

Tema IX

Otros esquemas de modelado

Ricardo Ramos

Colaboradores:

Juan Carlos García Rodríguez, Manuel Ignacio Sánchez Andrade, José Isidro Fernández Álvarez, M^a Agustina Bernardo García, Eva M^a García Vázquez

Además de los esquemas de modelado descritos en el tema anterior, hay otras posibilidades de representación en Modelado Sólido, como los esquemas de modelado volumétrico, la división espacial adaptativa, los de barrido, los híbridos y los esquemas distribuidos.

1. Esquemas de basados en celdas

Entre los esquemas de modelado que veremos, un grupo importante se fundamenta en la utilización de **celdas**. El objetivo de los esquemas basados en celdas es el de modelar los objetos complejos mediante piezas fáciles de definir. Como vemos, en este aspecto difieren poco de los esquemas de modelado vistos anteriormente.

Una celda puede ser cualquier objeto que sea topológicamente igual a una esfera. Pueden tener superficies curvas. Una manera bastante usual de obtener las celdas individuales consiste en hacer copias de celdas base (primitivas), aplicando los parámetros convenientes.

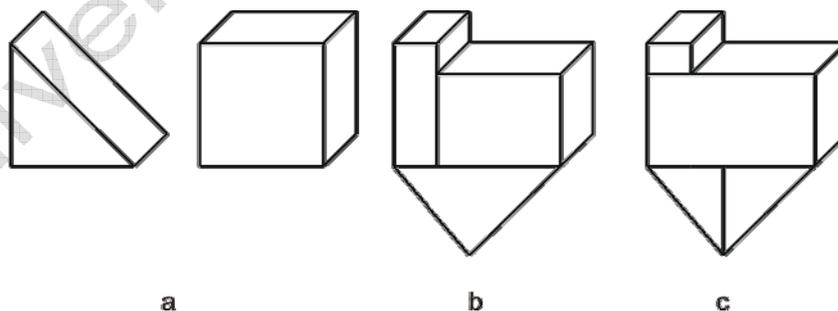


figura 1: modelo de celdas

En la figura 1 vemos cómo los modelos *b* y *c* se construyen a partir del conjunto de celdas *a*, aplicando las transformaciones apropiadas.

Una característica común a todos los esquemas de modelado basados en celdas es que *las celdas que constituyen o configuran un modelo han de ser disjuntas*, es decir, su intersección ha de ser el vacío. Por lo tanto, las celdas se combinan para formar el modelo mediante un *operador de pegado*,

que no es otra cosa que *una versión restringida del operador booleano de la unión*¹.

El ejemplo de la figura 1 se trata de un *esquema de modelado de celdas constructivo*. Este tipo de modelado no tiene demasiado interés, ya que los modeladores booleanos son más potentes.

Por las razones que pronto veremos, *son más interesantes los esquemas que efectúan la partición de los modelos (o del espacio) en celdas de forma irregular o regular*. Veamos un esquema representante de cada grupo.

1.1 División en celdas de los modelos

En la división o *descomposición en celdas* de los modelos, normalmente se realiza una partición de éstos en celdas irregulares. Una celda típica podría ser la mostrada en la figura 2. Se trata de un poliedro curvo, el cual queda definido por veinte puntos, ocho para los vértices y doce en las aristas.

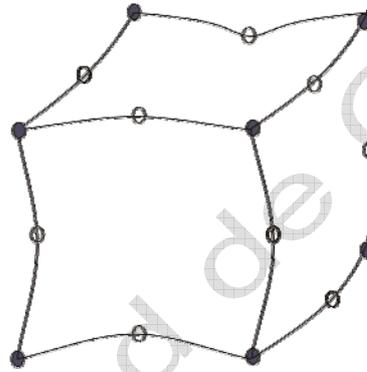


figura 2: poliedro curvo; los círculos son puntos de control

Dado que sólo se admite el operador de pegado, cada par de celdas solamente tienen las opciones siguientes: ser disjuntas, tener en común un vértice, o una arista, o una cara. Estos requerimientos, más el hecho de que las celdas sean irregulares, hacen que la división en celdas sea muy difícil de realizar correctamente por el usuario. Por lo tanto, lo normal es que primero se construya el modelo empleando un esquema más amigable, para luego dividirlo en celdas mediante un algoritmo apropiado.

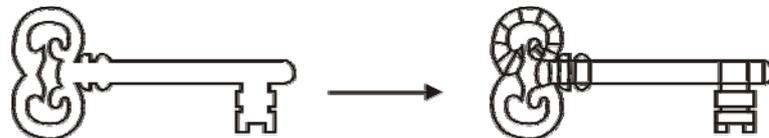


figura 3: descomposición en celdas

Si primero se ha de modelar en otro esquema, para luego descomponerlo en celdas, ¿para qué sirve el esquema de modelado mediante celdas? *Si se desea efectuar cálculos analíticos en los sólidos, y crear modelos de elementos finitos, es preciso dividir los modelos en celdas*. Por lo tanto, los modelos de descomposición en celdas desarrollan una función auxiliar como modelos

¹ El modelado mediante celdas puede considerarse como una versión limitada del modelado booleano.

para el cálculo analítico, más que como auténticos esquemas de modelado.

1.2 División en celdas del espacio

Otra posibilidad, con mejores perspectivas de modelado que la anterior, consiste en la división del espacio en celdas de tamaño y forma regular o irregular. Veamos algunos de los esquemas principales basados en este principio.

1.2.1 Modelado volumétrico (MV)

Este esquema de modelado consiste en la partición del espacio 3D de referencia, de modo que resulte una *matriz de celdas cúbicas iguales* (figura 4). Cada celda resultante de la partición se conoce como **vóxel** (elemento de volumen), aunque este término no es exclusivo del esquema, ni de este tipo de celdas.

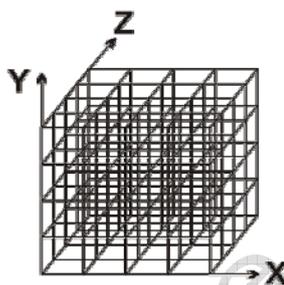


figura 4: división en celdas del espacio

Una vez que se dispone del espacio organizado en celdas, la creación de los modelos se limita a llenar de materia los vóxeles ocupados por el modelo, dejando los restantes vacíos.

Este sistema de modelado se conoce como *esquema de modelado volumétrico*. Como vemos, se trata de un esquema genuino de modelado en el espacio discreto tridimensional.

Cada celda queda identificada mediante sus coordenadas, más un código que asocia las propiedades de la materia que contiene, si es que existe.

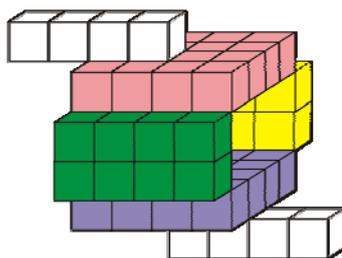


figura 5: modelado mediante enumeración exhaustiva

Para evitar excepciones (y el registro de la información extra que conllevan), *normalmente no se permiten que las celdas queden medio llenas o medio vacías*. Esto genera una pérdida de información (aliasing) considerable (ver la figura 6), aunque puede reducirse a niveles aceptables haciendo que los vóxeles sean lo suficientemente pequeños. Sin embargo, al igual que ocurre con su equivalente 2D (bitmaps), el aumento de resolución implica un considerable aumento de memoria.

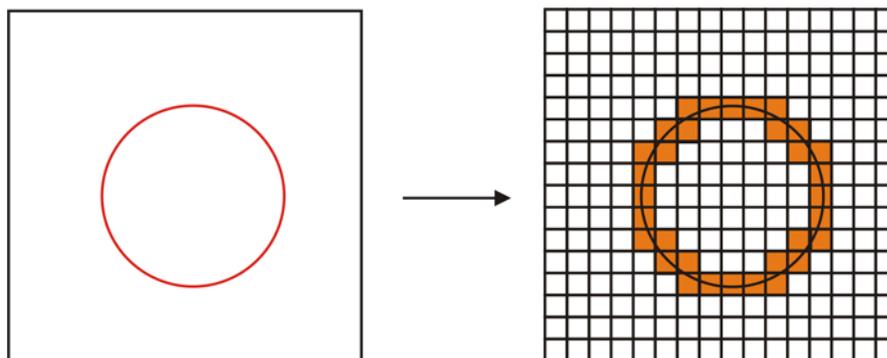


figura 6: aliasing en el modelado volumétrico al discretizar los objetos

Hasta no hace mucho este sistema se consideraba únicamente como *un esquema de modelado aproximativo*, ya que, salvo en equipos especiales de gran capacidad, la resolución disponible no era muy alta. Hoy en día, la memoria ha dejado de ser un problema, por lo que es probable que en un próximo futuro el MV desbanque, en algunos campos de la Informática Gráfica, a esquemas como el B-rep o el CSG. Existen poderosas razones para ello:

En el modelado volumétrico *se puede registrar toda la información sobre el modelo, tanto interior como exterior*, no sólo sus fronteras.

Utilizando celdas de tamaño adecuado (resolución suficiente), *el poder expresivo es muy superior al de los esquemas convencionales*, ya que prácticamente cualquier modelo podrá ser representado, por la misma razón que cualquier imagen puede ser mostrada en una pantalla con suficiente resolución.

Los procesos en general (visualización, analíticos, etc.), y los operadores booleanos en particular, son mucho más sencillos y generales que sus equivalentes en CSG o B-rep, lo que hace que sean candidatos perfectos para ser implantados en circuitos VLSI.

No es precisa la validación de los modelos, ya que su integridad geométrica y topológica está garantizada.

Permite la utilización *de muchas herramientas para la edición local de los modelos*.

Todas las técnicas utilizadas en el tratamiento de imágenes pueden ser fácilmente adaptadas en el tratamiento de volúmenes.

Se pueden utilizar muchos dispositivos para generar modelos, como scanners, resonancia magnética, digitalizadores 3D, etc.

Al ser los vóxeles celdas regulares, las facilidades para realizar el análisis matemático de los modelos (basado en *elementos finitos*) son superiores a las de cualquier otro modelo.

El principal problema o desventaja del MV es que produce mucha información redundante. Salvo en casos poco frecuentes, *una característica común a la mayor parte de los modelos volumétricos es la de que los vóxeles vecinos suelen ser iguales*, es decir, contienen el mismo material. Como se ha

de almacenar la información de cada celda, *al haber tantas vóxeles iguales se produce una gran redundancia de información*, con el consiguiente despilfarrero de memoria.

Para evitar la redundancia se recurre a la agrupación de los vóxeles, de manera que las celdas agrupadas formen un vóxel de mayor tamaño. En ordenadores de tipo medio, suele trabajarse con matrices de celdas sin agrupar de hasta 256 x 256 x 256 vóxeles, sobre todo en las aplicaciones médicas. En espacios de tamaño mayor, se hace imprescindible la agrupación.

A) Técnicas de reducción de la redundancia de la información

Para simplificar los algoritmos, *la agrupación de celdas suele hacerse aprovechando la regularidad y simetrías de los espacios o matrices de celdas discretas*. Por ejemplo, en un espacio 2D de *celdas cuadradas*, lo normal es agrupar 4 celdas adyacentes, ya que forman otra *celda cuadrada* o cuadrante. En 3D, si el espacio está organizado en celdas cúbicas, la agrupación natural es de 8 celdas adyacentes, formando un cubo llamado octante.

La agrupación de celdas se realiza en función de las características físicas de la materia que contienen. En 3D, *al proceso de formación de octantes para disminuir la redundancia de la información se le conoce como integración*. Tras la integración de 8 celdas, *el octante resultante pasa a ser una celda*, por lo que la información a registrar se reduce de 8 a 1. La integración de los vóxeles puede realizarse de dos formas :

- a) Por **condensación**, que consiste en la formación de un octante a partir de 8 celdas iguales.
- b) Por **convolución**, que consiste en la formación de octantes cuando una o más celdas son diferentes. Por ejemplo, si de las 8 celdas que forman un octante, 4 son de cuarzo, 3 de feldespato y una de mica, en principio podrían convolucionarse formando una nueva celda de granito.

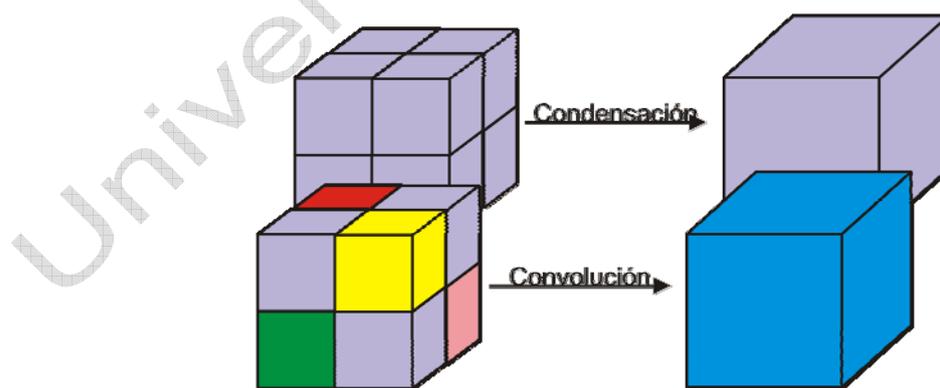


figura 7: integración por condensación y convolución

En la mayoría de los casos, *la condensación es mucho más importante en la disminución de la redundancia que la convolución*.

i.- Octrees

Ver que al integrar celdas se forman nuevas celdas, *que a su vez pueden ser*

integradas en celdas de un nivel superior. El proceso de integración lleva inevitablemente a la formación de celdas de diferentes tamaños, *lo que hace que se pierda la regularidad espacial,* y con ella la organización matricial.

Por lo tanto, para poder localizar la información asignada a cada *celda se hace precisa la utilización de una estructura de datos que refleje el tamaño y la disposición de las celdas.* En 3D, una de las estructuras más apropiadas para ello son los *árboles regulares (R-trees) de orden 8,* es decir, *con 8 subnodos por nodo.* A estas estructuras se las conoce como *árboles octales, 8-trees u octrees,* siendo este último el vocablo más frecuente. El equivalente en 2D son los 4-trees o *quadtrees.*

En los octrees, *todos los nodos de un mismo nivel quedan asociados a celdas de igual tamaño.* La raíz del árbol se corresponde con el espacio de referencia o *celda de mayor tamaño.*

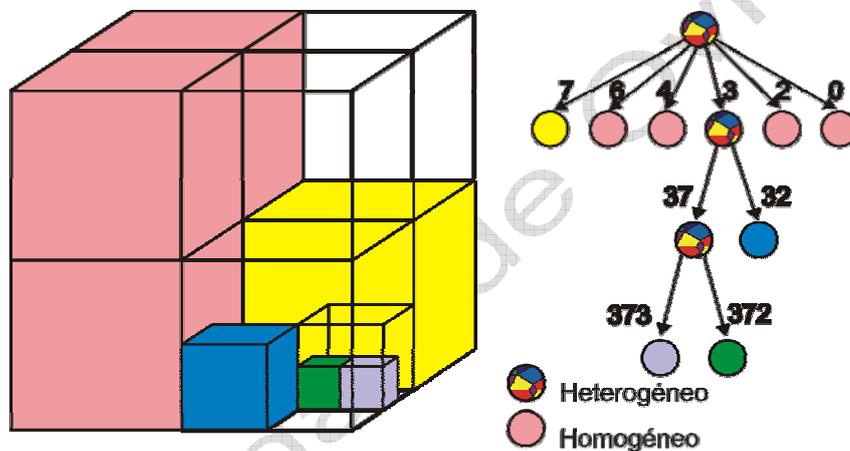


figura 8: octree de un modelo de enumeración integrado

En el árbol hay tres tipos de nodo: a) *vacíos* (o de referencia), que no aparecen representados en el octree del ejemplo, b) *homogéneos*, que se corresponden con las celdas llenas de una sola materia, y que en el árbol siempre serán nodos terminales, y c) *heterogéneos*, asociados a las celdas que contienen más de una materia y que en el octree siempre aparecen como nodos internos.

Por otro lado, en la misma figura 8 vemos que cada nodo tiene asociado un número, conocido como *código octal.* En un nivel dado, éste se forma a partir del código octal del nodo padre, añadiendo por la derecha la dirección de la celda dentro de su octante. En este ejemplo, las direcciones de las celdas de un octante han sido establecidas como indica la figura 9.

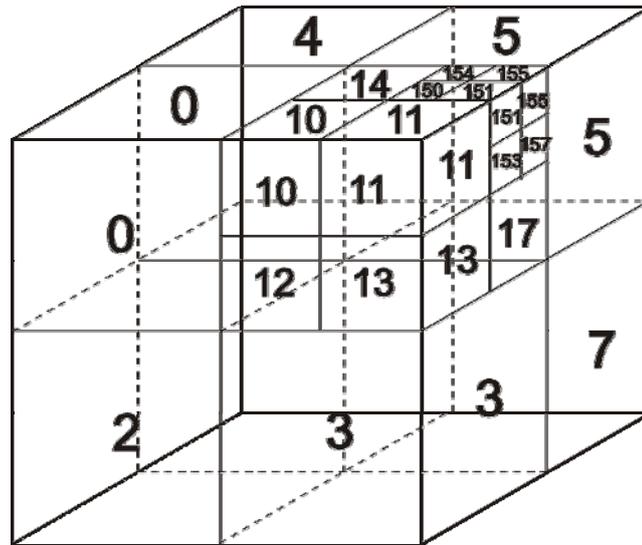


figura 9: direcciones de las celdas en los octantes y sus códigos octales

Los códigos octales y las coordenadas cartesianas son en el fondo lo mismo, sólo que expresados en formatos diferentes, de ahí que sean de extrema importancia en la búsqueda de la información. A partir del código octal asociado a un nodo, automáticamente se conoce el tamaño (nivel) de la celda y sus coordenadas cartesianas en el espacio, o viceversa.

B) Algoritmos de manipulación de los árboles octales

En los modelos volumétricos que poseen celdas integradas, o sea, que necesitan un octree, los procedimientos booleanos, geométricos (transformaciones lineales) y analíticos (cálculo de áreas, volúmenes, etc.) son más eficaces si se realizan directamente sobre el árbol. Veamos dos ejemplos simplificados sobre los operadores booleanos.

i.- Para la Unión

Para cada par de nodos con el mismo código octal :

Si uno de los nodos es homogéneo, el nodo resultado de la unión será homogéneo.

Si uno de los nodos es vacío, el nodo que se crea en la unión es igual al otro nodo.

Si ambos nodos son heterogéneos, el resultado de la unión también es un nodo heterogéneo, por lo que se ha de aplicar recursivamente el algoritmo sobre sus nodos descendientes. En este caso, los hijos de nodo unión deben ser examinados después de que el algoritmo haya sido aplicado sobre ellos. Si son todos homogéneos, se borran y el nodo padre pasa de ser un nodo heterogéneo a ser un nodo homogéneo. En otras palabras, *se efectúa la condensación de los nodos*.

ii.- Para la Intersección

Para cada par de nodos con el mismo código octal :

Si uno de los nodos es vacío, el resultante de la intersección también

es vacío.

Si uno de los nodos es homogéneo, el nodo intersección será igual al otro nodo.

Si ambos nodos son heterogéneos, el nodo intersección también será heterogéneo, y se aplica recursivamente el algoritmo a sus descendientes. En el caso de que todos los hijos resulten vacíos al aplicar el algoritmo, se borran y su nodo padre pasa de ser heterogéneo a vacío, o sea, se condensan.

1.2.2 Subdivisión espacial adaptativa

En el esquema anterior, para obtener el árbol octal, se sigue un proceso de abajo hacia arriba (*down-top*). Primero se ha de obtener la matriz de vóxeles, y después, mediante el proceso de integración, se obtiene el árbol octal. Este proceso de creación del árbol es conveniente (por no decir que obligatorio), cuando la información de las celdas se obtiene a través de periféricos como scanners, TAC, digitalizadores, etc.

Sin embargo, cuando la información original proviene de otro esquema de modelado, p. ej. el B-rep o CSG, *puede obtenerse directamente el octree siguiendo un procedimiento de arriba hacia abajo (top-down)*, mediante una *subdivisión adaptativa del espacio*.

Inicialmente se divide el espacio completo (que corresponde a la raíz del árbol) en 8 subespacios iguales (octantes), dándoles el atributo de *homogéneo, heterogéneo o vacío*, dependiendo de que el modelo original ocupe, ocupe a medias, o no ocupe los octantes formados. *Sólo en los octantes que resulten heterogéneos se continúa la subdivisión*. Por lo tanto, la subdivisión de los octantes continuará hasta que sean homogéneos o vacíos, o bien, *hasta que se alcance el nivel terminal*, el cual queda normalmente establecido en función de la memoria disponible.

Las características de los octrees que se obtienen por este procedimiento son las mismas que las de los árboles octales obtenidos por condensación, motivo por el que no alargaremos más su estudio.

2. Modelado por barrido

Los sistemas de representación por barrido se basan en la idea de mover en el espacio un punto, una curva o una superficie, registrando los puntos por donde pasa. El total de puntos generados da lugar a un nuevo objeto, que será de una dimensión superior a la del objeto movido.

En el modelado por barrido, hay dos elementos fundamentales que se han de definir: el **generador**, que es el objeto que origina el barrido, y la **directriz**, que es la trayectoria a través de la cual se desplazará el generador en el espacio; en general, ésta será una curva arbitraria, aunque su forma ha de estar totalmente bajo control.

Si durante el barrido es posible variar de algún modo el generador (tamaño, forma, orientación), entonces se trata de un *barrido general*.

Dependiendo de las características de la directriz se puede establecer

una primera clasificación dentro de este sistema:

Barrido traslacional. La directriz es una recta perpendicular al propio generador. El sólido generado en este caso no será más que el área del objeto que efectúa el barrido, considerada a través de la recta por la que se desplaza (figura 10). Una ampliación inmediata de esta clasificación sería considerar una directriz que no sea perpendicular al generador.

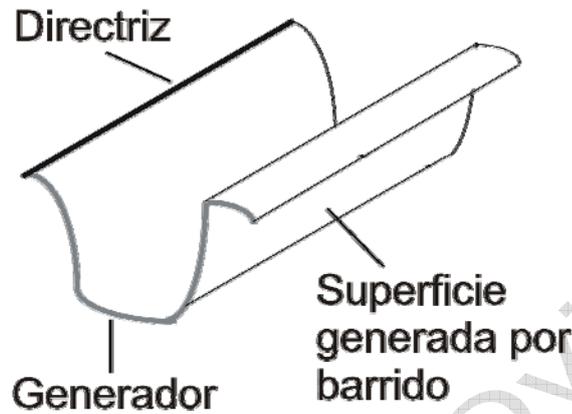


figura 10: barrido traslacional.

Barrido rotacional. En este caso, la directriz obliga a cada punto del generador a girar alrededor de un eje, que acabará siendo el eje de simetría y de rotación del objeto generado. Cuando el generador es una curva (elemento 2D) se genera una *superficie de revolución* (figura 11).

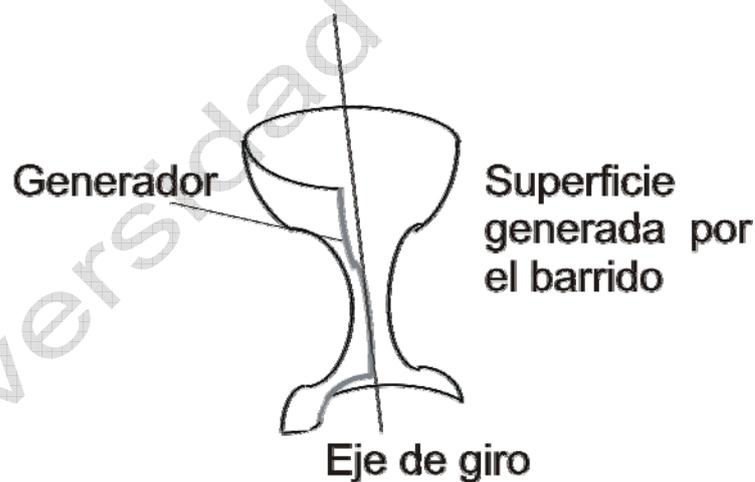


figura 11: barrido rotacional.

2.1 Casos problemáticos

Uno de los principales problemas del esquema de barrido es el de garantizar la integridad de los modelos.

Con frecuencia se presentan casos en los que se crean singularidades, al efectuar el barrido con generadores perfectamente válidos. Veamos algunos ejemplos en dos y tres dimensiones.

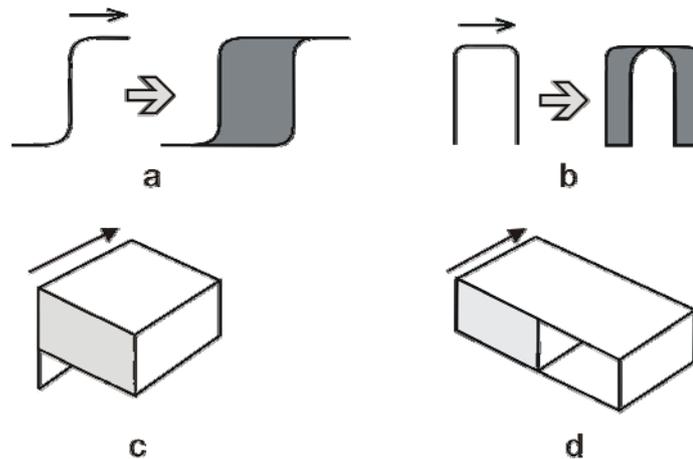


figura 12: ejemplos no válidos de barrido traslacional

Al desplazar una curva sobre el plano en que se encuentra definida vemos (figura 12-a y b) que fácilmente pueden surgir problemas de homogeneidad dimensional. Desplazando generadores bidimensionales, esto es más difícil que ocurra, aunque si de entrada no son homogéneos, los objetos 3D que generan tampoco lo serán (figura 12-c y d).

En el barrido rotacional también se pueden presentar problemas, dependiendo de la forma del generador y de la orientación del eje de giro. En la figura 13 vemos un ejemplo.

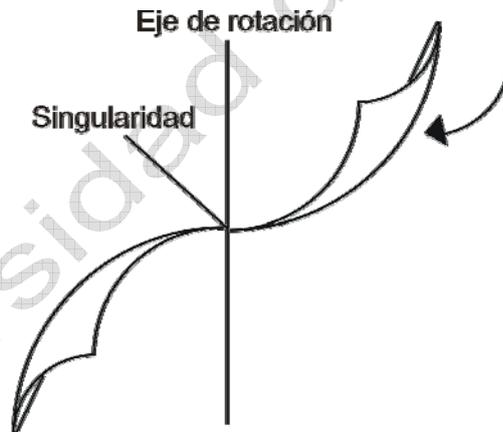


figura 13: singularidad en el barrido rotacional

En el barrido rotacional, además del problema de generar sólidos unidos por singularidades, puede ocurrir que se produzcan autointersecciones, dando lugar a resultados cuya integridad es difícil de verificar.

2.2 Curvas PD

Según se ha comentado, la directriz en el barrido puede ser una curva cualquiera, *siempre que pueda mantenerse un estricto control sobre ella*.

Una curva apropiada para hacer de directriz es la denominada **curva PD** (Posición y Dirección). Se trata de una *curva paramétrica cúbica* (curva PC) de 6 parámetros, la cual especifica de forma continua la posición en el espacio del generador y su orientación en un momento dado. Los tres primeros parámetros se utilizan para determinar la posición del generador, y los

tres restantes para el vector de dirección asociado.

Una curva PD, en combinación con las ecuaciones que definen el generador, es una herramienta eficaz para crear perfiles de sólidos. Además, el método permite varias posibilidades de ampliación, para modelar objetos más complejos. Así, se pueden utilizar dos o más generadores con una sola curva PD, o bien utilizar más de un generador en combinación con varias curvas PD. También es posible aumentar el número de parámetros de control. Por ejemplo, si se añaden tres componentes adicionales, es posible crear un factor de escala que se aplica sobre la curva PD, expandiéndola o contrayéndola de manera que parezca que el sólido generado no es rígido.

2.3 Utilidad de los esquemas de barrido

Los esquemas de representación por barrido son una forma intuitiva de generar y representar sólidos. De hecho, son comunes los sistemas de modelado que incorporan este esquema en su entorno de trabajo. Sin embargo, debido a los problemas de homogeneidad que presentan, y a lo difícil de operar sobre este tipo de representación (las operaciones booleanas no son aplicables directamente sobre los modelos de barrido), estos mismos entornos de modelado almacenan los objetos bajo otras representaciones, utilizando algoritmos de conversión entre ambas. En otras palabras, la representación por barrido se utiliza, en la mayoría de los casos, como una mera *herramienta de descripción de los modelos*, que luego serán convertidos a otros esquemas, especialmente a B-rep.

Otro problema inherente a los esquemas de barrido es su *escaso poder expresivo*. Salvo en campos muy concretos, como p. ej. en el modelado de piezas mecánicas, el esquema de barrido no facilita el diseño de modelos generales.

A su favor tiene que, además de modelar, se puede utilizar para calcular colisiones entre piezas móviles, observando las posibles intersecciones de volúmenes al efectuar el barrido.

Fuera del Modelado Sólido, las singularidades y simetrías a las que da lugar la rotación o traslación de objetos se aprovechan a menudo para generar modelos en la creación de arte por ordenador.

3. Esquemas híbridos

Ninguno de los esquemas de Modelado Sólido que hemos visto es superior a los demás en todos los aspectos. Esto ha dado lugar al desarrollo de esquemas de representación híbridos, que tratan de aprovechar las mejores cualidades de cada sistema.

Para entender el por qué de los sistemas híbridos, repasemos las características clave de los principales esquemas vistos hasta el momento:

Los *modelos de frontera* pueden ser utilizados directamente por los principales algoritmos de visualización. Además, los modelos poliédricos son apropiados para los análisis numéricos (cálculo de áreas, volúmenes, etc.), siempre y cuando el espacio capturado por los poliedros se ajuste lo suficien-

te al modelo teórico. No obstante, su creación es difícil sin la ayuda de otras representaciones y conversiones.

En cuanto a los *modelos booleanos*, son los más concisos, es decir, los que disponen de mayor información a la hora de ser visualizados. Sin embargo, dado que tanto los algoritmos de visualización (ray casting o ray tracing) como los algoritmos de análisis numérico son lentos, normalmente es preferible realizar éstas tareas mediante la conversión a otras representaciones.

Finalmente, el *esquema de modelado volumétrico (MV)* es el de mayor poder expresivo. Los algoritmos (y operadores en general) son simples, y en cuanto a prestaciones, es superior a los restantes. Sin embargo, el diseño de objetos de geometría irregular puede ser complicado, si no se efectúa la conversión desde otras representaciones. Por otro lado, la información registrada de los modelos puede ser grande, lo que hace que las operaciones booleanas y los procesos numéricos lleguen a ser lentos, si no se dispone del hardware adecuado.

Si se aprovechan las ventajas de cada uno, es de suponer que una combinación de estos esquemas de Modelado Sólido deberá ser superior a cualquiera de ellos por separado. *Un modelador híbrido da soporte simultáneo a varias técnicas de representación de los sólidos, utilizando la más conveniente en cada tarea.*

En definitiva, los esquemas de modelado híbridos son una combinación de varias representaciones básicas diferentes. Un modelo puede estar definido en cualquiera de éstas representaciones. Además, ver que un modelador híbrido puede incluir varios tipos de modelos de frontera. Por ejemplo, se puede utilizar una estructura winged edge con superficies curvadas para los procesos de modelado y al mismo tiempo disponer de una versión poliédrica para utilizar en la visualización.

3.1 Problemas en los esquemas híbridos

La coexistencia de varias representaciones de un mismo sólido aumenta el número de problemas.

a) Conversiones

Manteniendo simultáneamente varios esquemas de modelado, es obvio que los algoritmos de conversión son una parte fundamental en los modeladores híbridos. Las posibilidades de conversión dependen totalmente de los esquemas que se utilicen como *fuentes* y *destinos* en la conversión.

En concreto, los modelos CSG son excelentes fuentes, pero pésimos destinos. Así, la conversión CSG \rightarrow B-rep está plenamente desarrollada y establecida en los modeladores comerciales. En la conversión CSG \rightarrow MV se han de aplicar algoritmos de clasificación, ya que la mayor parte de la superficie de las primitivas es irrelevante.

Por otro lado, la *evaluación inversa de frontera* (B-rep \rightarrow CSG), aunque se ha logrado a nivel académico, es muy costosa y, que se sepa, no se ha sido incorporada en los modeladores comerciales. En cuanto a la conversión B-

rep \rightarrow MV (*voxelización*) es sencilla y útil, cuando se trata de analizar numéricamente los modelos.

Finalmente, tomando los modelos de enumeración como fuentes, la conversión MV \rightarrow CSG además de difícil, carece de sentido, dado que no se obtiene ninguna ventaja de la conversión. No ocurre igual con la conversión MV \rightarrow B.rep (*isosurfacing*), extremadamente útil cuando los modelos volumétricos han sido obtenidos a través de dispositivos externos, como digitalizadores, scanners, etc.

b) Consistencia

Los esquemas híbridos se dice que son consistentes, *si son capaces de representar un mismo modelo en los diferentes esquemas que soportan*. Si existe un algoritmo de conversión entre dos esquemas de un modelador híbrido, *se puede mantener la consistencia de los modelos*. Sin embargo, esto sólo es posible a costa de recortar la funcionalidad del modelador, es decir, limitando las posibilidades de los esquemas, para que la conversión entre ambos sea posible.

3.2 Clasificación de los esquemas híbridos

La solución adoptada para los problemas de consistencia y conversión, consiste en establecer una de las representaciones como *esquema primario*, y los restantes como secundarios.

Los esquemas basados en este planteamiento pueden clasificarse en dos grandes grupos: a) el de los modeladores que adoptan como esquema primario el CSG, y b) el grupo de los que utilizan el B.rep.

En los esquemas del primer grupo (figura 14), partiendo de los árboles CSG, se crean los modelos de frontera mediante la evaluación de fronteras, y los modelos volumétricos aplicando algoritmos de clasificación.

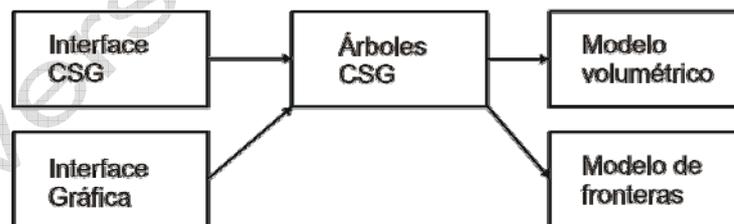


figura 14: esquemas híbridos basados en CSG

El usuario, sin embargo, no tiene acceso directo a las representaciones secundarias. En otras palabras, aunque los modelos de frontera estén incorporados en el modelador (y continuamente actualizados mediante evaluaciones de frontera incrementales, para reflejar los cambios en el árbol CSG), sin embargo, el usuario no puede realizar operaciones de modelado específicas de los modelos de fronteras, como por ejemplo las modificaciones locales.

Los modeladores que usan B.rep como representación primaria (figura 15), normalmente incluyen CSG como una herramienta de descripción del sólido.

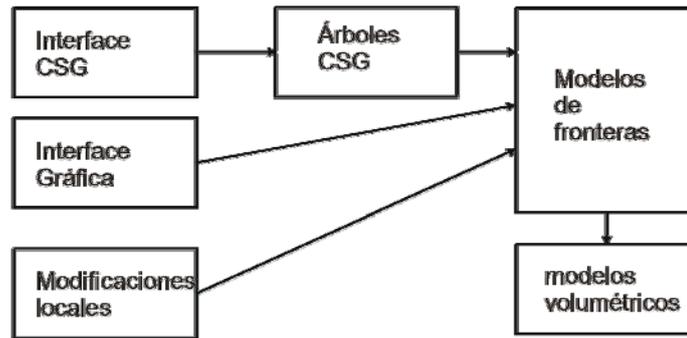


figura 15: esquemas híbridos basados en B-rep

Además del CSG, estos modeladores también poseen otras herramientas de descripción que modifican directamente las estructuras de datos de fronteras. Entre estas herramientas puede haber sistemas de barrido, de diseño y transformaciones locales del sólido.

3.3 Esquemas híbridos distribuidos

A finales de los 70, se extendió el uso de los sistemas gráficos distribuidos formados por un ordenador anfitrión y estaciones de trabajo gráficas. Actualmente, las estaciones de trabajo tienen la potencia suficiente como para prescindir de los ordenadores anfitriones. Sin embargo, con la proliferación de las redes locales de PC y la aparición de Internet, la distribución de las tareas gráficas entre servidores y terminales es un planteamiento común en los sistemas gráficos.

Normalmente, a los ordenadores más potentes (servidores) se les adjudica el papel de almacenaje, mantenimiento de las representaciones primarias, y la ejecución de los cálculos analíticos, mientras que a los periféricos se les proporciona una copia poliédrica actualizada del modelo central, encargándose principalmente de la visualización y de atender a los requerimientos más sencillos del usuario. Como el modelador mantiene copias del modelo en ambas partes y en esquemas diferentes, *los esquemas distribuidos se consideran un caso especial de los esquemas híbridos.*

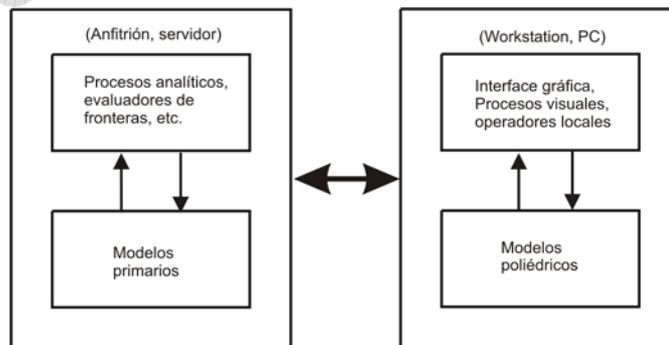


figura 16: Esquema híbrido distribuido

La figura 16 muestra una distribución típica de tareas, cuando el esquema primario es el CSG.

Cuando el esquema primario es B-rep, lo más común es que el anfitrión trabaje con superficies paramétricas, pasando a los terminales copias tesse-

ladas (poliédricas) de los modelos paramétricos. Por lo tanto, la distribución de tareas es muy similar en ambos casos.

3.4 Otros planteamientos híbridos

Los modeladores híbridos vistos hasta ahora usan varias representaciones independientes simultáneamente, utilizando la más apropiada en cada caso.

Para evitar los problemas causados al trabajar con varias representaciones, se ha propuesto la integración de algunos esquemas de modelado básicos, de forma que se cree un nuevo y único esquema. Por lo general, estos modeladores combinan un modelo de subdivisión espacial adaptativa con un modelo CSG ó un modelo de frontera, utilizando el árbol octal como un método de acceso a la información del esquema CSG ó del B-rep.

Un esquema de este tipo lo encontramos en el *octree extendido*, en el que se almacena la información de modelos B-rep poliédricos, en las celdas del árbol octal. En este caso, la división del espacio en octantes se realiza hasta que en las celdas contienen, como mucho, un vértice, una arista o una cara, o bien son homogéneas llenas o vacías.