



## Proyecto Erasmus+: BIMVET3 2020-1-ES01-KA203-083262

Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las Agencias Nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

### BLOQUE VII: MODELADO BIM 3D

## Título: Conceptos de modelado 3D

### 1 - Objetivos

El objetivo principal de este tutorial es cubrir una visión general del modelado paramétrico basado en objetos.

### 2 - Metodología de aprendizaje

El profesor dará una explicación sobre: (1) la historia del modelado digital 3D y su cronología para explicar su inicio y evolución (2) una explicación basada en objetos del modelado paramétrico y sus reglas, así como algunas propiedades y características no geométricas.

### 3 - Duración de la tutoría

Tendrá una duración de 1 hora de enseñanza.

### 4 - Recursos didácticos necesarios

Sala de informática con ordenadores con acceso a Internet.

### 5 - Contenido

- 5.3 Conceptos de modelización
- 5.1 Las formas geométricas BIM y su modelado
- 5.2 Modelización paramétrica
- 5.3 Objetos e información en los modelos BIM

### 6 - Resultados

Los alumnos responderán a un cuestionario.

### 7- Lo que hemos aprendido

Cuáles son las ventajas del modelado de objetos, el modelado paramétrico, el papel de la información en el BIM, la relación entre la información, los objetos individuales y la geometría.

-----X-----

## 5. Conceptos de modelado 3D

Hoy en día, es posible aplicar las tecnologías BIM en diversos sectores industriales. Las tecnologías BIM están evolucionando paulatinamente hacia un proceso en el que, además del diseño tradicional de edificios, existe la oportunidad de adaptarse a soluciones de tecnología de la información, análisis de datos, automatización y espacio virtual o incluso soluciones de inteligencia artificial.

La modelización orientada a objetos es el elemento clave más importante en términos de BIM.

El objetivo de este capítulo es proporcionar conocimientos no sólo sobre el modelado de objetos, sino también sobre sus diferencias fundamentales con los sistemas CAD. Los estudiantes aprenderán las ventajas del modelado de objetos, el modelado paramétrico, el papel de la información en BIM, la relación entre la información, los objetos individuales y la geometría.

### 5.1 Las formas geométricas BIM y su modelado

Los conceptos de modelado 3D se desarrollaron inicialmente a partir de representaciones CAD en 2D y 3D que se componían principalmente de líneas en 2D o 3D. Los primeros modelos de alambre en 3D eran una extensión del dibujo en 2D, en el que las líneas en 3D se dibujaban manualmente para crear un modelo de alambre en 3D. Esto podría utilizarse para la visualización y para crear vistas ortogonales. Estos primeros modelos de alambre en 3D no tenían propiedades de volumen y no era posible añadir características como aberturas (Figura 1).

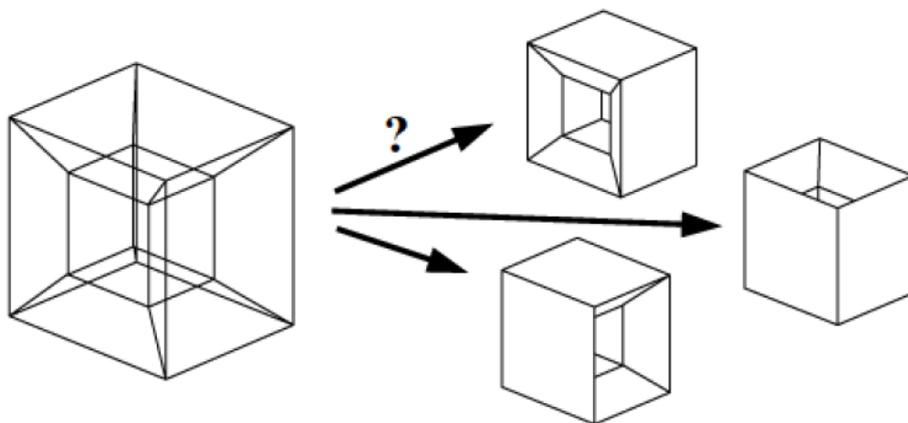
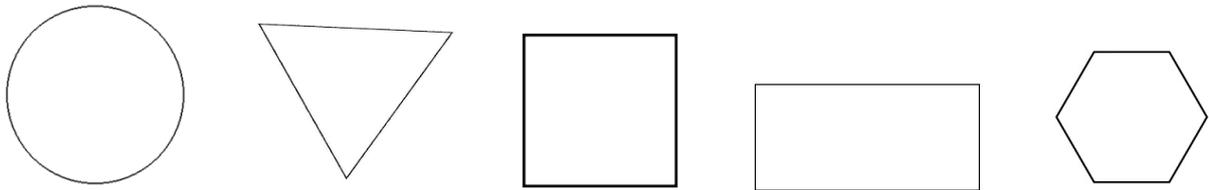


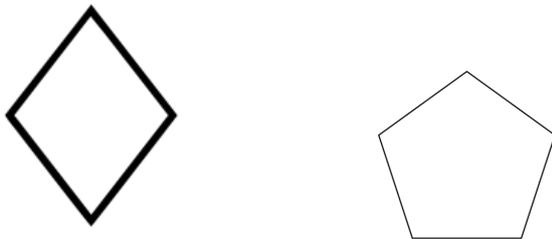
Figura 1 - Ejemplo de modelos de cables en 3D

Las formas geométricas espaciales son una parte integral de BIM. Para pasar de dibujar en plataformas CAD tradicionales a modelar objetos de construcción específicos, es natural que los objetos puedan dibujarse de la forma más realista posible. Si el dibujo no proporciona ninguna información sobre la disposición de la forma geométrica, puede que no sea posible obtenerla en dibujos CAD 2D. Especialmente cuando se trata de la altura de los edificios. Cuando se trabaja en un entorno CAD 3D, estas complejidades se resuelven en gran medida. Es importante que el profesional entienda cómo se construyen las relaciones entre las formas geométricas, las partes internas del software y la información en las aplicaciones de modelado CAD y BIM en 3D. La figura 2 muestra un ejemplo de las principales formas geométricas espaciales y sus formas de procesamiento.

Formas geométricas: círculo, triángulo, cuadrado, rectángulo, hexágono, rombo y pentágono, entre otras.

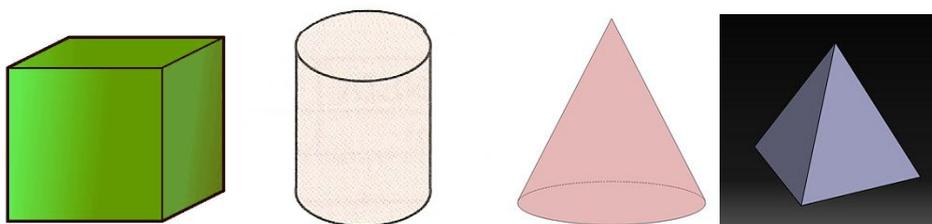


Círculo Triángulo Cuadrado Rectángulo Hexágono

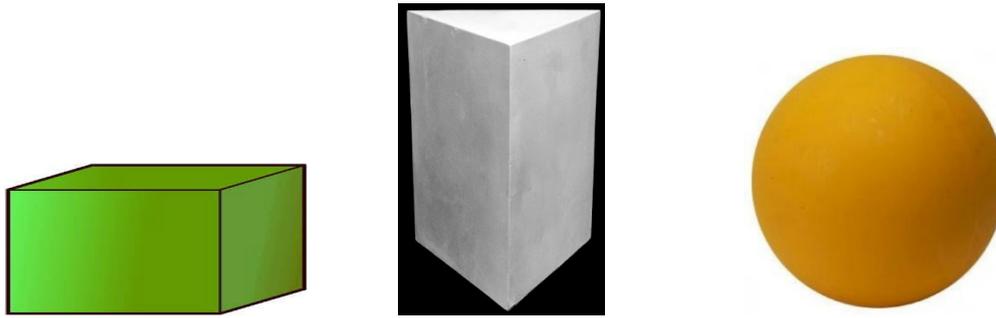


Rombo Pentágono

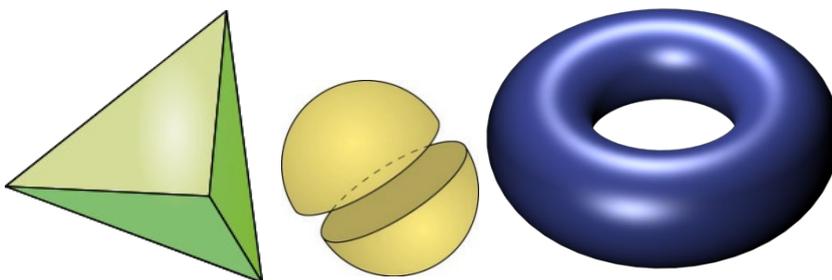
Formas espaciales: cubo, cono, paralelepípedo rectangular, pirámide cuadrada, prisma triangular, bola, cilindro, pirámide triangular, esfera, toro.



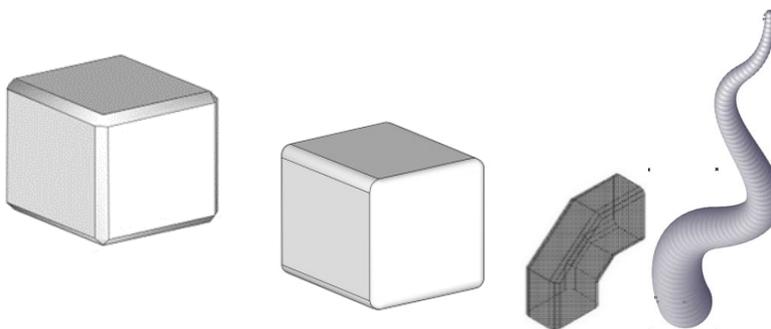
Cubo Cilindro Cono Pirámide Cuadrado



Paralelepípedo rectangular Prisma triangular Bola



Pirámide triangular Esfera de Torah



Extrusión oblicua redondeada Extrusión curva

Figura 2 - Formas geométricas espaciales y sus formas de procesamiento.

En cuanto a la calidad del modelo, la precisión geométrica de los elementos es un aspecto muy importante, por lo que hay que tener cuidado para evitar intersecciones y errores en los modelos geométricos.

Ni siquiera los programas informáticos especializados pueden entender y decidir por sí mismos qué cantidades de elementos geométricos deben estimarse en un presupuesto de proyecto automatizado. Por ejemplo, si los elementos de los pilares de hormigón armado se

solapan o se cruzan con estructuras de muros, el coste de ejecución del proyecto se calculará más alto de lo previsto.

Por ello, los BIM Managers o Coordinadores BIM deben garantizar la calidad del diseño de las formas geométricas. Esto evita que las soluciones no coordinadas cambien durante el proceso de construcción y permite calcular con precisión las cantidades de los artículos.

Dos importantes avances en el modelado CAD 3D introducidos en los años 70 y 80 fueron los conceptos de Geometría Sólida Constructiva (CSG) y Representación de Límites (B-rep). El CSG utiliza formas primitivas sólidas para representar objetos (Figura 3). Este enfoque es más potente que los anteriores, ya que los objetos sólidos pueden utilizarse para calcular diversas propiedades físicas, como el volumen, la densidad, el peso y la masa. CSG también permite combinar formas primitivas sólidas mediante operaciones booleanas como la unión, la sustracción y la intersección para crear formas más complicadas (Dore y Murphy, 2017).

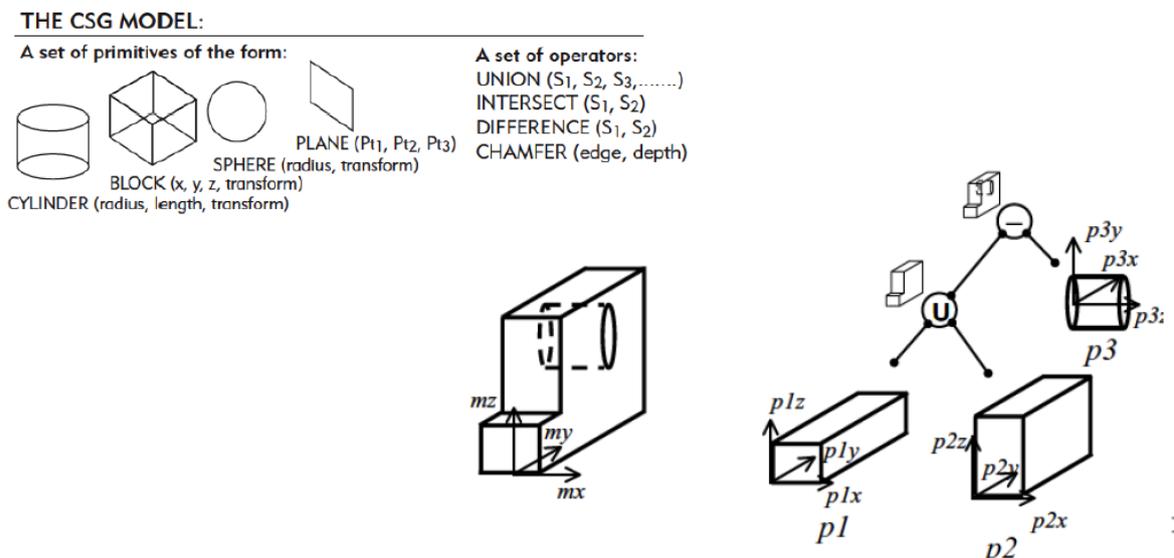
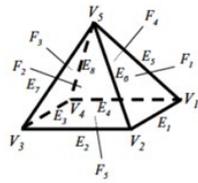


Figura 3 - Geometría sólida constructiva (CSG)

Por otro lado, la Representación de Límites ( B-rep) representa los objetos describiendo sus caras, aristas, vértices y topología. El sitio B-rep también incluye operaciones como la extrusión, el barrido y la rotación que pueden utilizarse para crear formas 3D a partir de contornos 2D (Figura 4). Muchas plataformas de software CAD incorporan los conceptos de modelado B-rep y CSG para proporcionar una mayor flexibilidad para modelar objetos complejos (Dore y Murphy, 2017).

El método B-rep transportaba formas cerradas, formadas por superficies individuales en contacto entre sí. La propia forma se definió mediante un conjunto de reglas para garantizar que las superficies de contacto encerraran completamente el volumen interior. Este conjunto de reglas determinaba cómo debían fusionarse y conectarse estas superficies, cómo navegar, su orientación en el entorno y cómo debía garantizarse su continuidad. Además de estas

funciones para crear un volumen espacial, también se desarrollaron funciones para extruir formas a lo largo de un eje o una curva.



Face Table	Edge Table	Vertex Table
Face: Edges	Edge: Vertices	Vertex: Coord.
F <sub>1</sub> : E <sub>1</sub> , E <sub>5</sub> , E <sub>6</sub>	E <sub>1</sub> : V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub> : x <sub>1</sub> , y <sub>1</sub> , z <sub>1</sub>
F <sub>2</sub> : E <sub>2</sub> , E <sub>6</sub> , E <sub>7</sub>	E <sub>2</sub> : V <sub>2</sub> , V <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> : x <sub>2</sub> , y <sub>2</sub> , z <sub>2</sub>
F <sub>3</sub> : E <sub>3</sub> , E <sub>7</sub> , E <sub>8</sub>	E <sub>3</sub> : V <sub>3</sub> , V <sub>4</sub>	V <sub>3</sub> : x <sub>3</sub> , y <sub>3</sub> , z <sub>3</sub>
F <sub>4</sub> : E <sub>4</sub> , E <sub>8</sub> , E <sub>5</sub>	E <sub>4</sub> : V <sub>4</sub> , V <sub>1</sub>	V <sub>4</sub> : x <sub>4</sub> , y <sub>4</sub> , z <sub>4</sub>
F <sub>5</sub> : E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , E <sub>3</sub> , E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub> : V <sub>1</sub> , V <sub>5</sub>	V <sub>5</sub> : x <sub>5</sub> , y <sub>5</sub> , z <sub>5</sub>
	E <sub>6</sub> : V <sub>2</sub> , V <sub>5</sub>	
	E <sub>7</sub> : V <sub>3</sub> , V <sub>5</sub>	
	E <sub>8</sub> : V <sub>4</sub> , V <sub>5</sub>	

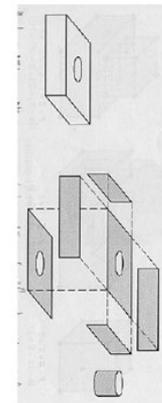


Figura 4 - Representación de los límites (B-rep)

El método de representación de aristas B-rep para describir modelos geométricos es el dominante en el software CAD y BIM.

Uno de los primeros formatos actualizados para almacenar la geometría B-rep es el formato STEP. El número de posibles operaciones de modificación de la geometría es mayor que el de los modelos. El modelo B-rep sólo debe almacenarse como resultado final y no debe conservarse el curso del diseño geométrico. Los sistemas CAD 3D modernos permiten el modelado paramétrico detallado con modelos B-rep mediante la descripción matemática de curvas o incluso una descripción típica de B-splines NURBS (Non uniform rational B-Splines). El modelo B-rep tiene dos tipos de información: geometría y topología. La información geométrica es la definición matemática de las curvas, superficies necesarias para formar un cuerpo geoespacial.

La información topológica permite relacionar los elementos geométricos entre sí. También hay dos tipos de entidades en los modelos B-rep:

- **Objetos geométricos - Volumen, Superficie, Curva, Punto;**
- **Objetos topológicos - Sólido, Cara, Arista, Vértice.**

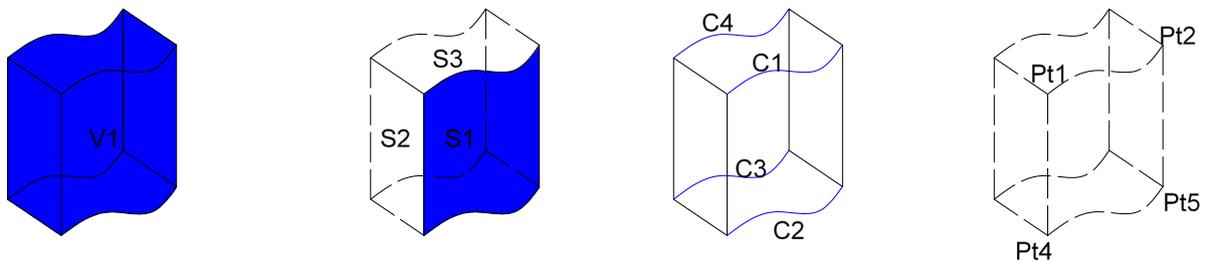
Las diferencias entre estos conceptos se presentan en la Tabla 1 y se ilustran en la Figura 5.

Tabla 1. Diferencia entre objetos geométricos y topológicos.

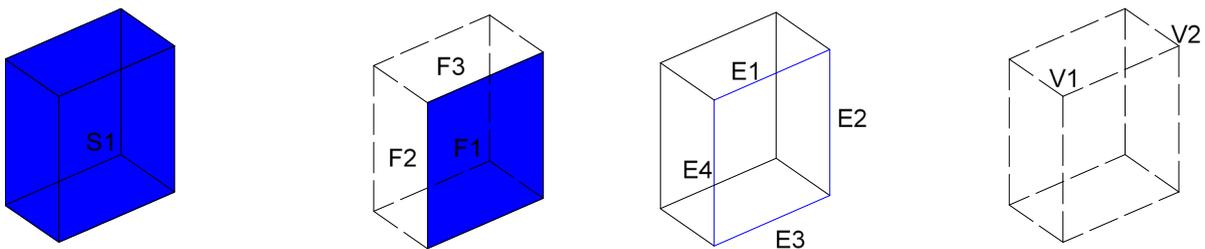
Objeto geométrico	Objeto topológico	Diferencia
Volumen	Sólido	El volumen se considera generalmente un objeto creado no a partir de primitivas, es decir, extruido según una curva, superficie, etc., y un cuerpo sólido se compone generalmente de formas geométricas.

<b>Superficie</b>	<b>Cara</b>	La superficie puede ser definida por curvas que varían de forma en el espacio y la Cara se refiere a una superficie plana compuesta sólo por lados rectos, por ejemplo, la parte superior de un cilindro no se considera como una Cara sino como una superficie a menos que sea segmentada como un polígono.
<b>Curva</b>	<b>Edge</b>	Una curva está definida por puntos y una función que controla su posición en el espacio. La arista se considera un segmento de línea entre dos vértices.
<b>Punto</b>	<b>Vértice</b>	Un Punto describe un punto específico en el espacio con su coordenada específica según el sistema de coordenadas aplicable. Un vértice es sólo una referencia a este punto. Por ejemplo, múltiples polígonos tangentes que tienen vértices individuales pero que pueden identificar el mismo punto.

La aplicación y alternancia de estas operaciones permite crear varios volúmenes geométricos espaciales. Al mismo tiempo, surgieron funciones que permitían fusionar volúmenes individuales o cortar un volumen espacial de otro. Estas acciones se definen como operaciones booleanas. Una de las primeras aplicaciones de este tipo de modelado es el modelado de piezas de máquinas, que a menudo consistía en las típicas primitivas de volumen y operaciones de unión y corte.



Volumen Superficie Curva Punto



Cara sólida Arista Vértice

Figura 5 - Entidades que forman la geometría y sus equivalentes topológicos.

Como estos dos métodos tenían propiedades diferentes pero muy importantes, surgió la solución de combinar ambos. Esto permitió la creación de modelos geométricos espaciales mediante el método CSG, dejando que B-rep se ocupara de la evaluación de los modelos primitivos y de la representación visual. Este principio de funcionamiento ha sobrevivido hasta nuestros días, lo que confiere a los sistemas CAD y BIM su potencia para crear geometría de forma rápida y precisa, editarla y mostrarla en las pantallas de los ordenadores. En otras palabras, CSG se aplica al modelado y al trabajo, y B-rep se aplica al renderizado, a la comprobación de la intersección y a otras operaciones no relacionadas con la edición. También se señala que esta combinación fue la que preparó el camino para la modelización paramétrica.

La modelización de volúmenes espaciales y los sistemas CAD correspondientes siempre se han caracterizado por una demanda muy elevada de potencia de cálculo. Incluso los sistemas actuales no siempre son capaces de manejar modelos 3D complejos. Con el desarrollo de los ordenadores y el creciente progreso en el sector de la construcción, ha comenzado la era de la modelización espacial.

Las formas 3D representadas con los métodos CSG y B-rep existen sólo como entidades gráficas y no tienen inteligencia (Ibrahim y Krawczyk, 2004). El siguiente paso evolutivo en el modelado 3D fue la introducción del modelado paramétrico basado en características, que introdujo cierta inteligencia en los elementos del modelo.

El modelado basado en características es un enfoque orientado a los objetos en el que, además de la geometría, los objetos contienen información sobre la función de los objetos (por ejemplo, puerta, pared, ventana, etc.) y sobre cómo se relaciona un objeto con otros. El modelado basado en características permite asociar a los objetos operaciones como la creación de aberturas, filetes y chaflanes. Esto puede incluir que una ventana corte automáticamente una abertura cuando se coloca en una pared o que cruce las paredes conectándolas y uniéndolas correctamente. El modelado basado en características permite que los objetos interactúen con otros objetos de forma correcta y automática en un entorno espacial (Leeuwen y Wagter, 1997).

## **1.2. Modelización paramétrica**

A partir del modelo de geometría sólida constructiva (CSG), el concepto de parámetros surgió muy pronto con el modelado 3D. Sin embargo, las funciones y capacidades iniciales eran muy limitadas. Surgió una necesidad más clara de modelización paramétrica sólo con propiedades. Una de las primeras propiedades que podemos detectar en los sistemas CAD para el modelado espacial es la materialidad (Sacos, R. *et al.* 2018). Surgió de forma natural desde el principio, porque para combinar las formas geométricas individuales en un nuevo volumen mediante operaciones booleanas, se hizo evidente que la forma de conectar las dos formas geométricas también dependía de la materialidad de los elementos de su representación. No

es difícil combinar dos formas geométricas del mismo material. El reto surge a la hora de decidir qué forma o primitiva priorizar en caso de materialidad.

Esta idea desarrolló posteriormente las operaciones booleanas y los propios conceptos de modelado espacial y BIM, que el modelado se produce mediante la combinación de características y geometría en un volumen o elemento básico inicial.

Un ejemplo de ello en el ámbito de la construcción son los paneles prefabricados de hormigón armado para muros u otros elementos prefabricados de hormigón armado. Constan de muchos componentes diferentes, como accesorios, refuerzos, capas de aislamiento separadas y otros elementos, todos los cuales simplemente se conectan al elemento principal de hormigón armado (Figura 6). La materialidad de estos componentes difiere del elemento básico.

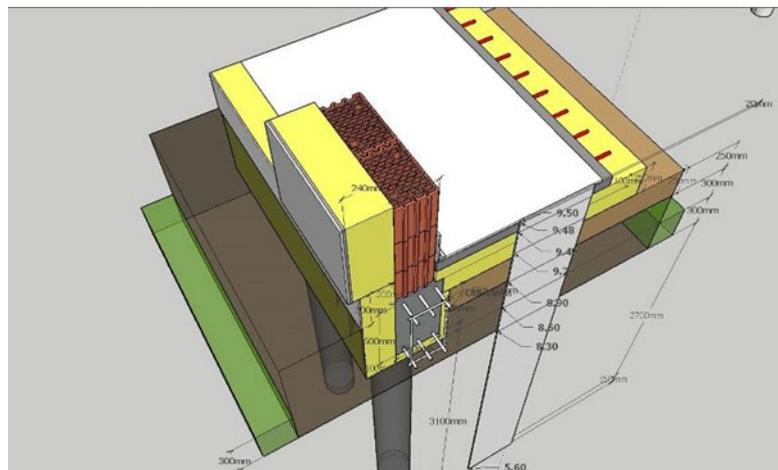


Figura 6 - Ejemplo de modelización paramétrica.

Este ejemplo ilustra varios aspectos importantes relacionados con el BIM y la modelización espacial. En el mundo real, todo está interconectado no sólo geoméricamente, sino también por sus propiedades, que dependen de otros componentes a su alrededor.

Los primeros principios de la modelización paramétrica surgieron al darse cuenta de que los volúmenes individuales pueden compartir un parámetro común, como en el caso del ejemplo mencionado: las dimensiones de la capa de aislamiento y las losas de hormigón armado. Hoy en día, en las plataformas BIM, es bastante natural que todo esté interconectado: la altura de las columnas con los forjados, la altura de las paredes con el suelo, la parte inferior de la puerta con el suelo, etc. La realización y aparición de estas relaciones en el concepto de modelado paramétrico, allanó el camino para una representación más realista del espacio construido en los programas informáticos, un trabajo más cómodo y rápido. También dio lugar a la aparición de estructuras para la construcción de objetos y todas las estructuras, según la norma. Esta modelización paramétrica no se limitó a la geometría para representar objetos físicos reales, sino que también tocó varios elementos auxiliares y anotaciones, como redes de ejes, notas a pie de página, etc. Así, el modelado paramétrico permitía controlar y



realizar cambios geométricos en los modelos estáticos controlando sólo unos pocos parámetros individuales.

Es posible editar dinámicamente los modelos BIM en diferentes software BIM en función de la fase de diseño.

En lugar de controlar los números ordinarios, al crear la geometría, se hizo posible vincular dos elementos geométricos y otros objetos describiendo sus puntos, líneas o superficies individuales como paralelos, perpendiculares a otras primitivas geométricas respectivamente.

Los modernos programas de CAD 3D y BIM han ampliado considerablemente el concepto de modelado paramétrico, en el que las relaciones paramétricas se utilizan ahora para generar secciones completas del modelo, anotando elementos como dimensiones, coordenadas, etc.

Sin embargo, el modelado paramétrico difiere del modelado CAD 3D estándar en que los objetos, como las formas primitivas, están asociados a parámetros o variables que pueden cambiar instantáneamente la geometría u otras propiedades de un objeto. Los parámetros simples de un objeto pueden ser la longitud, la anchura, la altura o el radio. Otros objetos paramétricos más complejos pueden tener parámetros que pueden cambiar toda la estructura o la geometría dependiendo de diferentes condiciones. Los parámetros de un objeto también pueden controlar su ubicación dentro de un modelo mayor. Los objetos de la biblioteca paramétrica (como las puertas o las ventanas) permiten reutilizar los objetos varias veces en un modelo o en muchos modelos diferentes con parámetros variables. Este enfoque es muy eficaz para modelar elementos que se repiten pero que pueden contener variaciones geométricas entre diferentes instancias.

El modelado paramétrico permite al usuario realizar los cambios necesarios con rapidez y automatizar completamente todo el proceso de modelado digital. Así es como funcionan muchas plataformas BIM modernas, ya que secuencian automáticamente las distintas interfaces entre los elementos, la geometría y los componentes de anotación sin que el usuario participe activamente.

A pesar de las diferencias, un sistema CAD o BIM paramétrico moderno tiene las siguientes características:

- El modelado volumétrico paramétrico es una funcionalidad paramétrica en la que se pueden obtener formas geométricas complejas utilizando varios parámetros. La geometría se regenera en cuanto se modifican los parámetros o los inicia el usuario. La secuencia de operaciones en muchos casos es coherente y, intercambiando ciertas operaciones en lugares, se pueden obtener geometrías completamente diferentes.
- El modelado paramétrico de conjuntos de objetos permite al usuario crear objetos más complejos que se componen de una variedad de otros componentes, permitiéndole controlar su posición, geometría e interacciones entre objetos.
- El modelado paramétrico topológico ofrece la posibilidad de controlar las interacciones entre los objetos y sus conjuntos con conjuntos completos de instrucciones, con código de software independiente. Las herramientas del entorno de programación visual, como



Dynamo, Grasshopper y otras, funcionan sobre esta base. Muchas estructuras arquitectónicas modernas, debido a sus formas complejas, especialmente las fachadas, se generan utilizando este principio de modelado paramétrico.

El último desarrollo del concepto Building Information Modelling (BIM) incorpora importantes avances en el modelado 3D, incluido el modelado paramétrico y basado en características, combinado con una base de datos 3D dinámica para almacenar la información relacionada con el edificio. La incorporación de una base de datos relacional dinámica para los elementos del edificio (similar a un Sistema de Información Geográfica) permite muchas aplicaciones nuevas para gestionar y analizar los elementos del edificio. El BIM permite documentar los elementos del edificio con objetos inteligentes paramétricos reutilizables que contienen abundante información sobre el uso del objeto, su semántica, su topología, sus relaciones con otros objetos e información adicional almacenada como atributos. El BIM puede definirse como el conjunto de objetos paramétricos que representan los componentes del edificio dentro de un entorno virtual y que se utilizan para crear o representar un edificio completo.

### **1.3. Objetos e información en los modelos BIM**

En un entorno CAD, ya sea 2D o 3D, todo se centra en la geometría y su definición en puntos, curvas, superficies y volúmenes sólidos, y sólo entonces se intenta asociar las diferentes representaciones físicas. Por ejemplo, cuando atribuimos en las notas a pie de página que una determinada zona, definida por líneas y rellena con alguna textura, representa algo de la vida real. Proporcionar información pasa a ser algo secundario. En la modelización orientada a objetos, esto se invierte. Primero es el propio objeto, que se asocia primero con la información que lo describe. Esto define quién es el objeto, qué función realiza, define su dependencia, sus propiedades como la materialidad, vinculada al CO<sub>2</sub>, describe su posición en el espacio y el tiempo (planificación de la construcción BIM en 4D) y otros numerosos aspectos importantes sobre el objeto. Se puede decir que la geometría es una propiedad más que describe un objeto. Su detalle no tiene por qué ser representativo de un objeto físico real, sino que depende de la necesidad, la fase del ciclo de vida estático en la que se desarrolla el modelo BIM y otros aspectos.

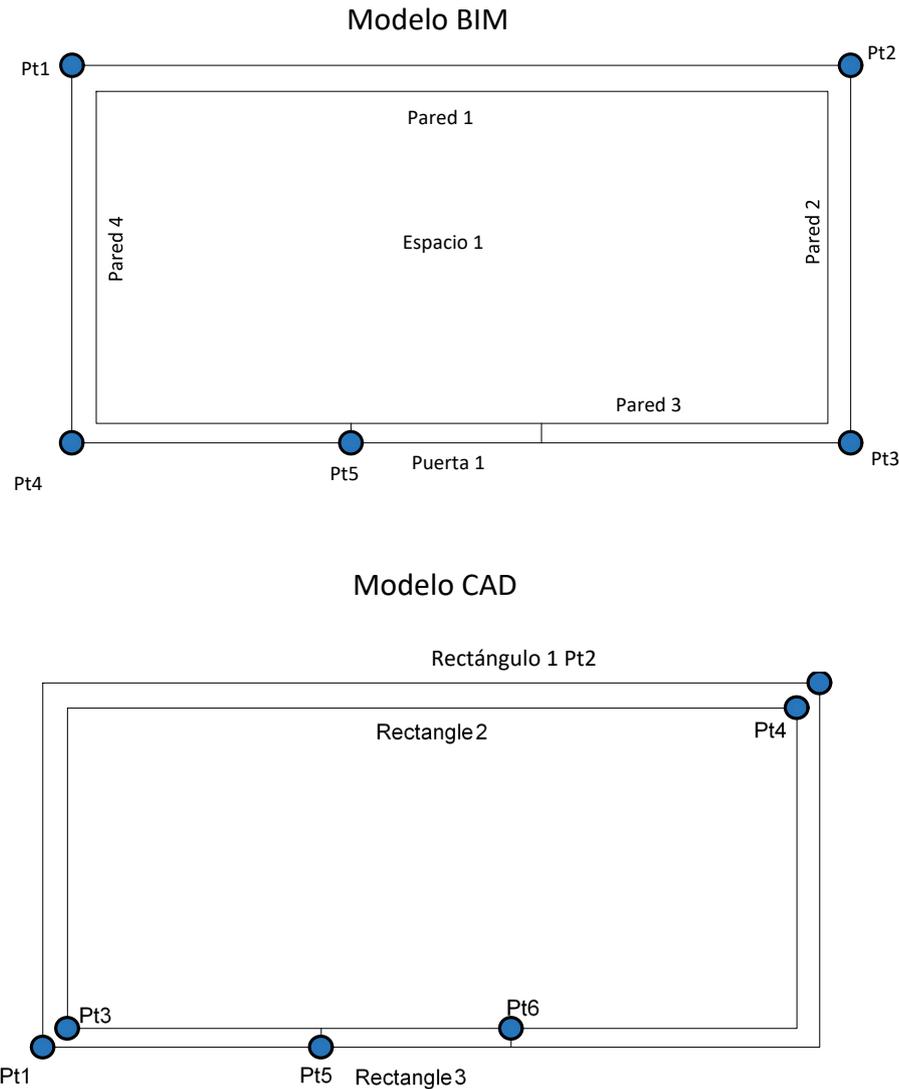


Figura 4 - Diagrama compuesto de un objeto junto a un diagrama compuesto de un modelo geométrico 3D

La información geométrica por sí sola no es suficiente para transmitir toda la información de diseño BIM necesaria.

Los objetos se describen en función de parámetros, algunos de ellos definidos por el usuario y otros relacionados con su posición en un entorno 3D en relación con otros objetos de forma. La visualización de los objetos se consigue mediante la visualización de características 2D y 3D, planos, secciones, alzados y vistas 3D. BIM puede crear automáticamente secciones de corte, alzados, detalles y tablas, además de proyecciones ortográficas y modelos 3D (alámbricos o texturizados y animados). Todas estas vistas están vinculadas al modelo 3D y se actualizan automáticamente en tiempo real, de modo que si se realiza un cambio en una vista, todas las demás también se actualizan. Esto permite generar rápidamente la documentación detallada que se necesita en las industrias AEC/FM y del patrimonio.

Cada vez se eligen más tecnologías para representar y transmitir la información como objetos



que cumplen los requisitos de partes específicas del proyecto. El modelado orientado a objetos puede entenderse como un concepto independiente que se ajusta a una disciplina específica. En el concepto BIM no sólo surgen las disciplinas individuales, sino que es especialmente importante cómo se unen en un todo que se llama proyecto de construcción. Por lo tanto, en el entorno BIM, existen requisitos adicionales para los objetos que garantizan las interconexiones y el intercambio de datos.

La mayoría de los paquetes de software BIM cuentan con amplias bibliotecas de objetos paramétricos predefinidos que se utilizan para crear modelos de información de construcción en 3D. Esto facilita un modelado eficaz, ya que la geometría 3D no tiene que crearse desde cero. En su lugar, se pueden utilizar los objetos de la biblioteca de información mejorada existentes para modelar los principales elementos del edificio, como paredes, puertas, ventanas, columnas, vigas, losas, tejados, etc. Los parámetros de estos objetos de la biblioteca se editan para que coincidan con las dimensiones y los ajustes necesarios de un proyecto. Estos objetos de la biblioteca se combinan para crear un modelo completo. Uno de los principales problemas del BIM construido es la falta de objetos paramétricos predefinidos adecuados para los edificios existentes e históricos. La mayoría de las bibliotecas BIM nativas y de terceros se centran únicamente en los edificios modernos. Como resultado, el modelado de edificios existentes e históricos a menudo requiere la creación de muchos componentes a medida desde cero, lo que puede ser un proceso muy lento (Dore y Murphy, 2017).

### Referencias

Dore C., M Murphy (2017). Estado actual del arte de la modelización de la información de los edificios históricos. Los Archivos Internacionales de las Ciencias de la Fotogrametría, la Teledetección y la Información Espacial, Volumen XLII-2/W5, 2017 26º Simposio Internacional CIPA 2017, 28 de agosto-01 de septiembre de 2017, Ottawa, Canadá.

van Leeuwen, J.P. y H. Wagter (1997). Diseño arquitectónico por características. Junge, Richard (ed.) 1997. Futuros del CAAD 1997. Actas de la 7ª Conferencia Internacional sobre el Futuro del Diseño Arquitectónico Asistido por Ordenador, celebrada en Munich (Alemania) del 4 al 6 de agosto de 1997. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 97-115

Sacks R, Eastman CM, Lee G y Teicholz P (2018) Manual de BIM: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers, 3rd Edn. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, USA.