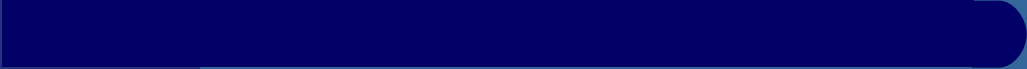


Estructuras de Datos Espaciales y Técnicas de Aceleración

Tomas Akenine-Möller
Department of Computer Engineering
Chalmers University of Technology



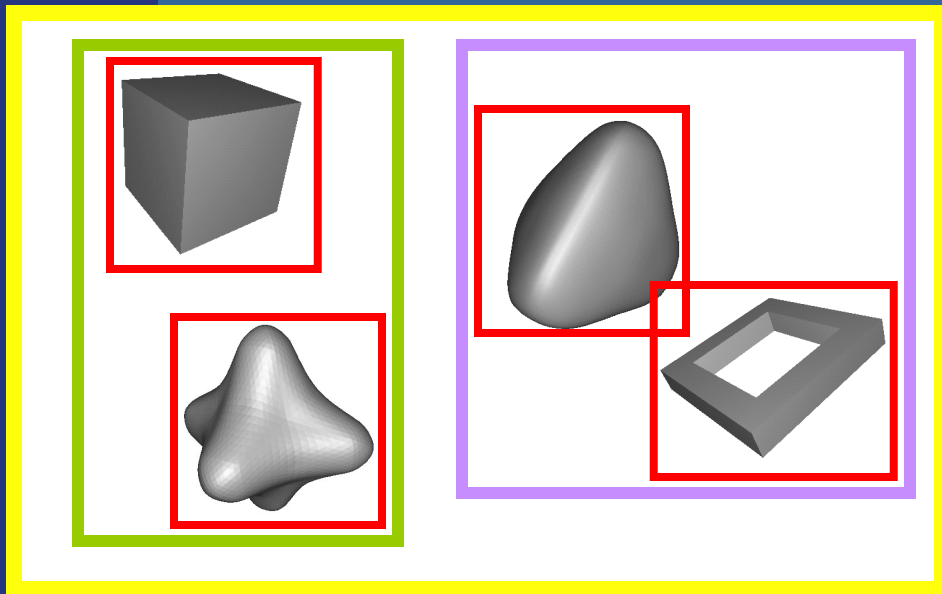
Estructuras de datos espaciales

- ¿Qué son?
 - Son estructuras de datos que organizan la geometría en 2D, 3D o más dimensiones.
 - El objetivo es lograr un procesamiento más rápido.
 - Necesarias en la mayoría de las "técnicas de aceleración"
 - Acelerar rendering en tiempo real
 - Acelerar los test de intersección
 - Acelerar la detección de colisiones
 - Acelerar ray tracing e iluminación global
- En los juegos son ampliamente utilizadas.
- Las herramientas para la generación de animaciones también las utilizan.

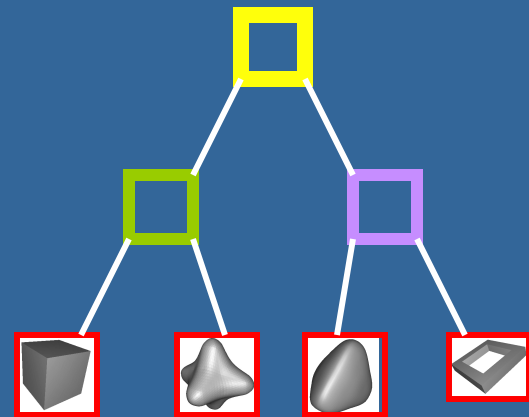
¿Cómo funcionan?

- Organizan la geometría jerárquicamente

En espacio 2D



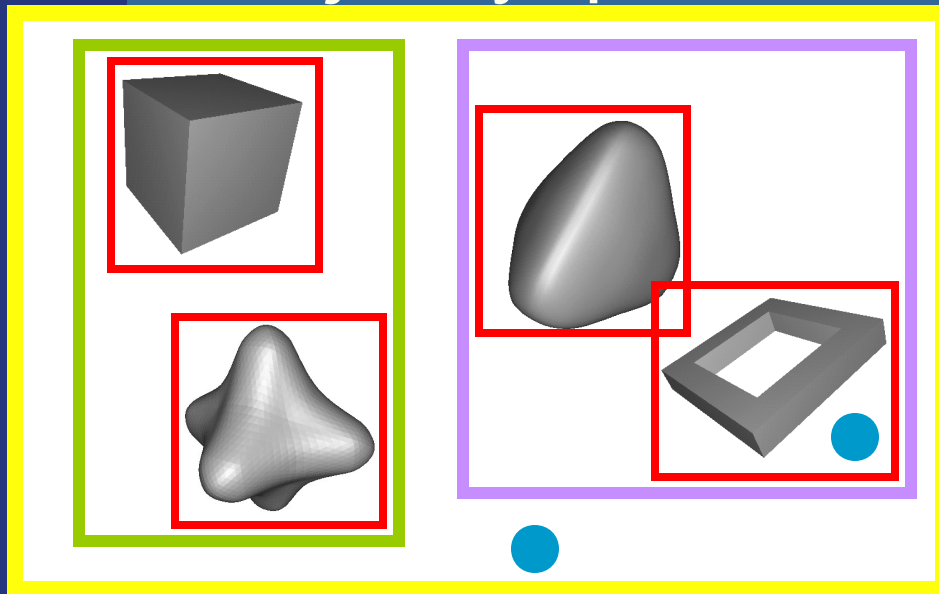
Estructura de datos



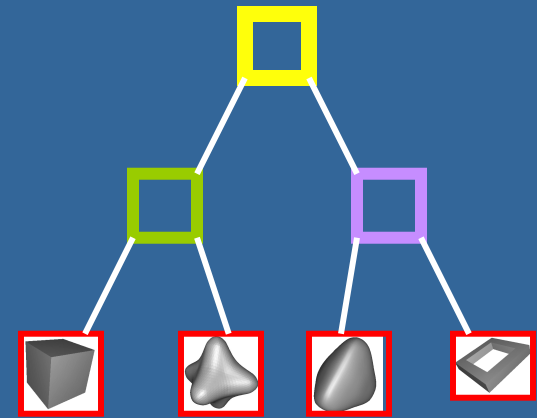
Para qué sirve?

Un ejemplo

- Asumamos que hacemos clic sobre un objeto y queremos saber sobre cual fue



•
clic!

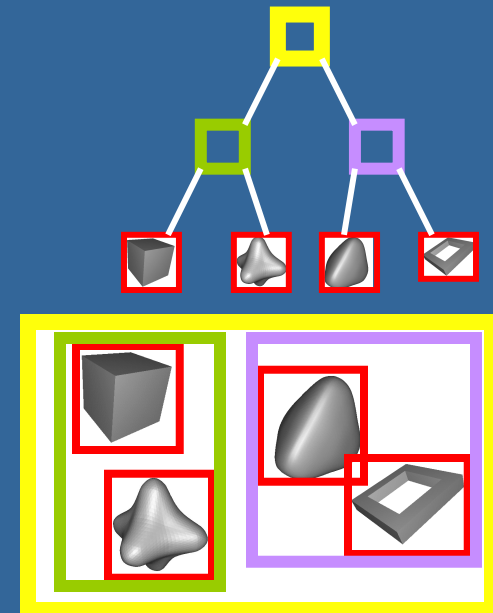
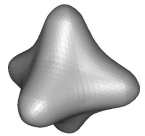


- 1) Testear primero la raíz
- 2) Descender recursivamente
- 3) Terminate traversal when possible

En general: get $O(\log n)$ en lugar de $O(n)$

Jerarquía de Volúmenes Acotantes Bounding Volume Hierarchy (BVH)

- Volúmenes acotantes más comunes (BVs):
 - Esfera
 - Caja (AABB and OBB)
- Los BV no son parte de la imagen generada -- más bien, encierra a un objeto
- La estructura es un árbol k-ario
 - Las hojas tienen la geometría
 - Los nodos internos tienen a lo más k hijos
 - Los nodos internos tienen BVs que encierran toda la geometría de su subarbol



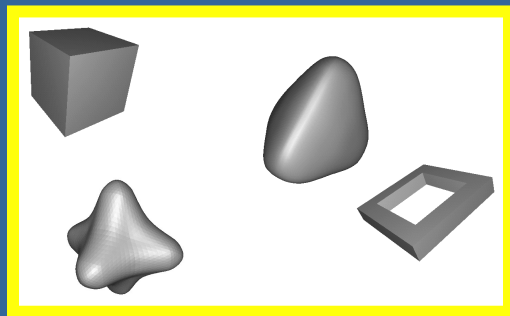
Algunos hechos acerca de los árboles

- *La altura del árbol* , h , es el camino más largo de la raíz a las hojas
- *Un árbol balanceado* tiene todas las hojas a altura h o $h+1$
- La altura de un árbol balanceado con n nodos: $\text{floor}(\log_k(n))$
- Un árbol binario ($k=2$) es el más simple
 - $k=4$ y $k=8$ es bastante común en computación gráfica

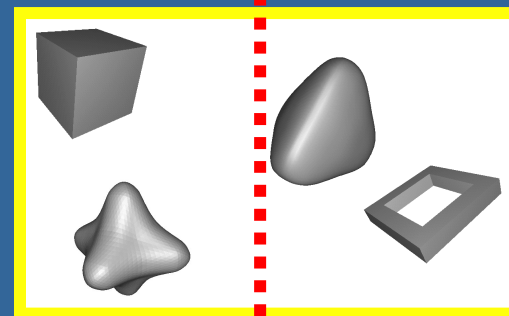
Cómo crear una BVH?

Ejemplo: BV=AABB

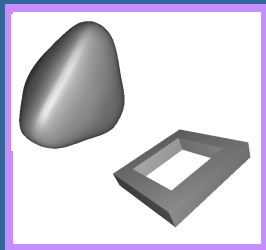
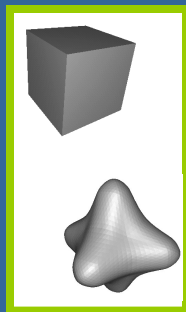
- Hallar caja mínima y separar por el eje más largo



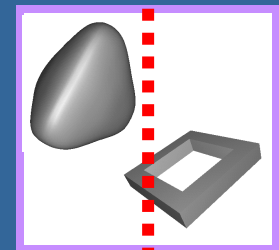
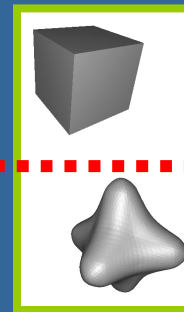
x es más largo



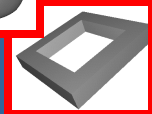
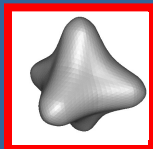
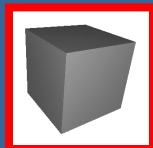
Hallar cajas mínimas



Separar a lo largo de los ejes más largos



Encontrar cajas mínimas



Es un método TOP-DOWN
Es más complejo para
otros BVs

Criterio de parada para el método Top-Down

- Es necesario detener la recursion...
 - Cuando BV está vacío
 - O cuando sólo una primitiva (e.g. triángulo) está dentro del BV
 - O cuando $< n$ primitivas están dentro del BV
 - O cuando se alcanzó el nivel de recursión l
- Es un criterio similar para árboles BSP y para octrees

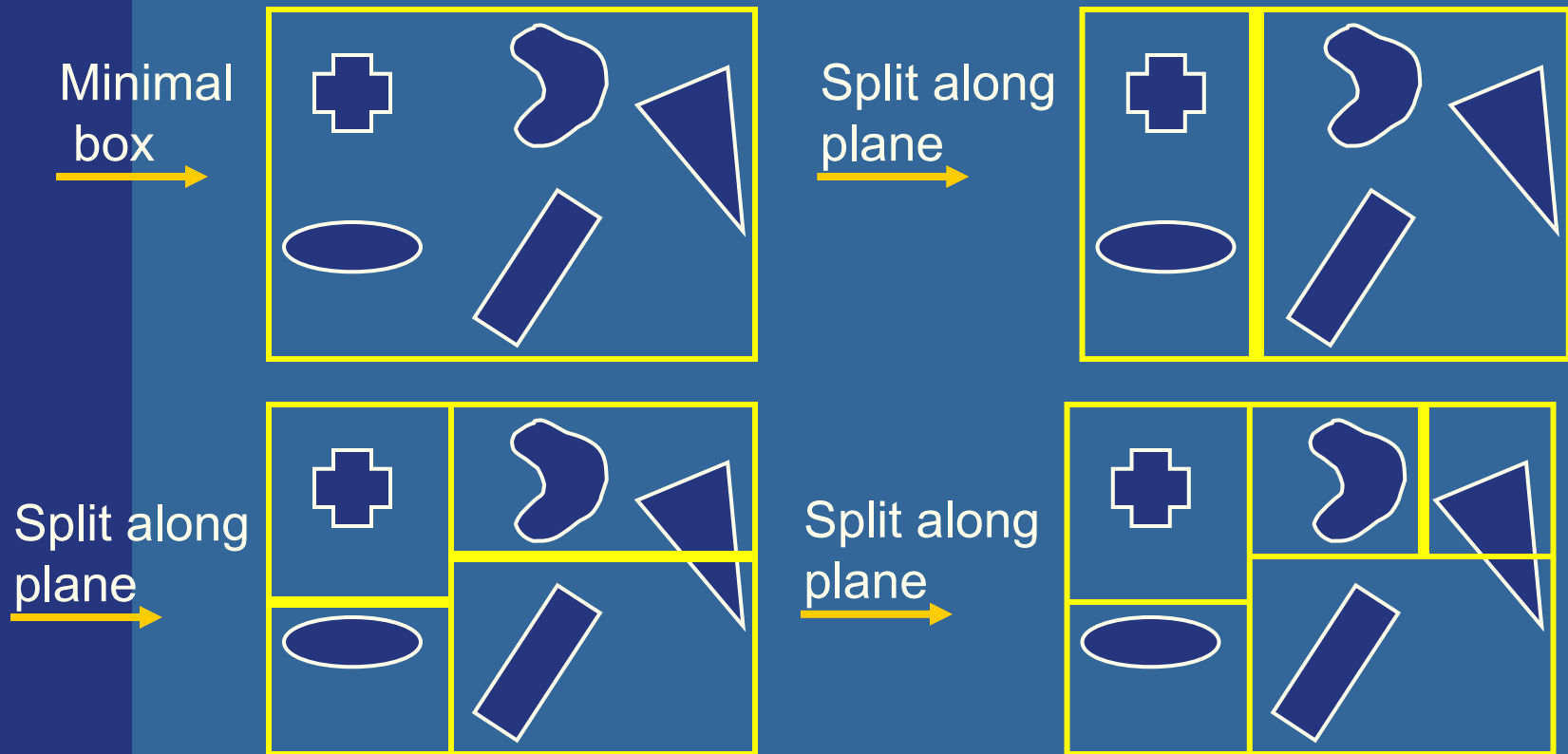
Binary Space Partitioning (BSP) Trees

Árboles BSP

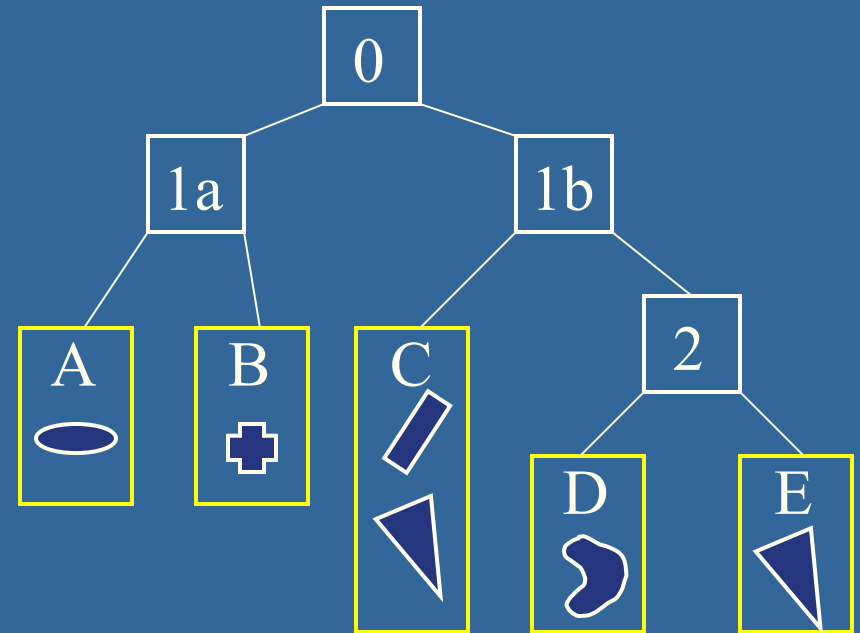
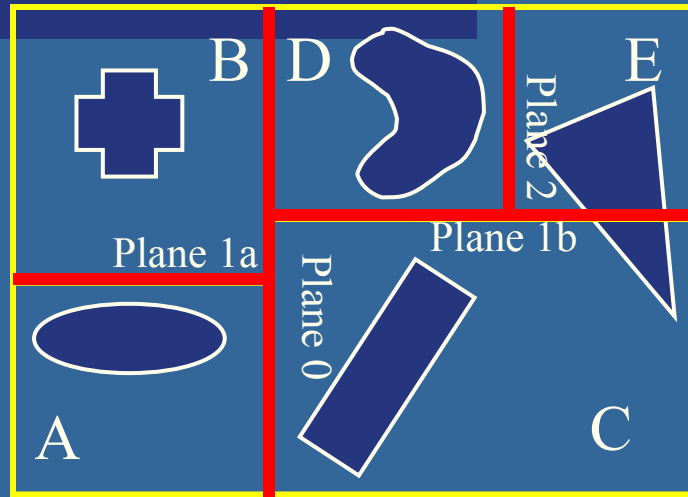
- Dos tipos diferentes:
 - Alineado a los ejes
 - Alineado a los polígonos
- Idea general:
 - Dividir el espacio con un plano
 - Ordenar geométricamente dentro del espacio al que pertenece
 - Hacerlo recurivamente
- If traversed in a certain way, we can get the geometry sorted along an axis
 - Exacto cuando es alineado a los polígonos
 - Aproximado cuando es alineado a los ejes

Árbol BSP alineado a los ejes (1)

- Sólo pueden haber planos separadores alineados a x,y o z



Árbol BSP alineado a los ejes (2)

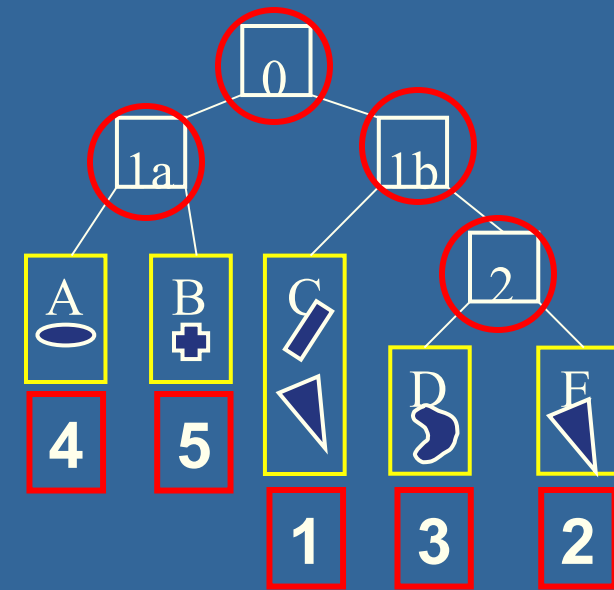
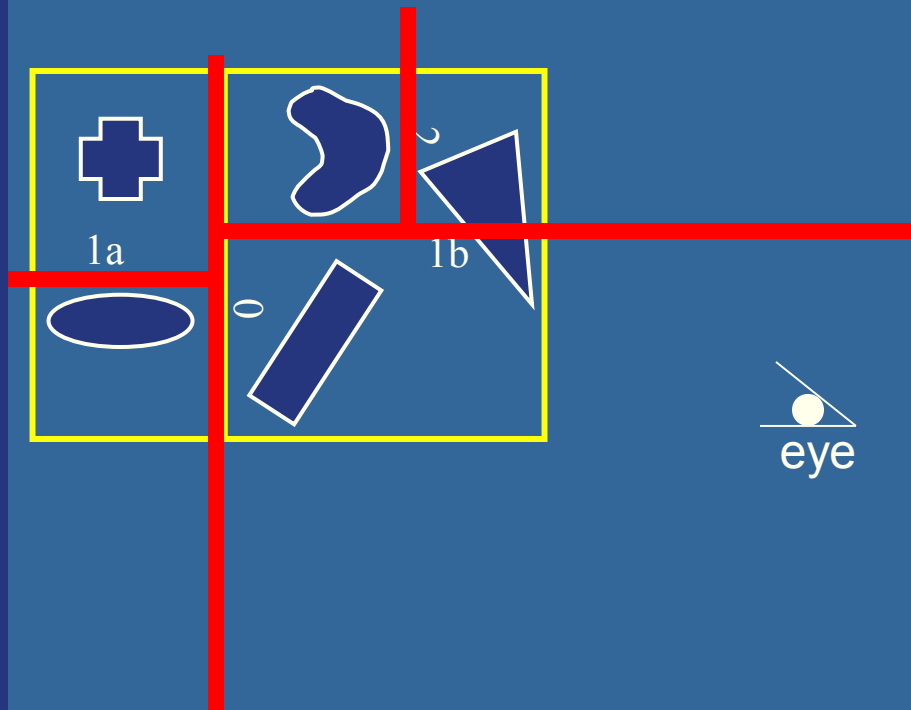


- Cada nodo interno contiene un plano separador
- Las hojas contienen la geometría
- Diferencias con BVH
 - Encierra todo el espacio y provee de sorting
 - La BVH puede ser construida de cualquier forma (no sort)
 - BVHs pueden utilizar cualquier tipo deseable de BV

Árbol BSP alineado a los ejes

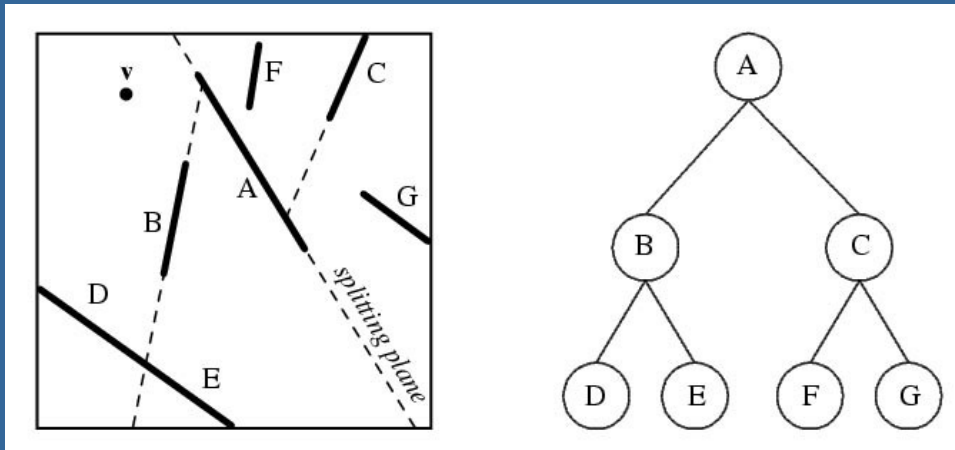
Algoritmo de sort en bruto

- Testear los planos contra el punto de vista
- Testear recursivamente desde la raíz
- Ordenar de adelante hacia atrás. ck



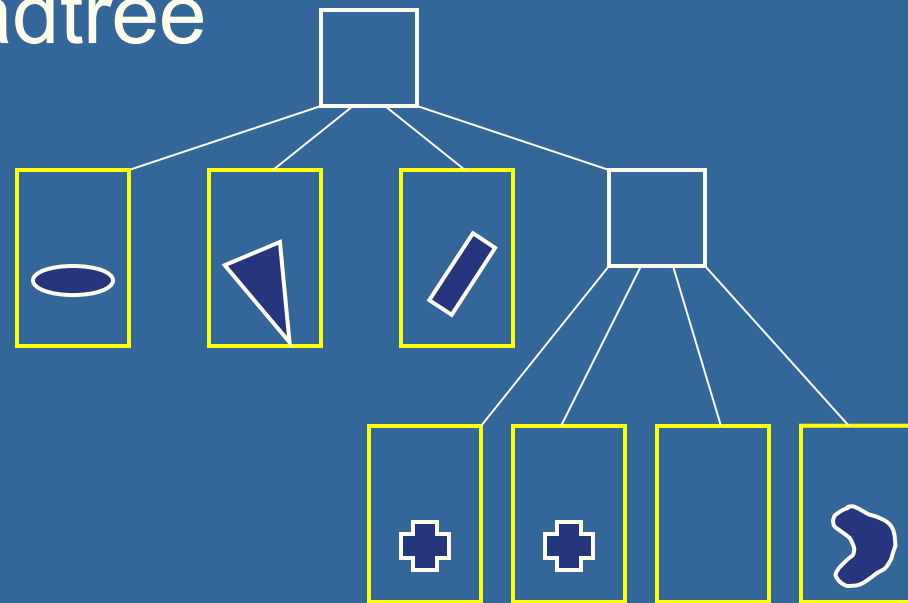
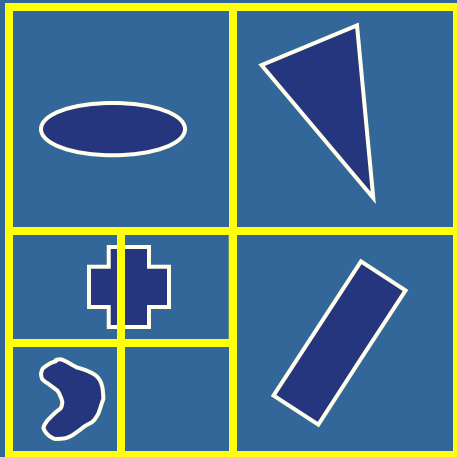
Árbol BSP alineado a los polígonos

- Se lo menciona en otra parte del curso
- Permite un ordenamiento exacto
- Muy similar al BSP alineado a los ejes
 - El plano de corte está ahora localizado en los planos de los triángulos



Octrees (1)

- Similar a los árboles BSP alineados a los ejes
- Se explica con quadtree



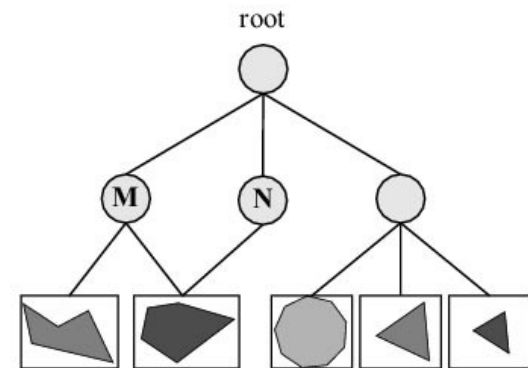
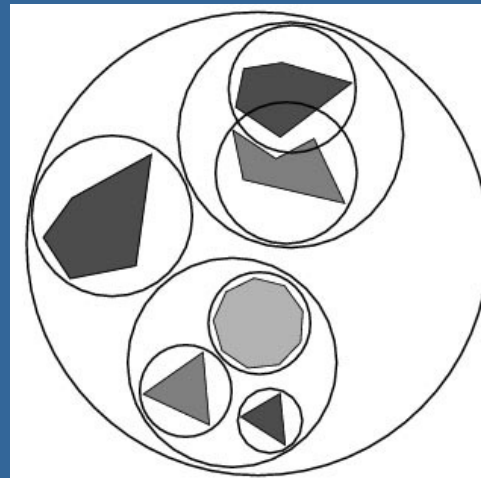
- En 3D es una caja, con 8 hijos

Octrees (2)

- Caro de reconstruir (ídem BSPs)
- Leer acerca de loose octrees en el libro
 - Es una relajación del octree para evitar problemas
- Octrees pueden ser usados para
 - Acelerar ray tracing
 - Acelerar el picking
 - Para las técnicas de Culling
 - No son muy usados en tiempo real
 - Una excepción son los loose octrees

Grafos de escena

- BVH es la estructura más comunmente usada
 - Simple de comprender
 - Código simple
- Sin embargo, sólo almacena geometría
 - Rendering es más que geometría
- El grafo de escena es un BVH extendido con:
 - Luces
 - Texturas
 - Transformaciones
 - Y más



Técnicas de aceleración

- Las estructuras de datos espaciales son usadas para acelerar el rendering y las diferentes consultas
- Por qué mayor velocidad?
- ¡Hardware gráfico 2x más rápido en 6 meses!
- Alcanzaría con esperar
- ¡NO!
- Nunca estaremos satisfechos
 - Resolución de pantalla: 3000x1500
 - Realismo: iluminación global
 - Complejidad geométrica: ¡no hay límite superior!

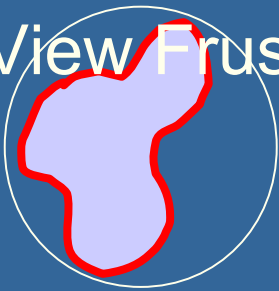
Qué se va a tratar ahora

- Técnicas de culling
- Rendering con nivel de detalle (Level-of-detail rendering (LODs))
- “Cull” significa “seleccionar de un grupo”
- En contexto gráfico: no procesar datos que no contribuyen a la imagen final

Varias técnicas de culling

(Los objetos rojos son salteados)

Sección de vista
(View Frustum)



■ detalle

Cara de atrás
(backface)



portal



oclusión

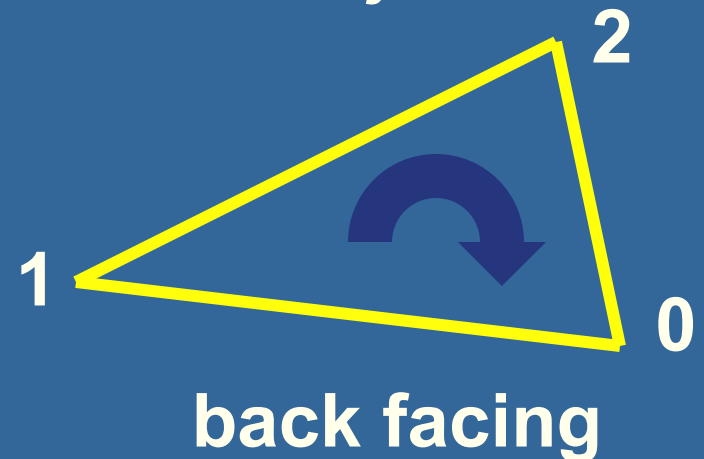
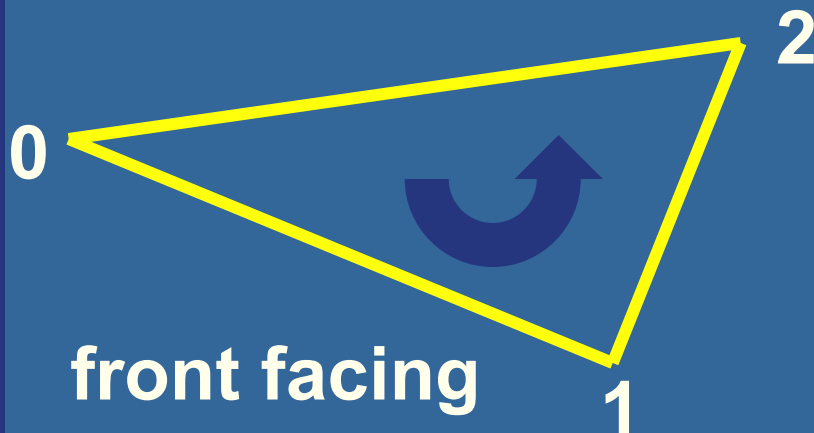


Backface Culling

- Técnica simple para eliminar polígonos que no miran hacia el espectador
- Son usados en:
 - Superficies cerradas (esfera, cubo, toro)
 - or cuando sabemos que las backfaces no van a ser vistas (ejemplo: paredes en una habitación)
- 2 métodos (espacio de pantalla y de vista)
- Qué etapas de benefician? Rasterización, pero también geometría
(donde los test son hechos)

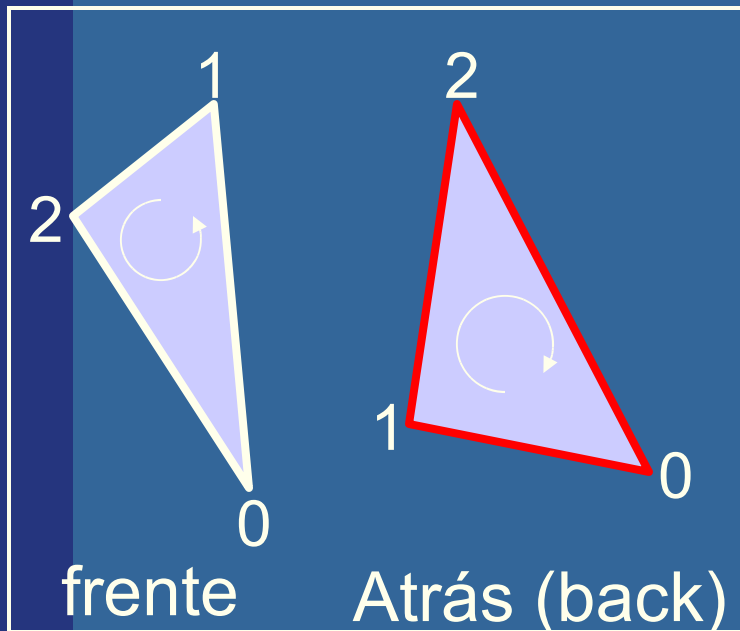
Backface culling (continuación)

- A menudo implementada en la API
- OpenGL: `glCullFace(GL_BACK)` ;
- ¿Como determinar qué caras no se ven?
- 1º, deben ser polígonos orientados de forma consistente, e.j., contrareloj

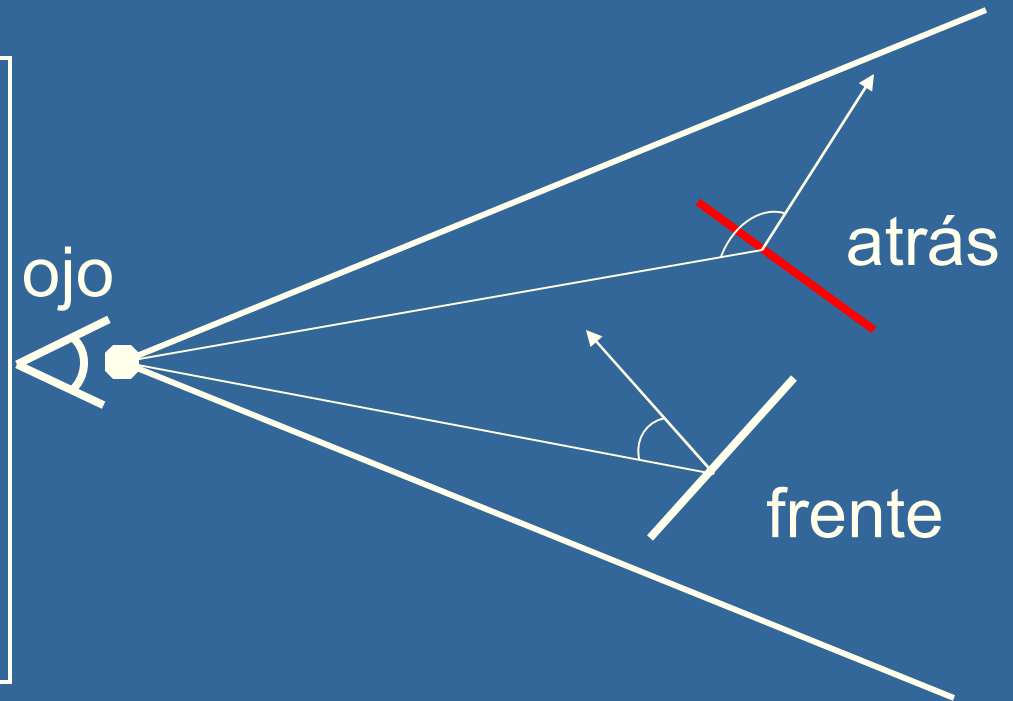


Cómo hacer cull a backfaces

- Dos maneras en diferentes espacios:



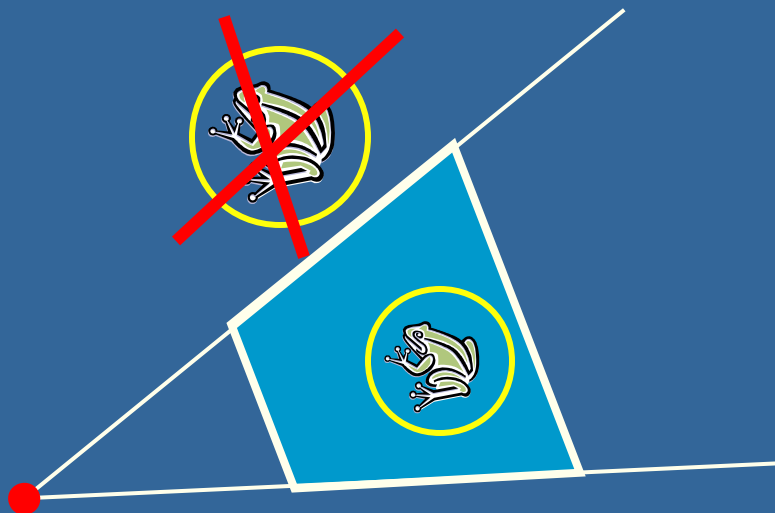
Espacio de pantalla



Espacio de vista

Culling de la sección de vista (View-Frustum Culling)

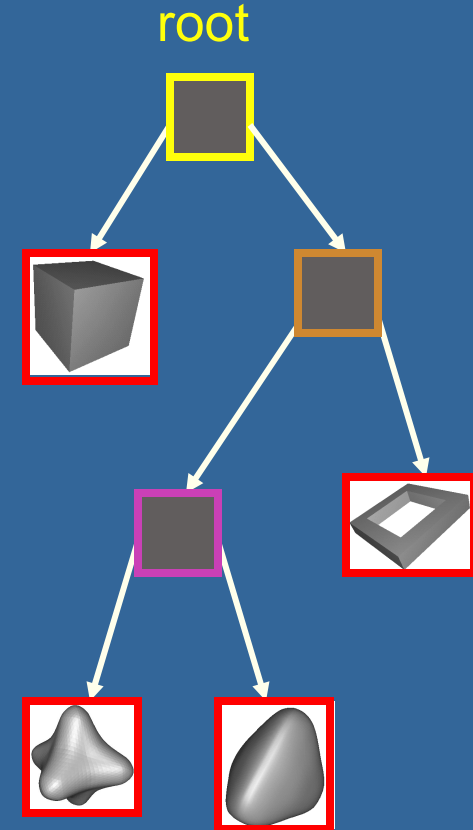
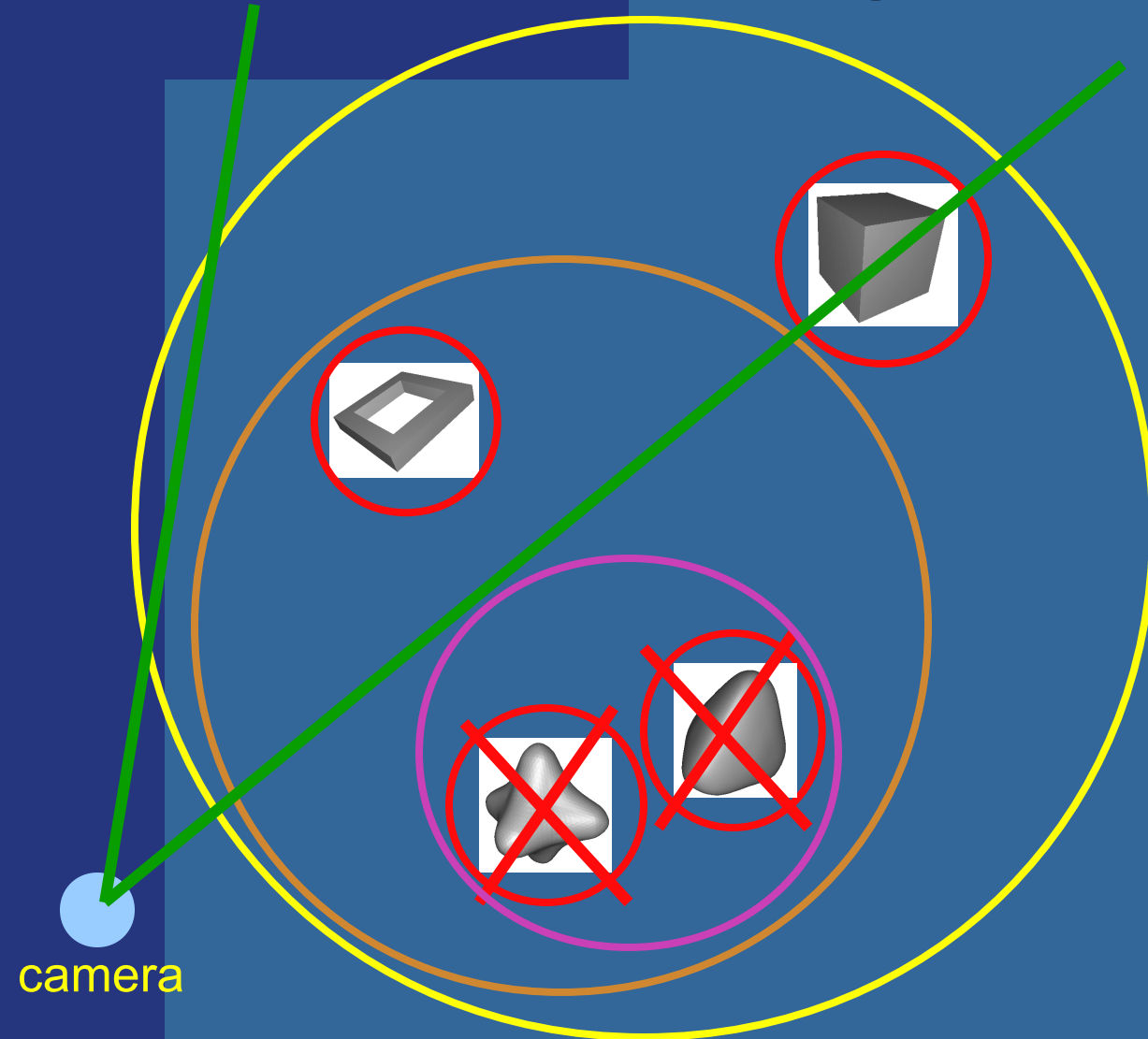
- Encerrar cada grupo “natural” de primitivas en un volumen simple (esfera, caja, etc.)
- Si un volumen acotante (bounding volume (BV)) está fuera de la sección de vista, su contenido también está fuera (no es visible)



¿Podemos acelerar la sección de vista aun más?

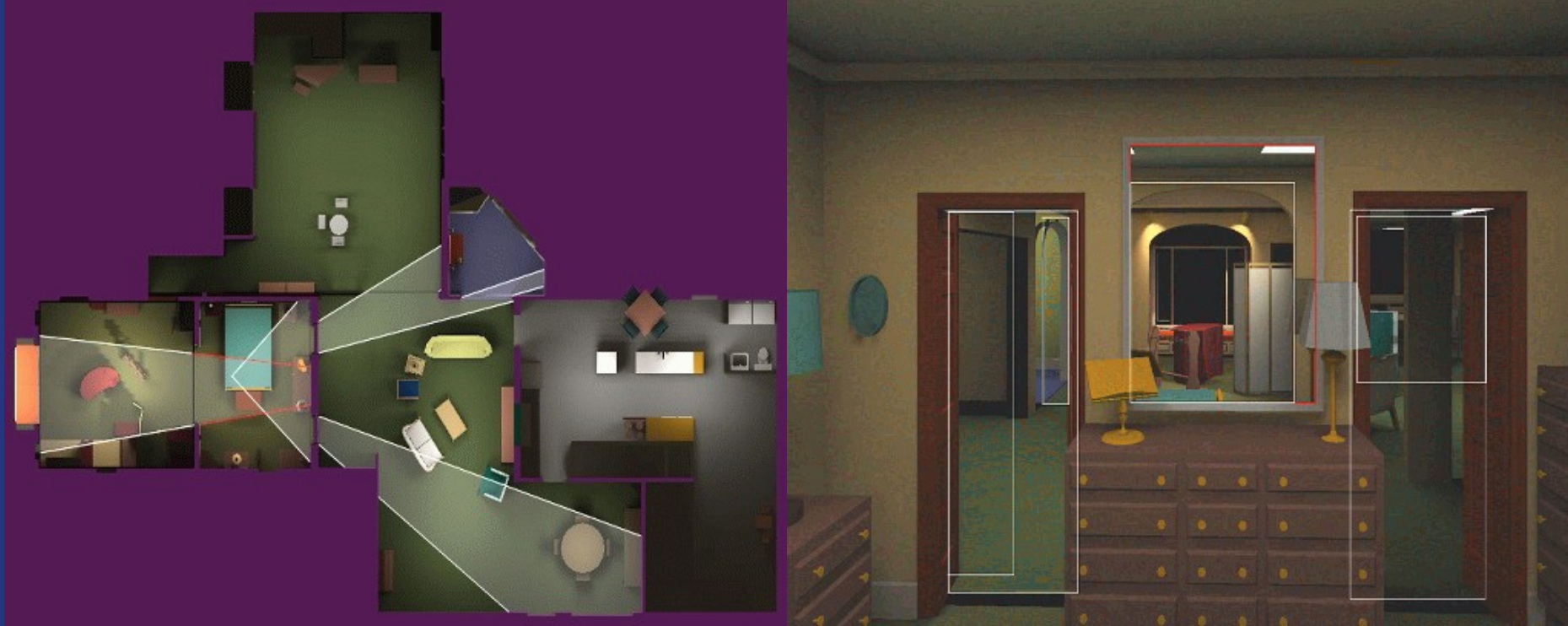
- Sí, si se utiliza una aproximación jerárquica, como una estructura de datos espaciales (BVH, BSP, scene graph)
- ¿Qué etapas se benefician?
 - Geometría y rasterización
 - El bus entre CPU y Geometría

Ejemplo de Vista Jerárquica Frustum Culling



Portal Culling

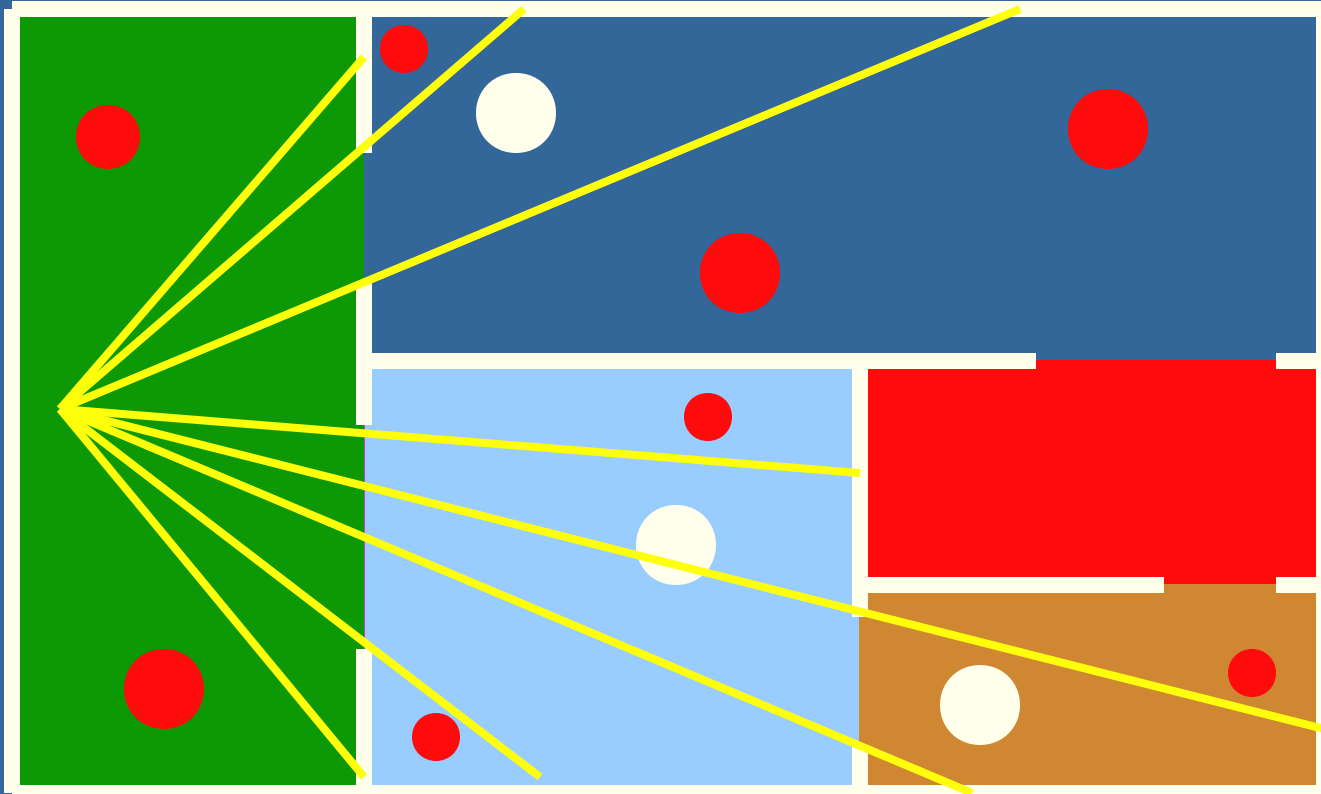
Images courtesy of David P. Luebke and Chris Georges



- Promedio: Son selec. (culled) 20-50% de los polígonos en la vista
- Aceleración: de un poco hasta 10 veces

Ejemplo de Portal culling

- Un edificio visto desde arriba
- Círculos son objetos a ser renderizados



Algoritmo de Portal Culling (1)

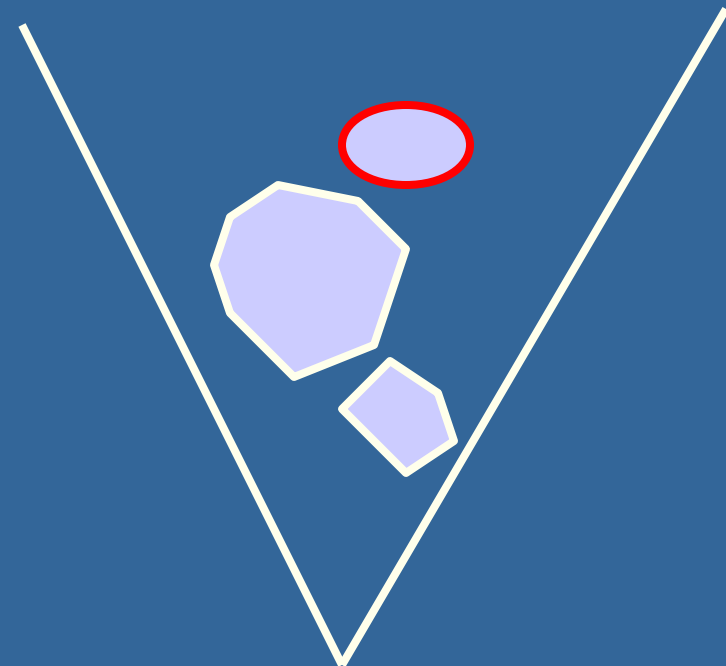
- Dividir en celdas con portales (hacer un grafo)
- Por cada frame:
 - Localizar la celda del espectador e iniciar 2D AABB para la pantalla completa
 - * Renderizar la celda actual con View Frustum culling con respecto al AABB
 - Recorrer las celdas más cercanas (a través de los portales)
 - Intersecar AABB & AABB de los portales recorridos
 - Goto *

Portal Culling Algorithm (2)

- Cuándo terminar:
 - Cuando la actual AABB es vacía
 - Cuando no tenemos tiempo de renderizar una celda (“lejana” para el espectador)
- También: marcar objetos renderizados

Culling de oclusión (Occlusion Culling)

- Idea principal: Objetos que están por completo detrás de otros pueden ser culled
- Problema difícil de resolver eficientemente
- Mucha investigación en esta área



Ejemplo

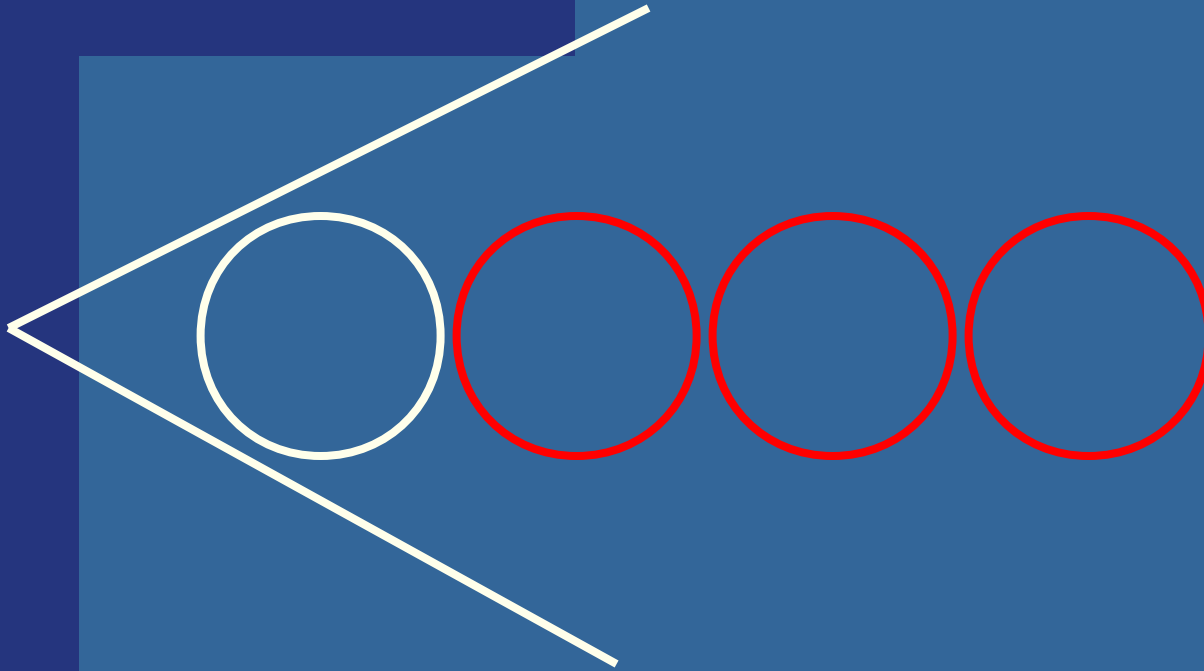
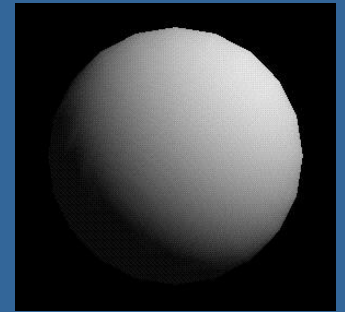


Imagen final



- Notar que “Portal Culling” es un tipo de occlusion culling

Algoritmo de culling de oclusión

Utilizar algún tipo de representación de la oclusión O_R

Por cada objeto g hacer:

if(not Ocluido(O_R, g))

render(g);

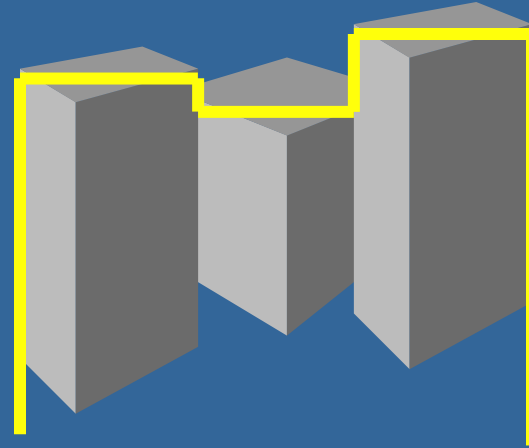
update(O_R, g);

end;

end;

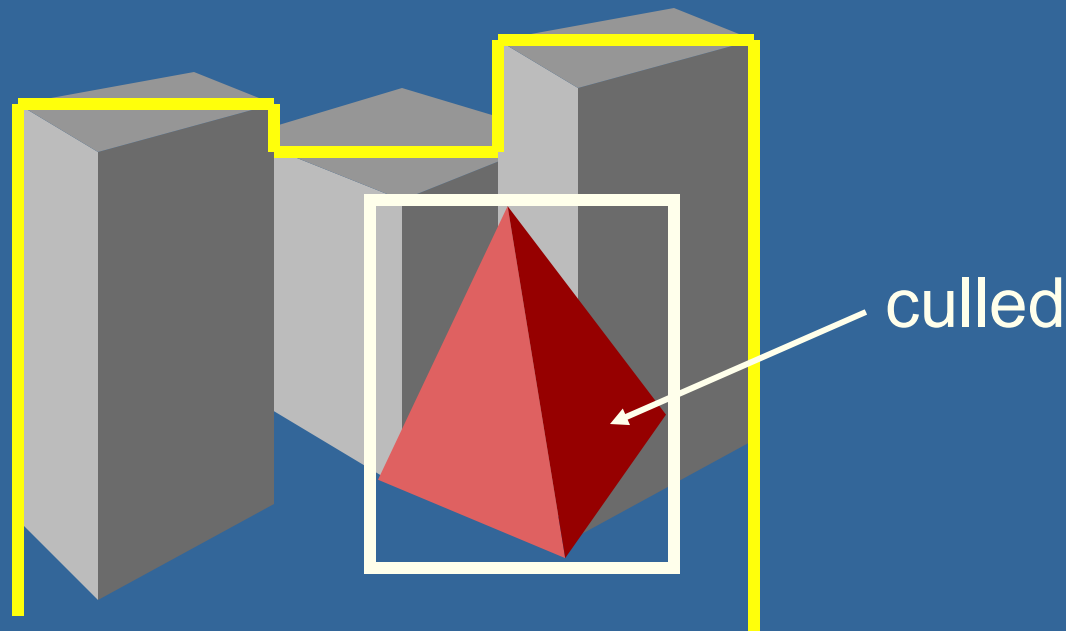
Horizontes de Oclusión: Un algoritmo simple

- Objetivo: paisaje urbano
 - Oclusión densa
 - Espectador es aprox. 2 metros sobre el piso
- Algoritmo:
 - Procesar escena de adelante a atrás utilizando un quad tree
 - Mantener un horizonte constante a trozos
 - Cull objetos contra el horizonte
 - Agregar el contorno de los objetos visibles al horizonte



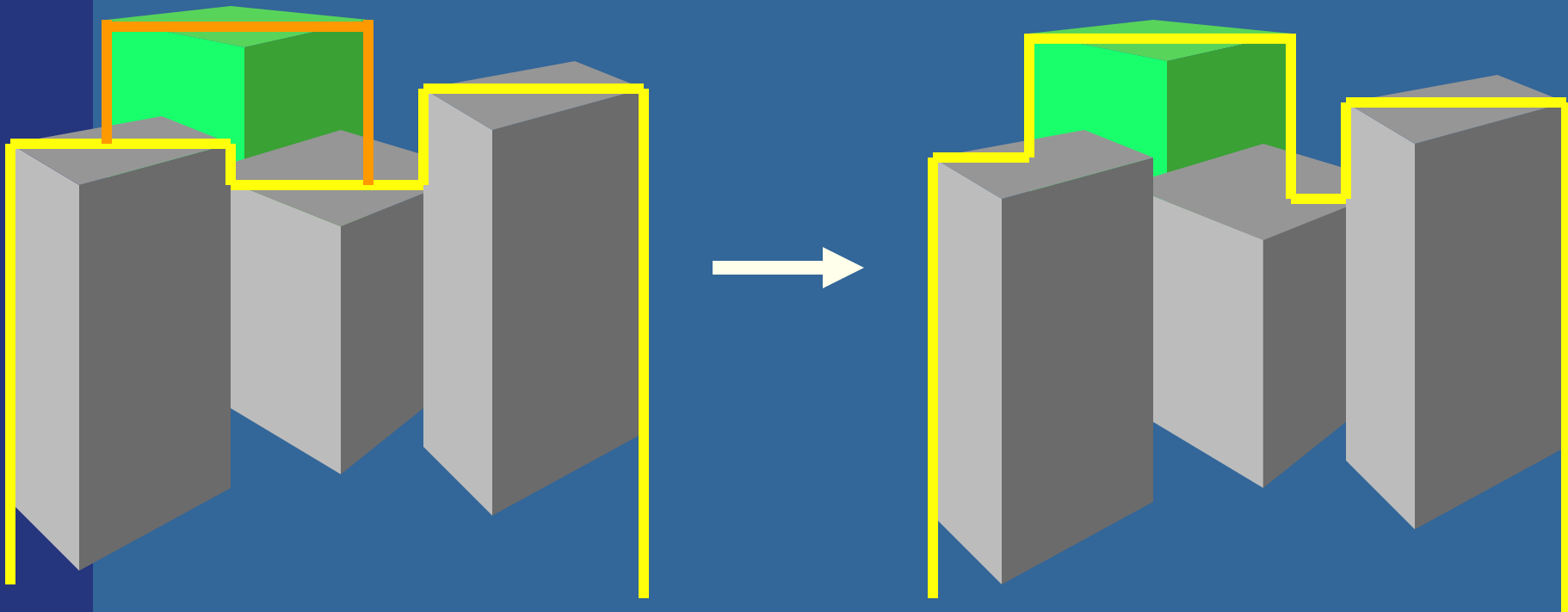
Test de oclusión con horizontes de oclusión

- Para procesar al tetraedro (que está detrás de los objetos grises):
 - Encontrar una caja de proyección alineada a los ejes
 - Comparar contra el horizonte de oclusión

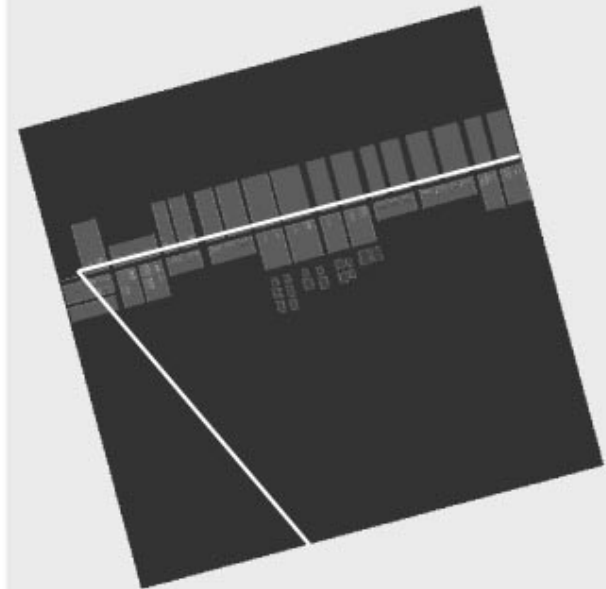
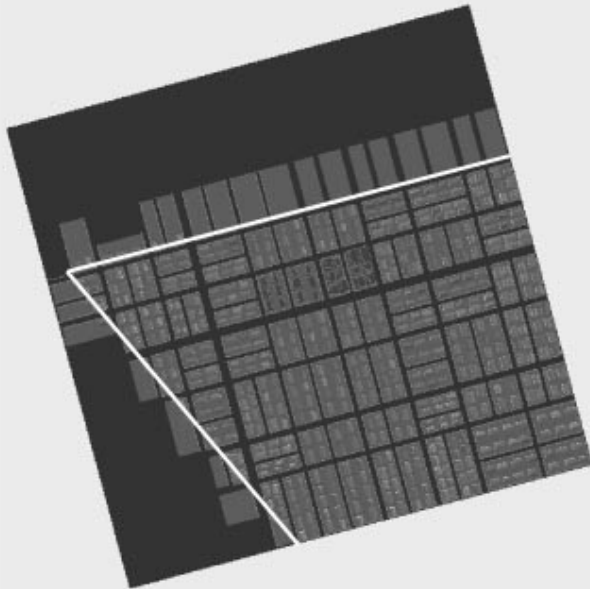
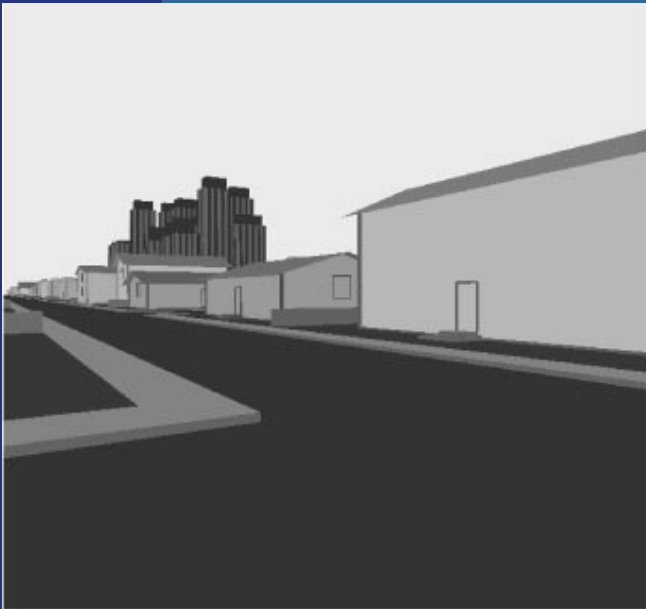


Actualizar horizonte

- Cuando un objeto es considerado visible:
- Agregar su “poder de oclusión” a la representación de la oclusión



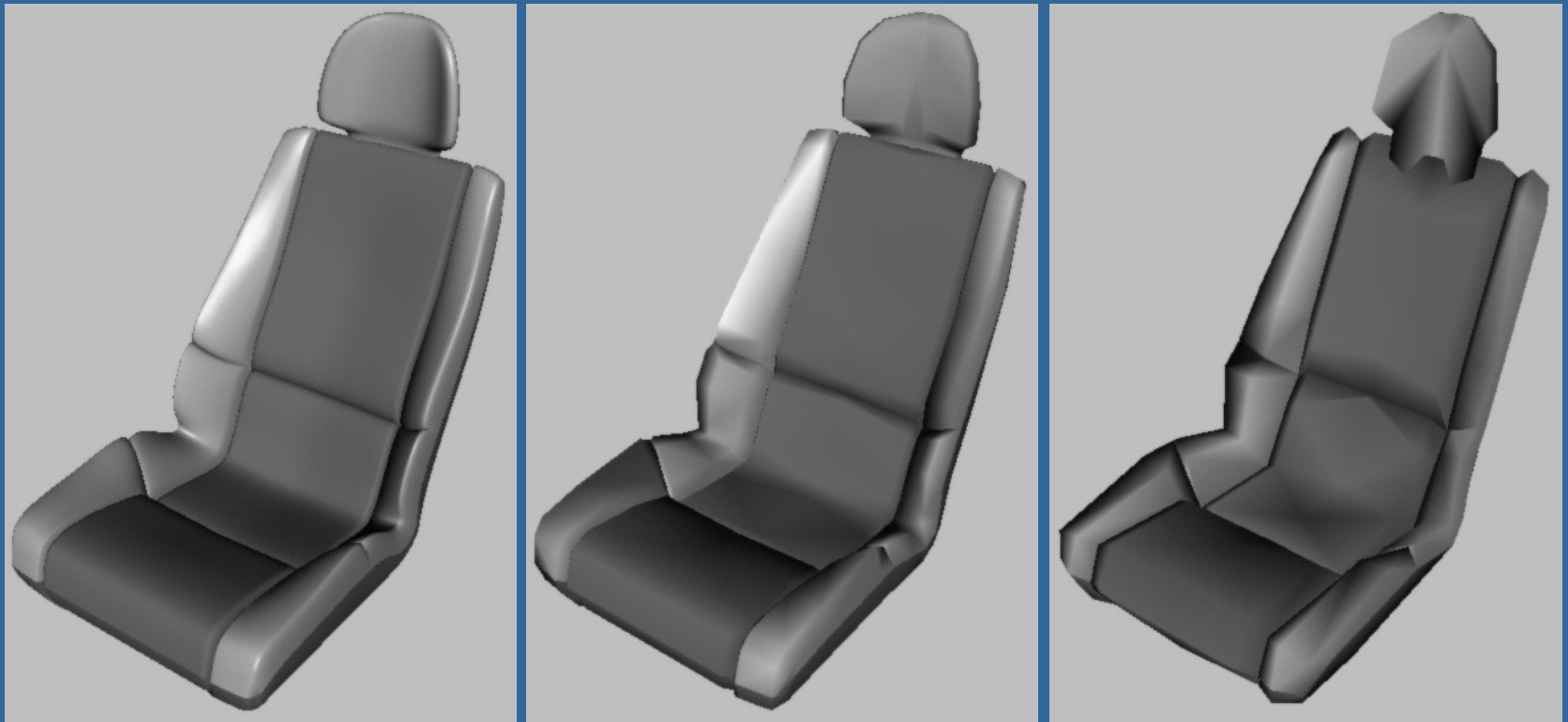
Ejemplo:



Leer el capítulo del libro

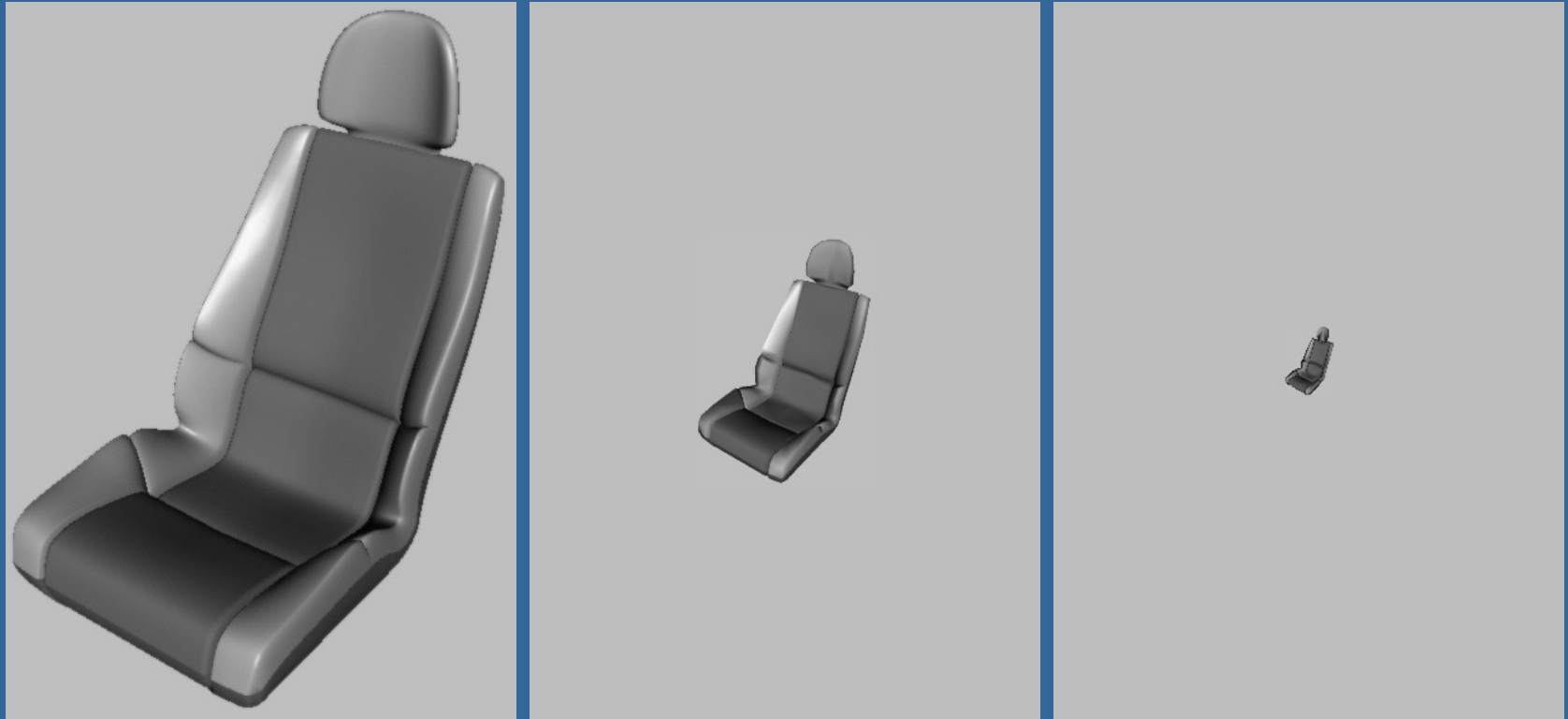
Rendering de nivel de detalle (Level-of-Detail Rendering)

- Utilizar niveles de detalle diferentes a distancias de usuario diferentes
- Más triángulos cuanto más cerca del espectador



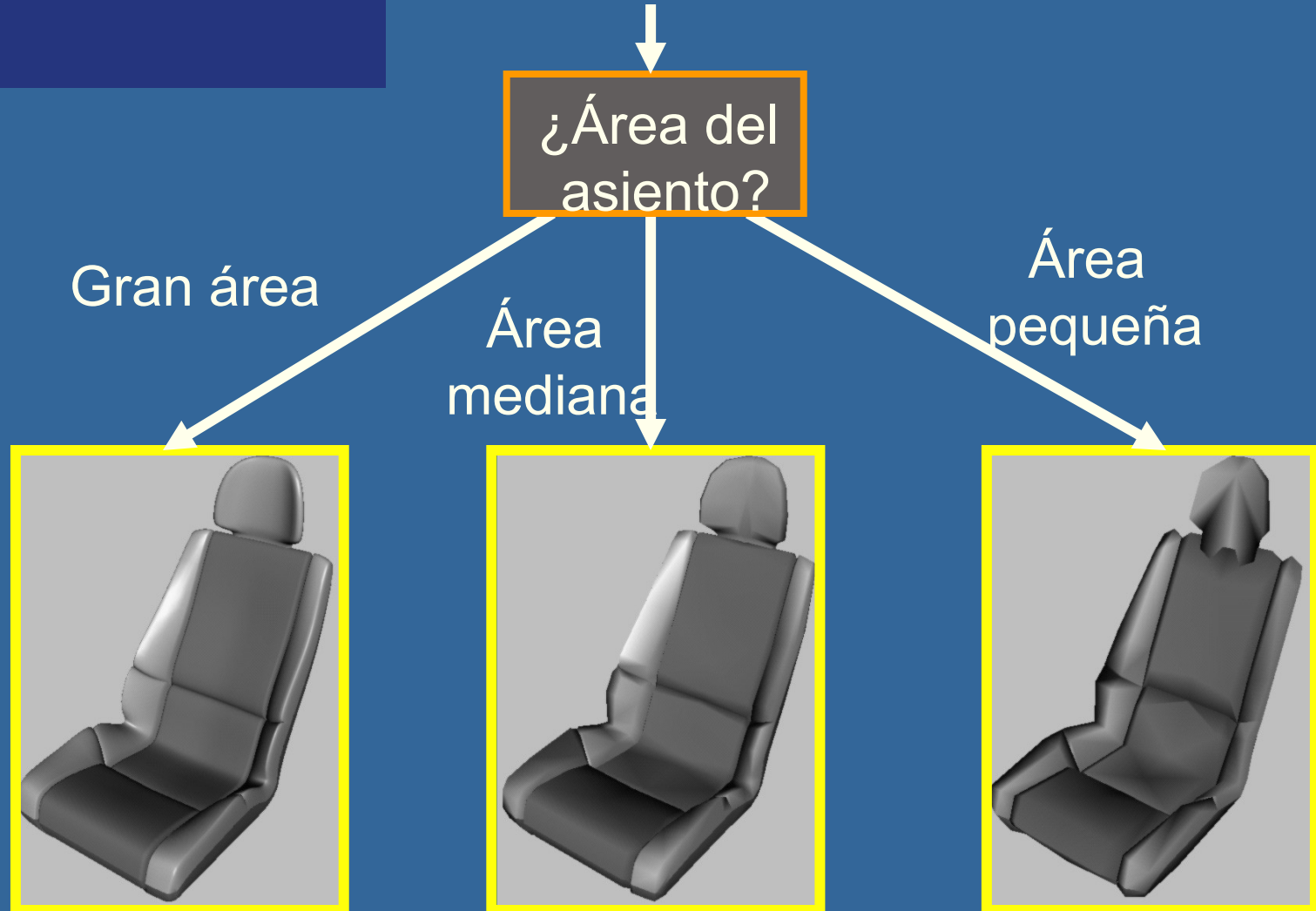
LOD rendering

- Casi no hay diferencia, pero mucho más rápido



- Usar área de proyección del BV para seleccionar el LOD apropiado

Grafo de escena con LODs



LOD rendering para objetos lejanos

- Cuando el objeto está muy alejado, reemplazarlo con un cuadrángulo de algún color
- Cuando el objeto está *realmente muy alejado*, no renderizarlo (detail culling)!
- Utilizar área proyectada de BV para determinar cuándo saltarlo