

Tema I

Informática Gráfica: perspectiva general

Ricardo Ramos

En este primer tema se hace una introducción a la Informática Gráfica, viendo superficialmente los principales campos que abarca, y la utilidad de cada uno. A continuación, el tema se centra en los campos que se estudiarán en la asignatura (Síntesis de Imágenes y Modelado), dando una visión general sobre ellos

1.1 Introducción

No cabe duda de que la vista es una de las principales vías de entrada de información al cerebro. La interpretación por éste de la **información visual**, sólo es posible después de un proceso de aprendizaje; una vez que aprendemos a tratar la información visual, como por ejemplo, reconocer los objetos y la utilidad o peligrosidad de cada uno, dicha información nos ayuda a tomar decisiones.

Desde muy antiguo, el hombre ha sentido la necesidad de transmitir la información visual, desarrollado para ello técnicas de registro de lo más variopinto, las cuales utilizan toda clase de soportes, como la madera, piedra, barro, papiro, papel, etc. En la actualidad, sistemas electrónicos de todo tipo constituyen uno de los principales medios de transmisión de la información visual. Ocupando un puesto preferente entre ellos se encuentran los ordenadores.

A pesar de la disparidad que puede haber entre los diferentes medios de registro, por ejemplo, entre una hoja de papel y un monitor gráfico, el conocimiento básico necesario para registrar información visual es el mismo. Así, en el papel se han de conocer los puntos a entintar y su color, y en el monitor se precisa saber qué píxeles de la pantalla se han de activar para que emitan luz del color apropiado. Está claro que en ambos casos es preciso conocer qué puntos del papel o la pantalla se han de pintar (coordenadas), y el color que ha de tener cada uno.

Haciendo un poco de abstracción, si llamamos “*puntos del espacio de referencia*” a los puntos del papel, de la pantalla, o de cualquier otro medio de registro, *la información necesaria para asignar características o propiedades ópticas a cada punto del espacio de referencia, tales como color, opacidad,*

*etc., es o se conoce como **información gráfica**.*

Basándonos en la definición anterior, podemos definir la **Informática Gráfica (IG)**, como el *área de la Informática que se dedica al estudio y desarrollo de procesos que permitan el tratamiento automático de la información gráfica*¹.

De la definición que hemos dado sobre *información gráfica*, fácilmente se deduce que en esencia consiste en un *conjunto de direcciones del espacio de referencia* (iguales a las utilizadas en la *Geometría Analítica*), y *códigos de color*; de este modo queda especificada la posición y el color de los puntos que forman la *información visual*.

Aunque el ordenador procesa información gráfica, de cara al estudio de las técnicas gráficas es más fácil e intuitivo pensar en *conjuntos de puntos en un espacio de referencia, a los cuales se les asigna características o propiedades ópticas (color, opacidad, etc.), de manera que sus propiedades y/o posición en el espacio se puedan modificar de forma individual o colectiva*. En definitiva, por comodidad, es preferible pensar en los puntos en sí, y no en las coordenadas y códigos de color que los definen.

La razón por la que se ha incluido la condición de que los puntos puedan ser manejables de alguna forma, se debe a que los ordenadores trabajan también con información gráfica constante como, por ejemplo, los caracteres del código ASCII. Si los caracteres gráficos son editables, entonces su estudio también pertenece a la IG.

1.2 Definición de la información gráfica

Siguiendo los consejos anteriores, mientras no se indique lo contrario, consideraremos la información gráfica como *conjuntos de puntos dados en un espacio de referencia*.

Según esto, es evidente que para definir la información gráfica que debe procesar el ordenador es preciso establecer un sistema de referencia, y definir de algún modo los conjuntos de puntos que constituyen la información visual.

En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones gráficas (*sistemas gráficos*) se limitan al tratamiento de la información gráfica definida en espacios de 2 y 3 dimensiones, aunque hay sistemas que permiten el estudio, tratamiento y visualización de información gráfica en espacios de dimensión mayor, especialmente en 4D. En nuestro caso, nos limitaremos a estudiar la IG que trabajan con información definida en 2 y 3D exclusivamente.

Por otro lado, recordando un poco la Teoría de Conjuntos, la definición de los conjuntos (en general) puede hacerse por **comprensión**, o por **exten-**

¹Dado que es mucho mayor la proporción de gente que se dedica a la explotación de los sistemas gráficos con fines económicos, artísticos, científicos, etc., que la que se dedica al desarrollo de dichos sistemas, popularmente se tiende a pensar en la IG como la fase de explotación de los sistemas gráficos, y de ahí términos tales como “Infografía” e “Infógrafo”.

sión. En el primer caso, el conjunto queda definido mediante una ley o criterio que cumplen todos los elementos del conjunto. Éste puede tener un número finito o infinito de elementos. La definición por extensión consiste en enumerar (registrar) la lista de los elementos que pertenecen al conjunto. En este segundo caso es imprescindible que el conjunto sea finito.

Los conjuntos de puntos no son una excepción a la regla, y por tanto la *información gráfica se ha de poder definir tanto por comprensión, como por extensión.* Veamos un ejemplo típico. Si decimos que *un conjunto está formado por todos aquellos puntos del espacio 3D que se encuentran a una distancia menor o igual que “r”, medida desde un punto dado “c”,* estamos definiendo por comprensión un conjunto de puntos que forman una esfera de radio “r”. Esta misma definición, dada en un espacio 2D, correspondería al conjunto de los puntos que forman un círculo.

En este sencillo ejemplo el número de puntos (elementos) del conjunto es infinito, es decir, la información gráfica se encuentra definida en un espacio 3D continuo.

Si quisiéramos definir por extensión el conjunto de puntos anterior (esfera), *antes sería preciso transformar dicho conjunto en otro, de forma que el total de puntos del conjunto resultante sea finito.* En otras palabras, para poder definir por extensión los conjuntos de puntos es preciso **“discretizar”** la información gráfica definida en el espacio continuo, o bien definir directamente los puntos sobre un espacio discreto. La discretización de la información gráfica definida en un espacio continuo es uno de los procesos típicos (y más frecuentes) de la IG, aunque, por razones históricas, recibe diferentes nombres según veremos más adelante.

En definitiva, la información gráfica con que trabaja la IG puede estar dada por conjuntos de infinitos puntos, definidos en espacios continuos, o bien por conjuntos finitos definidos sobre espacios discretos, es decir, direccionables exclusivamente mediante números enteros. En el diagrama de la figura 1 podemos ver los cuatro tipos de información gráfica en los espacios 2 y 3D.

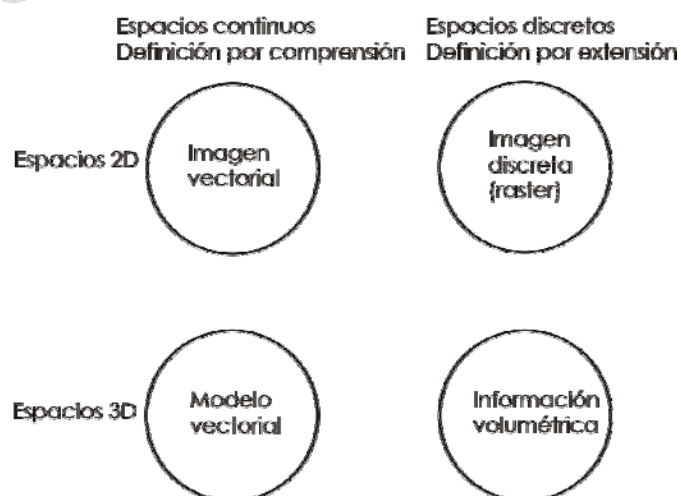


figura 1: espacios de trabajo básicos en la Informática Gráfica

En los espacios continuos, la *información gráfica* definida en un espacio 2D se conoce como **imagen vectorial**, y si el espacio es 3D, entonces se llama **modelo vectorial**. Algo similar ocurre en los espacios discretos. Así, en 2D la información gráfica recibe el nombre de **imagen raster** o **imagen discreta**; en cambio, en los espacios discretos 3D es conocida como **información volumétrica**.

1.3 Campos que abarca la Informática Gráfica

La IG, como hemos indicado, se dedica a desarrollar técnicas que permiten el tratamiento automático de la información gráfica. Sin embargo, hay muchas formas de tratar dicha información, y cada una de ellas puede dar lugar a un campo o subárea de especialización dentro de la IG.

Cualquiera de los cuatro tipos de información gráfica que se muestra en la figura 1 puede ser la fuente de información con la que ha de trabajar un proceso gráfico. Igualmente, generar información de uno de los cuatro tipos suele ser el principal objetivo de dichos procesos aunque, en algunas ocasiones, lo que se pretende es obtener *información numérica* (cálculo de superficies, volúmenes, estadísticas, etc.).

Según esto, se puede pensar en clasificar los diferentes campos y procesos de la IG, en función del tipo de información de entrada y salida, y de la clase de proceso que se efectúe con la información gráfica.

Entonces, si relacionamos mediante una flecha la clase de información de entrada que requiere un proceso o sistema gráfico, con el tipo de información de salida generada por éste, a partir del diagrama de la figura 1 (e incorporando la información numérica), se puede construir un diagrama, tal como se muestra en la figura 2, donde quedan especificados los principales campos de la IG.

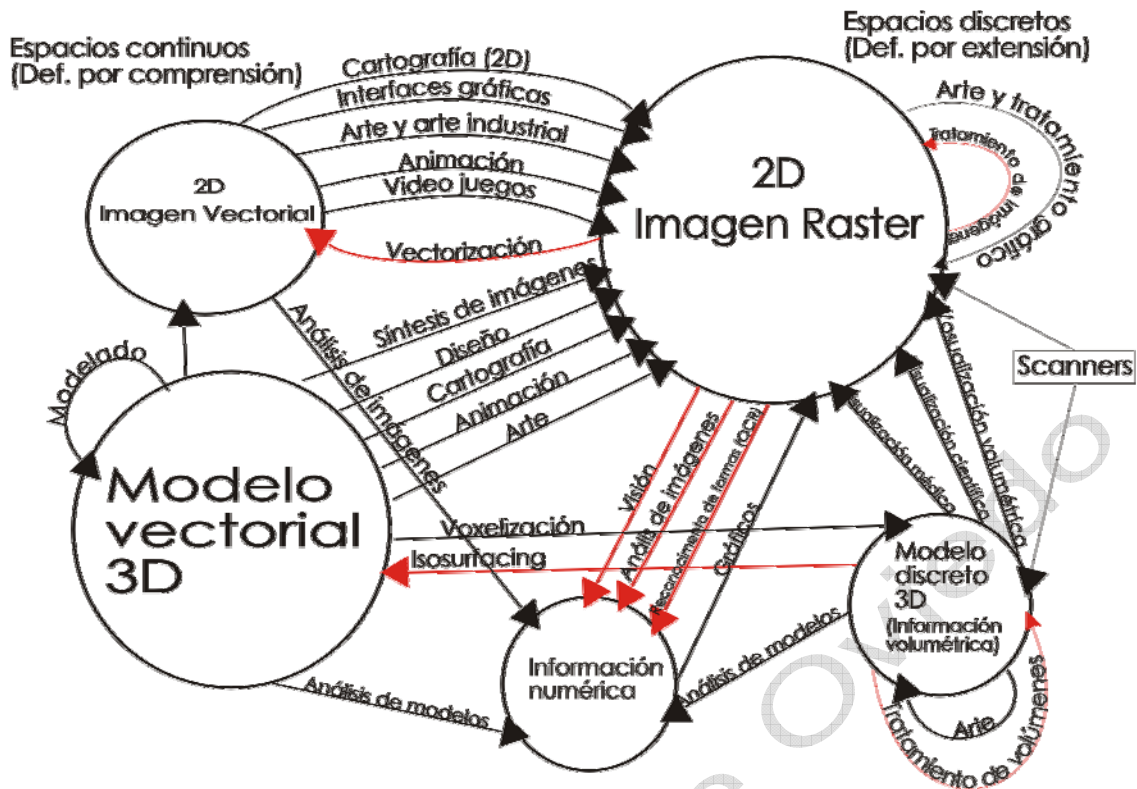


figura 2: campos más significativos de actuación de la Informática Gráfica

En el diagrama anterior aparecen los principales campos que abarca la IG, así como algunos de los procesos más comunes, como son los de conversión de unos tipos de información a otros. Además, es importante señalar que las flechas del diagrama indican el objetivo final del campo de estudio o del proceso, y no necesariamente el camino seguido para alcanzar dicho objetivo. Por ejemplo, en la Síntesis de Imágenes, según veremos más adelante, uno de los métodos para conseguir una imagen raster a partir del modelo vectorial 3D, genera una imagen vectorial como paso previo a la obtención de la imagen raster.

Veamos ahora muy por encima en qué consiste y cuál es el objetivo de cada uno de los campos de la IG que aparece en el diagrama de la figura 2. Comenzamos viendo los procesos que trabajan con información gráfica en 2D.

1.3.1 Transformaciones 2D(vectorial) → 2D(raster)

- **Cartografía (2D):** se ocupa de la creación, almacenaje y visualización de toda clase de mapas, planos, etc. Esta disciplina es de gran importancia en campos como la geología, arqueología, etc., ya que facilita mucho la creación de mapas, así como la búsqueda e inferencia de datos estadísticos.
- **Interfaces Gráficas:** este campo se dedica al estudio, diseño y creación de interfaces gráficas para las aplicaciones, de forma que faciliten su uso. La estandarización y amplia utilización de las interfaces gráficas de ciertos entornos (Macintosh, MS Windows, UNIX y Linux, principalmente), ha hecho posible que en muchos

casos sea posible sacar rendimiento a una aplicación desde el mismo momento en que se utiliza por vez primera.

- **Arte y Arte Industrial:** se dedica al estudio y desarrollo de aplicaciones que faciliten el desarrollo de imágenes artísticas (Infografía), tanto para la creación de arte en si, como para la realización de todo tipo de pósteres, carteles publicitarios, ilustración de libros, etc. Según veremos más adelante, en este campo es bastante común trabajar directamente en el espacio 2D discreto, es decir, sobre la imagen raster.
- **Animación (2D):** este campo se dedica al estudio y desarrollo de herramientas software que faciliten el diseño y animación de dibujos. Actualmente su utilización es de gran importancia en la industria recreativa (cine y TV, principalmente).
- **Videojuegos (2D):** muy relacionado con el campo anterior, aunque con un planteamiento diferente. Los que trabajan en este campo se dedican al desarrollo de herramientas que faciliten la creación de “dibujos animados” interactivos. Además, claro está, desarrollan todo tipo de juegos basados en la animación gráfica interactiva.

1.3.2 Transformaciones 2D(raster) → 2D(raster)

- **Arte y Tratamiento Gráfico:** este campo de estudio abarca, según comentamos, los campos de Arte y Arte Industrial. Además, puede incluirse el desarrollo de herramientas que faciliten la manipulación de las imágenes fotográficas, o de vídeo, dada la naturaleza bidimensional y discreta de este tipo de información gráfica.
- **Tratamiento de Imágenes (Image Enhancement):** una de las principales tareas de este campo es el estudio y desarrollo de herramientas que permitan el filtrado y depuración de imágenes distorsionadas, de manera que la imagen resultante sea de calidad superior; además es posible aumentar el brillo, contraste o cualquier otra característica que se desee resaltar de una imagen.

1.3.3 Transformaciones 3D(vectorial) → 2D(raster)

Los campos de la IG que toman información vectorial 3D y la convierten en imagen discreta son muy similares a los vistos anteriormente. Veamos los más importantes:

- **Síntesis de Imágenes:** como su nombre indica, este campo se dedica principalmente al estudio y desarrollo de software que permita sintetizar imágenes discretas, a partir de un modelo vectorial. Su principal objetivo es obtener imágenes de calidad, no importando demasiado si el modelo vectorial de partida es consistente (coherente) o no.
- **Diseño (CAD):** este campo es parecido al anterior, pero en este caso es muy importante que el modelo esté bien definido (consis-

tente), dado que la información vectorial se ha de utilizar posteriormente en la manufacturación del modelo. La visualización de los modelos es auxiliar (aunque necesaria), por lo que no tiene demasiada importancia la calidad de las imágenes, al menos en las primeras fases de desarrollo.

- **Cartografía (3D):** similar a la cartografía 2D, aunque almacenando y visualizando información tridimensional.
- **Animación (3D):** en esta ocasión no se trata de animar dibujos, sino objetos tridimensionales, lo que hace que los planteamientos de animación sean, en muchos aspectos, radicalmente distintos a los utilizados en la animación 2D.
- **Arte (3D):** los objetivos en este campo son similares a los del Arte 2D, aunque, claro está, en tres dimensiones.
- **Videojuegos (3D):** se encarga de la animación interactiva 3D, aplicada a todo tipo de juegos, así como a la creación de herramientas que faciliten su desarrollo.

1.3.4 Transformaciones 3D(vectorial) → 3D(vectorial)

- **Modelado:** en este campo se estudian las técnicas que permiten la definición de los modelos vectoriales tridimensionales. Si se pone por condición que la definición del modelo sea completa y coherente, entonces estamos ante el **Modelado Sólido**. Este subcampo del Modelado es fundamental en áreas como la de Diseño.

1.3.5 Transformaciones (Información numérica) → 2D(raster)

- **Gráficos:** este ha sido uno de los primeros campos de la IG en ser desarrollado. Su principal objetivo consiste en representar gráficamente masas de datos mediante curvas, barras, pasteles, etc., para poder realizar una apreciación global de todos ellos (evolución, tendencias, etc.).

1.3.6 Transformaciones 2D(raster) → (Información alfanumérica)

- **Visión:** la tarea principal en este campo es la detección de objetos tridimensionales, partiendo normalmente de dos imágenes distintas de los objetos, tomadas desde ángulos diferentes (estereoscópicas). Aunque en los últimos años se ha avanzado mucho, los resultados obtenidos distan de ser satisfactorios, por lo que este es uno de los campos de la IG donde la investigación es más activa. Su aplicación más inmediata es en la robótica.
- **Reconocimiento de formas (OCR):** en esta ocasión, el objetivo básico es la detección e identificación de elementos gráficos, especialmente en 2D. Una importante especialidad dentro de este campo (en la actualidad muy avanzada) es el *reconocimiento óptico de caracteres* (OCR), que se encarga de la extracción de la información alfanumérica, a partir de la información gráfica de los caracteres alfabéticos y numéricos.

1.3.7 Transformaciones 3D(discreto) → 2D(raster)

La definición y manipulación de la información gráfica en el espacio discreto tridimensional (información volumétrica) ha experimentado un fuerte impulso en estos últimos años, aunque la proliferación y uso de sistemas gráficos de este tipo dista bastante de los sistemas equivalentes que trabajan en el espacio 3D continuo. La razón principal es que los requerimientos hardware (memoria) necesarios para trabajar en el espacio discreto 3D aún siguen siendo considerables, y porque la manipulación de grandes masas de puntos (definidos por extensión), no es tan flexible como la representación geométrica (definidos por comprensión).

Básicamente son tres los campos de la IG que trabajan con información volumétrica, los cuales son muy similares en cuanto a métodos y procesos, y su principal diferencia está en el tipo de información volumétrica que procesan.

- **Visualización Volumétrica:** se encarga del desarrollo de las técnicas y herramientas necesarias para la generación y visualización de información gráfica discreta, es decir, a la creación de sistemas volumétricos.
- **Visualización Científica:** muy similar a la anterior en cuanto métodos y objetivos, sólo que se especializa en la manipulación de información científica (tanto escalar, como vectorial), obtenida, principalmente, a partir de modelos matemáticos, o tomada directamente mediante muestreo. Dada la similitud con el campo anterior, actualmente se tiende a considerar la Visualización Científica como el conjunto de técnicas o métodos que se han de utilizar para obtener la información en las diferentes disciplinas científicas, así como a tratar los temas relacionados con la explotación de los sistemas volumétricos y el análisis de los resultados.
- **Visualización Médica:** es similar al campo de la Visualización Científica, sólo que en este caso, la información que se procesa queda restringida al campo de la medicina. La adquisición de la información se hace, principalmente, mediante la Tomografía Axial Computerizada (TAC), la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y la Ecografía. La principal característica de este campo, con respecto a los anteriores, quizá sea el tratamiento previo (filtrado) que se ha de efectuar sobre la información volumétrica para mejorar la calidad de las imágenes obtenidas. Este preproceso no es necesario cuando la información volumétrica ha sido generada, por ejemplo, a partir de un modelo matemático.

1.3.8 Transformaciones 3D(discreto) → 3D(discreto)

- **Arte (3D):** la información gráfica, discreta o continua, y en cualquier dimensión proporciona un amplio campo de posibilidades a la expresión artística. El arte, a través de la información volumétrica no iba a ser menos, aunque es un campo poco evolucionado.

- **Tratamiento de Volúmenes:** este campo (en 3D) es el equivalente al tratamiento de imágenes en 2D. En muchas ocasiones la información volumétrica se encuentra distorsionada, especialmente cuando ha sido adquirida por muestreo. El desarrollo de técnicas eficientes (muy similares a las utilizadas en el tratamiento de imágenes) que permitan, de modo eficiente, la depuración y realce de la información volumétrica, es la tarea principal de los que trabajan en esta especialidad.

En función de su dificultad, algunos campos de la IG brillan con luz propia, como es el caso del de Visión. Otros, como el de Gráficos, no pasan de ser una simple aplicación, que se estudia en los cursos básicos de iniciación a la IG.

Aunque en el resumen anterior hemos tratado de incluir las principales subáreas de la IG, la apertura de nuevos campos de aplicación de la IG es continua. Se está investigando y aplicando la IG en el área de la seguridad, para la identificación personal, en la enseñanza (aprovechando las técnicas desarrolladas para la animación y videojuegos), en los sistemas multimedia, en la programación visual, gestión de sistemas, Realidad Virtual etc. Sin duda, la IG es una de las áreas de la Informática que más actividad genera en todo el mundo, tanto desde el punto de vista comercial como desde el científico y tecnológico.

1.4 Estructuración histórica de la IG

Entre las distintas áreas de la IG que se muestran en el diagrama de la figura 2, las que parten del espacio discreto 2D (imagen raster) hacia espacios 3D (continuos o discretos), constituyen lo que podría llamarse la “*ingeniería inversa*” de la IG. Estos campos *son notablemente más complejos* (debido a que la información de partida se encuentra implícita) que aquellos que parten de los modelos 3D hacia la imagen discreta (*ingeniería directa*). Además, *los métodos matemáticos aplicados en cada caso son radicalmente distintos*.

Históricamente esto ha hecho que el desarrollo de ambos tipos de aplicaciones haya ido por caminos independientes, y realizado por investigadores de disciplinas diferentes. La consecuencia directa ha sido que, en muchos lugares (especialmente en países del ámbito anglosajón), la Informática Gráfica (*Computer Graphics*) y el campo de Visión (*Computer Vision*) o el de Tratamiento de Imágenes (*Image Enhancement*), son considerados como áreas de la Informática (*Computer Sciences*) completamente independientes.

Sin embargo, si aceptamos como válida la afirmación de que “la IG se encarga del tratamiento automático de la información gráfica”, no cabe duda de que las disciplinas anteriores se han de considerar como subáreas de la IG, tal como muestra el diagrama de la figura 2.

1.5 Procesos de transformación y análisis

Antes de comenzar a estudiar las técnicas de Síntesis de Imágenes y de Mo-

delado Sólido, que son el objetivo de la asignatura, comentaremos brevemente los procesos más frecuentes utilizados en IG, algunos de los cuales aparecen indicados en la figura 2.

Como era de esperar, los procesos que con más frecuencia se aplican en IG son los encargados de transformar la información gráfica definida en formato continuo, a formato discreto (en espacios de igual dimensión) y viceversa.

Así, el proceso de **rasterización** se encarga de convertir las imágenes vectoriales (espacio continuo 2D) en imágenes raster (espacio discreto 2D). El proceso inverso se conoce como **vectorización**.

En tres dimensiones, la conversión del modelo vectorial en información volumétrica se llama **voxelización**. El proceso inverso, que podría (o debería) llamarse **vectorización 3D**, se conoce como **isosurfacing**.

No existen procesos simples cuando la conversión implica un cambio de dimensión, por lo que dichas conversiones son consideradas como una aplicación o sistema gráfico.

Otro tipo de proceso común en IG es el análisis estadístico de la información gráfica, para generar información alfanumérica. La dificultad de estos procesos depende principalmente de la información alfanumérica que se busque y del tipo de información gráfica con que se trabaje (discreta, continua, 2D, 3D).

1.6 Síntesis de Imágenes

Comenzamos aquí la descripción global de uno de los campos de la IG que vamos a estudiar en la asignatura, que es el de la **Síntesis de Imágenes** (SI). Este campo se dedica principalmente al *estudio y desarrollo de procesos que permitan sintetizar imágenes discretas, a partir de un modelo vectorial 3D*.

En la SI es importante que las imágenes sean de calidad, es decir, que el grado de **realismo** (término con que se denomina a la calidad de las imágenes sintetizadas) sea lo mayor posible.

1.6.1 Sintetizadores de Imágenes

El conjunto de procesos que directa o indirectamente permiten la síntesis de imágenes debería conocerse como **sintetizador de imágenes**, o algo parecido. Sin embargo, normalmente se utiliza un término más ambiguo, como el de “sistema gráfico” o “paquete gráfico”. Como hemos de aceptar la terminología vigente, de ahora en adelante *utilizaremos la expresión “sistema gráfico” (SG), para referirnos al conjunto de programas y herramientas auxiliares que permiten la síntesis de imágenes raster, a partir de un modelo vectorial 3D*.

Desde el punto de vista informático, un sistema gráfico es sencillamente una base de datos con la peculiaridad de que trabaja con información gráfica. Los SG poseen todos los elementos de la base de datos, aunque bau-

tizados con otros nombres. La tabla 1 muestra las equivalencias entre la nomenclatura empleada en las bases de datos y la utilizada en los sistemas gráficos.

Nomenclatura en las bases de datos	Nomenclatura en los sistemas gráficos
Fichero de datos, masa de datos	Modelo, modelo vectorial
Búsqueda de información o datos	Visualización, rendering, trazado
Filtro de búsqueda	Punto de observación, visor, cámara

tabla 1: diferencias terminológicas en el uso de las bases de datos

Como se puede deducir de la tabla anterior, la búsqueda de la información en los sistemas gráficos (proceso conocido como visualización, rendering, trazado) se realiza en función de las condiciones establecidas por el observador, al cual nos referiremos preferentemente como **cámara** o **visor**. Es necesaria la presencia de un observador (filtro) en la búsqueda de la información, ya que el propósito de un sistema gráfico es crear una imagen bidimensional a partir de un modelo tridimensional, lo que implica la imposibilidad de mostrar simultáneamente en pantalla toda la información del modelo.

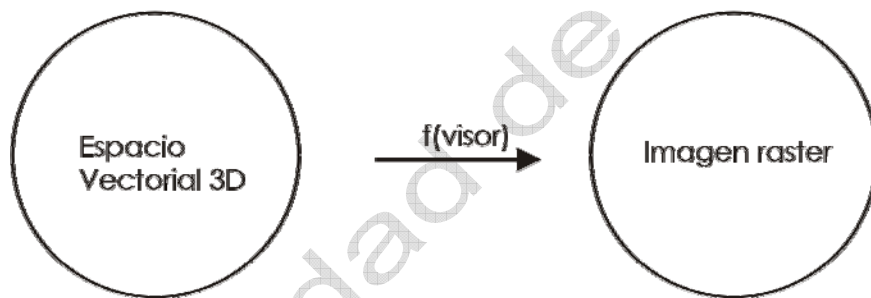


figura 3: discretización o rasterización

Esquemáticamente, el objetivo principal de un sistema gráfico se resume según muestra la figura 3.

1.6.2 Estructuración de la Síntesis de Imágenes

Como toda disciplina que se precie, la SI se organiza y subdivide en campos de trabajo, principalmente para evitar la mezcla de conceptos, y facilitar así su estudio. Para ello, como ocurre siempre, se ha de buscar y aplicar uno o más *criterios de organización* que permitan la estructuración coherente del área. En la Síntesis de Imágenes son dos los criterios principales que se utilizan: *el método de síntesis de imágenes utilizado, y el modelo de iluminación que se aplica*.

A) Métodos de síntesis de las imágenes

El criterio principal que se utiliza en la estructuración de la Síntesis de Imágenes *es el camino que se sigue (método) para sintetizar las imágenes raster*.

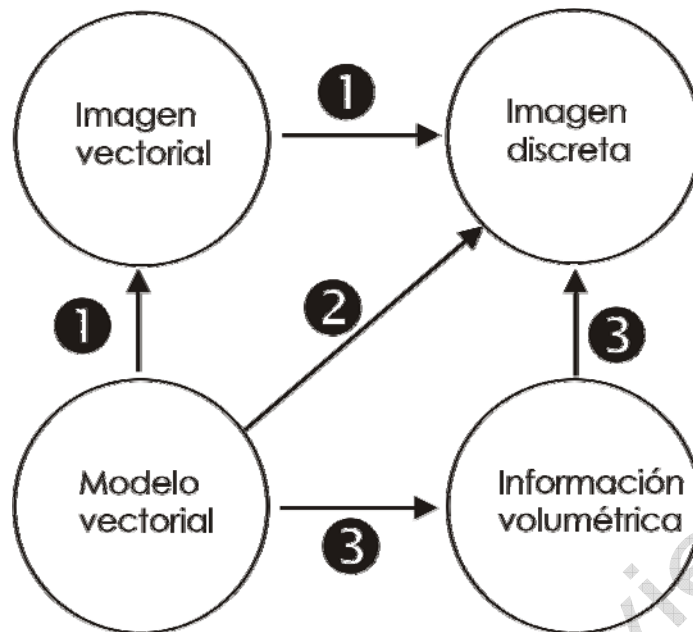


figura 4: métodos de síntesis de imágenes

Si tomamos como referencia el diagrama de la figura 1, vemos que son tres las rutas posibles que se pueden seguir para buscar la información gráfica en el modelo 3D, y generar la imagen raster. Estas tres posibilidades se muestran en el diagrama de la figura 4.

⊙ De los tres métodos de síntesis anteriores, el primero en desarrollarse fue el ①. Tal como se indica en la figura 5, la información se busca en el espacio vectorial, según las condiciones del visor, formando (mediante proyecciones) una imagen vectorial. Si se dispusiese de un monitor vectorial, la imagen creada podría ser mostrada directamente en dicho monitor. Sin embargo, hoy en día la mayor parte de los monitores son de tipo raster, lo que significa que la imagen vectorial se ha de discretizar (**rasterización**), para que pueda ser mostrada en esta clase de monitores.

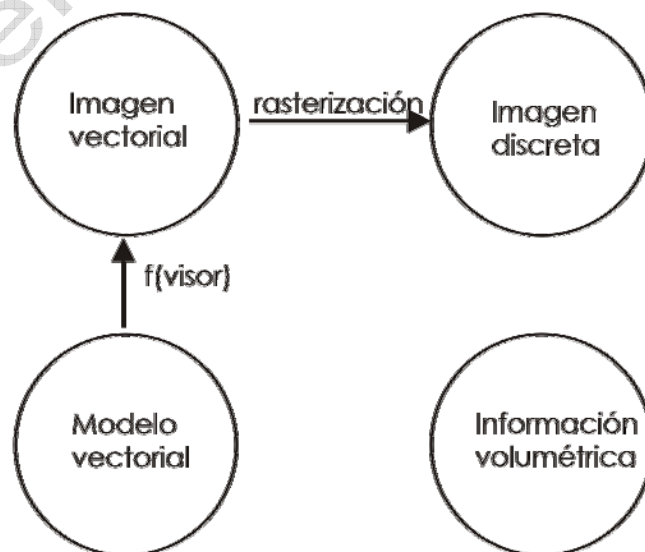


figura 5: método de búsqueda estándar

Normalmente, este método de síntesis de imágenes se conoce como **síntesis vectorial**, o más comúnmente como **síntesis estándar**, no sólo por haber sido el primero en desarrollarse, sino porque es el más difundido y utilizado.

⊙ Como vemos, en la segunda posibilidad para sintetizar imágenes (ruta ② en la figura 4), la imagen raster se forma buscando la información gráfica directamente del espacio vectorial. Para ello, se utilizan una serie de procesos que emulan el movimiento y características de la luz natural. La figura 6 muestra un esquema de este camino de síntesis, al cual se le denomina **método directo de síntesis**, o simplemente **síntesis directa**².

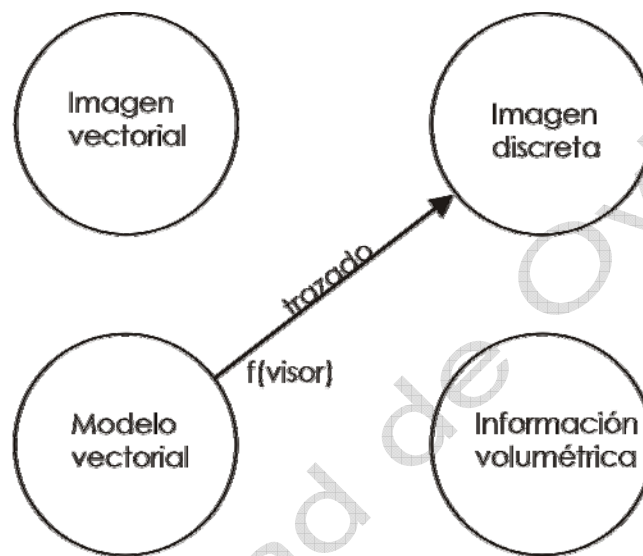


figura 6: método directo de búsqueda

⊙ La tercera y última ruta (mostrada en la figura 7), aunque se emplea con frecuencia en la visualización volumétrica, sin embargo no se utiliza en la SI, pues normalmente no se consigue mayor calidad en las imágenes, pudiendo incluso disminuir en muchos casos. En cambio, el camino inverso sí es frecuentado, pues la conversión de la información volumétrica en vectorial (isosurfacing) permite la visualización por cualquiera de los métodos anteriores.

²Esta nomenclatura no es única. Algunos autores utilizan la expresión “síntesis desde el espacio de la imagen” (o parecida) para referirse a la síntesis estándar, y “síntesis desde el espacio de los objetos” para indicar la síntesis directa.

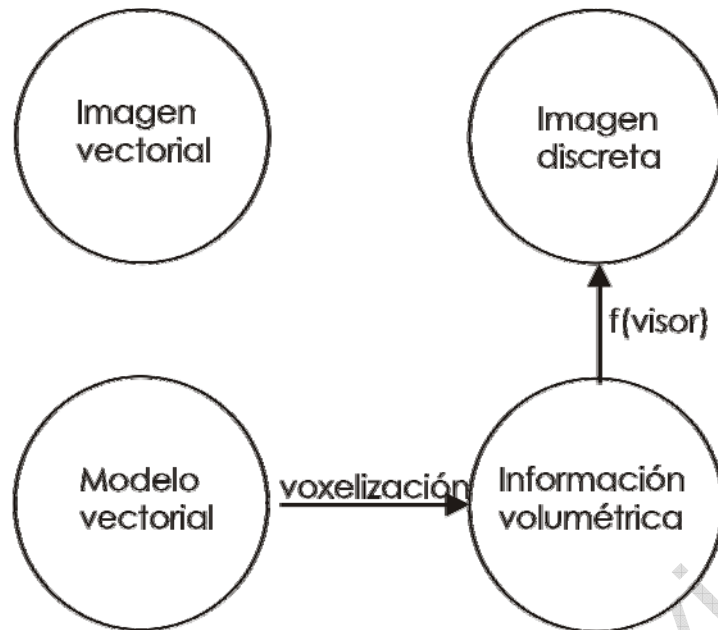


figura 7: renderizado directo de volúmenes (DVR)

Resumiendo, en la Síntesis de Imágenes existen dos métodos básicos de trabajo, que son el estándar y el directo. Sin embargo, como suele ocurrir en muchos campos, cabe la posibilidad de desarrollar *planteamientos híbridos*, en los cuales se utilizan conjuntamente las dos vías de síntesis anteriores.

B) Modelos de Iluminación

Quizá la principal diferencia entre un sistema gráfico y una base de datos tradicional esté en que, en el sistema gráfico, la información última que se busca (color de los puntos que configuran la imagen raster) no es constante, sino que depende de la “iluminación” que reciban los puntos definidos en el espacio vectorial 3D (objetos). Se ha de calcular la intensidad y color de la luz que llega a dichos puntos, una vez que se ha determinado si éstos se encuentran o no dentro del campo de visión del observador. Para efectuar el cálculo de la iluminación de los puntos se aplican los **modelos de iluminación**.

El objetivo final de los modelos de iluminación es *determinar la cantidad (intensidad) y el color de la luz que llega a un punto dado en la superficie de los objetos*. Para ello, modelan una serie de efectos lumínicos, como la transparencia, reflexiones de la luz, textura de las superficies y sombras. Estos efectos luminosos dependen del número, tamaño y posición de las **fuentes de luz**, por lo cual los modelos de iluminación han de tener en cuenta dichas fuentes.

En la estructuración de la Síntesis de Imágenes, *otro de los criterios utilizados es el de la clase de modelo de iluminación que se adopta en cada caso*.

Hasta principios de los 90, los modelos de iluminación se clasificaban en dos grandes grupos: **modelos locales** y **modelos globales**; a partir de entonces se incluyeron los **modelos semiglobales**.

Según esta clasificación, un modelo de iluminación se considera local, *si en el cálculo de la iluminación de un punto dado no se tiene en consideración la luz emitida (reflejada o transmitida) por los objetos circundantes.*

En cambio, *si en el cálculo de la iluminación se tiene en cuenta **parte** de la luz aportada por los objetos vecinos, entonces el modelo es semiglobal.*

Por último, *si el modelo tiene en consideración **toda** la luz aportada por los objetos circundantes, se trata de un modelo global.*

Lo que diferencia en concreto a un modelo global de uno semiglobal es si el modelo realiza o no cálculos ajustados sobre la iluminación debida a la luz difusa, ya que ésta es una de las cuestiones más difíciles de evaluar. Por tanto, *es posible considerar los modelos globales como una extensión de los semiglobales, incorporando el cálculo de la aportación difusa.*

Como era de esperar, los modelos de iluminación computacionalmente más económicos y sencillos son los modelos locales, y los más caros y complejos los globales. Sin embargo, la complejidad y el tiempo de cálculo extra en los modelos semiglobales y globales quedan compensados con una mayor calidad de las imágenes sintetizadas.

C) Compatibilidad entre los métodos de síntesis y los modelos de iluminación

Para un método de síntesis dado, algunos modelos de iluminación son más fáciles de implantar que otros, dependiendo de la naturaleza del método y de la complejidad del modelo de iluminación.

Así, los modelos locales pueden ser aplicados sin dificultad tanto en la síntesis estándar, como en la directa. En cambio, los modelos semiglobales son más fáciles de implantar en la síntesis directa, aunque también es posible utilizarlos en la síntesis estándar, si bien, al precio de un aumento considerable en la complejidad de los algoritmos.

Por otro lado, es más fácil utilizar los resultados de los cálculos sobre la luz difusa en la síntesis estándar que en la directa. Esto lleva a la necesidad de los planteamientos de síntesis híbridos, para incorporar en los modelos semiglobales (síntesis directa) los resultados de los cálculos sobre la aportación difusa (síntesis estándar).

D) Procesos de visualización

A la utilización conjunta de un método de síntesis y de un modelo de iluminación (que obviamente han de ser compatibles entre sí), se suele llamar **proceso de visualización**.

Métodos de Síntesis	Modelos de Iluminación		
	Locales	Semiglobales	Globales
Síntesis Estándar	visualización estándar, rendering	rendering (mejorado)	radiosidad (radiosity)
Síntesis Directa	ray casting	ray tracing	–
Síntesis Híbrida	–	–	radiosidad (mejorado)

tabla 2: procesos de visualización

Cada proceso de visualización constituye un área de especialización dentro de la SI, debido principalmente a las diferencias existentes entre las técnicas utilizadas en los métodos de síntesis estándar y el directo.

Teniendo en cuenta los métodos de síntesis, los modelos de iluminación y las compatibilidades entre ellos, en la tabla 2 queda establecida la estructuración actual de la Síntesis de Imágenes. En ella aparecen los diferentes procesos de visualización (campos) de la SI, nombrados según la terminología de uso más frecuente en castellano.

La **visualización estándar, rendering estándar**, o simplemente **rendering**, es el proceso de visualización más difundido, ya que no requiere equipos demasiado potentes para conseguir, en un tiempo razonable, imágenes de calidad aceptable. Cuando el proceso incorpora técnicas de los modelos de iluminación semiglobales, usualmente se continua utilizando el mismo término, o bien simplemente se le añade el calificativo de “mejorado” (*enhanced*).

El algoritmo **trazador de rayos (ray tracing)**, inicialmente era desechado debido al gran potencial de cálculo que requiere, lo que implicaba una gran lentitud en la generación de las imágenes. Sin embargo, a medida que iba aumentando la velocidad de los ordenadores y mejorando las técnicas software de aceleración del algoritmo ray tracing fue ganando adeptos, debido sobre todo a la gran calidad de las imágenes que genera. Hoy día, no existe prácticamente ningún sistema gráfico que no ofrezca la posibilidad de generar imágenes mediante este algoritmo. De cualquier forma, ray tracing sigue siendo lento cuando se implanta en ordenadores secuenciales (un solo procesador), aunque con la implantación de los procesadores con dos o más núcleos ha mejorado mucho el panorama.

El algoritmo trazador de rayos es más rápido y fácil de implantar si se aplica un modelo local (**ray casting**) aunque, claro está, la calidad de las imágenes obtenidas es inferior.

Basándose en técnicas utilizadas en la calorimetría, hacia finales de los 80 fueron desarrollados procesos para el cálculo de la aportación luminosa debida a la luz difusa. Con ello aparecieron los modelos globales y un nuevo campo de la Síntesis de Imágenes, conocido como algoritmo de **radiosidad** o **radiosity**. Este algoritmo es uno de los más utilizados en la gráfica de alto

standing debido a la gran calidad de las imágenes que sintetiza, siendo por ahora el que mayor grado de realismo alcanza, sobre todo en escenas de interior.

En definitiva, *el rendering estándar, el algoritmo trazador de rayos y el de radiosidad, pueden ser considerados como los tres subcampos de estudio básicos de la Síntesis de Imágenes.*

E) Características comunes en los procesos de visualización

Aunque las técnicas utilizadas en los procesos de visualización difieren de unos a otros, la filosofía en todos ellos es básicamente la misma.

Son tres los objetivos principales de cualquier visualizador.

- Dependiendo de la posición del observador en el espacio vectorial 3D, se han de localizar los puntos que caen dentro de su campo de visión, buscando sus propiedades físicas.
- A continuación, ha de calcular de forma individual o colectiva la iluminación que llega a cada uno de ellos, dependiendo del método utilizado.
- Por último, se ha de generar la imagen raster, discretizando la información que se tiene sobre los puntos visibles del espacio vectorial y sobre la luz que reciben.

* Con lo que se ha visto hasta ahora sobre la Síntesis de Imágenes, es suficiente para hacerse una idea global sobre este campo de la IG. Pasamos a continuación a ver una panorámica general del otro campo que se estudiará a lo largo de la asignatura, que es el del Modelado Sólido.

1.7 Modelado Sólido

Acabamos de ver cómo se pueden visualizar los modelos vectoriales 3D, pero nada hemos dicho acerca de su construcción, cuestión a la que dedicaremos el resto del tema.

*El campo de la Informática Gráfica que se dedica al estudio de las técnicas para la definición de los objetos se llama **Modelado**.*

Según sean las necesidades de la información que se deba registrar, existen varios tipos de modelos y técnicas de modelado. Así, por ejemplo, en la síntesis de imágenes no importa mucho cómo se construyen los modelos vectoriales, siempre y cuando la imagen que den sea buena. Una analogía que nos ayudará a entender este punto la encontramos en el diseño y construcción de las casas que suelen utilizarse en el rodaje de películas; no importa que interiormente las paredes estén sostenidas por un madero, con tal que la fachada de buena imagen.

Desde luego, nos interesa conocer las técnicas que proporcionan la mejor calidad de imagen, pero también es importante saber cómo generar modelos bien definidos, similares en este sentido a los que realizaría un archi-

tecto en el diseño de una casa. Cuando se exige, como mínimo, que los modelos sean **completos** (que posean toda la información sobre el modelo, geométrica o no) y **coherentes** o **íntegros** (que estén bien definidos), entonces nos encontramos ante un subcampo del modelado, conocido como **Modelado Sólido**, cuyas técnicas serán las que estudiaremos.

1.7.1 Organización, adquisición y manipulación de la información gráfica.

Hasta el momento nos hemos estado refiriendo a la información gráfica definida en los espacios vectoriales como “puntos del espacio 3D”. Además, hemos visto en la página 10 que un sistema gráfico es en el fondo una base de datos, aunque con algunas peculiaridades.

Como toda base de datos que se precie, la información tratada por los sistemas gráficos ha de estar organizada convenientemente, de modo que su almacenaje sea económico y la búsqueda eficiente. *Para ello, los puntos del espacio vectorial se organizan en subconjuntos, los cuales quedan definidos aplicando algún criterio geométrico.* A dichos subconjuntos, dependiendo de su complejidad geométrica, se les conoce como **elementos simples**, **primitivas**, u **objetos**. Lo más común es considerar “objetos”, a las agrupaciones coherentes de elementos simples o primitivas (polígonos, esferas, etc.). De igual forma, las agrupaciones coherentes de objetos se suelen llamar **modelos**.

⊙ Si bien es posible definir los objetos introduciendo directamente la información gráfica (como por ejemplo las coordenadas de los vértices de un poliedro) este método sería demasiado engorroso en la definición de objetos complejos.

Ya desde un principio se desarrollaron herramientas que facilitasen la definición de los modelos. Éstas pueden catalogarse en dos grandes grupos: las **interactivas** y las **descriptivas**.

La creación de los modelos de modo interactivo suele ser el método más utilizado en los sistemas gráficos modernos. El usuario señala directa o indirectamente en la pantalla del ordenador la disposición (coordenadas) de los elementos más significativos de los objetos (vértices, aristas y caras). Esta forma de introducir la información gráfica tiene la gran ventaja de que permite ver en todo momento el resultado de añadir o eliminar elementos del modelo.

Otra manera de adquirir la información gráfica es mediante algún proceso descriptivo. En este caso, los modelos son descritos mediante un lenguaje apropiado, creándose un fichero o programa de descripción. A continuación se compila este fichero, para generar así la información gráfica necesaria que permita efectuar la visualización del modelo. El mayor inconveniente de este método está en que es preciso realizar una compilación cada vez que se quiera ver alguna modificación en el modelo.

⊙ Para finalizar, el manejo de la información en los sistemas gráficos

es muy similar a como se hace en otros tipos de sistemas informáticos. Operaciones de edición como las de cortar, pegar, copiar, borrar, etc., son comunes en la manipulación de la información gráfica.

Sin embargo, dada su naturaleza, es posible realizar operaciones propias de su clase, como por ejemplo el crear objetos coherentes a partir de otros aplicando funciones de transformación, como se muestra en la figura 8. En un tratamiento de textos, un proceso equivalente sería algo parecido a “copiar modificando”, es decir, escribir un párrafo mediante una transformación automática, utilizando las palabras que apareciesen en otro párrafo diferente.

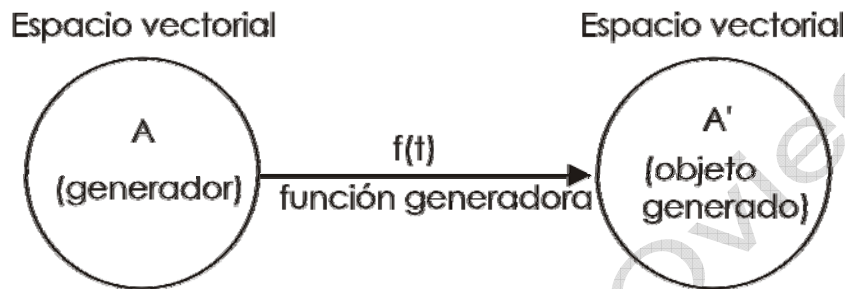


figura 8: generadores de objetos

El objeto que se utiliza para crear otro diferente mediante una transformación se llama **generador**. En principio, cualquier tipo de objeto puede ser utilizado como un generador válido, aunque los objetos simples suelen ser más útiles en este sentido que los complejos.

1.7.2 Definición de los modelos

Acabamos de ver que los modelos se definen como conjuntos de puntos, definidos en un espacio tridimensional continuo. Por tanto, dos son las cuestiones básicas que se han de estudiar en la definición de los modelos:

- Cuáles han de ser las características de los espacios de referencia.
- Cómo se pueden definir por comprensión los conjuntos de puntos que constituyen los modelos.

A) Sistemas de referencia

Los sistemas de referencia (SR) preferidos en la definición de los modelos vectoriales son los cartesianos. La orientación que se dé al sistema es, en principio, indiferente.

En los sistemas gráficos se utiliza un mínimo de tres sistemas de referencia: el **Sistema de Referencia de los Objetos (SRO)**, usado en la definición de los objetos, el **Sistema de Referencia del Visor (SRV)**, donde queda definido el observador y por último, el **Sistema Universal de Referencia (SUR)**, donde se ubican los objetos para formar los modelos, y los escenarios. *La visualización de los modelos se hace utilizando como referencia el SUR.* A menudo, a los SR como el SRO o el SRV se denominan **sistemas locales**, ya que cada objeto y visor posee el suyo propio.

En los sistemas locales conviene utilizar tanto coordenadas positivas como negativas, dado que se facilitan los cálculos y la utilización de objetos generadores si, una vez finalizada la definición de los objetos (o el visor), éstos quedan centrados con respecto al origen de coordenadas del SR. No ocurre lo mismo con el SUR, donde es preferible utilizar solamente coordenadas positivas.

Una vez que se ha definido un objeto en su SRO particular, se ha de ubicar en el SUR si se desea que sea tenido en cuenta (visto) por el proceso visualizador. Esta operación se conoce como **proceso de ubicación**. *En la ubicación se ha de procurar que las escalas del SRO y del SUR coincidan.*

B) Esquemas de modelado

Toca ahora ver cómo se pueden definir por comprensión los conjuntos de puntos, y con ello la creación de los objetos y modelos.

La mayor parte de las figuras geométricas (conjuntos de puntos) que presentan regularidades, simetrías, etc., pueden ser definidas con facilidad, gracias a la existencia de un criterio o ley que las define, indicando simplemente unos pocos parámetros. Por ejemplo, en la definición de las esferas basta con dar el radio, y en los polígonos es suficiente con las coordenadas de sus vértices. Sin embargo, las cosas se complican a medida que aumenta la complejidad de los objetos, tales como un florero, una silla o las piezas de un motor. En la definición de la mayor parte de los objetos comunes no existe una ecuación sencilla (similar a la de la esfera o el plano) que permita calcular fácilmente si un punto pertenece o no al conjunto (objeto).

Por tal motivo, se ha de recurrir a técnicas de modelado, cuyo planteamiento básico consiste en definir conjuntos de puntos que cumplan un criterio sencillo (polígonos, esferas, cubos, etc.), para luego ser utilizados en la construcción de objetos o modelos más complejos. *A los métodos de modelado utilizados en la definición de objetos no triviales se les denomina **esquemas de modelado**, o de **representación**.*

Son varios los esquemas de modelado utilizados en el Modelado Sólido, aunque dos de ellos son los más importantes: la **Geometría Constructiva de Sólidos** (*Constructive Solid Geometry* o **CSG**) y el esquema de **Representación por Fronteras** (*Boundary Representation* o **B-rep**).

☉ El CSG se basa en la utilización extensiva de objetos generadores básicos, denominados **primitivas**. Éstas suelen ser objetos tridimensionales cerrados (esfera, cubo, cilindro, cono, etc.), que pueden ser definidos inequívocamente mediante ecuaciones sencillas. Una vez definidas las primitivas, éstas se combinan mediante las operaciones booleanas de unión, intersección y diferencia para formar objetos más complejos.

☉ El otro gran esquema de modelado sólido (B-rep), consiste en “coser” trozos de superficies (parches) a lo largo de sus aristas, de manera que al finalizar el cosido tengamos la superficie de los objetos que se pretendía diseñar. Al igual que las primitivas, los parches quedan definidos por ecuaciones algebraicas o paramétricas más o menos simples, o bien mediante coor-

denadas de puntos en el SRO, si se trata de parches de superficie plana (polígonos).

i.- Parches a medida y prêt-à-porter

Dependiendo de cómo sean las piezas utilizadas en la definición de las superficies de los objetos, existen dos planteamientos de B-rep diferentes:

- B-rep con superficies curvas
- B-rep con superficies planas (polígonos)

En el primer caso, los parches se diseñan de forma que éstos se ajusten de modo continuo a los contornos del objeto que se va a modelizar. Para ello, se utilizan herramientas matemáticas bien conocidas, como las **curvas** y **superficies de Bèzier**, las **B-spline** y las **NURBS** (*NonUniform Rational B-Splines*). En la segunda opción todos los parches son planos.

Cuando se diseña a base de polígonos, sólo los objetos con superficies planas quedan definidos exactamente. Si existen superficies curvas se obtiene una silueta aproximada de la superficie del objeto, pero no exacta. Cuantos más polígonos se utilicen en la aproximación de una superficie curva, o lo que es igual, cuanto menor sea la superficie de los polígonos utilizados, más ajustado será el perfil que se logre, aunque la definición del modelo resultará más costosa en tiempo y memoria.

Utilizando parches curvos se logra un diseño muy exacto del objeto, por lo que normalmente los resultados visuales son mejores que cuando se diseña con polígonos. Sin embargo, los parches a medida (curvos) dificultan el renderizado de los modelos, pues se pierde la simplicidad que tienen los parches planos, lo que lleva a una mayor dificultad de cálculo. Además, existen técnicas avanzadas de conversión automática de los parches a medida en redes de polígonos (**teselación**), por lo que los trozos superficies planas se utilizan en B-rep con mayor frecuencia que los parches a medida.

ii.- Otros esquemas de representación

Además del CSG y del B-rep, en Modelado Sólido existen otros esquemas de representación, que si bien tienen cierta utilidad, por lo general son considerados como esquemas de segundo orden debido a dos razones principales: o bien su campo de aplicación es muy restringido (válido únicamente para diseñar cierto tipo de objetos), o porque proporcionan una baja calidad de imagen y/o requieren recursos excesivos (memoria).

⊙ Como representantes genuinos de los esquemas con aplicación limitada se encuentran los de **representación por barrido**. Estos esquemas de modelado se basan en la generación de los modelos de 2 y 3 dimensiones, a partir del movimiento (barrido) de objetos **generadores** de una dimensión inferior (1 y 2D, respectivamente). Así, si se arrastra una curva se genera una superficie. Si el generador es un objeto 2D, se obtiene un sólido.

Existen dos formas básicas de modelar con este tipo de esquemas, dependiendo del **director** aplicado, es decir, del tipo trayectoria de barrido que se utilice. Por un lado tenemos el **barrido translacional**, que como su

nombre indica modela los objetos mediante un desplazamiento longitudinal del generador. Por otro, está el **barrido rotacional**, que modela objetos conocidos como *superficies de revolución*, que son generados al girar una superficie 2D alrededor de un eje de rotación.

Es fácil comprender que con las limitaciones del barrido translacional y rotacional este esquema de modelado solamente sea útil en el diseño y construcción de cierto tipo de objetos, como por ejemplo algunas piezas de motor o los objetos que normalmente se construyen utilizando un torno. Sin embargo, es posible generalizar (hasta cierto punto) los esquemas de barrido introduciendo directores curvos, como por ejemplo las denominadas **curvas PD** (posición-dirección).

☉ Para finalizar el tema, hablaremos brevemente de los esquemas de **descomposición**. Éstos se clasifican en dos grupos: esquemas de **descomposición de los objetos**, y esquemas de **descomposición espacial**.

Dentro del primer grupo se encuentra el esquema de **descomposición en celdas**, que consiste en dividir los objetos más o menos complejos en trozos (celdas) que cumplan ciertas condiciones, y sobre todo que sean más fáciles de diseñar (normalmente mediante superficies curvas). Una vez definidas las celdas, los objetos se modelan como la unión de todas ellas. La principal diferencia de esta técnica con respecto al esquema CSG, es que las celdas que se definen forman conjuntos de puntos *disjuntos*, es decir, *no tienen puntos en común*.

En cuanto a la descomposición espacial, el principal esquema representante de esta técnica es el conocido como **enumeración espacial**, que *consiste en organizar el espacio como una matriz de celdas cúbicas, todas del mismo tamaño*, denominadas **vóxeles**. En este caso, la definición de los objetos se efectúa listando las coordenadas de los centros de las celdas ocupadas. Esta información se organiza utilizando diferentes tipos de estructuras de datos, aunque las más populares son las conocidas como **quadtrees** y **octrees**, que son árboles regulares (mismo número de subnodos en cada nodo) de orden 4 y 8, respectivamente. El tamaño de las celdas determina la resolución de la representación, o lo que es igual, la calidad de las imágenes. El número de celdas necesario para alcanzar una buena resolución suele ser muy elevado, lo que supone el registro y manipulación de una gran cantidad de información. Afortunadamente, la memoria RAM disponible en los ordenadores actuales suele ser lo suficientemente amplia, como para afrontar un modelado y renderizado de calidad mediante esta técnica.

Este esquema de representación, que es uno de los pocos que permite registrar tanto la información interna como externa de los objetos, constituyó la base para el desarrollo del de la Visualización Volumétrica, uno de los campos más importante de la IG en la actualidad.