industria, todas las partes interesadas deben colaborar. A diferencia de otras industrias, lo que la construcción fabrica dura alrededor de 50 a 100 años, tienen múltiples usos, y puede adaptarse a las situaciones cambiantes de su entorno. También involucra a un mayor número de proveedores y prestadores de servicios, así como un número virtualmente infinito de configuraciones.



Ilustración 36 - Pirámide conceptual del BIM. Fuente: Propia del TFG

Los beneficios de BIM cuando se conecta al sistema de Gestión de instalaciones, contribuyen a una mejor gestión de:

- Mantenimiento preventivo – La información sobre el edificio y equipo mecánico almacenado en los modelos BIM se utiliza para el mantenimiento preventivo permanente.
- Gestión del espacio – Los modelos BIM proporcionan información de áreas para la gestión del espacio y la ocupación e integrando datos de los recursos humanos y del edificio, las empresas pueden reducir la mano de obra y lograr la reducción de los gastos más importantes del inmueble.
- Los continuos cambios – La gestión de dibujos y el registro exacto ha sido un reto para los propietarios y gestores de instalaciones.
- BIM ofrece dos ventajas sobre la tecnología CAD tradicional, proporcionando una manera sencilla de mostrar los aspectos tridimensionales de la construcción y proporcionando una extensa documentación de los componentes de construcción.
- Iniciativas de eficiencia energética – Los edificios comerciales e industriales son responsables de casi el 20% del consumo de energía, las empresas tienen la responsabilidad de analizar las opciones para mejorar el rendimiento energético. Los edificios existentes se pueden volver a analizar para la comparación de las distintas opciones mediante BIM.
- Gestión del ciclo de vida – El reciente énfasis en la sostenibilidad ha elevado el perfil de la gestión del ciclo de vida de la construcción. Los dueños responsables se están dando cuenta de que esto tiene sentido tanto económica como

ecológicamente. Al integrar los datos sobre la esperanza de vida y los costos de reemplazo de los modelos, la dupla de BIM y Gestión de Instalaciones ayuda a los propietarios a entender cómo realizar el seguimiento de equipos, sistemas y componentes para la construcción de un mejor retorno de la inversión durante la vida del edificio.

- El mantenimiento de la información y la intención del diseño – El uso de la tecnología con un enlace bidireccional entre el sistema de Gestión de Instalaciones y BIM, que permite al modelo BIM retener la utilidad lo largo del ciclo de vida del edificio.

El modelo de información de edificios '*as built*' tiene que reflejar los cambios de la obra y las selecciones específicas de la construcción de los productos al final de la construcción, pero ya hay amplios beneficios para justificar su uso.

7. EL PRESENTE DEL BIM

Ya hemos hecho un repaso desde el nacimiento del BIM y todos sus progresos a lo largo de la historia. Hemos visto como los estudios teóricos acerca de esta materia nunca se han detenido, pese a que el CAD le ha ido quitando terreno, gracias a su gran semejanza con la metodología de trabajo tradicional. Hicimos un repaso de la industria AEC y observamos como la necesidad de una mejora en los métodos habituales de trabajo ha ido inclinando la balanza en favor del BIM. A medida que la industria del software fue capaz de mejorar, gracias a la evolución de la informática en las últimas décadas, los fabricantes han desarrollado cada vez mejores herramientas. Todo esto se ha visto favorecido por la forma de trabajo que tienen los países nórdicos y Estados Unidos, que han estado siempre en la punta de lanza de una tecnología que no deja de avanzar.

Con todo esto el presente del BIM todavía se ve poco desarrollado, vistas sus posibilidades. En lo que se refiere a España hemos visto que los estándares son escasos y la administración no se decide a legislar en este sentido. Así, las empresas se encuentran en un desierto de formatos y estándares, y si necesitan mejorar sus métodos de trabajo, se ven abocadas a estandarizar de forma interna o mediante estándares de otros países más evolucionados.

Aun así, cabe destacar que existen grupos de debate e investigación sobre todos los temas relacionados con el BIM. Parece que esto puede ser poco cosa, pero si lo vemos con perspectiva, podemos decir que está siendo el germen de algo que nos llevará, junto con la evolución propia del mercado, hacia una remodelación de la industria AEC. Parece que el entorno internacional nos indica cuál es el camino a seguir.

Pero volviendo a una visión más generalista del BIM, parece que el presente se centra en la interoperabilidad. BIM conforma el proceso para la gestión digital del ciclo de vida de un edificio, y requiere una plataforma que permita la interoperabilidad. Para que el diseñador pueda compartir el modelo y la información que ha generado, sus datos deben servir a los agentes que intervienen sobre su trabajo: ingenieros, constructores y promotores, que ampliarán y materializarán sus ideas, pero también, posteriormente, a los agentes inmobiliarios, gestores, mantenedores y usuarios finales.

El estándar que permite la exportación e importación entre aplicaciones se ha denominado *IFC*. Realiza la misma función que el formato *DXF* en el entorno CAD, que es permitir el intercambio entre distintas plataformas de software.

Avalada por las plataformas *buildingSmart* y *OpenBIM*, esta tecnología resuelve la compatibilidad entre los datos de diseño arquitectónico, cálculos de ingeniería y múltiples aplicaciones derivadas, unas ya desarrolladas y otras en proceso de investigación, unas especializadas y otras tan populares como el formato PDF.

Siempre se ha valorado que los proyectos cuenten con documentos coherentes y útiles para los usuarios, como el Libro del Edificio en España. Cada vez se suman más instituciones que solicitan BIM para gestionar sus edificios construidos, y administraciones, como la del Reino Unido o Dinamarca.

También es cada vez mayor la demanda de edificios certificados tanto en calidad como en eficiencia energética. Estas premisas son esenciales en edificios públicos o con un valor económico importante. Finalmente, la demanda se ha trasladado a las ofertas de trabajo, sobre todo en empresas de cierto tamaño.

8. EL FUTURO DEL BIM

En cuanto a los pasos que BIM debe de dar en el futuro, parece que en España debemos de desarrollar estrategias que nos hagan ser semejantes a los países más avanzados. Además debemos de evolucionar la forma en la que BIM interviene en nuestros entornos de trabajo. Algo que podemos destacar en este sentido es el desarrollo del PIM-BIM.

PIM proviene del acrónimo de la frase '*gestión de la información del proyecto*', en inglés (*Project Information Management*). 'Información del proyecto' se refiere al universo de modelos, dibujos, mensajes de correo electrónico, marcas, transmisiones, actas de reuniones, imágenes, contratos, especificaciones, órdenes de cambio y otros documentos creados en el curso de diseño, construcción y operación de grandes instalaciones.

PIM se ocupa de las necesidades básicas de la organización, la búsqueda, el seguimiento, el intercambio, el seguimiento y la reutilización de la información del proyecto técnico y de comunicaciones de una manera que esté completamente en consonancia con las personas y los procesos que dependen de esa información.

Por otro lado tenemos que detenernos en la estandarización, en otros países más avanzados han hecho un gran trabajo de avance continuo e incluso han llegado a la conclusión que era necesario normalizar el nivel de detalle de un trabajo en BIM, teniendo en cuenta la finalidad del uso que va a tener cada modelo en cuestión.

Atendiendo a ese problema, la compañía *Vico Software* (ahora parte de *Trimble*), que produce aplicaciones control de costes para la construcción, creó los *LOD*. *LOD* significaba '*nivel de detalle*' (*level of detail*), que medían la cantidad de información que contenía un modelo.

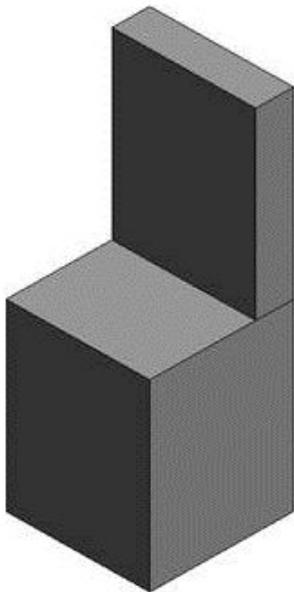
Poco después, el *AIA* (*American Institute of Architects*) decidió que este sistema sería una buena opción para valorar la calidad de un modelo BIM, pero decide cambiar '*nivel de detalle*' por '*nivel de desarrollo*' (*level of development*), ambos todavía tienen el mismo acrónimo de *LOD*.

Aquí hay un cambio sustancial de concepto, se decide valorar para qué sirve la información representada en vez de la cantidad de información.

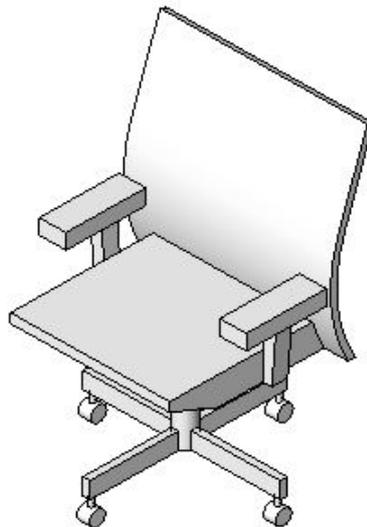
Este concepto de valorar para qué sirve la información representada es importante, mide la cantidad de información y la calidad de información, es una forma de ponderar la veracidad de la información representada, debe haber información suficiente para satisfacer el nivel de *LOD* de cada trabajo.

De esta forma surge el siguiente escalado de calidades de acabado:

- LOD 100 - Es un diseño conceptual, el modelo aportará una visión general, básicamente aportará el volumen, la orientación y área.
- LOD 200 - Aporta una visión general con información de magnitudes aproximadas, tamaño, forma, localización y orientación. El uso que se da es simplemente incrementar la capacidad de análisis. Pero las mediciones son aproximadas, nunca definitivas.
- LOD 300 - Aporta información y geometría precisa, pendiente de algún detalle constructivo y aporta medidas más precisas que en caso de LOD200, con un nivel de detalle externo importante pero no completo.
- LOD 400 - Contiene el detalle necesario para la fabricación o construcción y el nivel de mediciones es exacto.
- LOD 500 - El último nivel de desarrollo representa el proyecto, ya que se ha construido, son las condiciones conforme a obra. El modelo es adecuado para el mantenimiento y el funcionamiento de la instalación.



LOD 100 – Bloque básico de familia de un objeto.



LOD 200 – El objeto se detalla con más calidad.



LOD 300 – Objeto con un alto nivel de detalle.

Ilustración 37 - El mismo modelo en diferente niveles de desarrollo. Fuente: <http://thebimmanager.blogspot.com.es>. Acceso: Mayo 2013

Aquí tenemos un ejemplo de lo que supone el avance en BIM, el futuro también ha de ir por este camino. Aunque es cierto que para poder llegar a la conclusión de que este desarrollo es un buen paso, se necesita tener una holgada experiencia de trabajo para verlo con un poco más de perspectiva.

8.1 S-BIM

Otro punto por el que seguramente BIM comience a desarrollarse en España es el s-BIM. El s-BIM, no es más que la aplicación del BIM al modelado de estructuras (del inglés, *structural-BIM*).

Tal y como nos explican Liébano Carrasco y Agulló de Rueda (21),

'[...] este nuevo concepto de trabajo colaborativo entre ingeniería, construcción y diseño arquitectónico genera representaciones digitales de todas las fases del proceso de construcción y simula el funcionamiento real, así como su demolición y reciclaje. Este método de trabajo mejora el rendimiento y la calidad global del edificio, y necesita de un software específico que permita recoger toda la información. Esta información recogida en una base de datos incluye todos los elementos de la estructura y su material, desde el diseño hasta el análisis, el dimensionado, los despieces, las uniones entre elementos, el montaje, el mantenimiento, la explotación, sostenibilidad, normativa, mediciones, etc., y deberá ser compatible en tiempo real con el resto de especialidades del edificio [...].

'[...] s-BIM, es la parte del proceso BIM donde se crea la información que define el sistema, materiales y modelo global, aunque normalmente los arquitectos siguen trabajando en sus proyectos ajenos al modelo estructural. En la metodología BIM debe existir una conexión entre ambos modelos aunque se pueda trabajar sólo sobre ciertas disciplinas en un trabajo colaborativo de integración supervisado por el jefe de proyecto y coordinado por un BIM manager [...].'

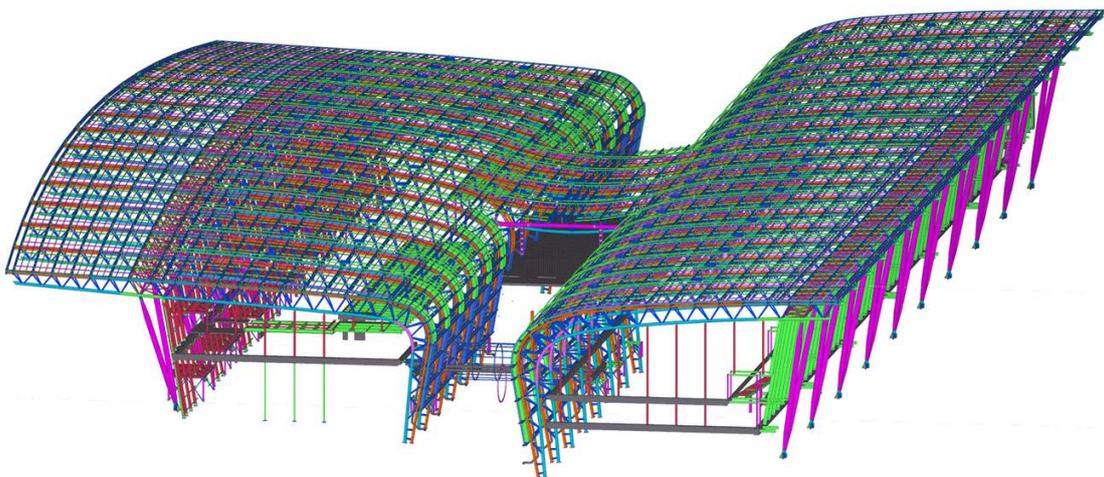


Ilustración 38 - Aplicación del s-BIM para el modelo de información realizado para la expansión del aeropuerto de Chennai, India. Fuente: <http://www.tekla.es>. Acceso: Mayo 2013

La idea de los vínculos perfectos entre los modelos BIM y el análisis es buena en teoría, pero apenas se ha materializado en la práctica. Hasta la fecha, los vínculos han estado lejos de ser fiables y en muchos casos contraproducentes. Los paquetes de software varían en la forma en que se definen los elementos, por lo que es difícil establecer vínculos sólidos que finalmente se ganen la confianza de los usuarios. Normalmente para que se pueda dar lugar a un análisis y diseño de estructuras de forma sencilla con BIM, debería de suceder alguna de estas cosas:

- El software BIM tiene que convertirse en software de uso común entre los técnicos, de modo que el software de análisis y diseño de estructuras encuentre una motivación para desarrollar vínculos perfectos que realmente funcionen.
- Los paquetes de software BIM deben incorporar análisis y diseño de estructuras, eliminando así la necesidad de exportar e importar y crear otro modelo.

Hay que decir que éste no reemplaza necesariamente a algunos de los principales software de cálculo y diseño de estructuras nativos.

Hoy en día, los nuevos paquetes de software BIM empiezan a incorporar apartados de análisis y diseño de estructuras, aunque se sigue dependiendo del software nativo para los cálculos más complejos. Si bien es cierto que se necesita de un alto grado de cualificación y coordinación para poder realizar este tipo de proyectos, también cabe pensar que la educación en nuestro país ha de encaminarse hacia una mejora y ampliación de los planes de estudios.

Está claro que ya no es una cuestión de si BIM tendrá éxito o no. Los atributos positivos de BIM superan con creces a los negativos, sobre todo en la industria de la construcción. El desafío radica en tratar de utilizar todos los paquetes que s-BIM tiene que ofrecer - la coordinación, la documentación y el análisis y diseño. La clave del éxito es definir completamente el propósito del modelo BIM en su relación con un proyecto específico y el equipo de proyecto. Al establecer metas realistas y entender las limitaciones del software, se puede evitar complicar un proyecto tratando de hacer más de lo que se puede con un solo modelo BIM.

Existen varios paquetes de software entre los que destaco por su interés: *Autodesk Revit Structure*, *Tekla Structures* y *Graitec*.

8.2 MODELO DE INFORMACIÓN PATRIMONIAL.

Una herramienta como el BIM no puede quedarse al margen de ciertas partes de nuestra profesión que no son puramente obra nueva. Si queremos sacarle partido debemos de tener en cuenta todos los campos en donde puede aparecer. Un campo que siempre estará presente es el patrimonio arquitectónico, y una herramienta como el BIM nos permitirá crear un modelo exacto de la arquitectura construida o de sus vestigios con el fin de facilitar varios puntos de vista que extenderemos a continuación.

Por un lado, la incorporación a un fichero digitalizado del Patrimonio de nuestro país. En España se carece de un modelo digitalizado de las mayores obras de la arquitectura que poseemos. Una vez tengamos creada esta base de datos, se puede universalizar nuestra cultura y hacerla accesible a cualquier persona en cualquier punto del mundo. Volvemos aquí a recordar que para que esto suceda, debemos avanzar más en la estandarización internacional de modelos digitales.

Por otro lado, las posibles reparaciones o reconstrucciones. Es evidente que las obras arquitectónicas más antiguas, necesitan un cuidado especial que, en muchos, casos no reciben. Sería este otro punto de discusión del que no voy a tratar en este TFG, pero debemos recordar que el hecho de que ahora mismo muchas obras estén insuficientemente atendidas, no deja de ser incompatible con que se cree un modelo digitalizado de ellas para evitar que, cuando se necesite hacer una reconstrucción u obra de mantenimiento, se tenga la información más veraz posible. O lo que es lo mismo, se debería de hacer un modelo virtual lo antes posible, para evitar la pérdida de información relevante de la obra en cuestión. Además puede esto servir para detectar posibles deterioros o vicios ocultos poder así atajarlos lo antes posible. Una vez hecho el modelo digital, cualquier técnico podrá acceder a él teniendo toda la información necesaria, puesto que en BIM se pueden incorporar datos como el tipo de material (densidad, peso, porosidad,...), la forma, la situación y emplazamiento, y otras etiquetas relevantes atendiendo a su naturaleza en cuestión.

En este sentido es muy interesante el trabajo de *Nieto Julián, Moyano Campos, Rico Delgado y Antón García* (22), que nos hablan de su experiencia pionera en esta técnica.

Según ellos, se debe de partir de unas técnicas convencionales para poder incorporar esos datos a las nuevas herramientas disponibles:

'[...] las técnicas de levantamiento gráficas aplicadas a edificios históricos cobran gran importancia cuando preexisten elementos con altos valores arquitectónicos y arqueológicos. La morfología actual y real que nos ha llegado a nuestros días no puede ser interpretada aleatoriamente, pues son testigos que se han preservado a lo largo de la historia.

Es por lo que las nuevas técnicas no pueden olvidarse de la fotografía, como la copia más fiel del estado presente del objeto a representar, al compaginarse con los demás documentos gráficos y que nos permiten comprobar e interactuar con las dimensiones espaciales a la vez que incorporan la imagen como una envolvente del material superficial. Se considera, por tanto, un complemento de la propia geometría, ya que a través de instrumentos geométricos proporciona información métrica que puede ser empleada en futuros análisis y como verificación del modelo generado en un levantamiento gráfico [...].'

También es muy importante llevar una estrategia de trabajo que nos permita seguir un procedimiento adecuado, atendiendo a unas pautas importantes como las de intentar no variar el objeto original:

'[...] En la etapa de auscultación del patrimonio edificado encontraremos por lo general piezas arquitectónicas, estatuas o representaciones escultóricas que deben ser catalogadas y documentadas debido a su valor excepcional, por ser provenientes de anteriores construcciones y que han sido recolocadas en la edificación analizada o por su particularidad arquitectónica: elementos destacables en el conjunto edificatorio, piezas inéditas o singulares que hacen precisa su correcta identificación.

Pero para llegar a un modelado preciso y real de estos elementos utilizando las herramientas de diseño que dispone cualquier software de CAD o BIM, habría que emprender una laboriosa tarea antes de incorporarlos en el modelo virtual de información, conscientes de que nunca se conseguirá una reproducción exacta y más cuando lo que se intenta es no falsear u obviar información que puede ser útil en otras etapas. En casos de derrumbamientos por fenómenos naturales o por conflictos bélicos, un levantamiento exhaustivo nos permitiría obtener un documento gráfico real que archivaríamos para ser utilizado como una reproducción idéntica en una posterior fase de reconstrucción [...].'

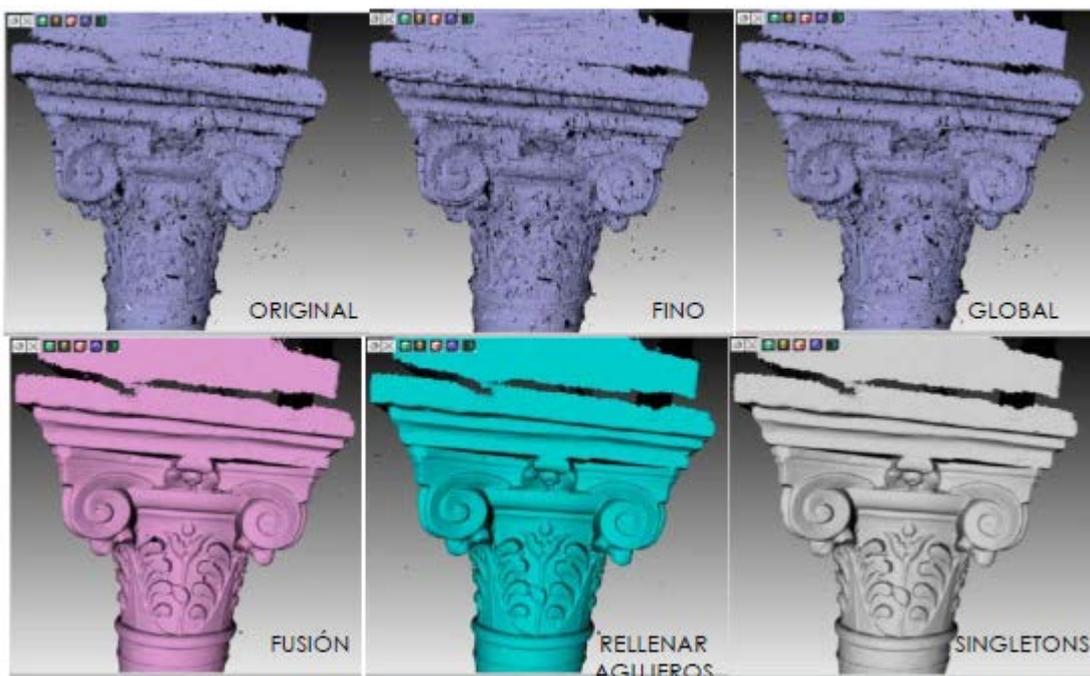


Ilustración 39 - Procesamiento de datos de un capitel. Fuente: La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico, Nieto Julián, J. Enrique y otros, 2013.

Es importante tener en cuenta que las herramientas BIM que existen en la actualidad están pensadas para seguir todas las fases de la creación de obras nuevas desde un inicio

de idea conceptual, uniendo siempre un modelo a una labor constructiva propia (estructura, instalaciones,...). Pero para el caso de ser aplicado al modelo patrimonial es habitual encontrarnos con deformaciones y deficiencias de los vestigios propios de su paso por el tiempo.

Para este tipo de casos, lo más normal es que tengamos que hacer un levantamiento mediante la unión de tecnologías que sean capaces de aunar los avances de la fotogrametría, SIG, CAD y BIM.

Hay que tener en cuenta que para estos procedimientos que se aplican a vestigios patrimoniales, no existen modelos pre-creados, ni manuales a seguir. Cuando se trata de una obra nueva, el software BIM nos proporcionará herramientas para diseñar pilares, forjados, vigas, ventanas,... Esto no sucede cuando se trata de un objeto construido hace muchos años que ya no se encuentra en ningún catálogo y que además se encuentra en un estado deteriorado, así que se deben de aplicar procedimientos avanzados, seguido de post-procesados para adecuar los resultados al software BIM.

Cada pieza será un objeto único y será muy difícil de gestionar los datos si no se mantiene un procedimiento estandarizado de trabajo. Además la forma de trabajo del software BIM actuales es muy diferente a la del software CAD. Los objetos BIM necesitan crearse como objetos paramétricos GDL, que nos permitirán manipular propiedades dimensionales y físicas, adaptándolas a las particularidades del edificio. Es decir, que se puede configurar libremente la instancia ubicada sin realmente modificar el archivo origen para el objeto.

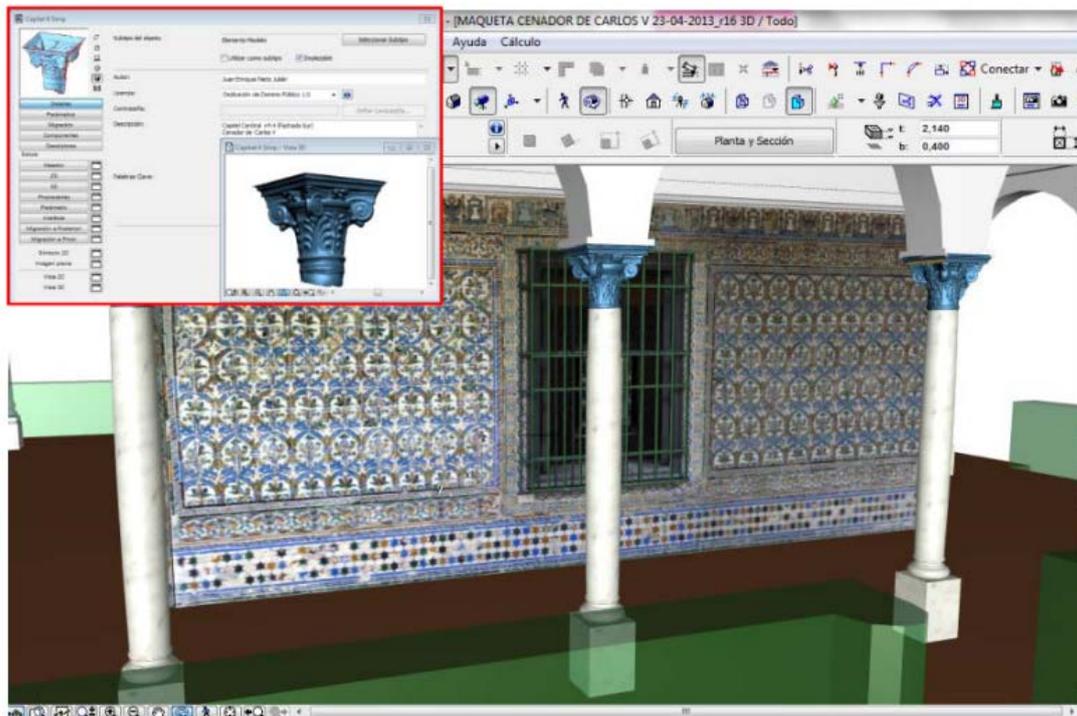


Ilustración 40 - Modelo de información patrimonial con el software ArchiCAD. Fuente: La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico, Nieto Julián, J. Enrique y otros, 2013.

Con todo esto, debemos de pensar que estos procedimientos son complicados y, seguramente tengan un alto coste económico. Pero es lógico pensar que el coste económico se verá como un mal menor una vez que tengamos todo el patrimonio catalogado y accesible en BIM, para poder tomar decisiones sobre su mantenimiento, reparación y reposición.

Se debe de ver como una puerta que debemos cruzar para poner a resguardo la información patrimonial, pero también como un campo de trabajo en un futuro próximo.

8.3 IBIM

Como ya hablé en el apartado 4.1, cuando mencioné la pirámide de niveles propuesta por el RIBA, el nivel más alto de trabajo dentro del entorno BIM sería el uso de iBIM. Es un nivel que muy poca gente está alcanzando ahora mismo y que se tardará en alcanzar en nuestro país mientras que el Gobierno no obligue a utilizarlo. El punto más reseñable de este concepto es la primera 'i'. Se trata de *integración* de modelos bajo unos estándares que todavía están por crear aquí, y que ya existen en otros países.

Tal y como nos indica *González Pachón (23)*,

'[...] el BIM, ese nuevo modo dominante de diseñar, ya está en marcha y es imparable, es ya el presente. Y en el horizonte del futuro cercano está al alcance el iBIM (integrated Building Information Modelling): el iBIM consiste en la utilización y el intercambio de modelos compatibles (compartir información, information sharing) por parte de todos los agentes que intervienen en el proceso de generación y vida útil del objeto proyectado y construido (promotores, proyectistas, constructores, industriales y usuarios), y en la acumulación en esos modelos de la información, creciente y cambiante, durante las sucesivas fases del proceso.

En el mundo anglosajón –Estados Unidos y Reino Unido–, están en marcha planes estratégicos para lograr la difusión generalizada del iBIM en el Mercado de la Construcción.

Grupos de trabajo ingleses y americanos han puesto en marcha una alianza estratégica para la implantación internacional del BIM. En USA, bajo la dirección del US GSA (General Services Administration), integrado en el US National Institute of Building Science; en UK, impulsados por el Government Construction Client Board (UK GCCB).

En concreto, el UK GCCB, como ya hemos visto, ha desarrollado un Plan Estratégico para alcanzar un determinado nivel de integración iBIM en el año 2016. El Plan prevé que a partir de ese año se exigirán determinados niveles

de implantación iBIM como requisito indispensable para acceder a contratos gubernamentales relacionados con la Construcción [...]

Esta evolución solo será posible mediante la interposición de estándares de trabajo, así como de diferente normativa y archivos de intercambio que requieren una amplia colaboración los agentes intervinientes en el proceso de la construcción.

(23)[...] Para hacer posible la evolución desde el uso discrecional de herramientas BIM hacia la aplicación de protocolos de uso integrado iBIM se han identificado y puesto en marcha diversas líneas de acción combinada que requieren la colaboración de las empresas y organizaciones públicas y privadas que participan en el Mundo de la Construcción. Entre ellas se pueden señalar las siguientes:

- *Desarrollo y adopción de nuevos estándares y procedimientos internacionales concurrentes para el intercambio de información, como los que contempla el Sistema COBie (Construction Operation Building Information Exchange). COBie es un medio de intercambio de información estructurada que ayuda a organizar la información no geométrica de un modelo de información. Puede ser transmitida en una hoja de cálculo.*
- *Desarrollo y adopción de nuevos modelos de contratos ‘collaborative’ que incluyan cláusulas específicas para discriminar y regular el alcance y la responsabilidad de cada uno de los agentes concurrentes que intervienen, de manera simultánea o sucesiva, en la incorporación de datos a los modelos a lo largo de toda la secuencia de fases del proceso de diseño, ejecución, puesta en marcha, operación de la Construcción (Design/Build/Operate).*
- *Normalización de los formatos y contenidos de toda la información resultante del proceso de diseño, los documentos y conjuntos de documentos que se obligan a entregar los agentes como producto de su trabajo [...].’*

Según una encuesta realizada por el RIBA (16) en donde se preguntaba por el mayor nivel alcanzado en algún proyecto por la empresa en la que trabaja, se demuestra que casi la mitad de los encuestados reconocen que el mayor nivel de trabajo ha sido el Nivel 2, y que solamente un porcentaje del 8% han alcanzado el Nivel 3.

Teniendo en cuenta esta encuesta y que en Reino Unido el uso de BIM está bastante implantado gracias, entre otras cosas, al requerimiento de adaptación a corto plazo que ha marcado el Gobierno, debemos deducir que el espacio de trabajo iBIM tardará en llegar a España. Aunque por otra parte cabe destacar que la ausencia de estándares a nivel nacional no ayuda a que los profesionales AEC no alcancen ni el *Nivel 2*.

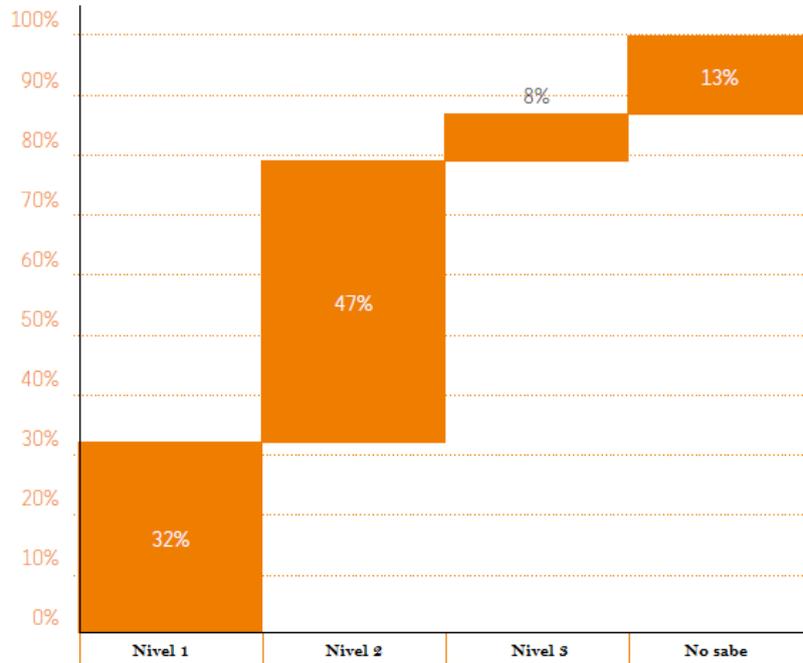


Ilustración 41 - Encuesta sobre el máximo nivel alcanzado entre los profesionales de la industria AEC en Reino Unido. Fuente: National BIM Report 2013. RIBA y NBS.

9. CONCLUSIÓN

Tal y como hemos podido ver a lo largo de este TFG, la tecnología BIM podemos establecer que nace en 1962 de la mano de *Douglas C. Engelbart*. Posteriormente esta idea se ha desarrollado en múltiples y variadas direcciones. En cierta medida podríamos decir que el BIM ha evolucionado a medida que el avance de las tecnologías de la informática han ido avanzando.

Hemos visto como la investigación de *Ivan E. Sutherland* en 1963 cuando escribió su tesis acerca del '*SketchPad*', ha revolucionado una forma de concebir los proyectos de toda la industria AEC. Una forma de pensar que no tuvo el suficiente impulso en el sector en sus primeros años de vida, debido al salto cualitativo que significó el CAD en una época en que los trabajos a mano sobre tablero ralentizaban la ejecución de los proyectos. El salto del tablero a CAD fue más sencillo de entender y, por lo tanto, gozó de gran aceptación. Sin embargo BIM, no es un mero cambio de software. BIM significa un cambio en la mentalidad a la hora de concebir un proyecto. BIM integra a muchos técnicos y a muchas disciplinas dentro de sí y por tanto necesita de una gran voluntad de cambio e implicación.

Desde el sector AEC se ha impulsado a la industria del software para hacer cambios e innovaciones. En muchos casos eran los propios profesionales del sector los que, a falta de empresas que fabricasen el software que necesitaban, desarrollaban sus propios paquetes informáticos que diesen solución a sus problemas diarios.

No tardaron en aparecer los primeros software BIM nativos. En los años 80 aparecen Sonata y Reflex que representan un principio de aproximación al BIM gracias a su apuesta por la parametrización. También aparecen Rucaps y M-Arch que destacaron por la idea de integrar todo el proyecto en un solo modelo.

Por otro lado es en esta década cuando aparecen las grandes compañías de software BIM de hoy en día. *Tekla* se hace un hueco gracias al uso de bases de datos virtuales. Autodesk inicia sus trabajos con el famoso *AutoCAD*, que años después intentaría convertir en herramienta BIM con el *AutoCAD Architectural Desktop*. *ArchiCAD* comienza también sus andanzas y nace con la idea de crear un software que trabaje sobre un modelo 3D.

La necesidad de acelerar y abaratar proyectos también ha colaborado a colmar las inquietudes de los pocos técnicos emprendedores que forman parte de un sector que le cuesta modernizarse y adaptarse a otras formas de trabajo. Es el caso de la *Terminal 5* del *Aeropuerto de Heathrow*, que gracias a las necesidades que han ido surgiendo a lo largo del proyecto, han aplicado una metodología de trabajo BIM que ha conseguido un ahorro económico sustancial comparándolo con lo que se tenía previsto en un principio.

Se ha realizado un repaso por todos procesos que BIM puede alcanzar. BIM abarca:

- 2D - Dibujos en dos dimensiones.
- 3D - La modelización y renderización desde el 3D.
- 4D - La dimensión añadida de la programación temporal, que nos permite anticipar lo que va a suceder en la obra.
- 5D - La dimensión que nos permite insertar precios dentro del mismo modelo arquitectónico, y que nos permite tener una concepción del coste económico de la obra en tiempo real.
- 6D – La dimensión que nos ayuda a crear edificios sostenibles.
- 7D – La dimensión que permite gestionar todo el ciclo de vida de un edificio, desde que se termina la obra hasta que se derriba.
- Ya se comienza a hablar de 8D, que será la dimensión que nos permite contener en el mismo modelo, el análisis de los procesos de seguridad y salud.

Bajo mi punto de vista, BIM es imparable, pero todos estos conceptos requieren un grado de formación diferente al que tenemos hoy en día. Esto nos hace pensar que no todo en BIM son beneficios. Como partes desfavorables a introducirse en BIM podemos señalar:

- Es necesario la presencia de *BIM Managers* que se ocupen de gestionar los equipos y coordinar el trabajo.
- En general se necesita invertir mucho dinero en nuevas licencias de software y seguramente, en nuevo hardware. Los programas que utilizan BIM, suelen necesitar ordenadores muy modernos y potentes.
- Se necesita entrenar a los equipos de trabajo en el funcionamiento de los programas BIM. En un principio, los técnicos profesionales que ejercen en la actualidad no están formados en la metodología de trabajo BIM y, en algunos casos, les cuesta adaptarse al cambio.
- Al principio, en una empresa que se suma al BIM, es muy recomendable crear plantillas y estándares internos de trabajo que faciliten la coordinación y el trabajo en equipo.
- El trabajo ha de ser colaborativo. El trabajo entre los diferentes departamentos y empresas involucradas desde un inicio en el proyecto deben tener como objetivo la colaboración y la ingeniería concurrente. En un principio esto se puede ver como un inconveniente, aunque cuando la metodología BIM esté completamente instalada en una empresa, este apartado lo veremos como un beneficio.
- Es conveniente definir más parámetros antes de comenzar el modelado. Además es muy difícil conseguir tener todas las familias que necesitamos para una obra concreta.

Como beneficios señalaremos:

- Una vez adaptados los procesos a esta herramienta, se consigue una alta eficiencia en las labores que se encomiendan a los equipos de trabajo, lo que repercute en la mejora de la calidad y la reducción de tiempos empleados en cada proyecto.
- Existe un único modelo y es una plataforma única para todos los colaboradores del proyecto. Todos los agentes intervinientes, desde la Dirección Facultativa en su conjunto, hasta el cliente, el constructor, y demás intervinientes, pueden interactuar de forma coordinada dentro de BIM.
- Los elementos que se representan tienen propiedades físicas: materiales, acabados, precios,... Además las propiedades se almacenan en bases de datos relacionables, con lo que es muy sencillo generar todo tipo de informes.
- Tiene una asociación bidireccional con otros programas. En el caso de que necesitemos trasladar el modelo a un agente que no está involucrado en BIM, se puede importar a diferentes formatos, como por ejemplo CAD.
- Existe un formato de interoperabilidad entre programas BIM, que permite la fácil traslación de un programa a otro.
- Permite comprobar interferencias entre modelos (arquitectónico, estructural, instalaciones) antes de comenzar (y durante) la obra, lo que evita problemas y gastos.

El proceso de migración será lento al principio pero luego se desarrollará de manera exponencial, tal y como pasó cuando el CAD fue sustituyendo la delineación manual, pero seguro que la industria AEC podrá apreciar solo beneficios una vez que se alcance un nivel alto de adaptación.

Como hemos visto, después de hacer un repaso por los países más avanzados viendo el estado actual del BIM y cómo estos países han normalizado y estandarizado su uso, parece claro que en España nos queda mucho camino por recorrer.

Llegado este momento, y visto el desarrollo del software y demandas de la industria AEC en el resto del mundo, nuestro sector debe de dar un salto hacia adelante para reconvertirse y modernizarse y así poder competir.

En este sentido son muy recomendables iniciativas que ponen en valor los procesos BIM como son en el *Encuentro de Usuarios BIM (EUBIM)* y el *Congreso Nacional BIM*.

A mi entender, para poder alcanzarlo quizás sea conveniente crear un currículum académico acorde con el avance del sector hacia estas tecnologías. Un técnico que pueda asimilar la introducción a los sistemas BIM, tendría que ser aquel que trabaje de forma habitual con programas BIM y en diferentes doctrinas. Para esto, sería conveniente que las propias Universidades adoptasen BIM como una herramienta más

en todas las asignaturas y que se utilizase de forma transversal para que el alumno pudiese alcanzar unas competencias que se adecuen a esta nueva realidad.

Parece evidente que para poder alcanzar un nivel de conocimiento adecuado en estas nuevas herramientas, el alumno ha de dominar diferentes materias. Una propuesta para nuestra Escuela sería que las asignaturas que tengan cierta relación con BIM puedan enseñarse con herramientas que acostumbren al alumno a trabajar en un entorno de software adecuado. De forma que a medida que alcanza los conocimientos en cada materia, pueda ser competente en el uso de herramientas BIM en todos los campos.

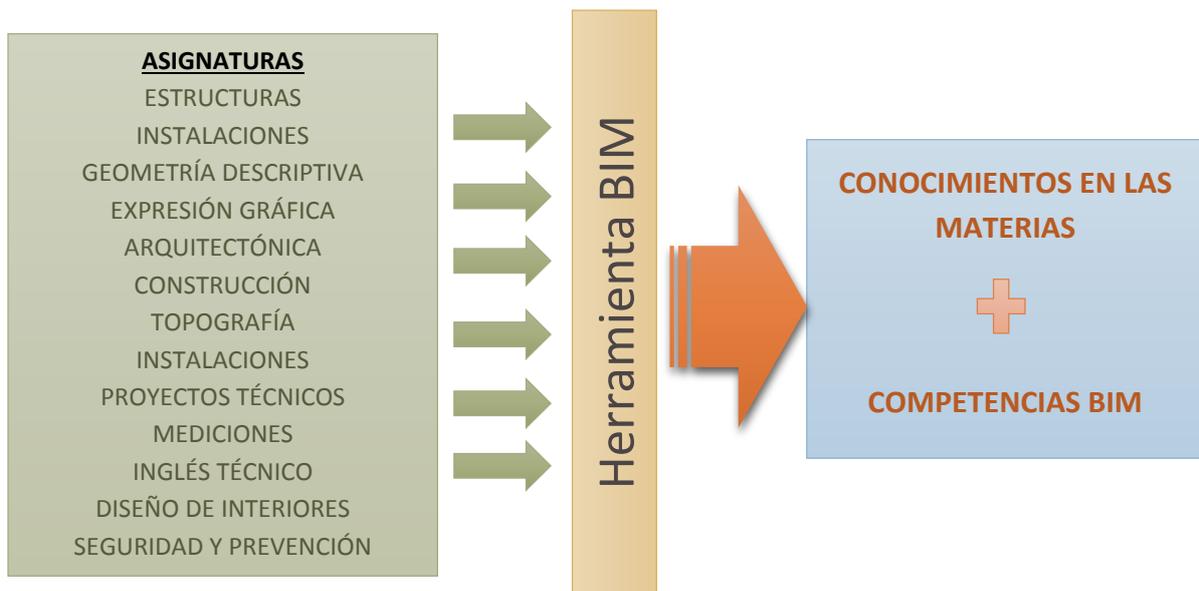


Ilustración 42 – Las competencias BIM pueden ser enseñadas desde las universidades en materias de diferentes doctrinas. Fuente: Propia del TFG

10. BIBLIOGRAFÍA

1. **C. Engelbart, Douglas.** *Augmenting human intellect: A conceptual framework.* California : Stanford Research Institute, 1962.
2. **Edward Sutherland, Ivan.** *Sketchpad: A man-machine graphical communication system.* Cambridge : University of Cambridge, 1963.
3. **Eastman, Charles M.** *An outline of the building description system.* Pittsburgh : Carnegie-Mellon University, 1974.
4. **Vázquez Rodríguez, José Antonio.** *Las barras huecas de madera en la construcción de estructuras espaciales.* A Coruña : s.n., 2001.
5. **Penttilä, Hannu y Weck, Tor-Ulf.** *The effects of information and communication technology (ICT) on architectural profession.* Helsinki : Helsinki University of Technology (HUT), 2006.
6. **Schmitt, Gerhard.** *Information Architecture: Basis and Future of CAAD (The information technology revolution in architecture).* Basilea : Birkhäuser, 1999. ISBN 978-3-7643-6092-4.
7. **Gehry Technologies.** AEC Project Consulting Services - BIM Technology | Gehry Technologies. [En línea] 1999. <http://www.gehrytechnologies.com/>.
8. **Parlamento de Reino Unido.** Hansard 1803–2005. [En línea] 2005. <http://hansard.millbanksystems.com/>.
9. **Sinclair Knight Merz.** Sinclair Knight Merz (SKM). [En línea] 2013. www.globalskm.com.
10. **British Standard Institution.** *PAS 1192 - Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.* Londres : BSI, 2013. 978-0-580-82666-5.
11. **Norbert W., Young Jr., y otros.** *The business value of BIM.* Bedford : McGraw Hill, 2009.
12. **Texas Facilities Commission.** Professional service provider guidelines and standards. Austin : s.n., 2008.
13. **Authority, Danish Enterprise and Construction.** Det Digitale Byggeri. [En línea] www.detdigitalebyggeri.dk.
14. **Comité FIDE.** FIDE. *Formato de Intercambio de Datos en la Edificación.* [En línea] 2011. <http://www.fide.org.es/>.
15. **Bouzas Cavada, Manuel.** *Abramos la caja de herramientas BIM.* Vigo : s.n., 2013.
16. **NBS y RIBA.** *National BIM report 2013.* Londres : RIBA Enterprises, Ltd., 2013.
17. **G. Valderrama, Fernando y Sánchez Acosta, Enrique.** *Algunas experiencias, tres claves y una propuesta para integrar el modelo BIM y el presupuesto.* Valencia : EUBIM, 2013.
18. **Burnett, John, Chau, C.K. y Lee, W.L.** *Green buildings: How green the label?* Hong Kong : The Hong Kong Institution of Engineers Transactions, 2007.
19. **Liébana Carrasco, Óscar.** *BIM como herramienta verde.* Madrid : s.n., 2012.

20. **Ministerio de la Presidencia - Gobierno de España.** *Real Decreto 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.* Madrid : BOE, 2013.
21. **Liébana Carrasco, Óscar y Agulló de Rueda, José.** *Integración de metodología s-BIM en máster universitario oficial de estructuras en edificación.* Valencia : EUBIM 2013, 2013.
22. **Nieto Julián, J. Enrique, y otros.** *La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico.* Valencia : EUBIM 2013, 2013.
23. **González Pachón, Vicente.** *Innovación BIM en una empresa internacional de ingeniería y arquitectura. El caso TYPASA.* Valencia : EUBIM 2013, 2013.
24. **Lantek Systems.** Lantek Steelworks - La solución software para empresas de estructuras metálicas. [En línea] 2011. <http://www.lanteksteelworks.com/es/>.
25. **The Computer Science department of the University of Cambridge, England.** The Computer Laboratory. [En línea] 1999. <http://www.cl.cam.ac.uk>.
26. **M. Eastman, Chuck, y otros.** *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.* New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2008. ISBN 978-0-470-18528-5.
27. **Hardin, Brad.** *BIM and construction management: Proven tools, methods and workflows.* Indianápolis, Indiana : Wiley Publishing Inc., 2009. ISBN 978-0-470-40235-1.
28. **A. Jones, Stephen y et al.** *The business value of BIM for infrastructure.* Bedford : McGraw Hill, 2012.
29. **Dinesen, Betzy y Nisbet, Nick.** *Constructing the business case. Building Information Model.* Londres : British Standards Institution, 2010.
30. **Koo, Bonsang y Fischer, Martin.** *Feasibility study of 4D CAD in commercial construction.* Stanford : Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), 1998.
31. **R.A. Issa, Raja, Flood, Ian y J. O'Brien, William.** *4D CAD and visualization in construction: Developments and applications.* Lisse, Países Bajos : Swets & Zeitlinger Publishers, 2003. ISBN 90-5809-354-9.
32. **Retik, Arkady y Langford, David.** *Computer integrated planning and design for construction.* Londres : Thomas Telford Publishing, 2001. ISBN 978-0-7277-3007-7.
33. **Smith, Dana y Tardif, Michael.** *Building information modeling: A strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers.* Hoboken, New Jersey : John Wiley & sons, Inc., 2009. ISBN 978-0-470-25003-7.
34. **Lévy, François.** *BIM in small-scale sustainable design.* Hoboken, New Jersey : John Wiley & sons, Inc., 2011. ISBN 978-0470590898.
35. **Kymmell, Willem.** *Building information modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations.* Chicago, EE.UU. : McGraw-Hill Professional, 2008. ISBN 978-0-07-149453-3.
36. **Krygiel, Eddy y Nies, Brad.** *Green BIM: Successful sustainable design with building information modeling.* Indianápolis, Indiana : Sybex, 2008. ISBN 978-0-470-23960-5.

37. **Jernigan, Finith.** *Big BIM, little BIM. The practical approach to building information modeling. Integrated practice done the right way!* Salisbury, Maryland : 4Site Press, 2007. ISBN 978-0-9795699-0-6.
38. **Penttilä, Hannu.** *Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression.* Helsinki : Helsinki University of Technology (HUT), 2006.
39. **Rodríguez, Eugenio.** *BIM-4D: El tiempo añadido al modelado de información de construcción.* Sevilla : s.n., 2012.
40. **Farah, Toni.** *Review of current estimating capabilities of the 3D building information model software to support design for production/construction.* Worcester : Worcester Polytechnic Institute, 2005.
41. **Hitchcock, Don.** *The value of BIM for Facilities Management.* Rivervale : Advanced Spatial Technologies, 2011.
42. **ASTM.** *E2114 - 08 - Standard terminology for sustainability relative to the performance of buildings.* s.l. : ASTM, 2008.

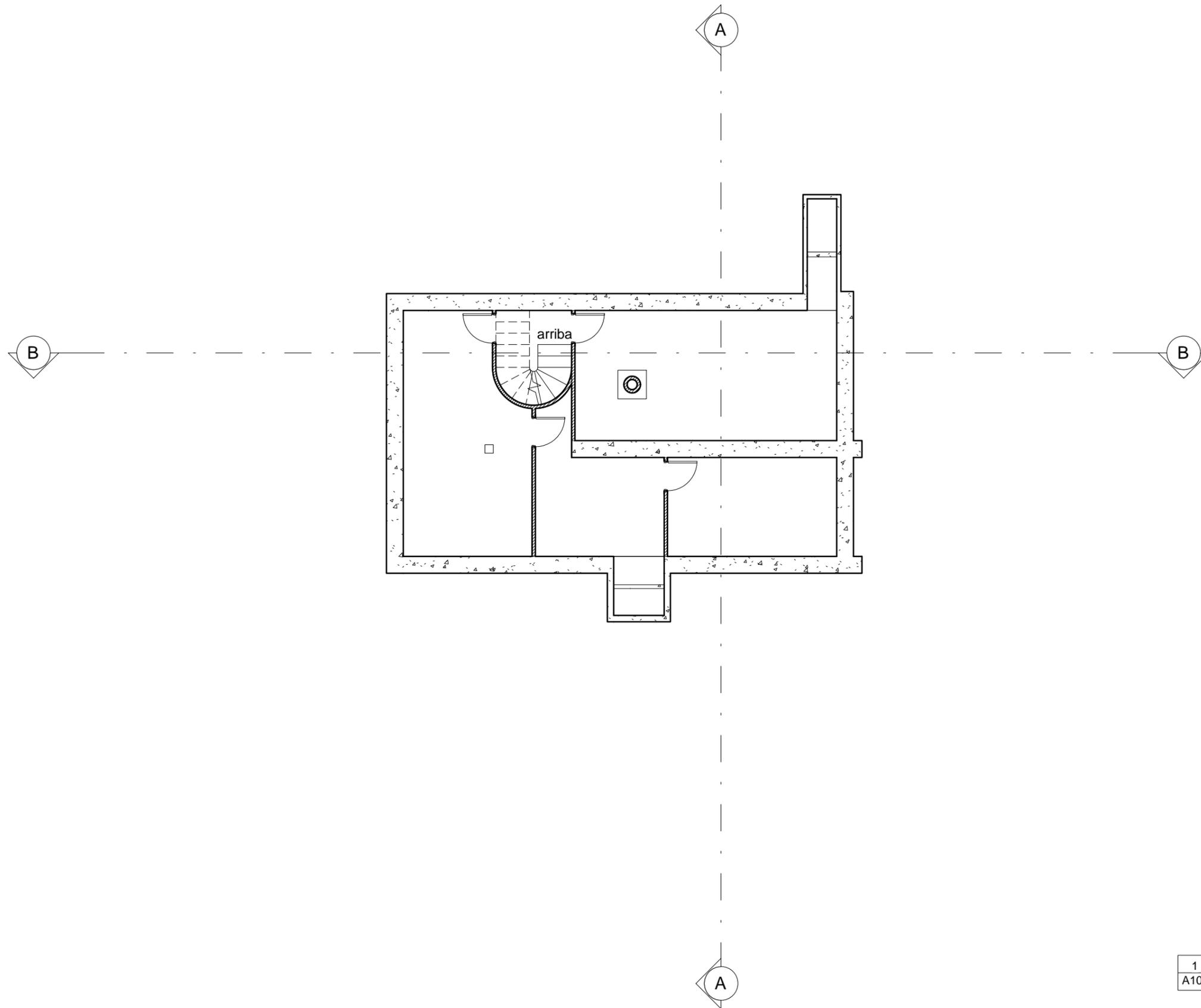
11. TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 - El trabajo en BIM se entiende como colaborativo entre todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo. Fuente: Propia del TFG.</i>	9
<i>Ilustración 2 - Demostración del funcionamiento de SketchPad. Fuente: Extraído de un video de 1987 de University Video Communications, en http://archive.org/details/AlanKeyD1987 - Acceso: Abril de 2013</i>	12
<i>Ilustración 3 - El Palau San Jordi. Barcelona. Fue construido utilizando herramientas CAD/CAM. Fuente: Tesis doctoral José A. Vázquez Rodríguez (4)</i>	14
<i>Ilustración 4 - Renderizado de un proyecto a través de Pro/REFLEX. Fuente: www.ptc.com - Acceso: Abril de 2013</i>	17
<i>Ilustración 5 - Una de las primeras imágenes del Revit 1.0 en funcionamiento. Fuente: http://revit.in - Acceso: Abril de 2013</i>	19
<i>Ilustración 6 - Secuencia de trabajo en AutoCAD 12. Fuente: http://www.camillotrevisan.it - Acceso: Abril de 2013</i>	20
<i>Ilustración 7 - Imagen del Allplan V1. Fuente: http://www.nemetschek-allplan.es - Acceso abril 2013</i>	22
<i>Ilustración 8 - Esquema secuencial de la construcción de un pilar para entender las cinco dimensiones. Fuente: Propia del TFG.</i>	24
<i>Ilustración 9 - Diseño de una planta de procesamiento de mineral, diseñada con el software Navigator de Bentley. Fuente: http://www.globalskm.com - Acceso: Abril 2013</i>	26
<i>Ilustración 10 - Logotipo del formato IFC 2x2 - Fuente: www.buildingsmart.org - Acceso: Abril 2013</i>	26
<i>Ilustración 11 - Impresión artística de la Terminal 5 del aeropuerto de Heathrow. La terminal se inauguró en abril de 2008 y la segunda fase se inauguró en 2011. Fuente: http://www.airport-technology.com/ - Acceso abril 2013</i>	27
<i>Ilustración 12 - A la izquierda simplificación del tratamiento de objetos con programas CAD. A la derecha Simplificación del tratamiento de objetos con programas BIM. Fuente: Constructing the business case. BuildingSMART.2010. (29)</i>	31
<i>Ilustración 15 - BIM Maturity Diagram - Subiendo a través de los niveles de uso de la tecnología conduce a datos de trabajo y gestión de procesos eficaces. Fuente: Royal Institute of British Architects (RIBA).</i>	32
<i>Ilustración 13 - Los programas BIM contemplan todos los modelos en un solo archivo. Fuente: Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice. NED University. Paquistán</i>	33
<i>Ilustración 14 - La detección de errores a través de programas BIM se realiza durante la elaboración del proyecto. Fuente: Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice. NED University. Paquistán</i>	34
<i>Ilustración 16 - Claves para la programación de puertas indicada en el 'Professional service provider guidelines and standards'. Fuente: Texas Facilities Commission (TFC).</i>	38
<i>Ilustración 17 - La empresa privada Rambøll, ha decidido adoptar la norma 'Det Digitale Byggeri', para construir su sede central en Dinamarca. En la imagen se ven cómo diferentes modelos se han unido en uno solo, incluso usando diferentes tipos de software. Fuente: www.ramboll.com Acceso: Mayo de 2013.</i>	39
<i>Ilustración 18 - Las aplicaciones de Software compatibles con FIDE podrán colocar un logo con la versión de FIDE para la que son compatibles y la fecha de la Certificación. Fuente: http://www.fide.org.es Acceso: Mayo 2013.</i>	41
<i>Ilustración 19 - Proceso de trabajo de modelado según Bouzas Cavada. (15).</i>	44
<i>Ilustración 20 - Clasificación de las herramientas BIM según Bouzas Cavada (15).</i>	45
<i>Ilustración 21 - Encuesta sobre la utilización prevista del BIM entre los profesionales de la industria AEC en Reino Unido. Fuente: National BIM Report 2013. RIBA y NBS (16).</i>	46
<i>Ilustración 22 - Encuesta sobre la utilización de CAD entre los profesionales de la industria AEC en Reino Unido. Fuente: National BIM Report 2013. RIBA y NBS (16).</i>	48
<i>Ilustración 23 - Curva de MacLeamy. Fuente: http://paginas.fe.up.pt. Acceso: Mayo 2013</i>	49

Ilustración 24 - En los modelos de información BIM, los cambios se realizan de manera automática en todas las visualizaciones. En la imagen podemos ver la modificación de un muro en una vista 3D y su instantánea modificación en el modelo 2D, sin que el usuario tenga que intervenir. Fuente: Propia del TFG.	51
Ilustración 25 – Las diferentes formas de visualización de BIM nos permiten trabajar de una forma más realista sobre un modelo único de información. Fuente: Propia del TFG.	54
Ilustración 26 – Imagen del programa Microsoft Project 2013, que permite crear programaciones temporales. Fuente: Elaboración propia del TFG.	56
Ilustración 27 - Diferentes fases del proceso constructivo con un software BIM llamado RIB iTWO y que incorporar 5D. Fuente: http://www.rib-software.com . Acceso: Mayo 2013	59
Ilustración 28 – Proceso de asignación de un código de montaje a un tipo de muro del proyecto de La Villa Savoye. Fuente: propia del TFG.	63
Ilustración 29 – Listado ejecutado en Revit con la medición de elementos utilizados en el modelo. Fuente: Propia del TFG.	63
Ilustración 30 - Etiqueta del certificado energético indicada en el RD 235/2013. Fuente: http://www.minetur.gob.es . Acceso: Mayo 2013	65
Ilustración 31 – Localización de la vivienda mediante la herramienta Green Building Studio de Autodesk. Fuente: https://gbs.autodesk.com/	66
Ilustración 32 – Tabla de Autodesk Building Studio con el proyecto de la Villa Savoye y sus posibles comparaciones. Fuente: https://gbs.autodesk.com/	67
Ilustración 33 – Consumo anual y mensual de energía para el modelo de información de la Villa Savoye creado para este TFG. Fuente: https://gbs.autodesk.com/	67
Ilustración 34 – Análisis de las partes del edificio donde se desperdicia energía. Fuente: https://gbs.autodesk.com/	68
Ilustración 35 - La séptima dimensión abarca la mayor parte del ciclo de vida de un edificio. Fuente: Propia del TFG	68
Ilustración 36 - Pirámide conceptual del BIM. Fuente: Propia del TFG	71
Ilustración 37 - El mismo modelo en diferente niveles de desarrollo. Fuente: http://thebimmanager.blogspot.com.es . Acceso: Mayo 2013	76
Ilustración 38 - Aplicación del s-BIM para el modelo de información realizado para la expansión del aeropuerto de Chennai, India. Fuente: http://www.tekla.es . Acceso: Mayo 2013	77
Ilustración 39 - Procesamiento de datos de un capitel. Fuente: La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico, Nieto Julián, J. Enrique y otros, 2013.	80
Ilustración 40 - Modelo de información patrimonial con el software ArchiCAD. Fuente: La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico, Nieto Julián, J. Enrique y otros, 2013.	81
Ilustración 41 - Encuesta sobre el máximo nivel alcanzado entre los profesionales de la industria AEC en Reino Unido. Fuente: National BIM Report 2013. RIBA y NBS.	84
Ilustración 42 – Las competencias BIM pueden ser enseñadas desde las universidades en materias de diferentes doctrinas. Fuente: Propia del TFG	88

12. ÍNDICE DE PLANOS ADJUNTADOS

A100	PLANTA DE SÓTANO	DISTRIBUCIÓN
A101	PLANTA BAJA	DISTRIBUCIÓN
A102	PLANTA PRIMERA	DISTRIBUCIÓN
A103	PLANTA SEGUNDA – SOLARIUM	DISTRIBUCIÓN
A104	PLANTA DE CUBIERTA	DISTRIBUCIÓN
A105	PLANTA DE SÓTANO	ESQUEMA DE COLOR
A106	PLANTA BAJA	ESQUEMA DE COLOR
A107	PLANTA PRIMERA	ESQUEMA DE COLOR
A108	PLANTA SEGUNDA – SOLARIUM	ESQUEMA DE COLOR
A109	PLANTA DE CUBIERTA	ESQUEMA DE COLOR
A110	PLANTA BAJA	ZONIFICACIÓN
A111	PLANTA PRIMERA	ZONIFICACIÓN
A112	PLANTA DE SÓTANO	COTAS
A113	PLANTA BAJA	COTAS
A114	PLANTA PRIMERA	COTAS
A115	PLANTA SEGUNDA – SOLARIUM	COTAS
A116	PLANTA DE SÓTANO	SUPERFICIES
A117	PLANTA BAJA	SUPERFICIES
A118	PLANTA PRIMERA	SUPERFICIES
A119	PLANTA SEGUNDA – SOLARIUM	SUPERFICIES
A120	ALZADO ESTE	
A121	ALZADO NORTE	
A122	ALZADO OESTE	
A123	ALZADO SUR	
A124	SECCIÓN A	
A125	SECCIÓN B	
A126	ALZADOS HABITACIÓN PRINCIPAL	
A127	APROXIMACIÓN FRONTAL	RENDERIZADO
A128	APROXIMACIÓN TRASERA	RENDERIZADO



1	Sótano
A100	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

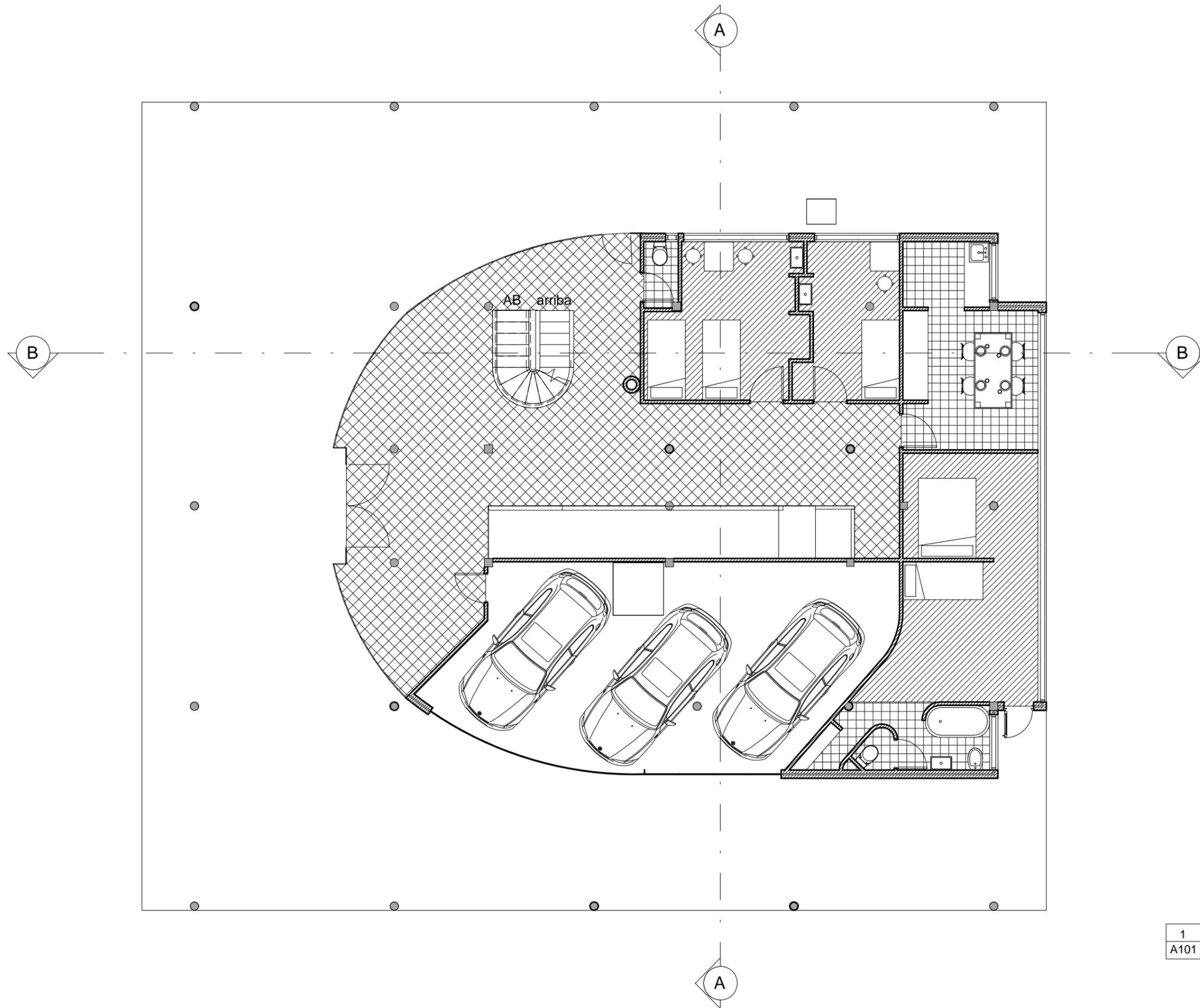
ARQUITECTURA
 PLANTA DE SÓTANO
 DISTRIBUCIÓN

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A100



1 Planta baja
A101 1:100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

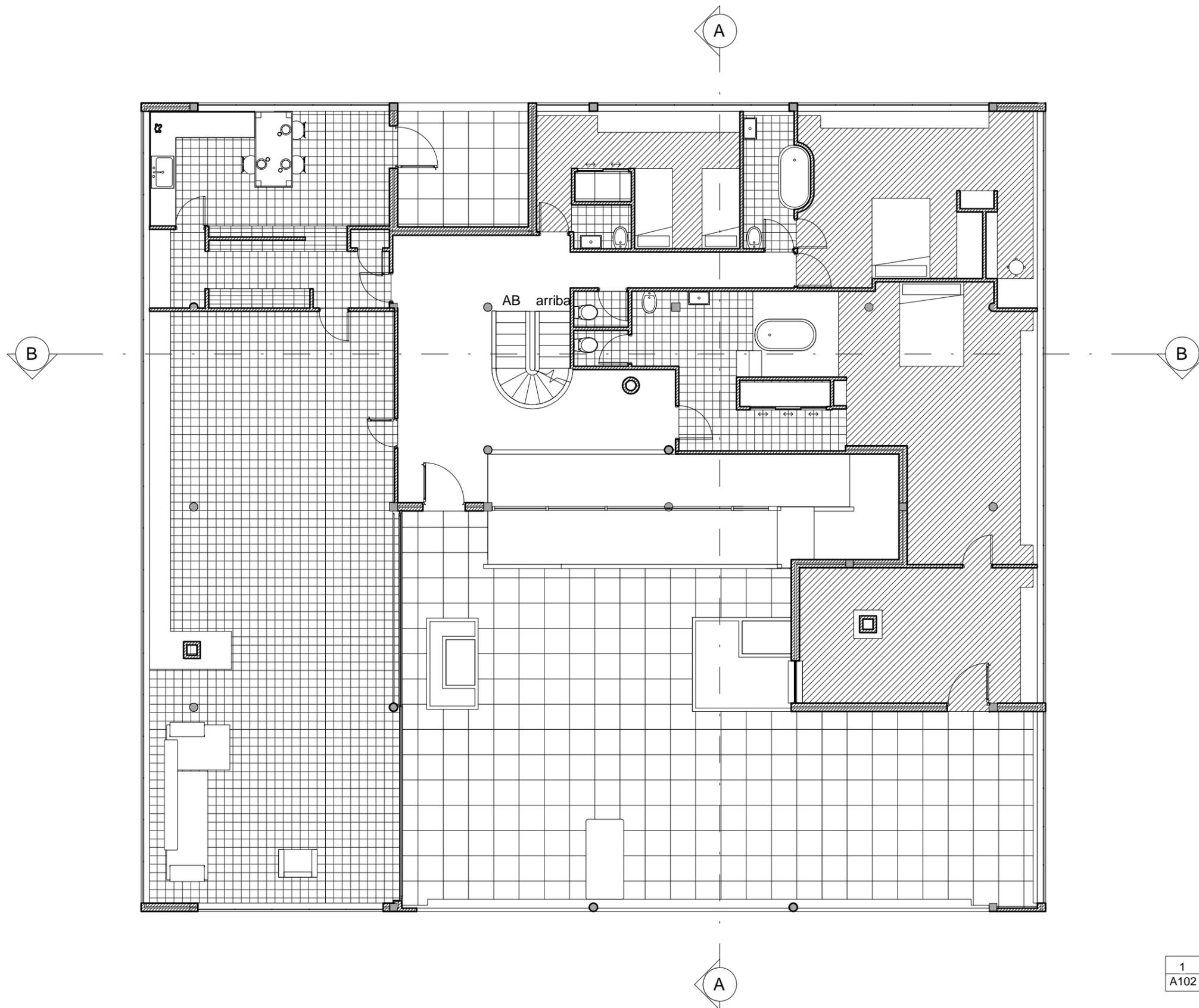
Plano

ARQUITECTURA
PLANTA BAJA
DISTRIBUCIÓN

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A101



1	Planta primera
A102	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

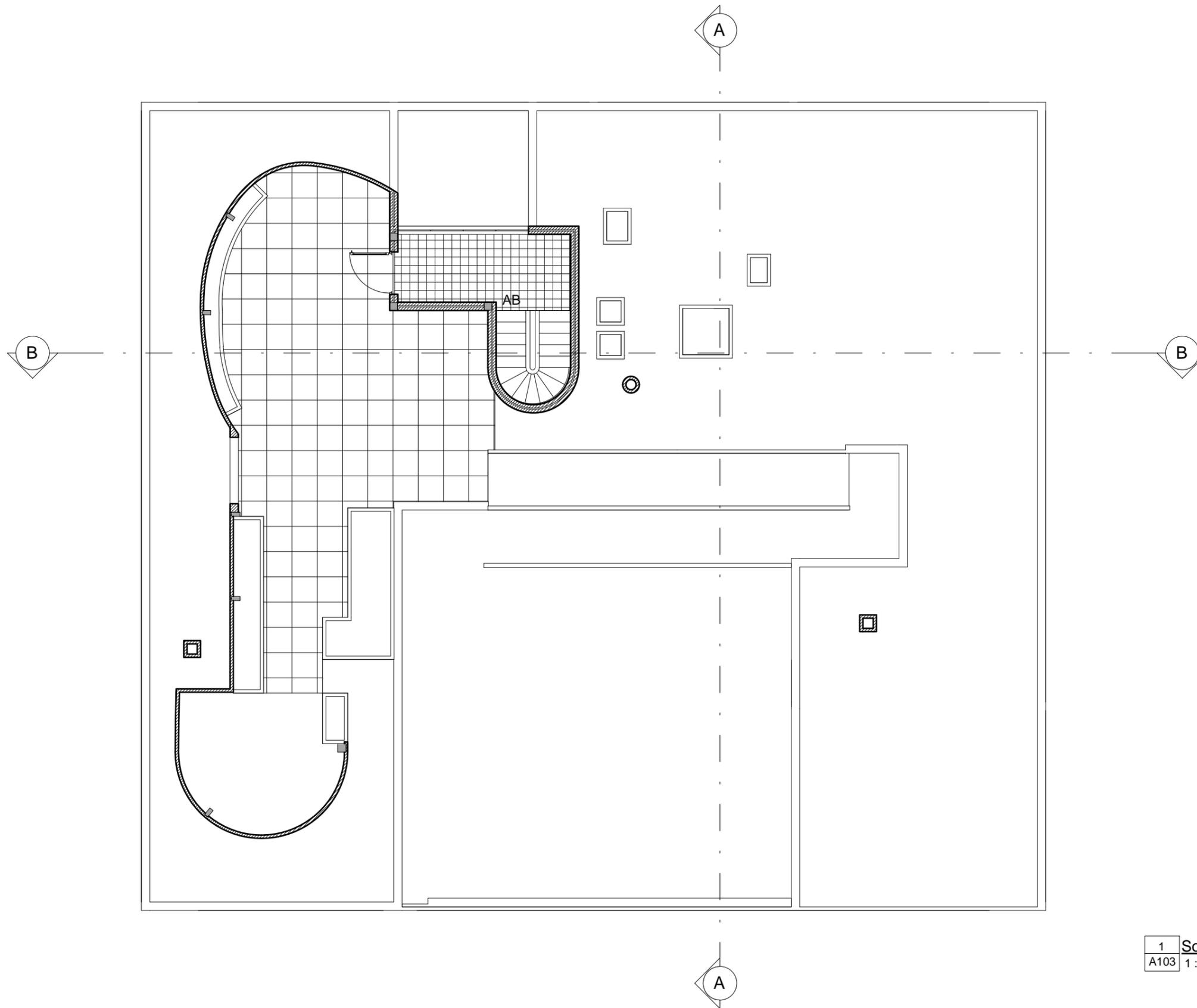
ARQUITECTURA
 PLANTA PRIMERA
 DISTRIBUCIÓN

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A102



1	Solarium
A103	1:100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

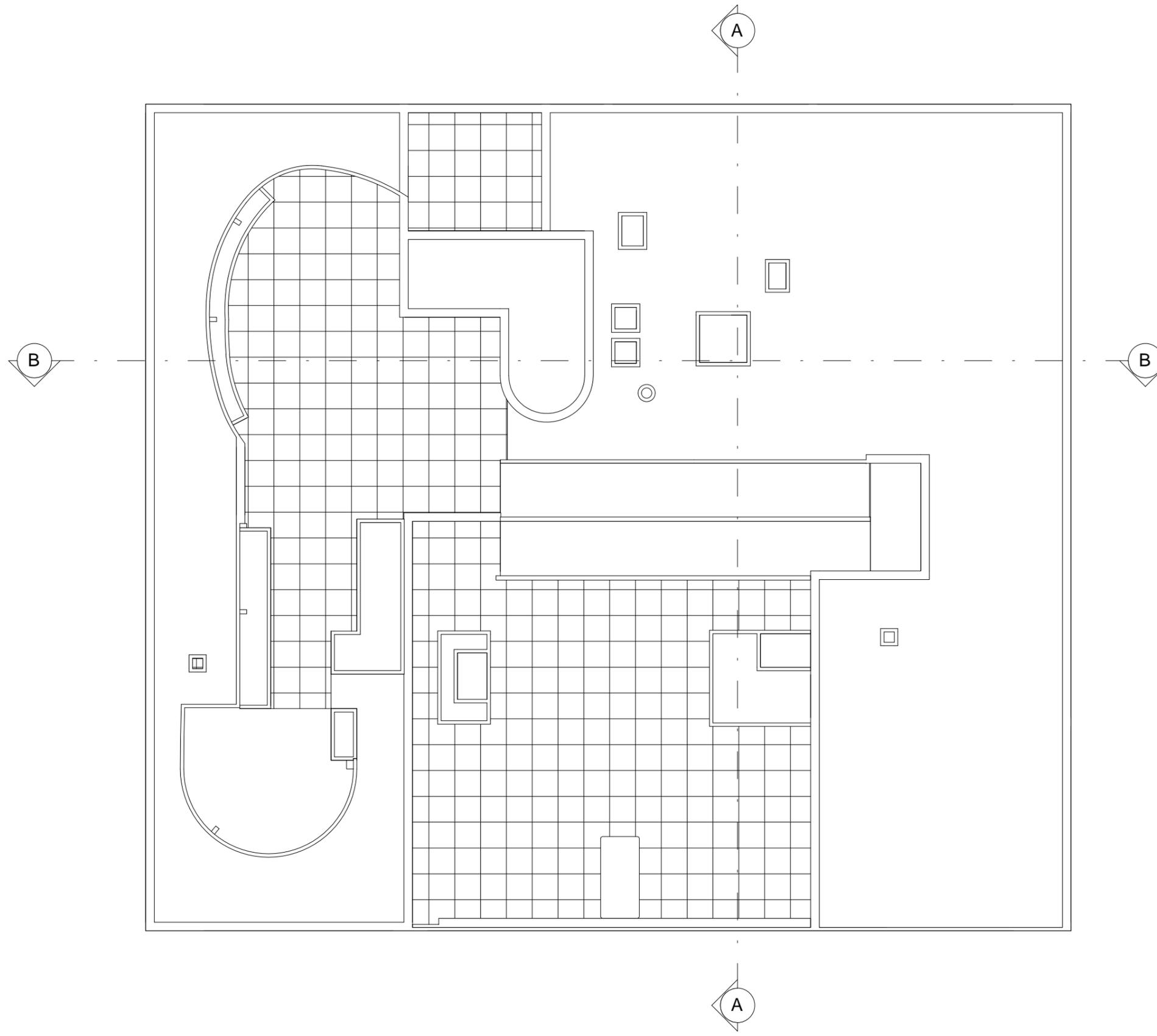
ARQUITECTURA
 PLANTA SEGUNDA - SOLARIUM
 DISTRIBUCIÓN

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A103



1 Cubierta
A104 1 : 100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

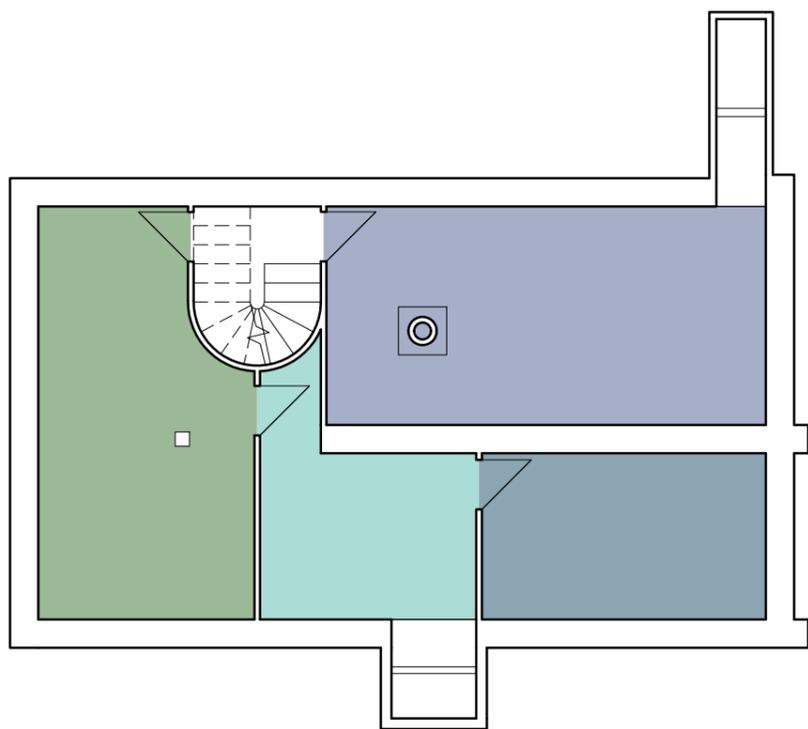
Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

Plano

ARQUITECTURA
PLANTA DE CUBIERTA
DISTRIBUCIÓN

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano
A104



Leyenda sótano

- Almacén 1
- Almacén 2
- Almacén 3
- Almacén 4

1	Sótano
A105	1 : 100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

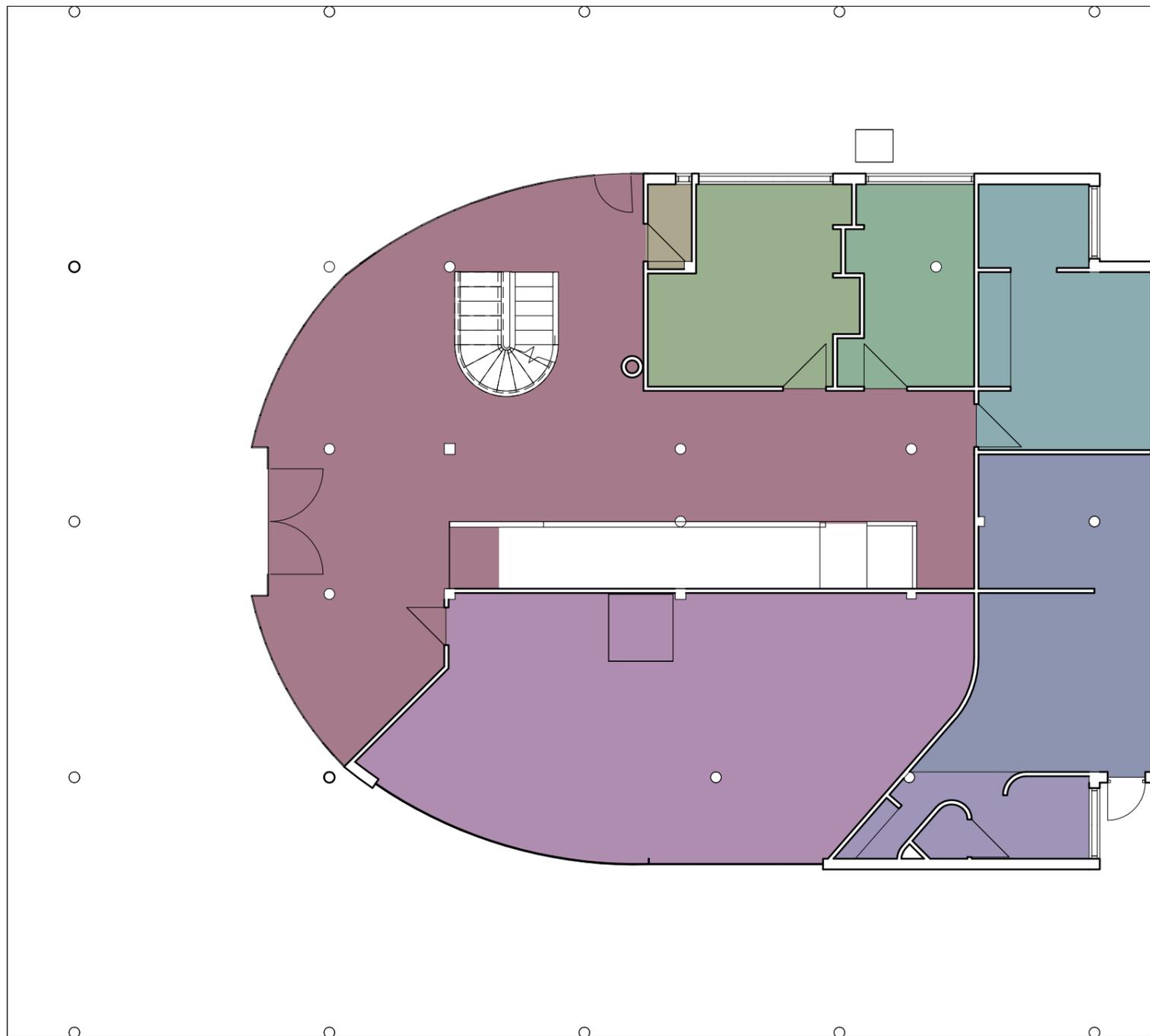
ARQUITECTURA
 PLANTA DE SÓTANO
 ESQUEMA DE COLOR

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A105



Leyenda planta baja

- Aseo 1
- Habitación 1
- Habitación 2
- Cocina servicio
- Habitación 3
- Baño 1
- Garaje
- Hall

1	Planta baja
A106	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

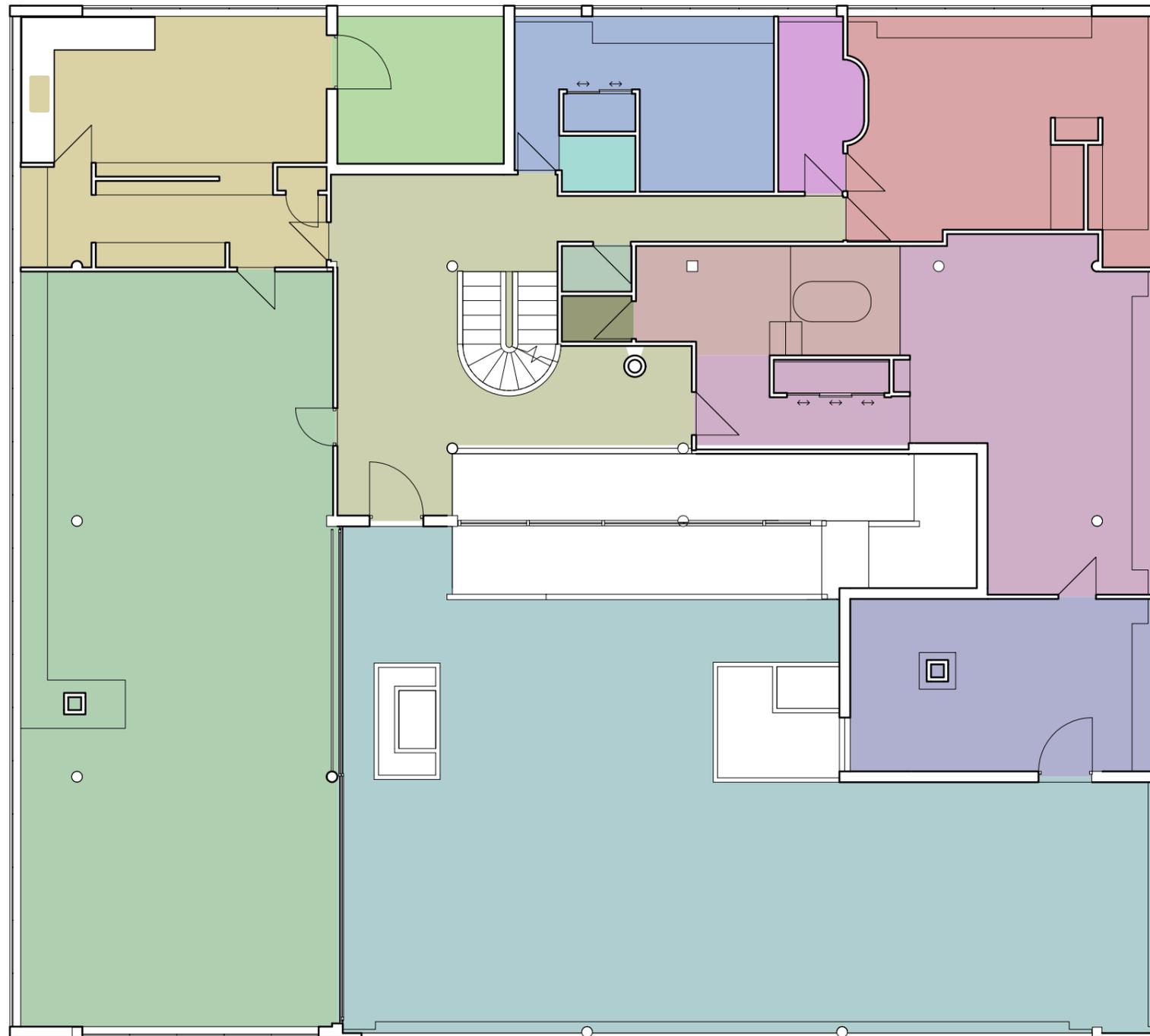
ARQUITECTURA
 PLANTA BAJA
 ESQUEMA DE COLOR

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A106



Leyenda planta primera

- Cocina
- Terraza
- Habitación 4
- Aseo 2
- Baño 2
- Habitación 5
- Habitación 6
- Habitación 7
- Solarium 1
- Sala de estar
- Pasillo
- Aseo 3
- Aseo 4
- Baño 3

1	Planta primera
A107	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

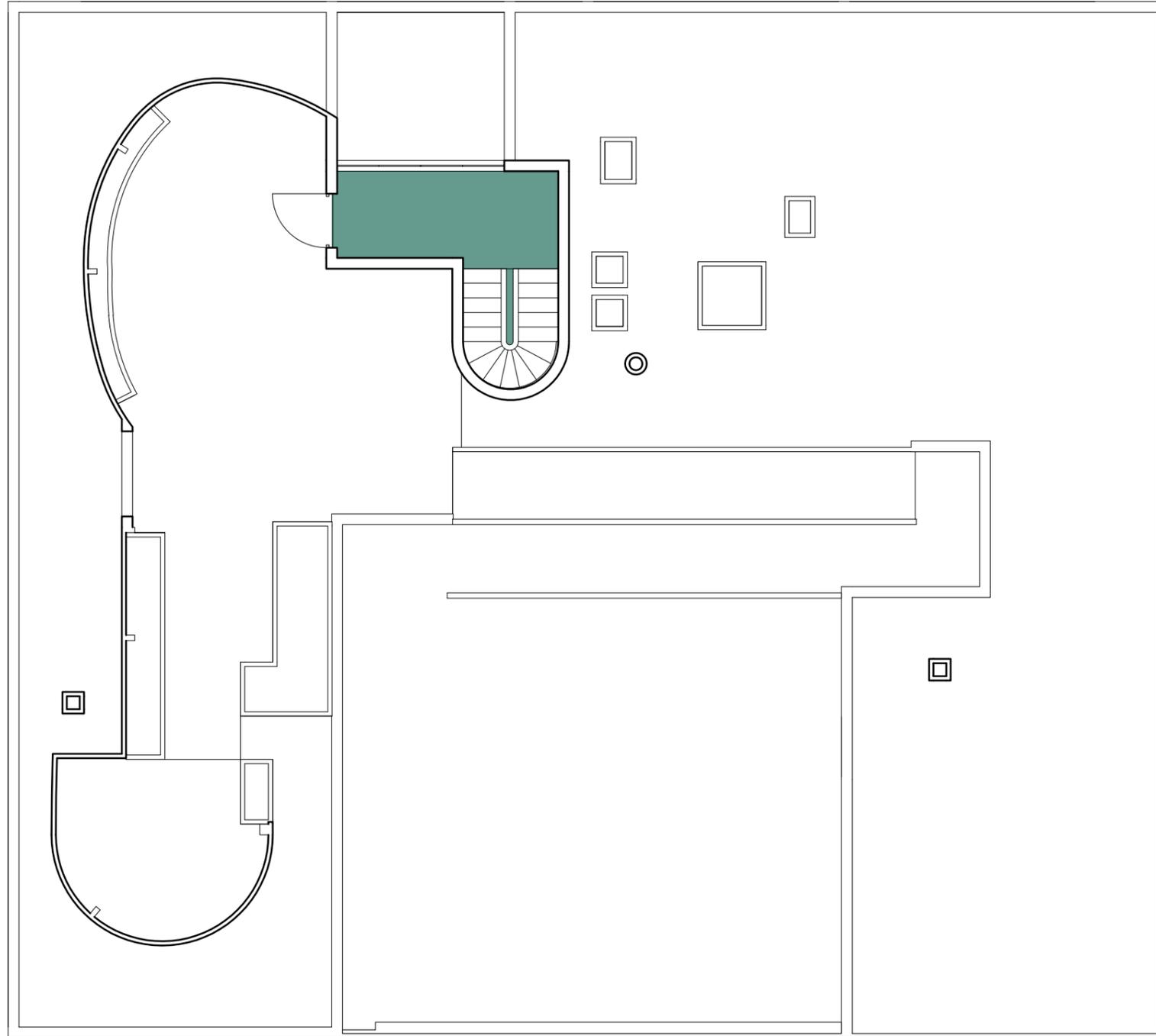
ARQUITECTURA
 PLANTA PRIMERA
 ESQUEMA DE COLOR

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A107



Leyenda planta segunda - Solarium

- Caja de escalera
- Solarium 2

1	Solarium
A108	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

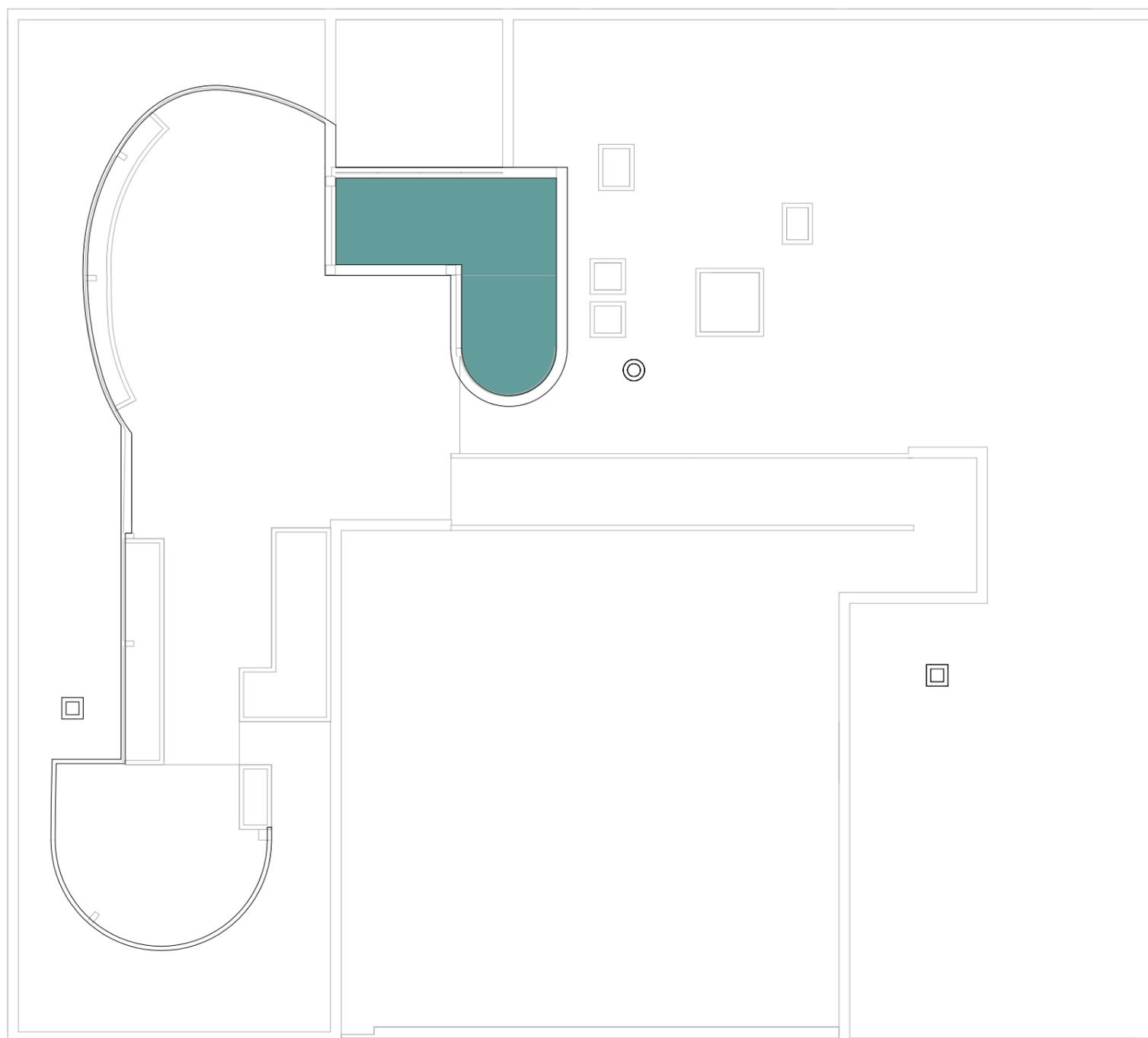
Plano
 ARQUITECTURA
 PLANTA SEGUNDA - SOLARIUM
 ESQUEMA DE COLOR

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A108



Leyenda planta de cubierta

 Cubierta

1	Cubierta
A109	1 : 100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

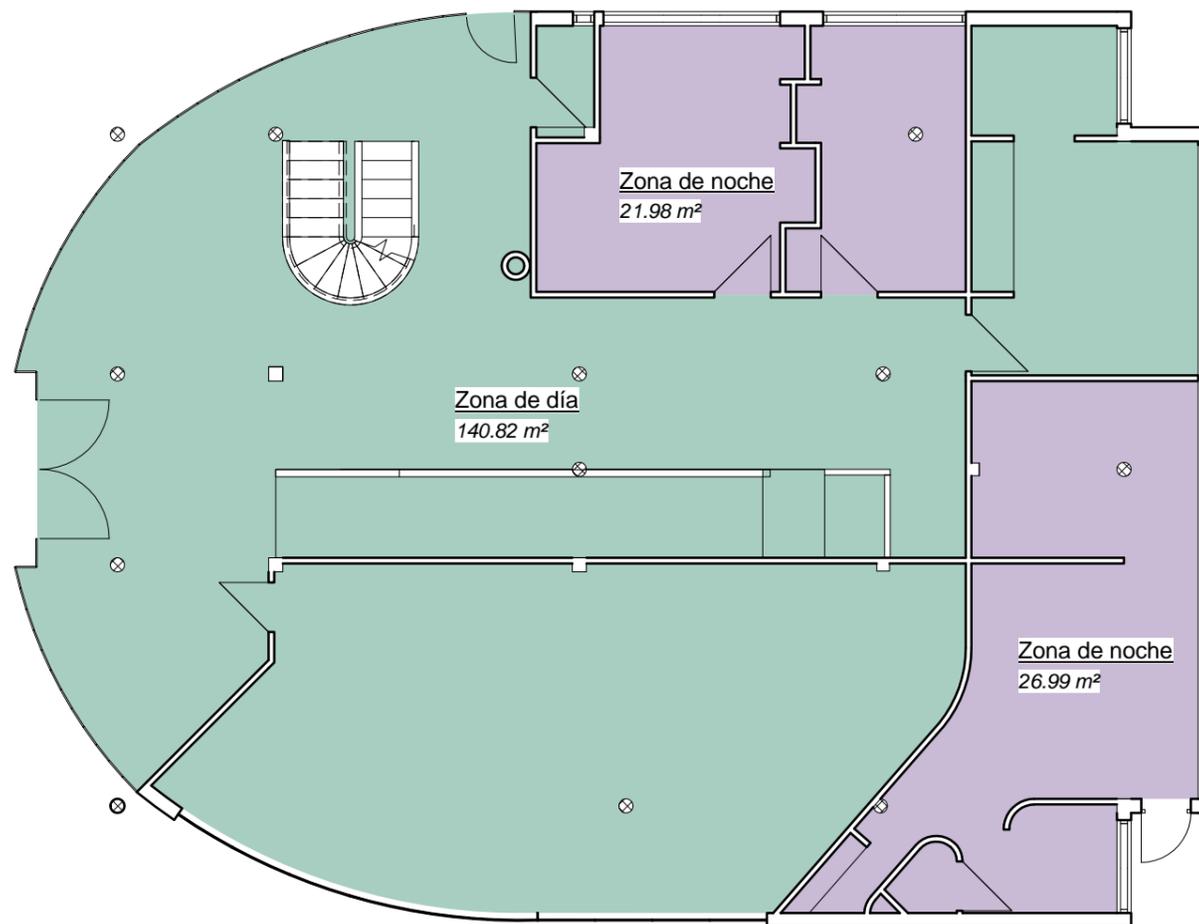
Plano

ARQUITECTURA
PLANTA DE CUBIERTA
ESQUEMA DE COLOR

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A109



Zonificación

- Zona de día
- Zona de noche

1	Planta baja
A110	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

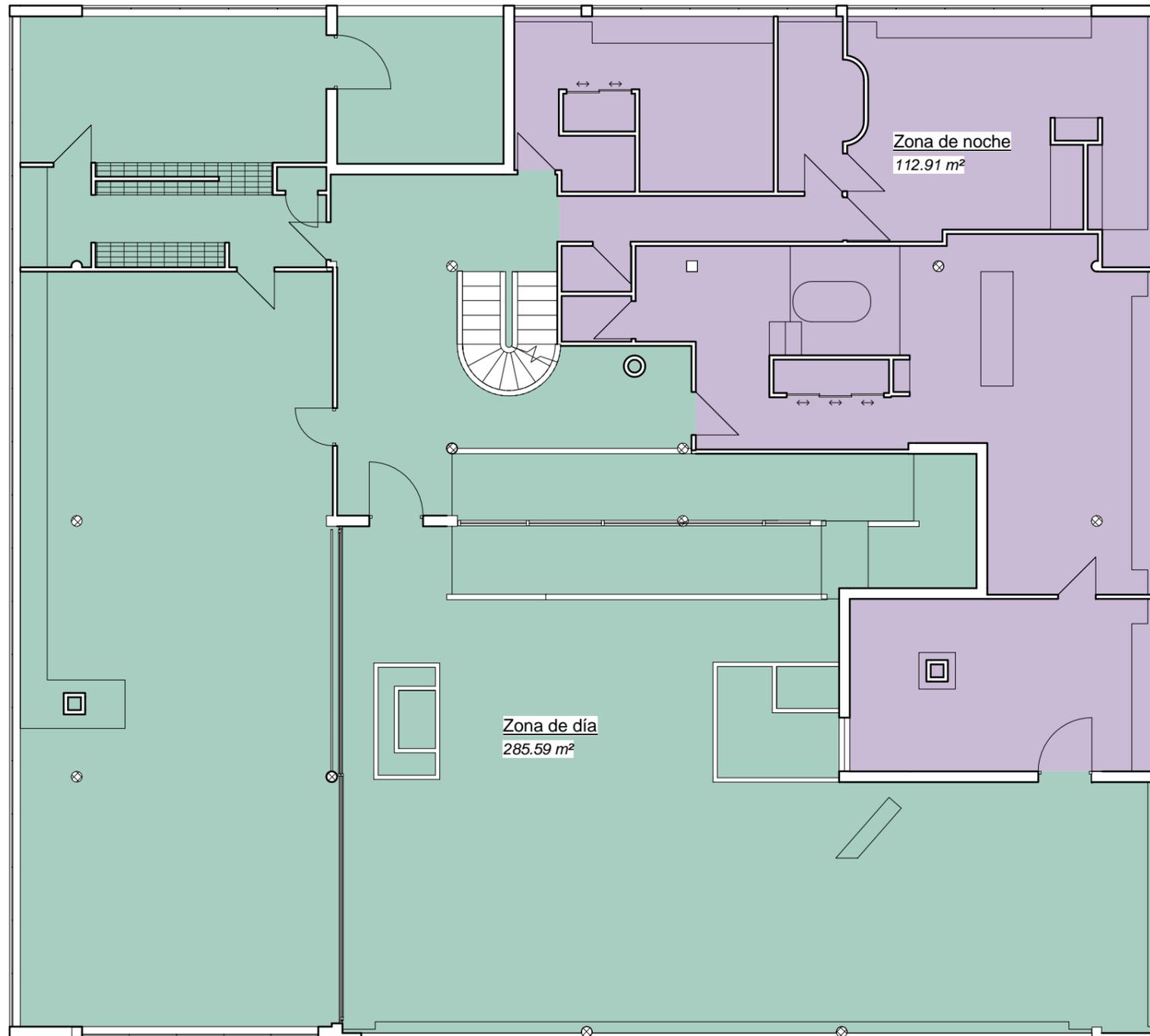
ARQUITECTURA
 PLANTA BAJA
 ZONIFICACIÓN

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A110



Zonificación

- Zona de día
- Zona de noche

1	Planta primera
A111	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

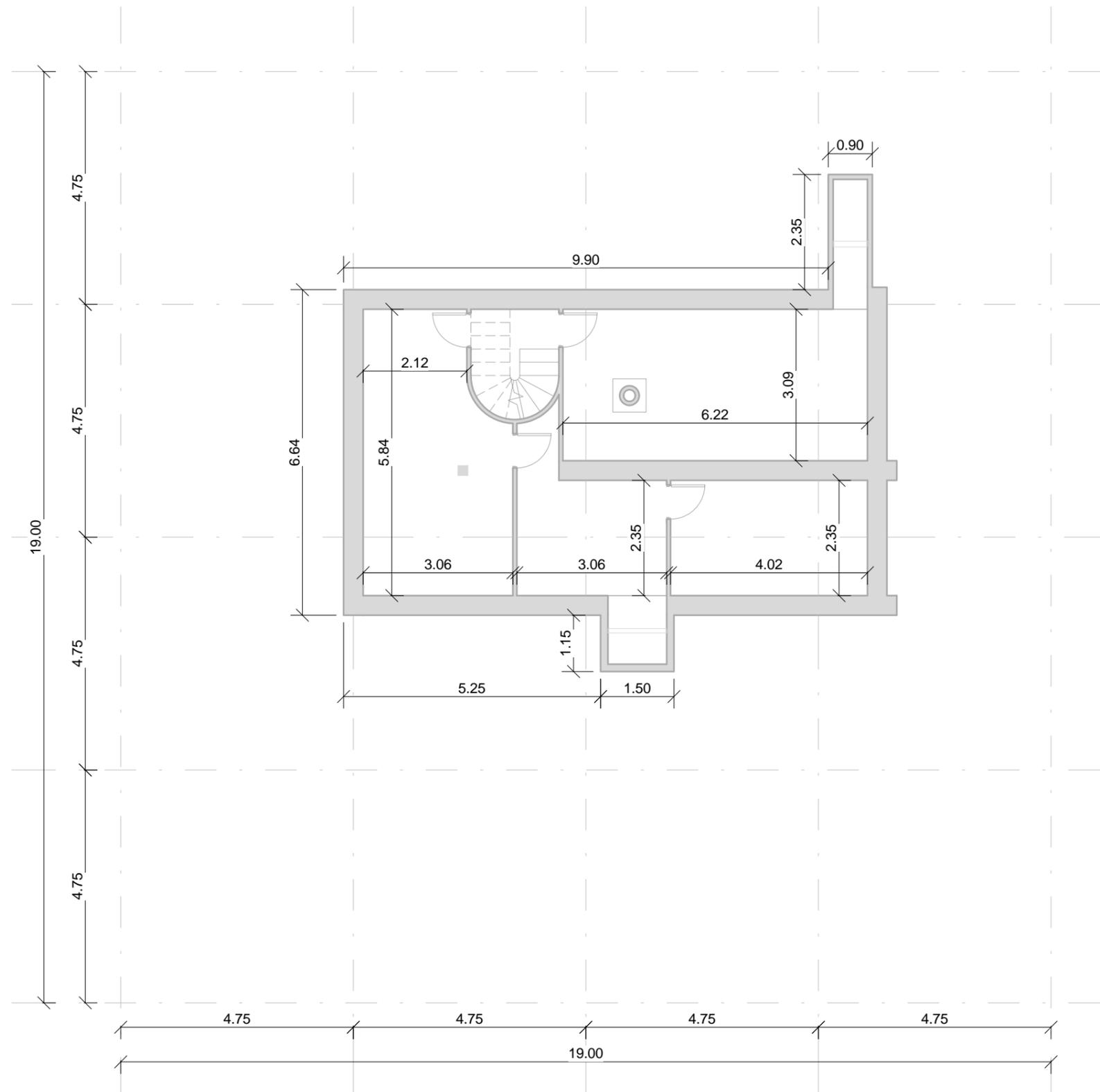
ARQUITECTURA
 PLANTA PRIMERA
 ZONIFICACIÓN

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A111



1 Sótano
A112 1 : 100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno Iván Gómez Fernández
Tutor José A. Vázquez Rodríguez

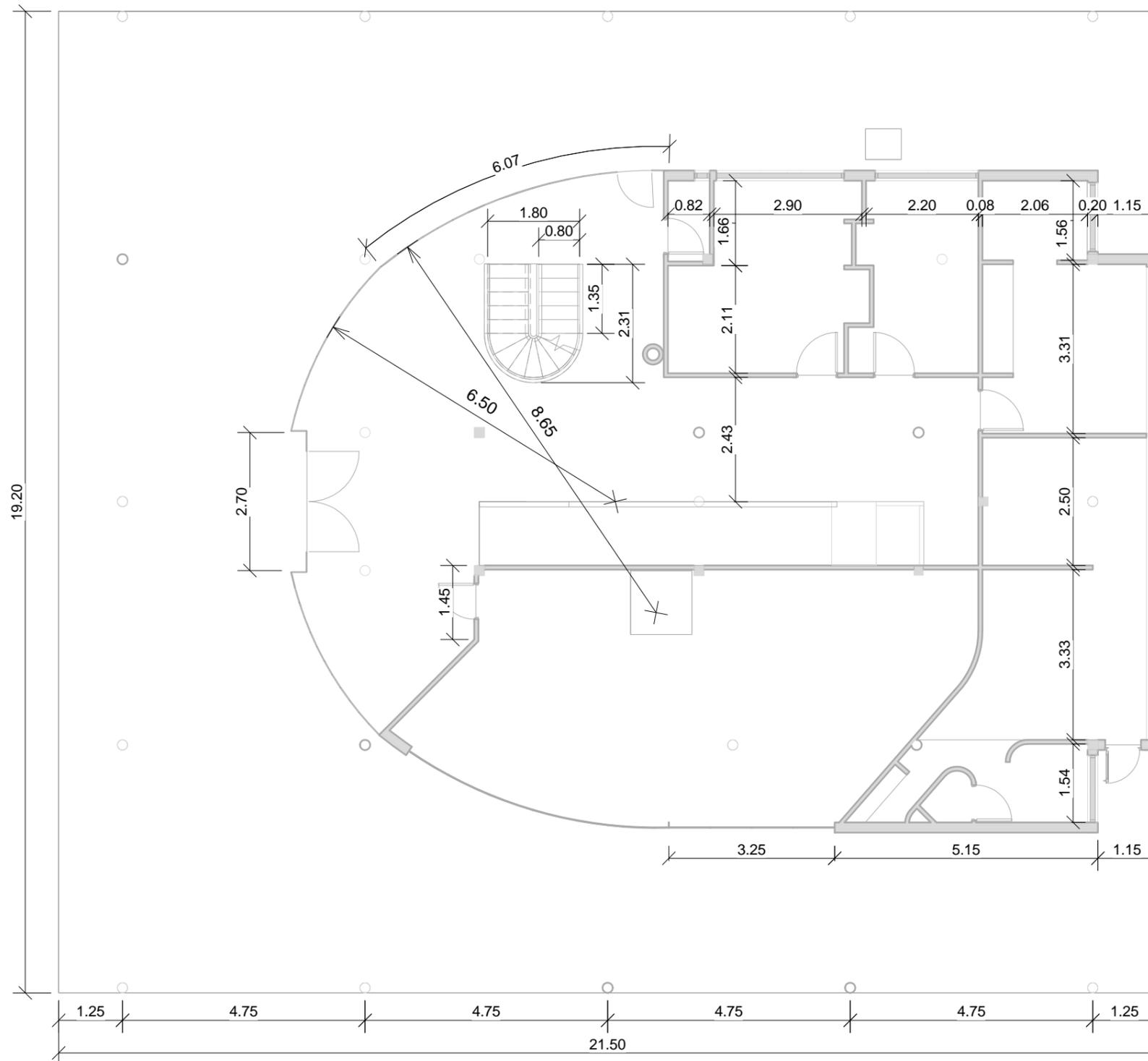
Plano

ARQUITECTURA
PLANTA DE SÓTANO
COTAS

Fecha 21 junio 2013
Curso 2012/2013

Número de plano

A112



1	Planta baja
A113	1 : 100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

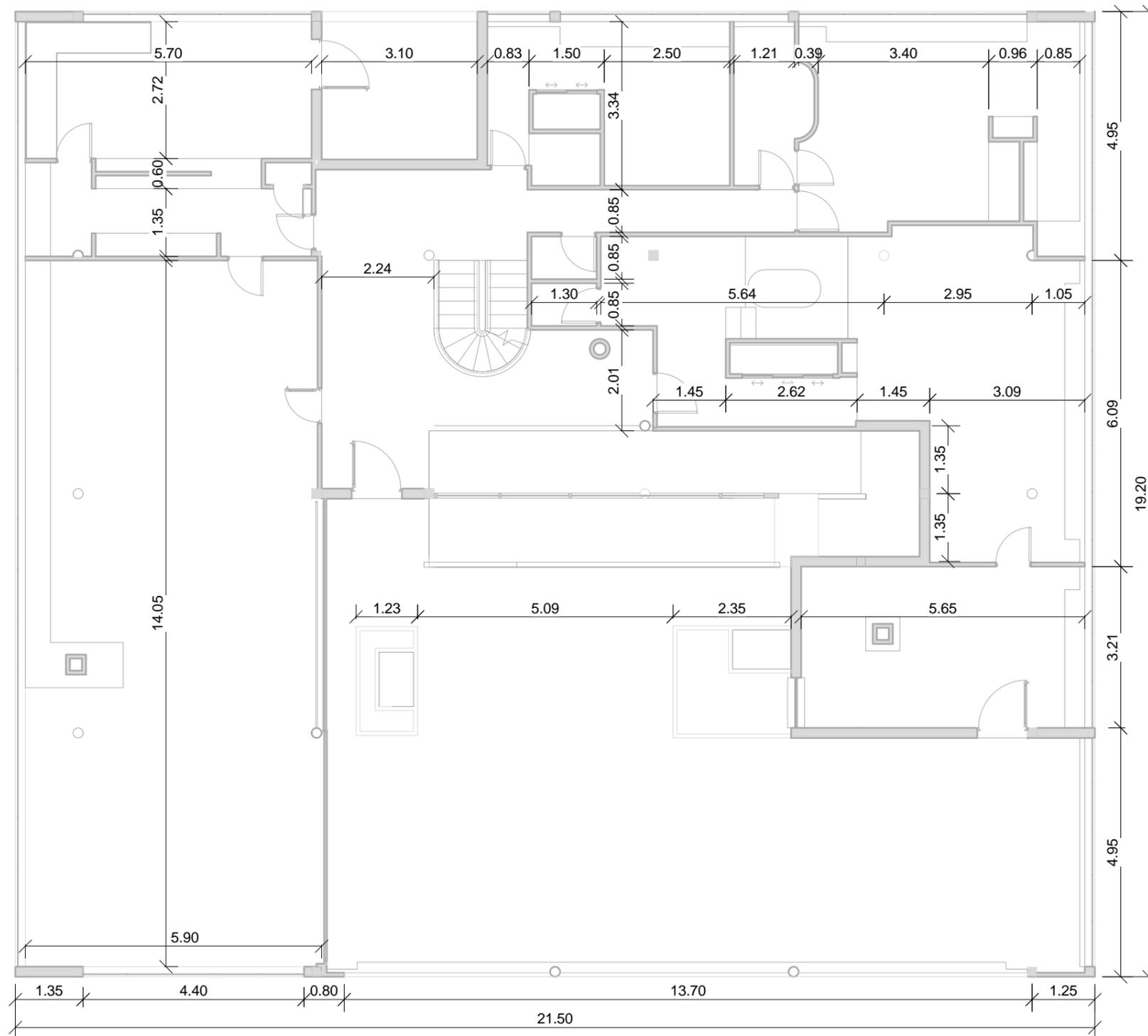
ARQUITECTURA
 PLANTA BAJA
 COTAS

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A113



1	Planta primera
A114	1:100



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

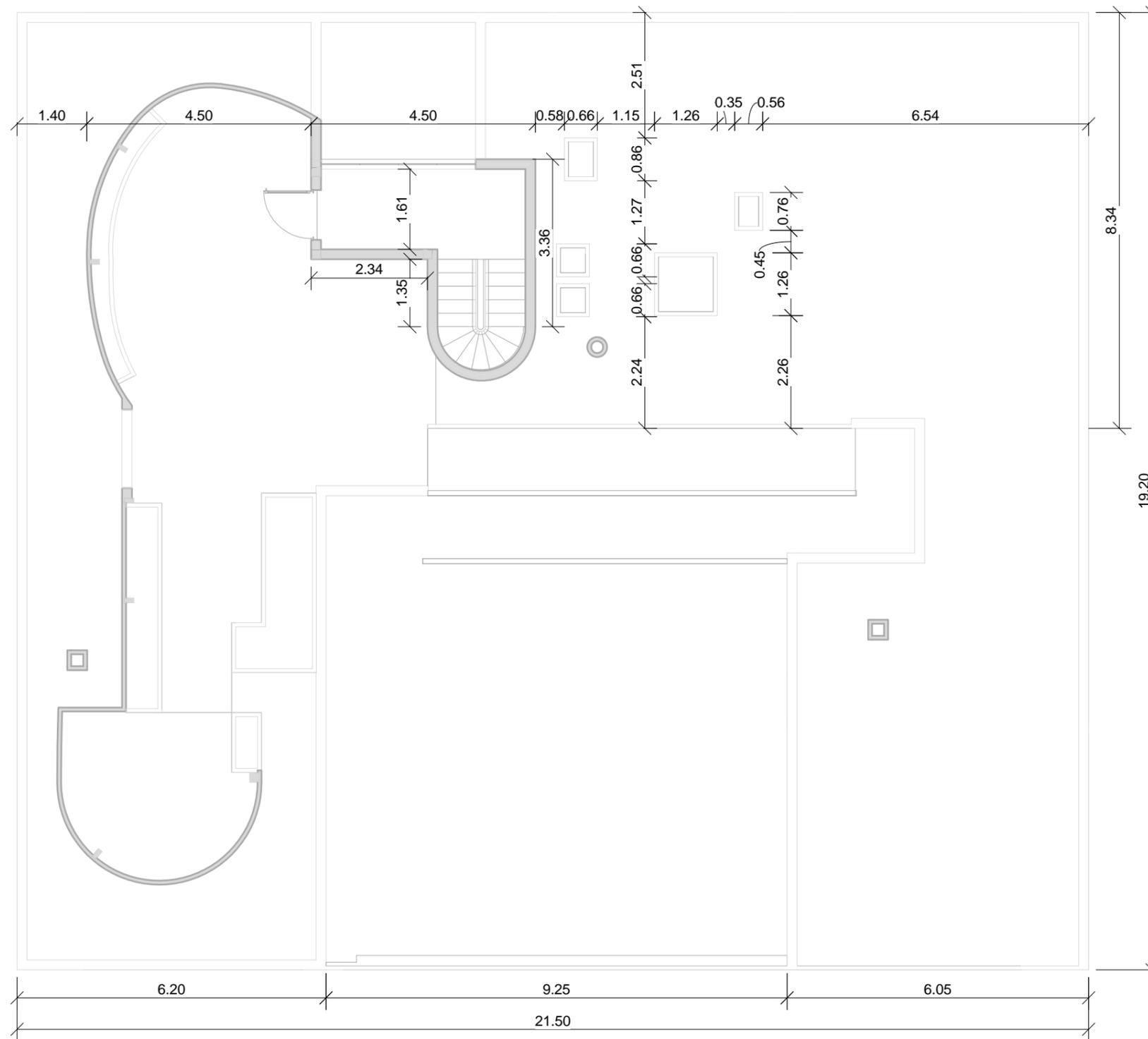
Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano
 ARQUITECTURA
 PLANTA PRIMERA
 COTAS

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano
A114



1 Solarium
A115 1 : 100



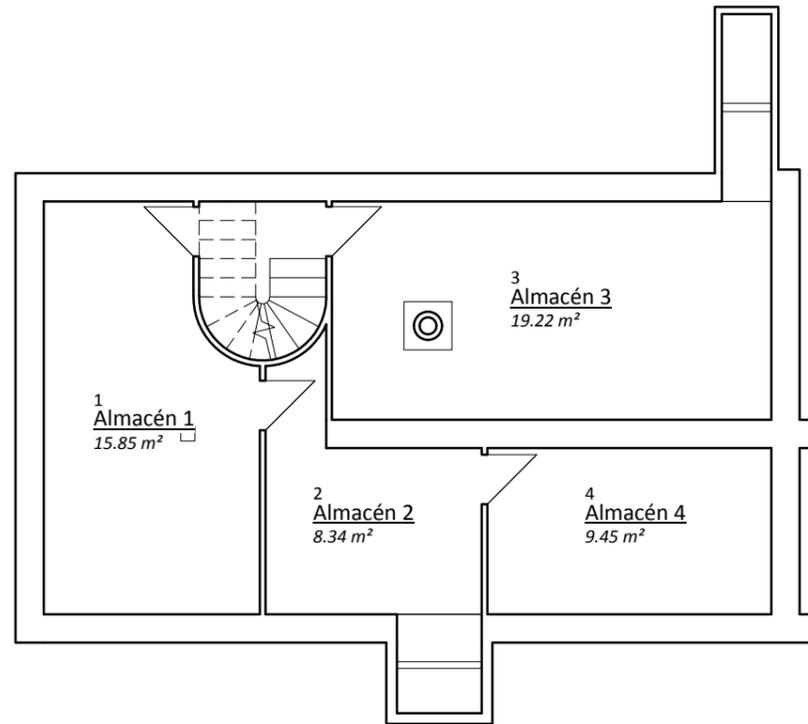
Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

Plano
ARQUITECTURA
PLANTA SEGUNDA - SOLARIUM
COTAS

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano
A115



1 Sótano
A116 1 : 100

Orden	Nombre	Área	Perímetro	Volúmen
1	Almacén 1	15.85 m ²	17.32 m	34.87 m ³
2	Almacén 2	8.34 m ²	14.38 m	18.35 m ³
3	Almacén 3	19.22 m ²	18.77 m	42.29 m ³
4	Almacén 4	9.45 m ²	12.74 m	20.79 m ³
Grand total: 4		52.86 m ²	63.21 m	116.30 m ³



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

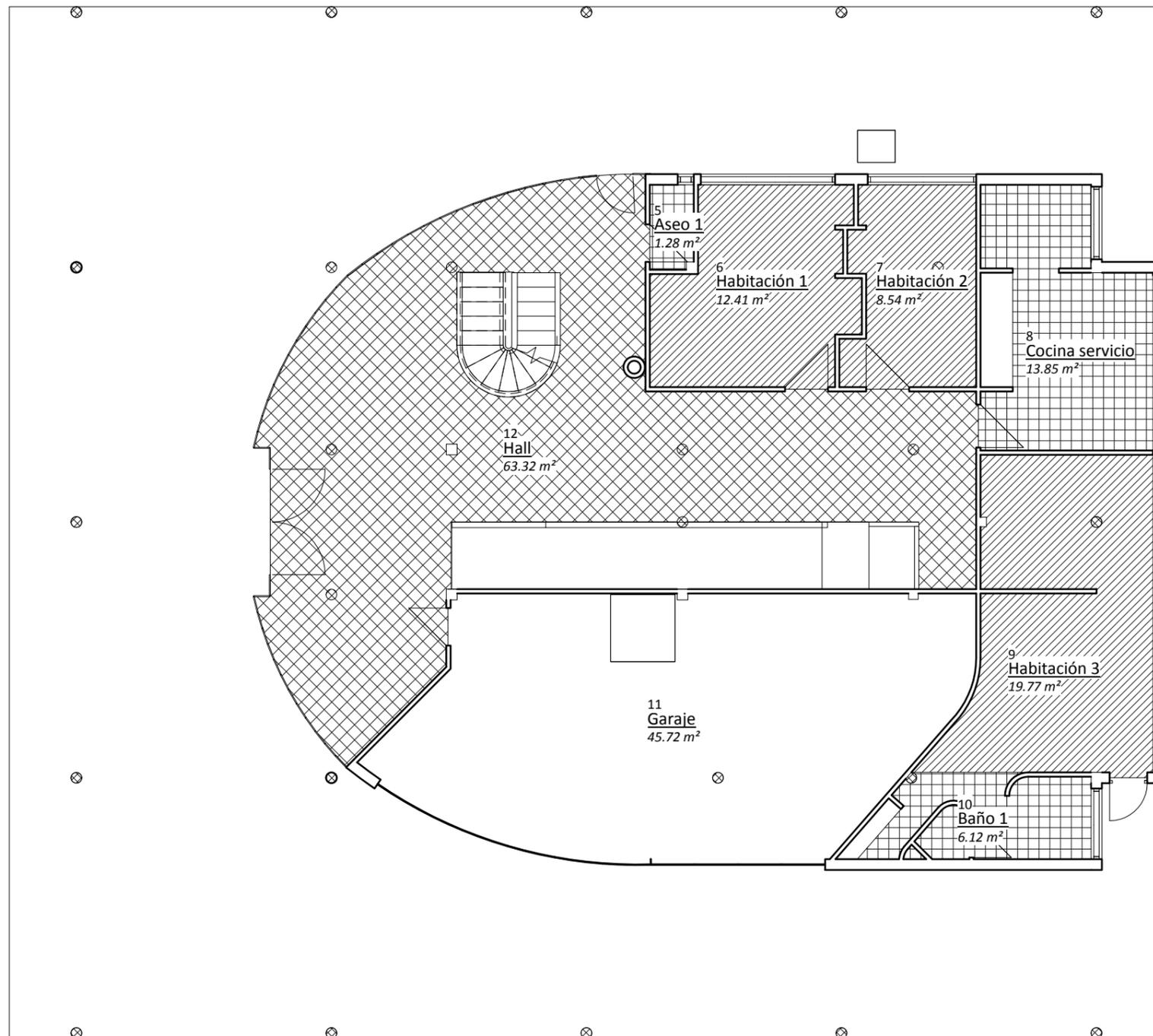
Plano

ARQUITECTURA
PLANTA DE SÓTANO
SUPERFICIES

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A116



Oden	Nombre	Área	Perímetro	Volúmen
5	Aseo 1	1.28 m ²	4.80 m	3.44 m ³
6	Habitación 1	12.41 m ²	16.47 m	33.50 m ³
7	Habitación 2	8.54 m ²	13.63 m	23.05 m ³
8	Cocina servicio	13.85 m ²	19.97 m	37.39 m ³
9	Habitación 3	19.77 m ²	24.35 m	53.37 m ³
10	Baño 1	6.12 m ²	17.17 m	16.54 m ³
11	Garaje	45.72 m ²	29.12 m	123.99 m ³
12	Hall	63.32 m ²	48.36 m	175.36 m ³
Grand total: 8		171.00 m ²	173.86 m	466.64 m ³

1 **Planta baja**
A117 1:100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

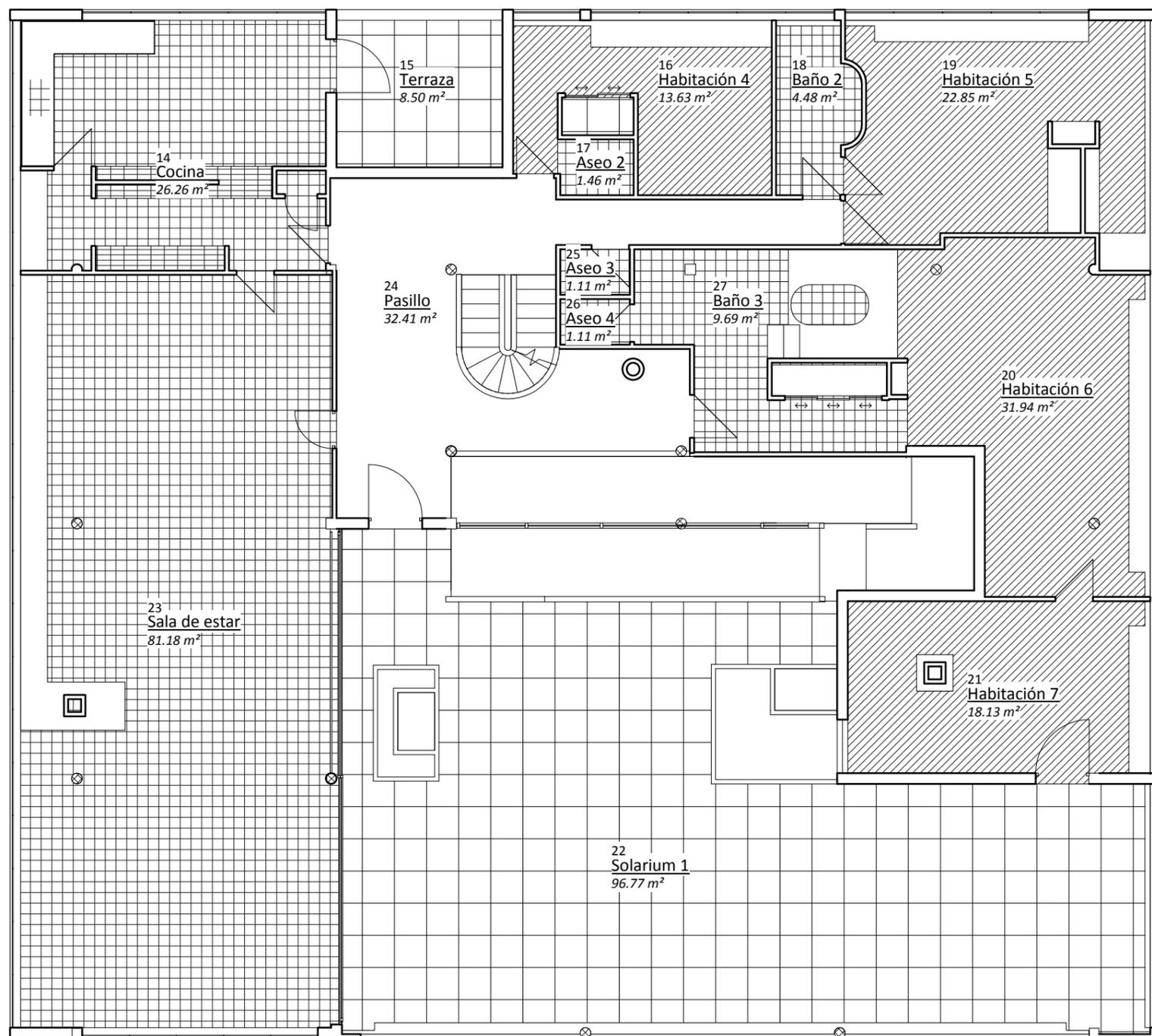
Plano

ARQUITECTURA
PLANTA BAJA
SUPERFICIES

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A117



Orden	Nombre	Área	Perímetro	Volúmen
14	Cocina	26.26 m ²	29.30 m	64.02 m ³
15	Terraza	8.50 m ²	11.69 m	20.73 m ³
16	Habitación 4	13.63 m ²	20.65 m	33.23 m ³
17	Aseo 2	1.46 m ²	4.86 m	3.56 m ³
18	Baño 2	4.48 m ²	9.52 m	10.93 m ³
19	Habitación 5	22.85 m ²	28.25 m	55.71 m ³
20	Habitación 6	31.94 m ²	34.40 m	77.89 m ³
21	Habitación 7	18.13 m ²	17.78 m	44.22 m ³
22	Solarium 1	96.77 m ²	53.82 m	235.96 m ³
23	Sala de estar	81.18 m ²	47.68 m	197.94 m ³
24	Pasillo	32.41 m ²	38.12 m	79.03 m ³
25	Aseo 3	1.11 m ²	4.30 m	2.69 m ³
26	Aseo 4	1.11 m ²	4.30 m	2.69 m ³
27	Baño 3	9.69 m ²	13.91 m	23.63 m ³
Grand total: 14		349.51 m ²	318.57 m	852.25 m ³

1 Planta primera
A118 1 : 100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

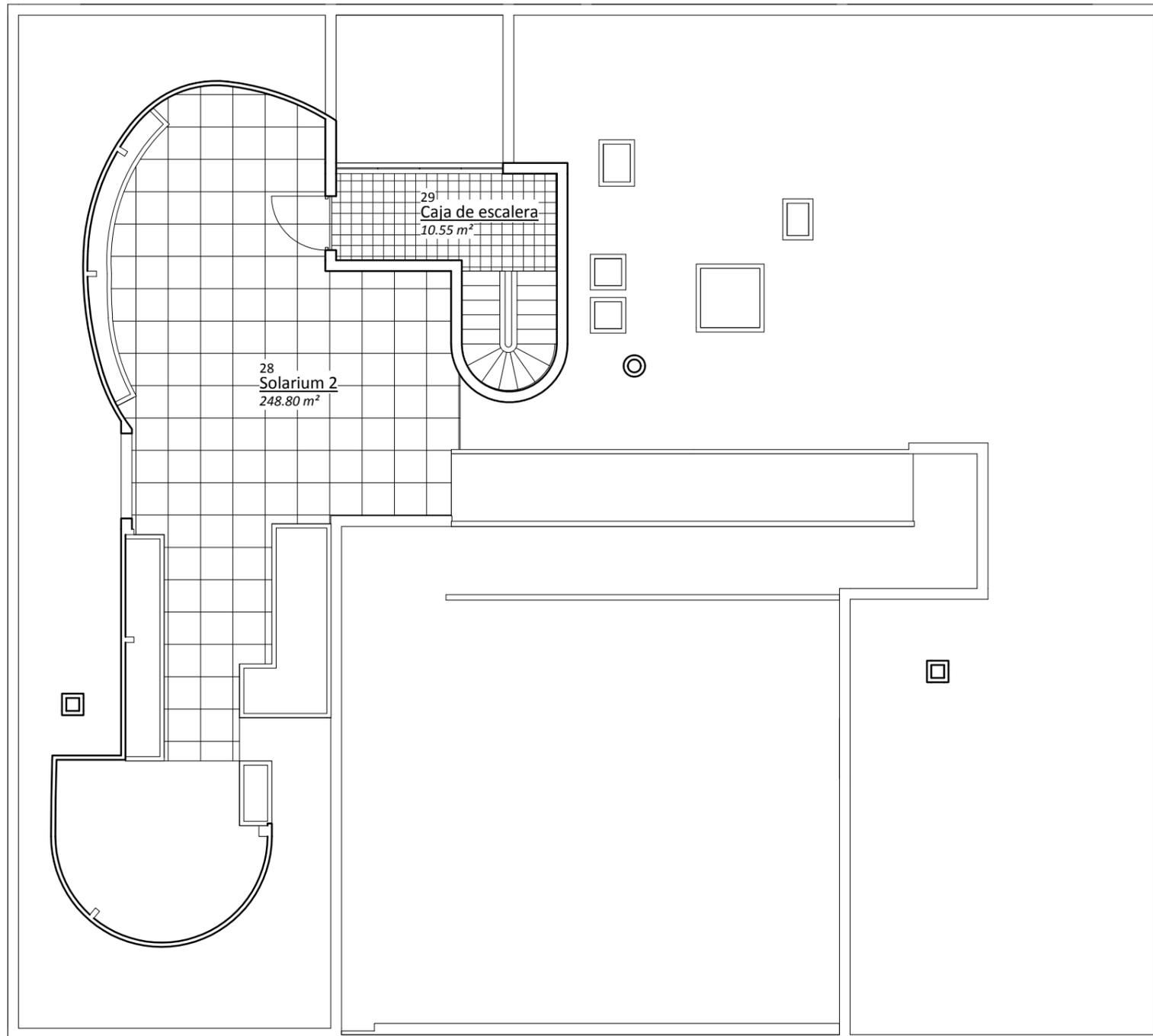
Plano

ARQUITECTURA
PLANTA PRIMERA
SUPERFICIES

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A118



Orden	Nombre	Área	Perímetro	Volúmen
28	Solarium 2	248.80 m ²	181.35 m	606.67 m ³
29	Caja de escalera	10.55 m ²	15.84 m	25.73 m ³
Grand total: 2		259.35 m ²	197.19 m	632.40 m ³

1 Solarium
A119 1:100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno Iván Gómez Fernández
Tutor José A. Vázquez Rodríguez

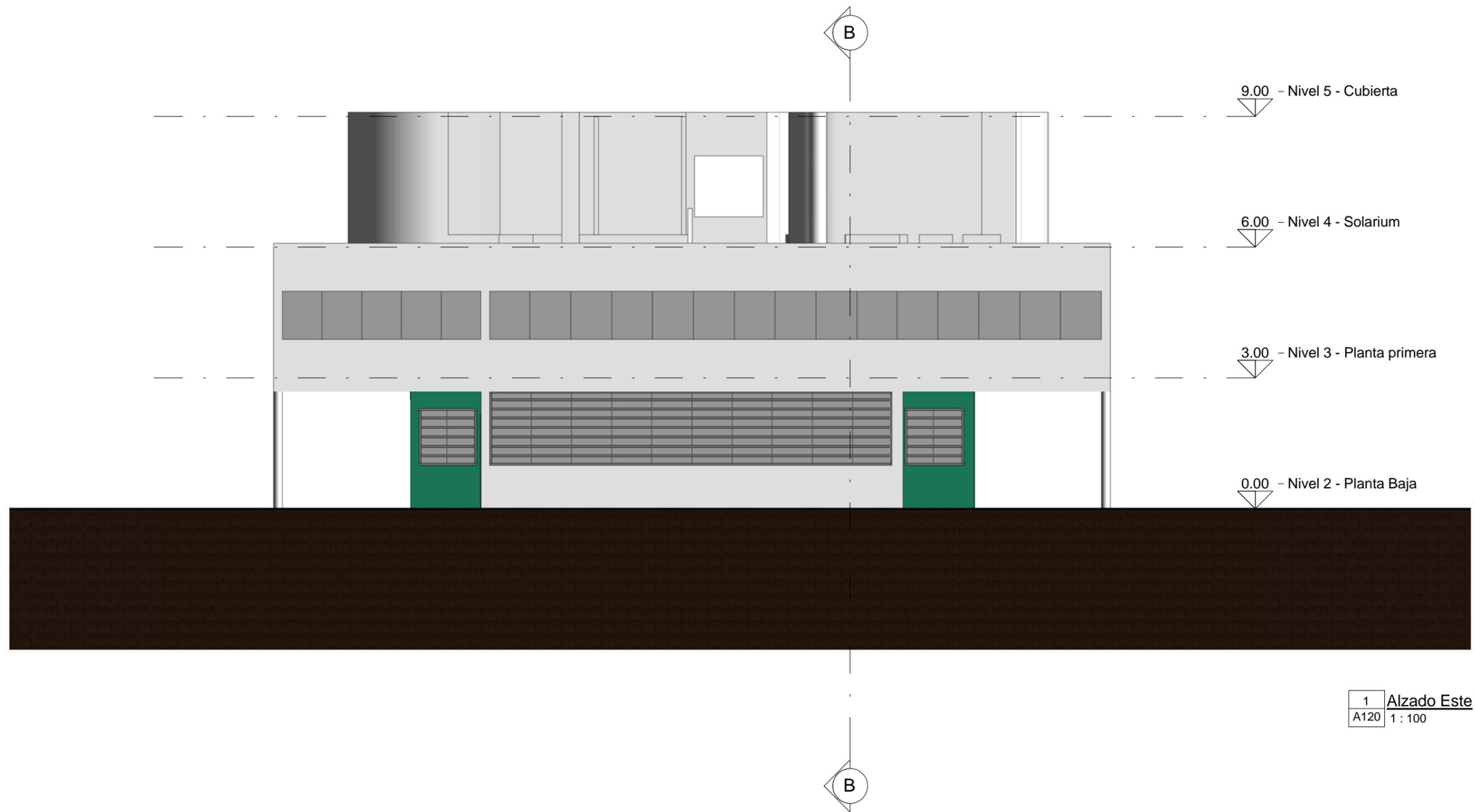
Plano

ARQUITECTURA
PLANTA SEGUNDA - SOLARIUM
SUPERFICIES

Fecha 21 junio 2013
Curso 2012/2013

Número de plano

A119



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

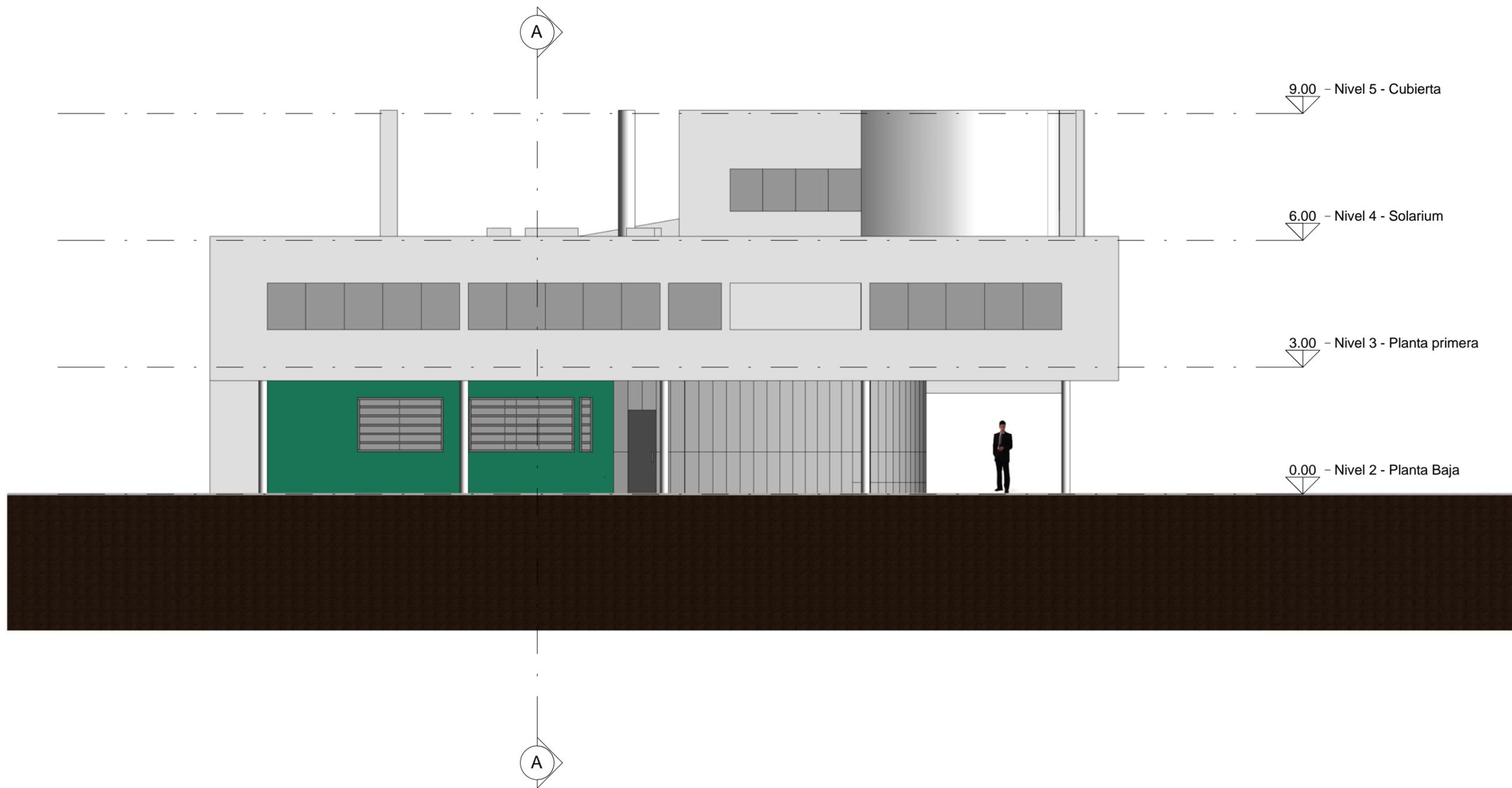
Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano
 ARQUITECTURA
 ALZADO ESTE

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano
A120



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

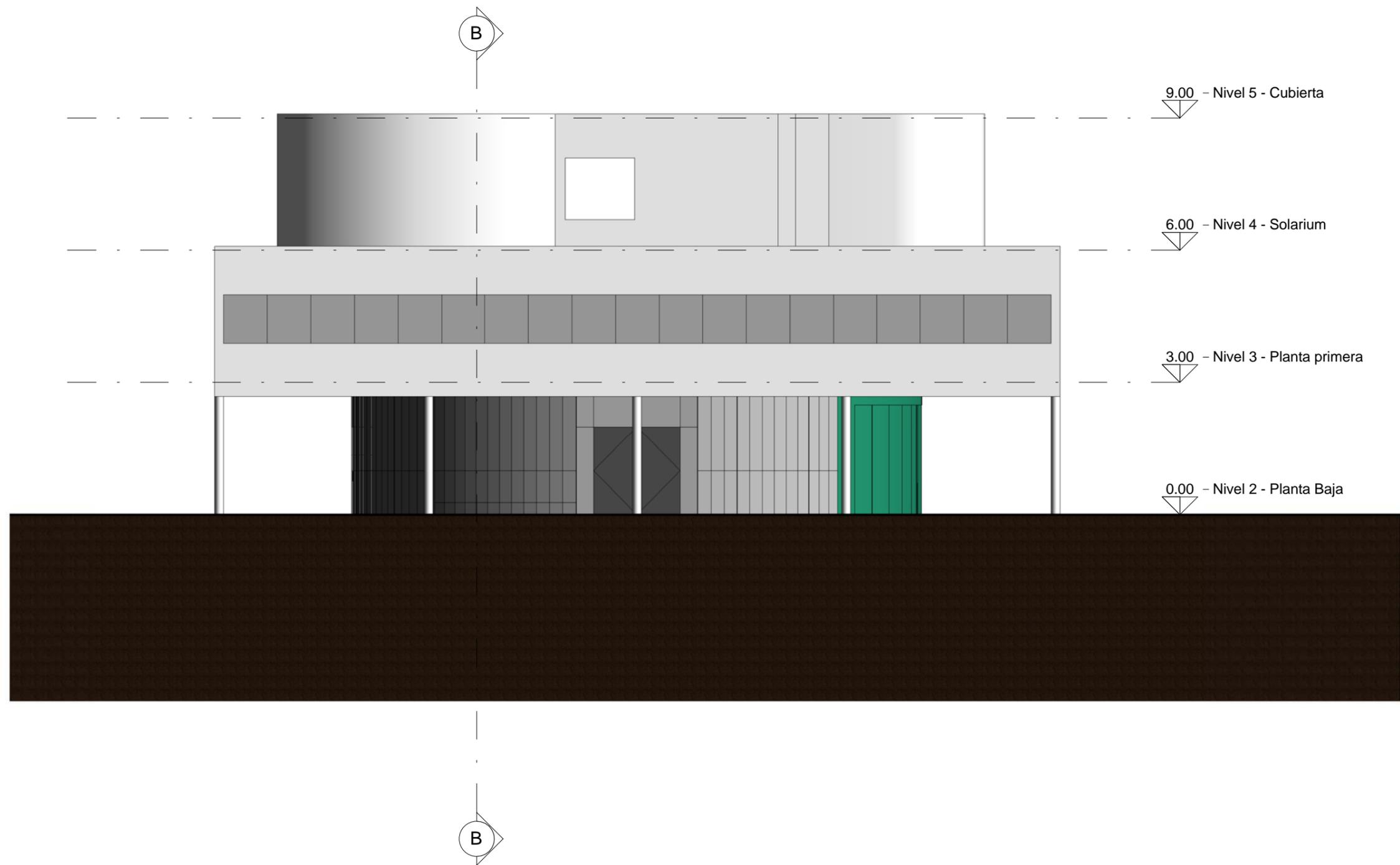
Alumno
 Iván Gómez Fernández
 Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

ARQUITECTURA
 ALZADO NORTE

Fecha
 21 junio 2013
 Curso
 2012/2013

Número de plano
 A121



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández
 Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

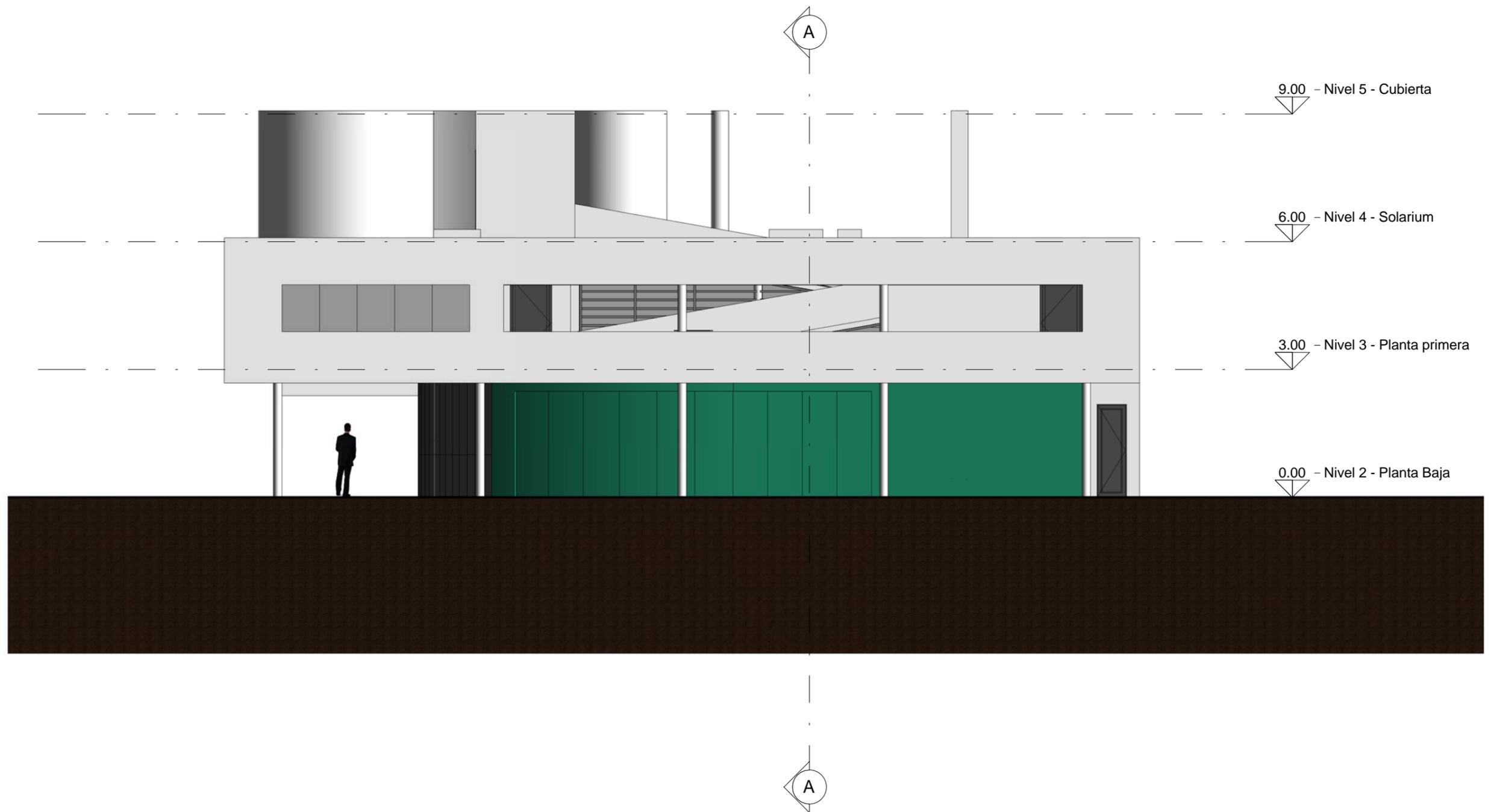
Plano

ARQUITECTURA
 ALZADO OESTE

Fecha
 21 junio 2013
 Curso
 2012/2013

Número de plano

A122



Proyecto original
 Villa Savoye - Poissy
 Le Corbusier - 1929

Alumno
 Iván Gómez Fernández

Tutor
 José A. Vázquez Rodríguez

Plano

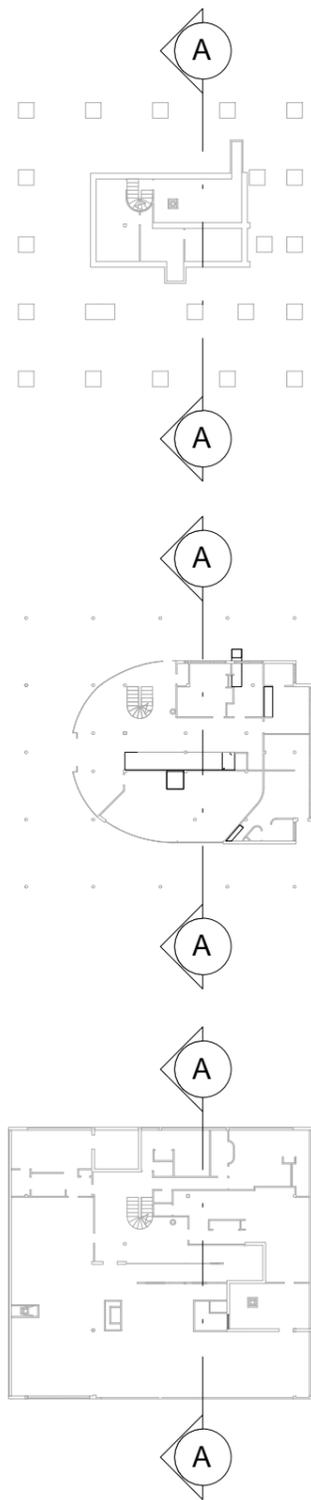
ARQUITECTURA
 ALZADO SUR

Fecha
 21 junio 2013

Curso
 2012/2013

Número de plano

A123



A Sección A
A124 1:100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

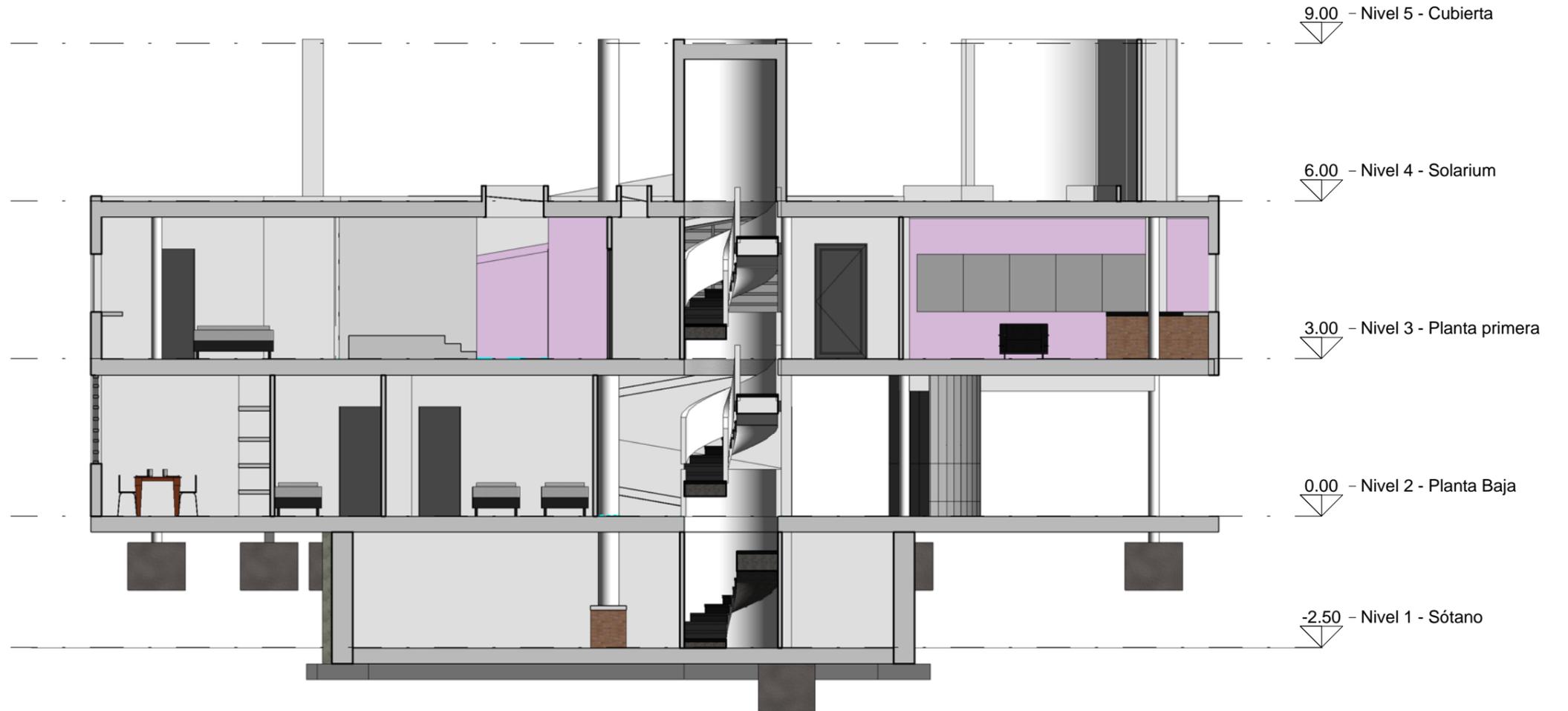
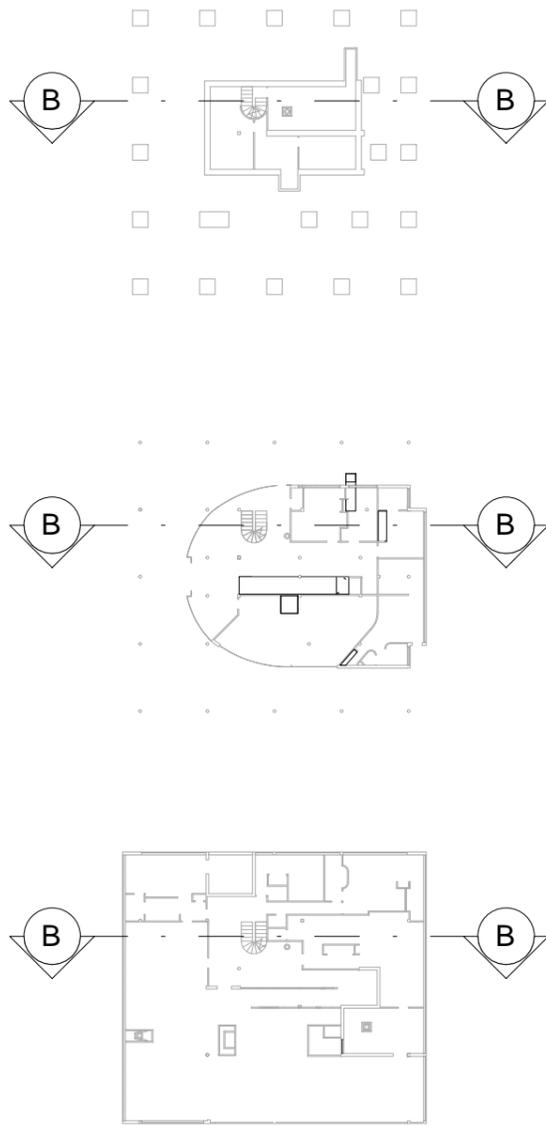
Plano

ARQUITECTURA
SECCIÓN A

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A124



B Sección B
A125 1 : 100



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

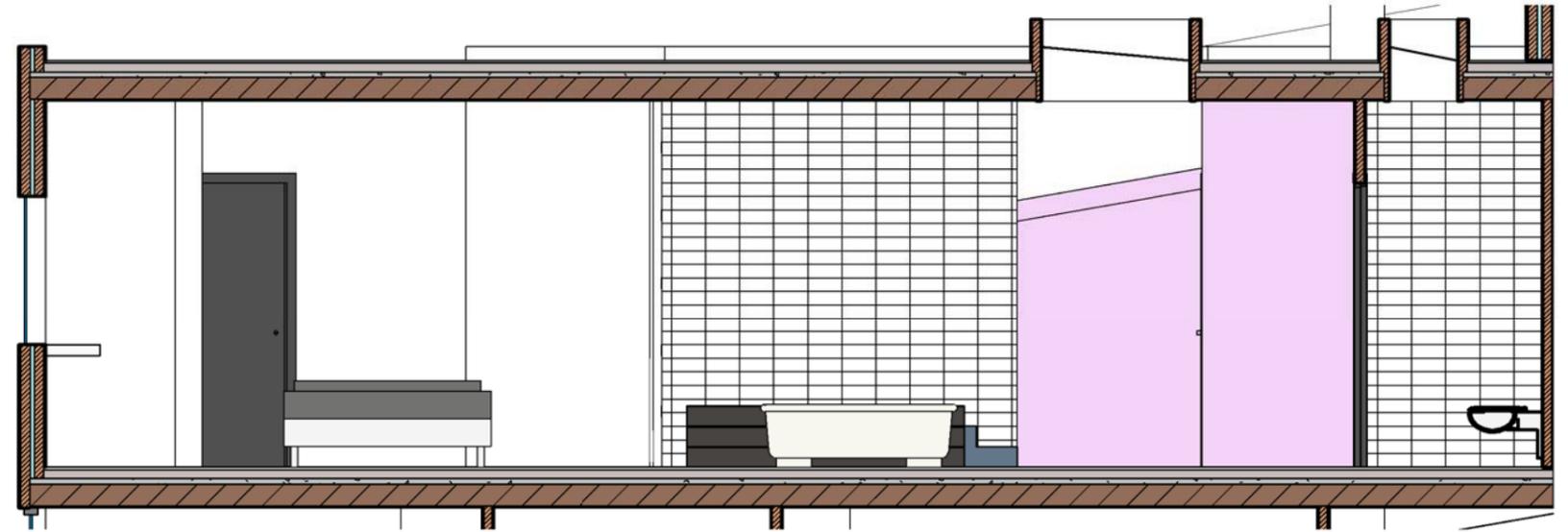
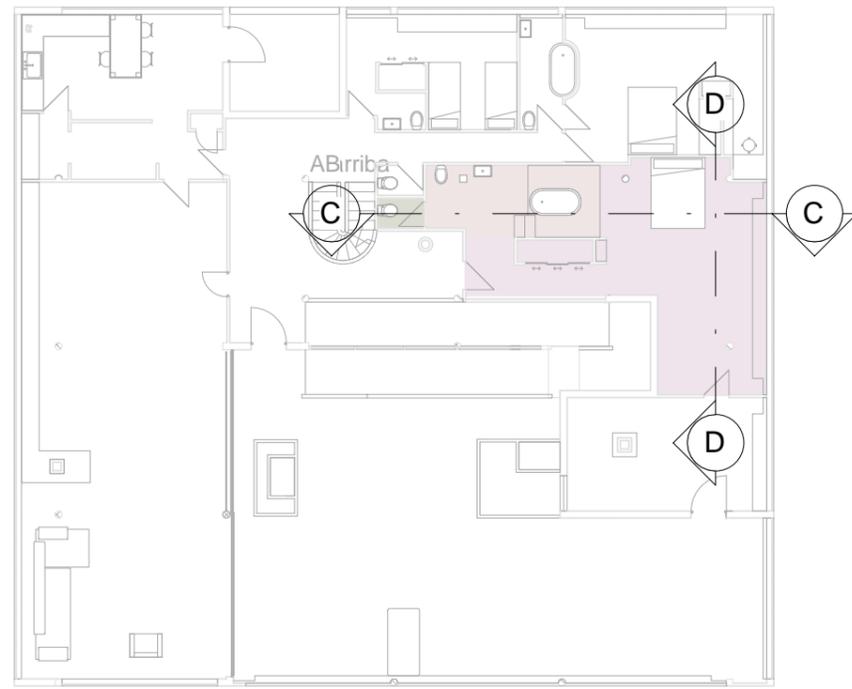
Plano

ARQUITECTURA
SECCIÓN B

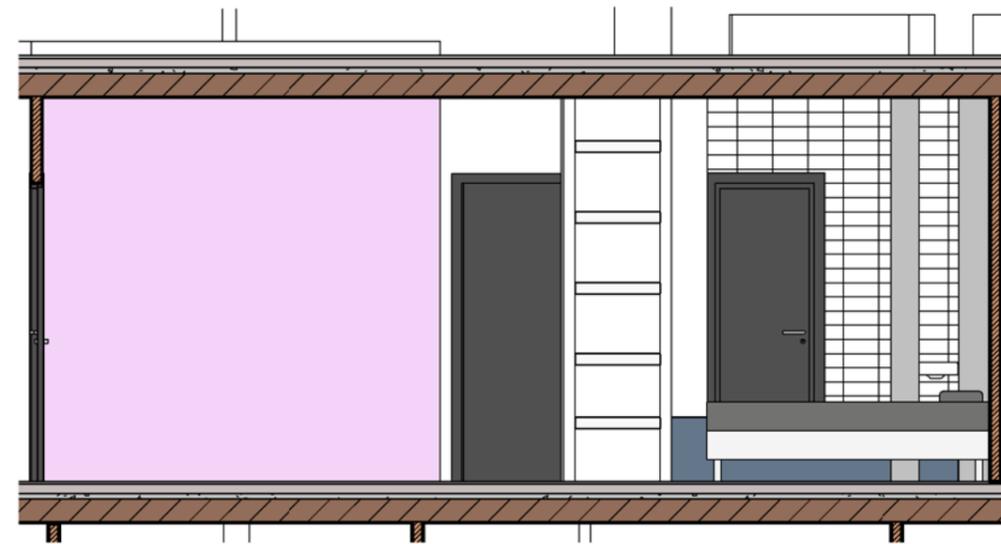
Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A125



C Sección C
A126 1 : 50



D Sección D
A126 1 : 50



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

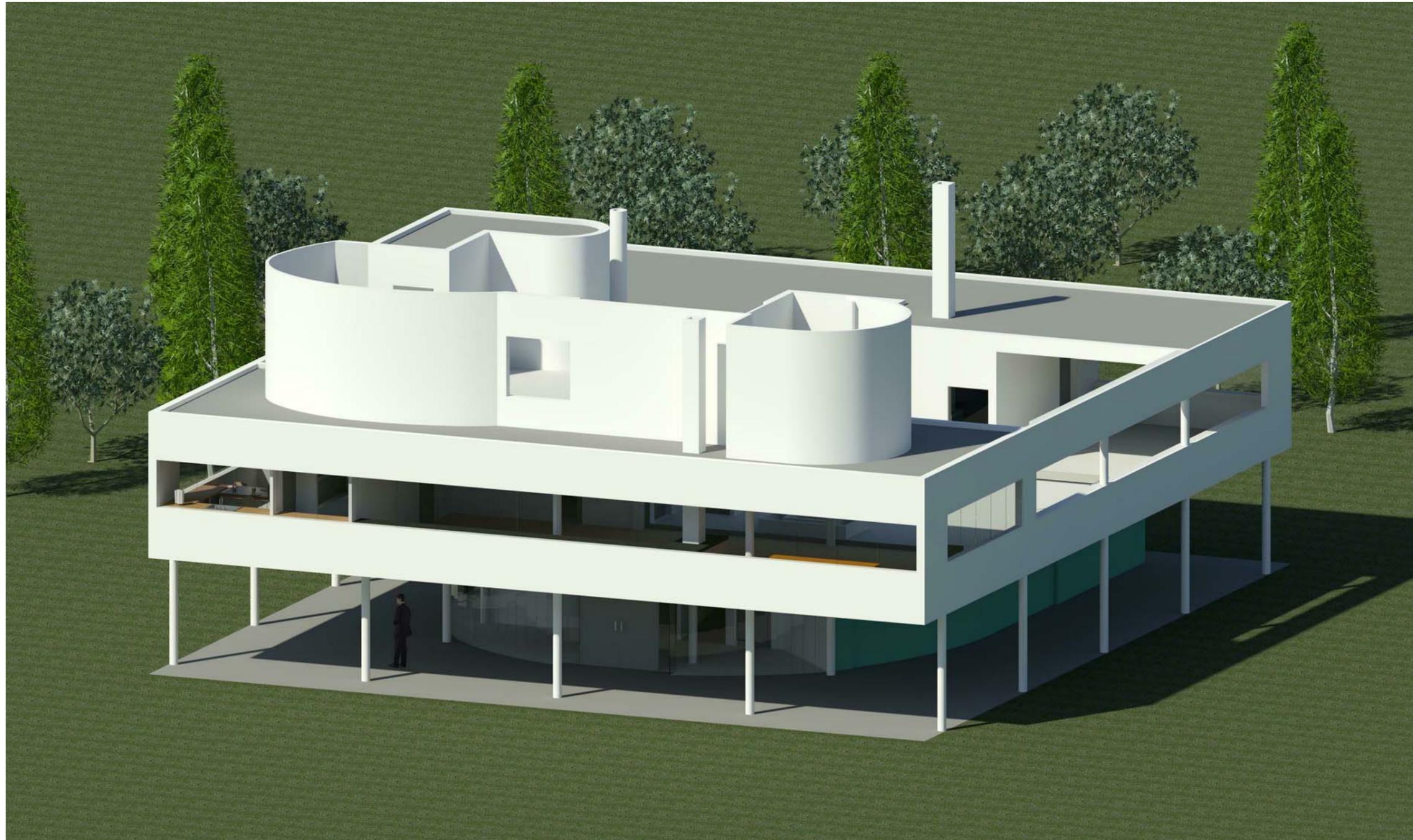
Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

Plano
ARQUITECTURA
SECCIONES C-D
ALZADOS HABITACIÓN PRINCIPAL

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A126



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

Plano

ARQUITECTURA
RENDERIZADOS
APROXIMACIÓN FRONTAL

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A127



Proyecto original
Villa Savoye - Poissy
Le Corbusier - 1929

Alumno
Iván Gómez Fernández
Tutor
José A. Vázquez Rodríguez

Plano

ARQUITECTURA
RENDERIZADOS
APROXIMACIÓN TRASERA

Fecha
21 junio 2013
Curso
2012/2013

Número de plano

A128