Estructuras de Datos Espaciales y Técnicas de Aceleración

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

Estructuras de datos espaciales

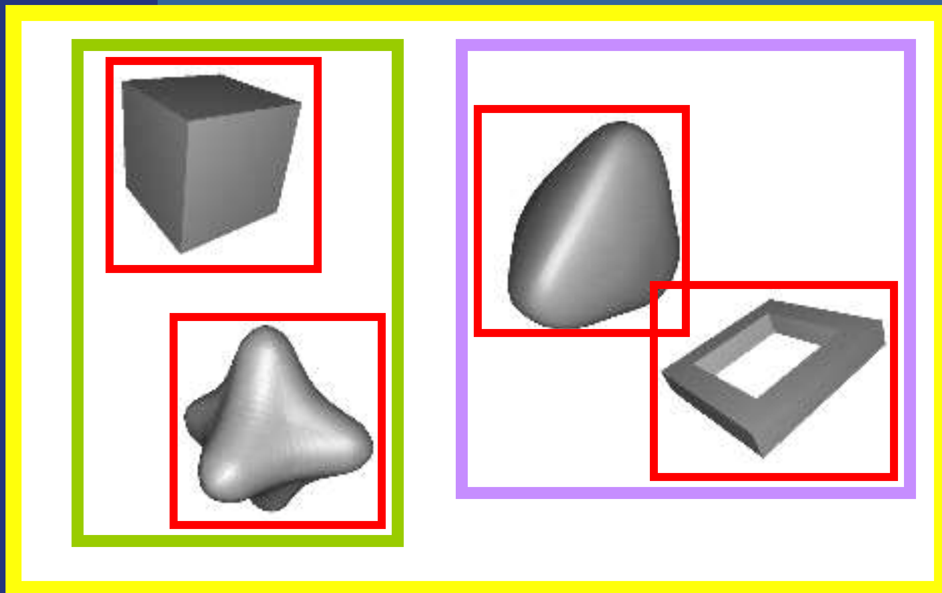
- ¿Qué son?
  - Son estructuras de datos que organizan la geometría en 2D, 3D o más dimensiones.
  - El objetivo es lograr un procesamiento más rápido.
  - Necesarias en la mayoría de las ”técnicas de aceleración”
    - Acelerar rendering en tiempo real
    - Acelerar los test de intersección
    - Acelerar 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.

Tomas Akenine-Mőller © 2002

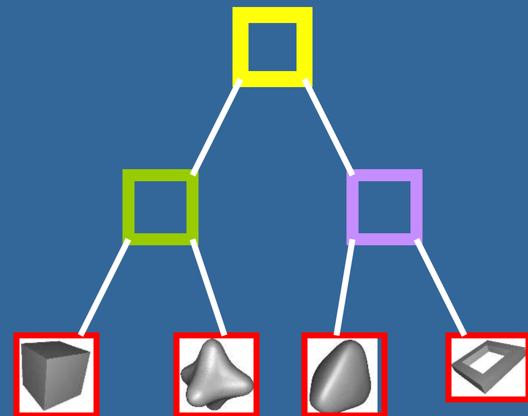
¿Cómo funcionan?

- Organizan la geometría jerarquicamente

En espacio 2D



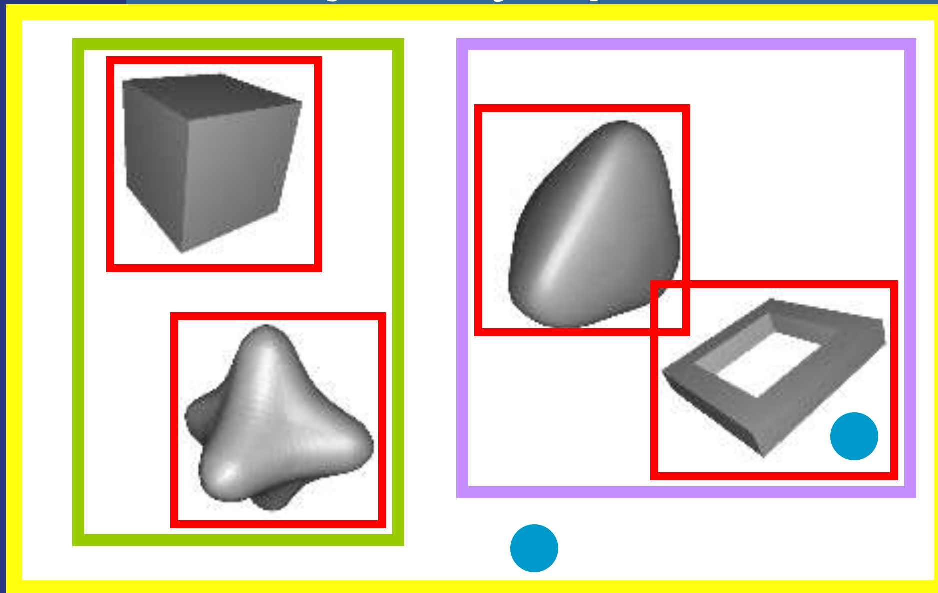
Estructura de datos

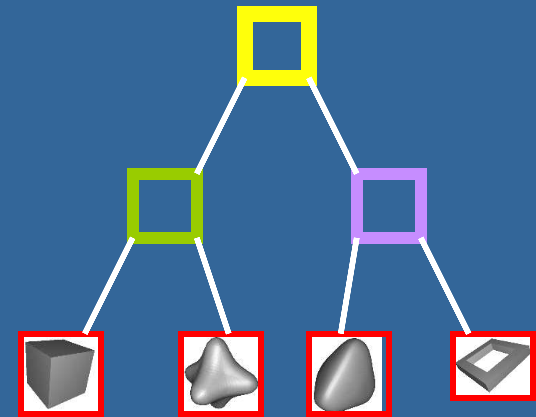


Tomas Akenine-Mőller © 2002

Para qué sirve? Un ejemplo

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





clic!

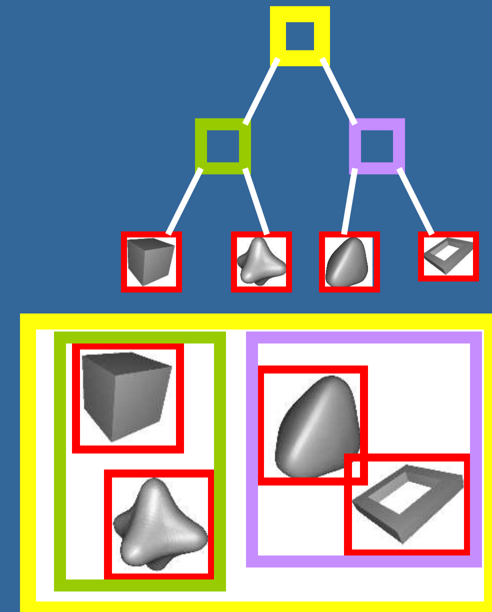
1) Testear primero la raíz
2) Descender recursivamente
3) Terminar el recorrido cuando sea posible.
   En general O(log n) en lugar de O(n)

Tomas Akenine-Mőller © 2002

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



Tomas Akenine-Mőller © 2002

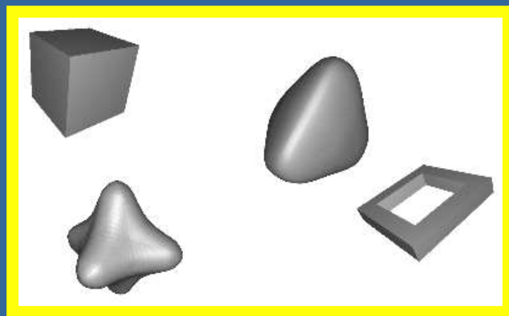
Algunos hechos acerca de los árboles

- *La altura del árbol* , h, el es 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

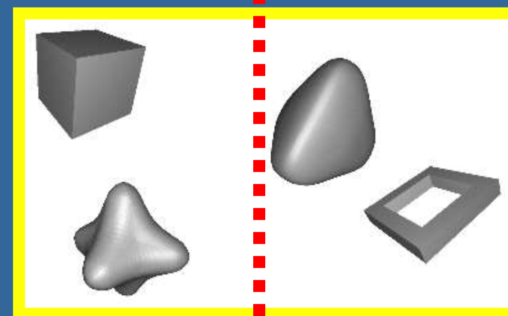
Tomas Akenine-Mőller © 2002

Cómo crear una BVH? Ejemplo: BV=AABB

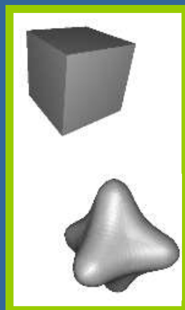
- Hallar caja mínima y separar por el eje más largo

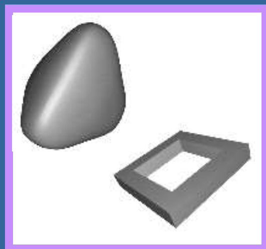


x es más largo

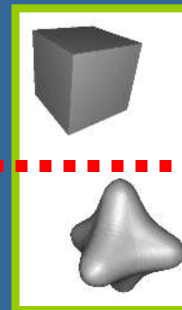


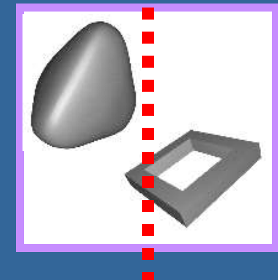
Hallar cajas mínimas



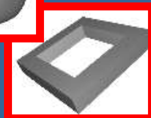


Separar a lo largo de los ejes más largos





Encontrar cajas mínimas



Es un método TOP-DOWN

Es más complejo para otros BVs

Tomas Akenine-Möller © 2002

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

Tomas Akenine-Möller © 2002

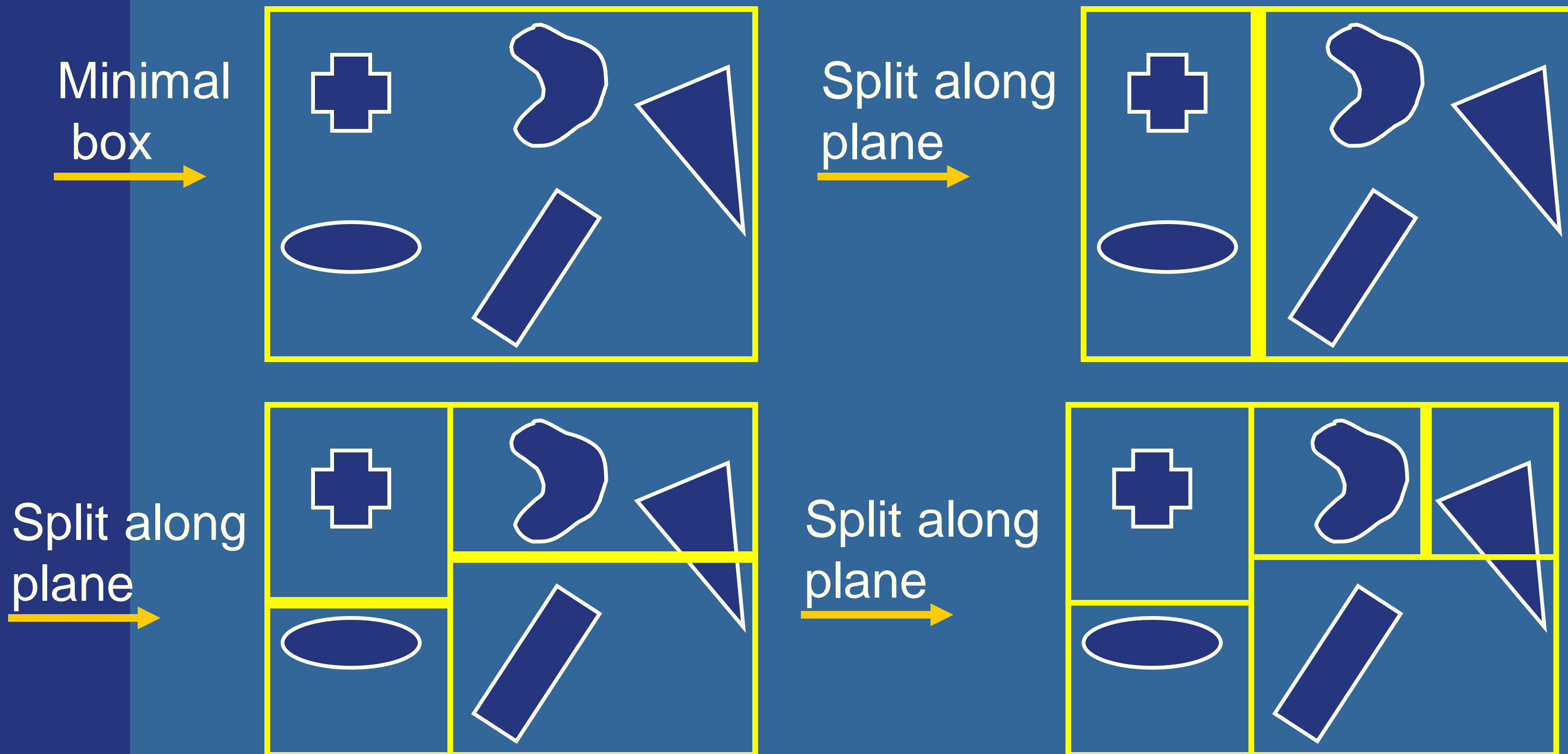
Binary Space Partitioning (BSP) Trees
Árboles BSP

- 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 recursivamente
- Si es recorrido en cierta forma, se puede ordenar la geometría a lo largo de un eje
  - Exacto cuando es alineado a los polígonos
  - Aproximado cuando es alineado a los ejes

Tomas Akenine-Möller © 2002

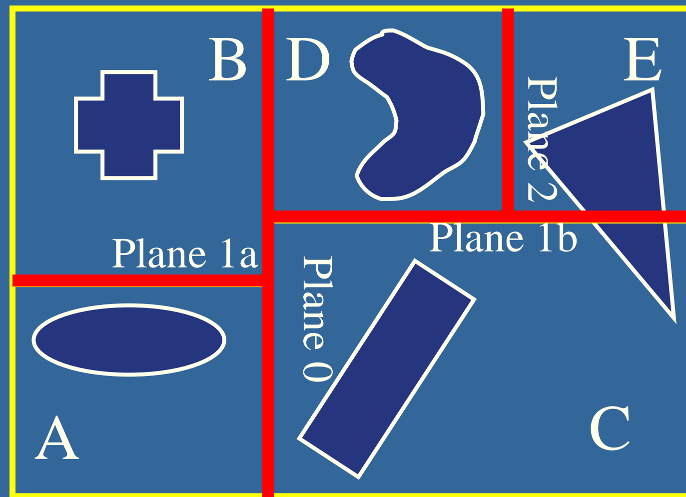
Árbol BSP alineado a los ejes (1)

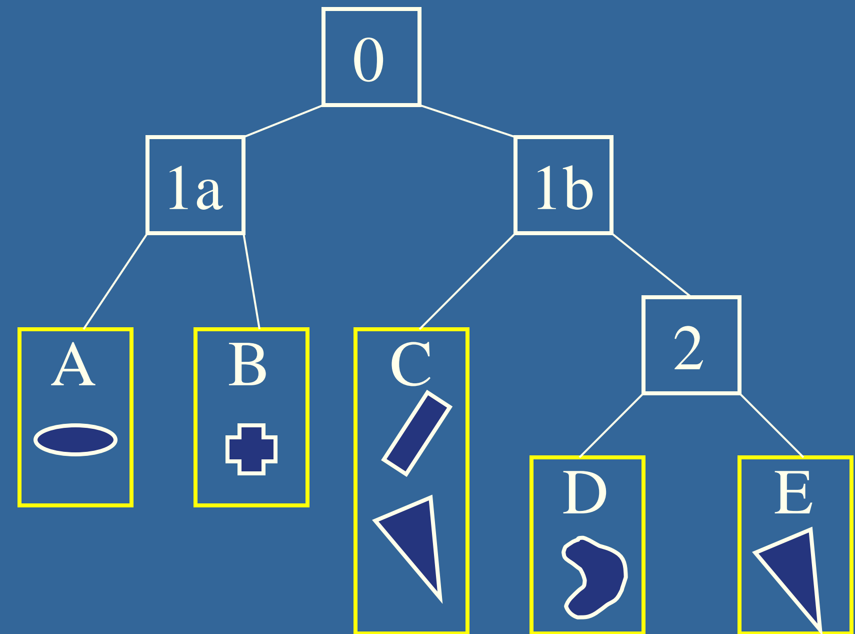
- Sólo pueden haber planos separadores alineados a x,y o z



Tomas Akenine-Mőller © 2002

Árbol BSP alineado a los ejes (2)



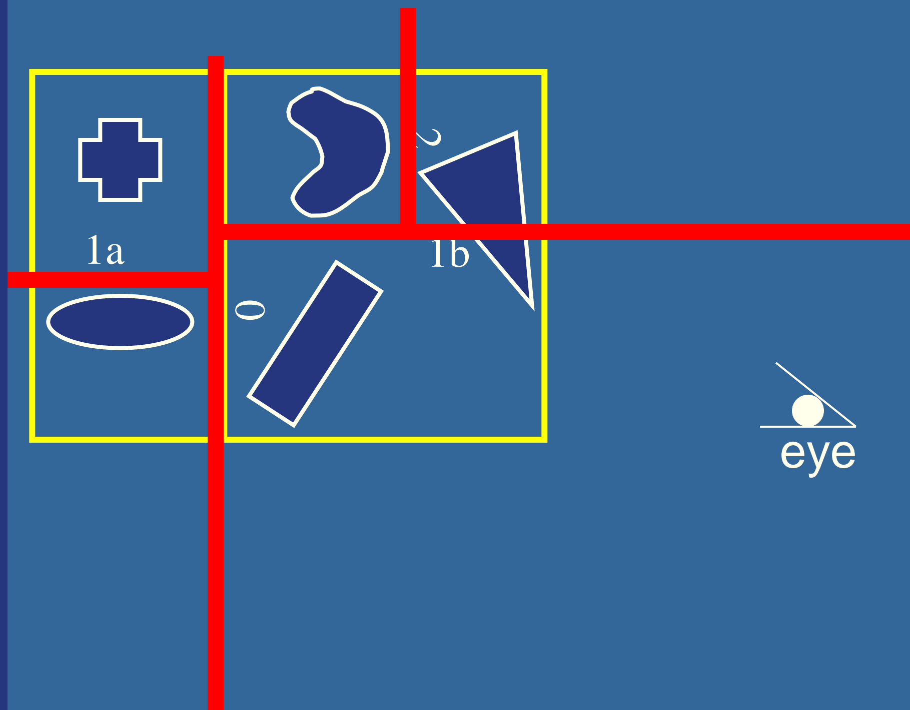


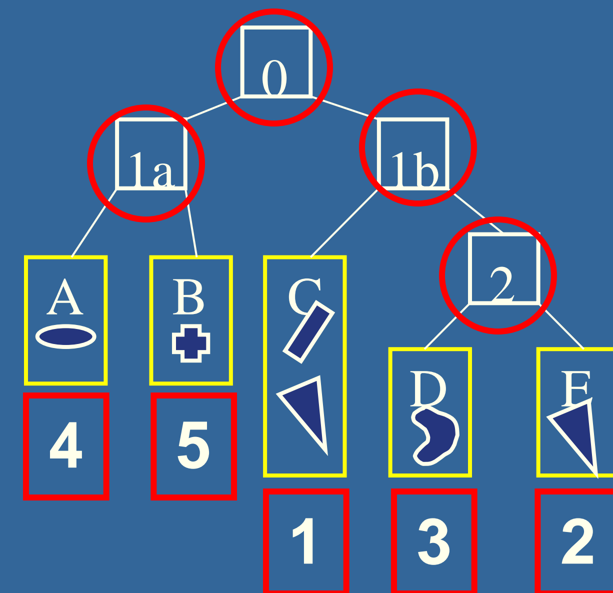
- Cada nodo interno contiene un plano separador
- Las hojas contienen la geometría
- Diferencias con BVH
  - Encierra todo el espacio y provee de sorting
  - La BVH puede ser construida de cualquier forma (no sort)
  - BVHs pueden utilizar cualquier tipo deseable de BV

Tomas Akenine-Möller © 2002

Árbol BSP alineado a los ejes
Algoritmo de sort en bruto

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

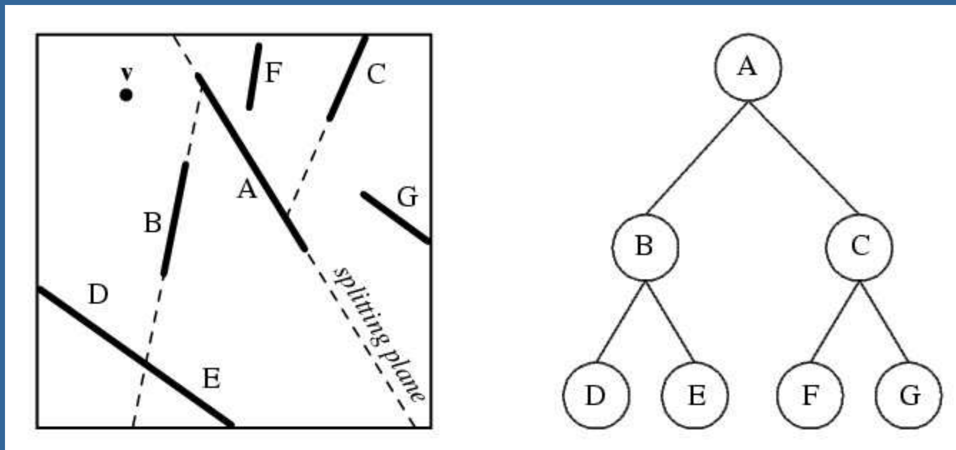




Tomas Akenine-Mőller © 2002

Árbol BSP alineado a los polígonos

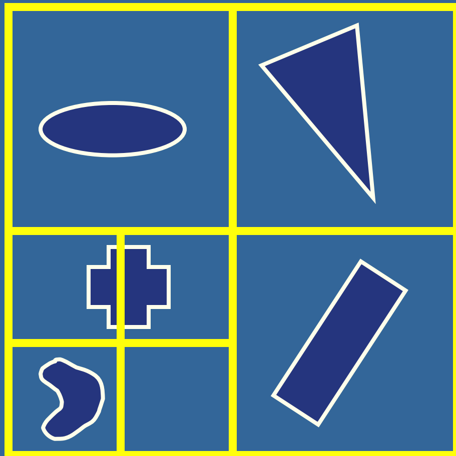
- Se lo menciona en otra parte del curso
- Permite un ordenamiento exacto
- Muy similar al BSP alineado a los ejes
  - El plano de corte está ahora localizado en los planos de los triángulos

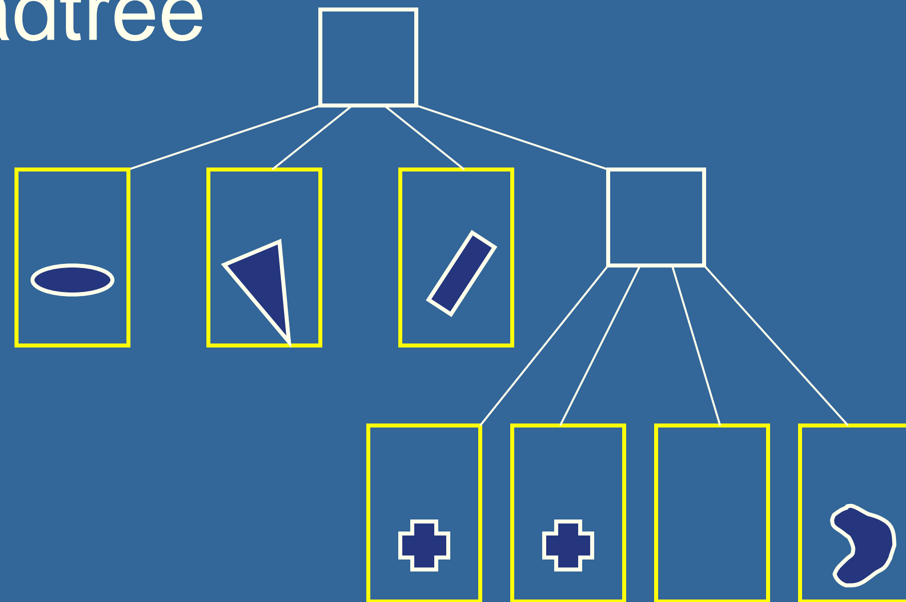


Tomas Akenine-Mőller © 2002

Octrees (1)

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





- En 3D es una caja, con 8 hijos

Tomas Akenine-Mőller © 2002

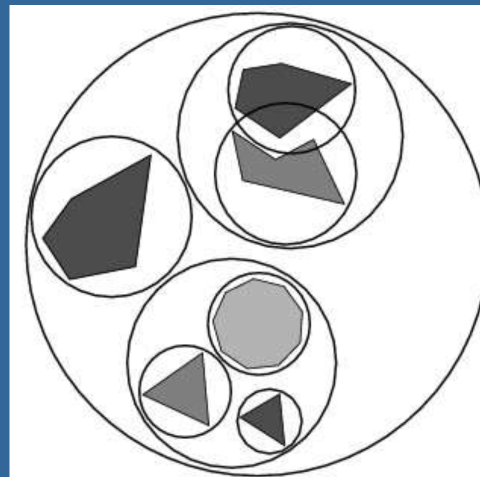
Octrees (2)

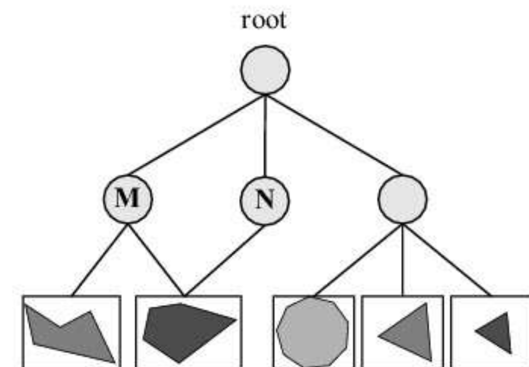
- Caro de reconstruir (ídem BSPs)
- Leer acerca de loose octrees en el libro
  - Es una relajación del octree para evitar problemas
- Octrees pueden ser usados para
  - Acelerar ray tracing
  - Acelerar el picking
  - Para las técnicas de Culling
  - No son muy usados en tiempo real
    - Una excepción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

Tomas Akenine-Mőller © 2002

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





Tomas Akenine-Mőller © 2002

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: 4k?, 8k?, más?
  - Realismo: iluminación global
  - Complejidad geométrica: ¡no hay límite superior!

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Qué se va a tratar ahora

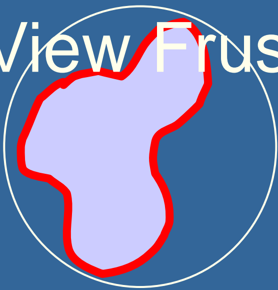
- Técnicas de culling
- Rendering con nivel de detalle (Level-of-detail rendering (LODs))

- “Cull” significa “seleccionar de un grupo”
- En contexto gráfico: no procesar datos que no contribuyen a la imagen final

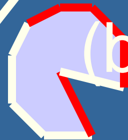
Tomas Akenine-Mőller © 2002

Varias técnicas de culling
(Los objetos rojos son salteados)

Sección de vista
(View Frustum)



Cara de atrás
(backface)



portal

detalle

oclusión

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Backface Culling

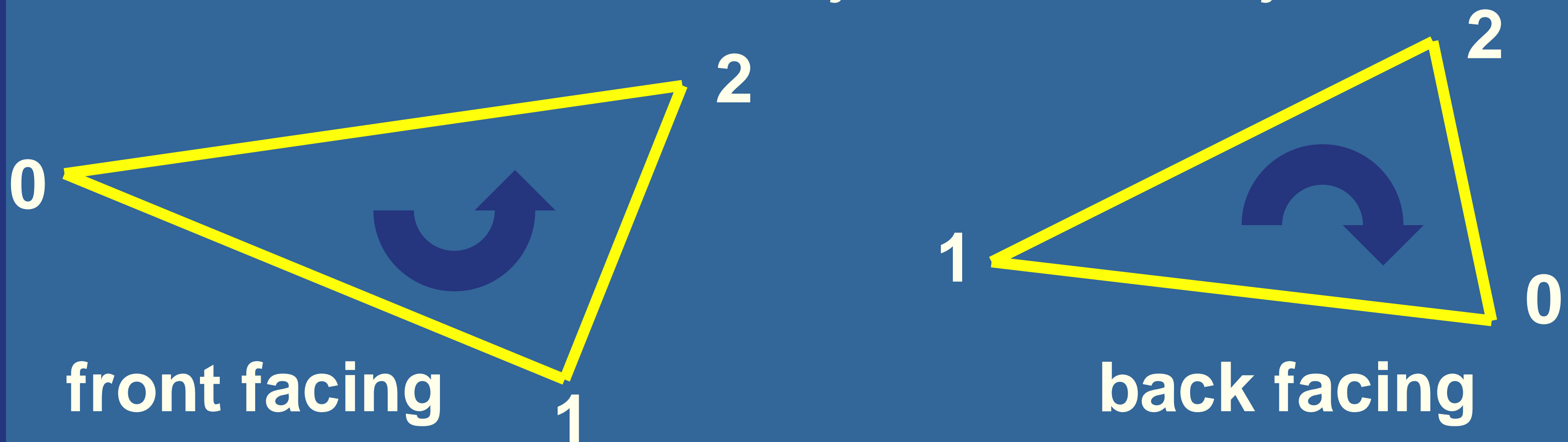
- Técnica simple para eliminar polígonos que no miran hacia el espectador
- Son usados en:
  - Superficies cerradas (esfera, cubo, toro)
  - or cuando sabemos que las backfaces no van a ser vistas (ejemplo: paredes en una habitación)
- 2 métodos (espacio de pantalla y de vista)
- Qué etapas de benefician?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

  (donde los test son hechos)

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Backface culling (continuación)

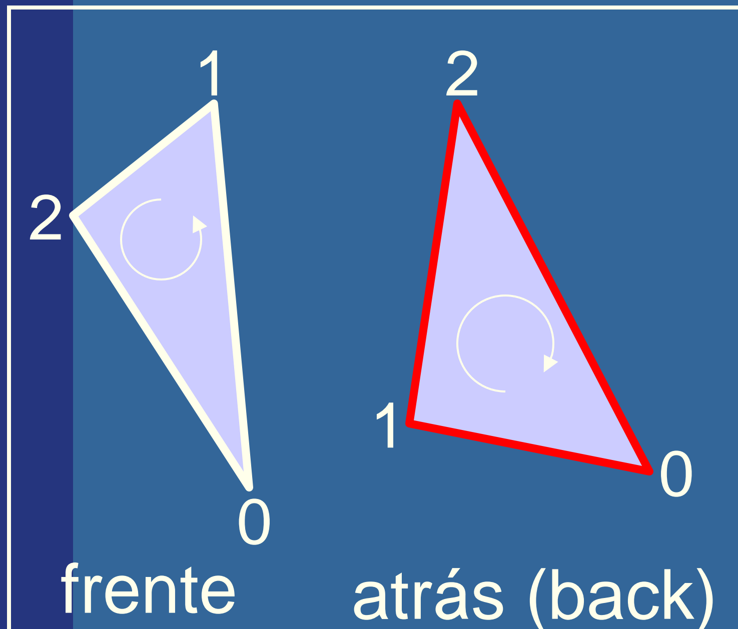
- A menudo implementada en la API
- OpenGL: `glCullFace(GL_BACK);`
- ¿Como determinar qué caras no se ven?
- 1º, deben ser polígonos orientados de forma consistente, e.j., contrareloj



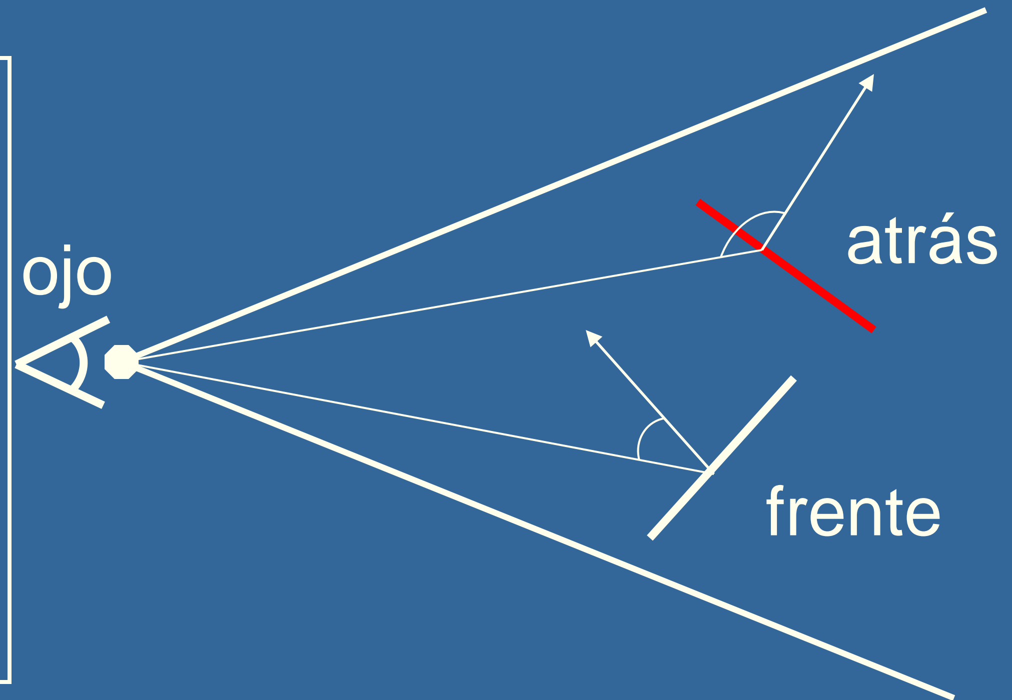
Tomas Akenine-Mőller © 2002

Cómo hacer cull a backfaces

- Dos maneras en diferentes espacios:



Espacio de pantalla

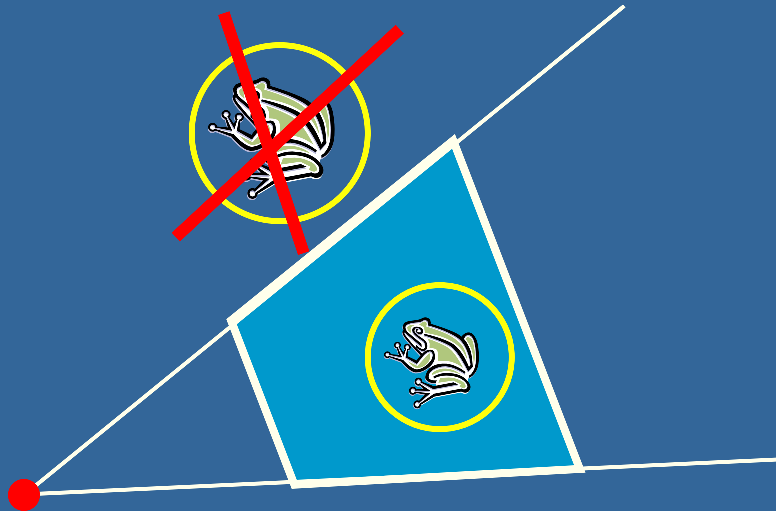


Espacio de vista

Tomas Akenine-Möller © 2002

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)



Tomas Akenine-Mőller © 2002

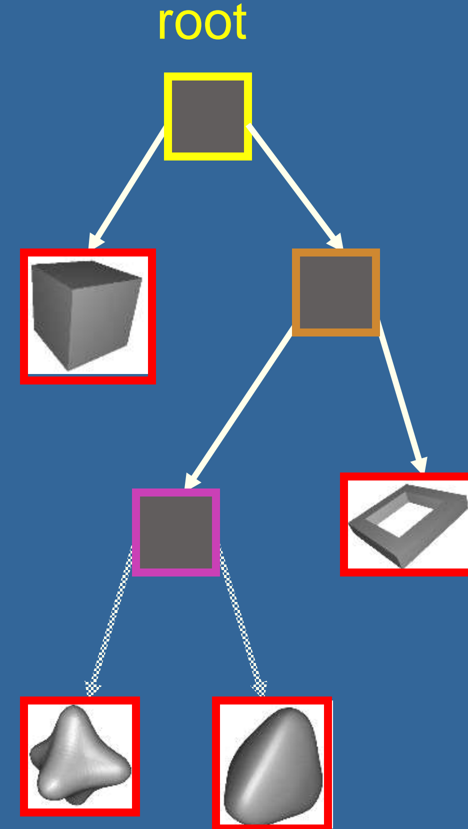
¿Podemos acelerar la sección de vista aun más?

- 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

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Ejemplo de Vista Jerárquica Frustum Culling

camera



Tomas Akenine-Mőller © 2002

Portal Culling

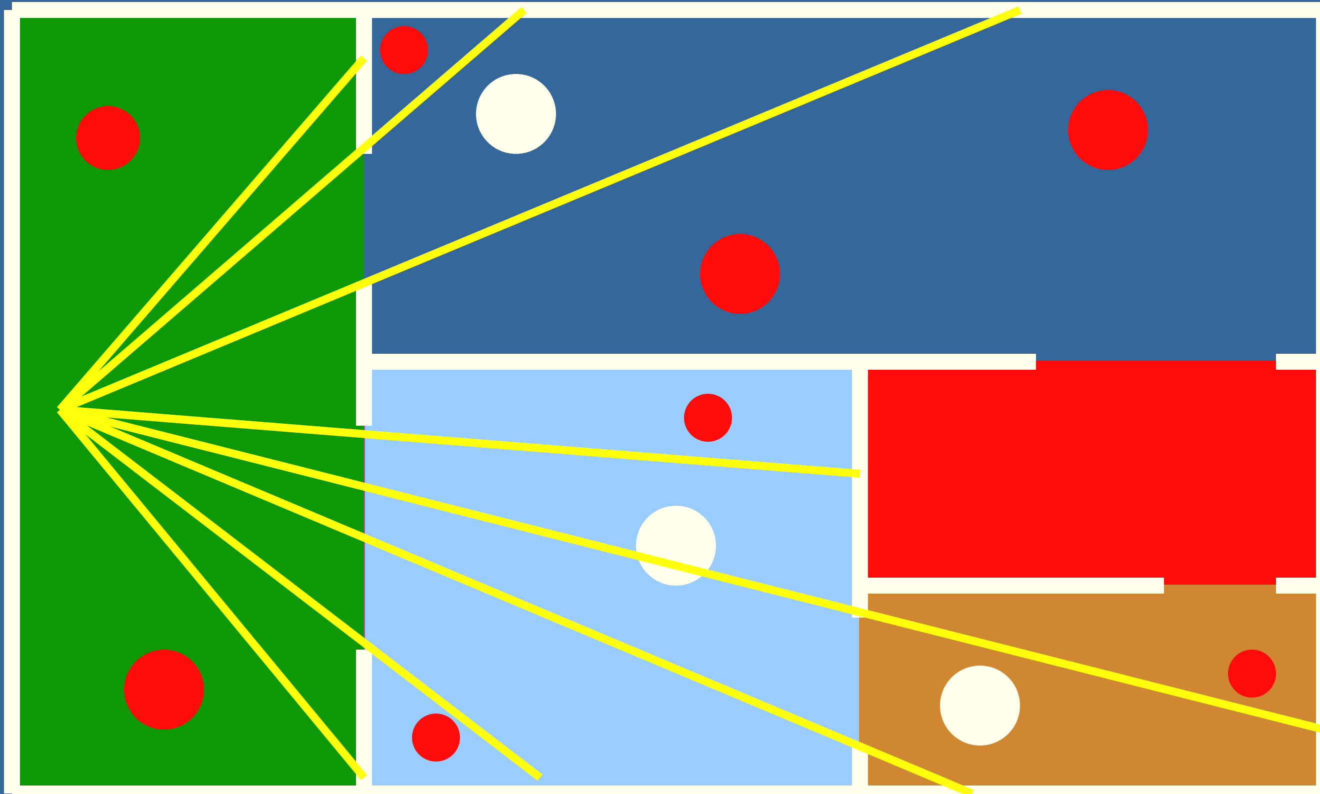
Images courtesy of David P. Luebke and Chris Georges

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

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Ejemplo de Portal culling

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



Tomas Akenine-Mőller © 2002

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 *

Tomas Akenine-Mőller © 2002

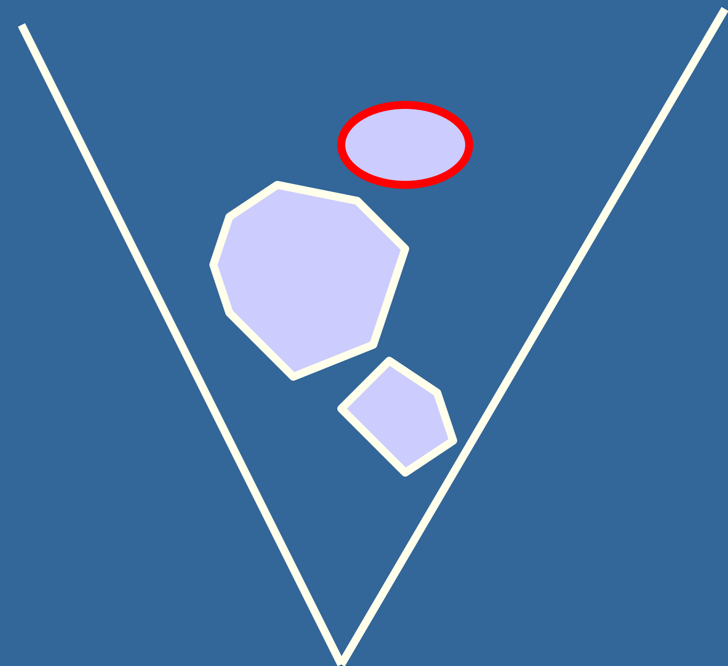
Portal Culling Algorithm (2)

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

Tomas Akenine-Mőller © 2002

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



Tomas Akenine-Mőller © 2002

Ejemplo

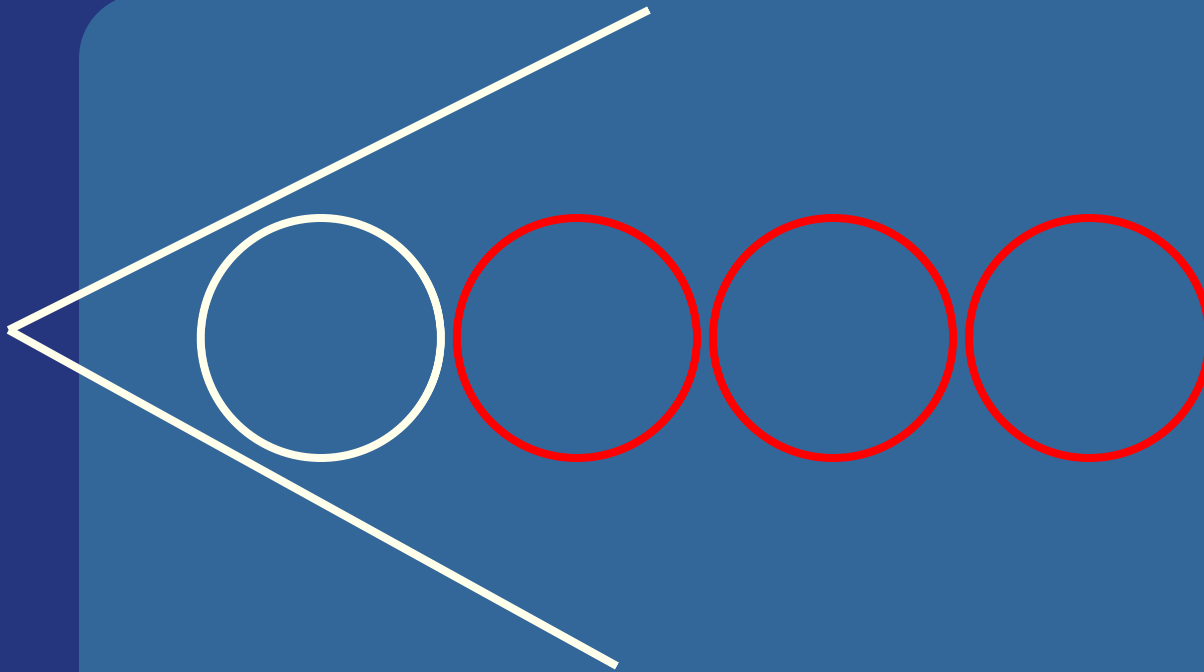


Imagen final

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

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Algoritmo de culling de oclusión

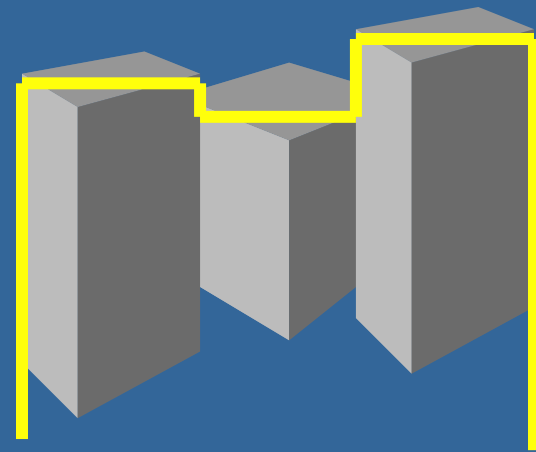
Utilizar algún tipo de representación de la oclusión O_R

Por cada objeto g hacer:

```
  if( not Ocluido(O_R ,g))
     render(g);
     update(O_R ,g);
  end;
end;
```

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Horizontes de Oclusión: Un algoritmo simple

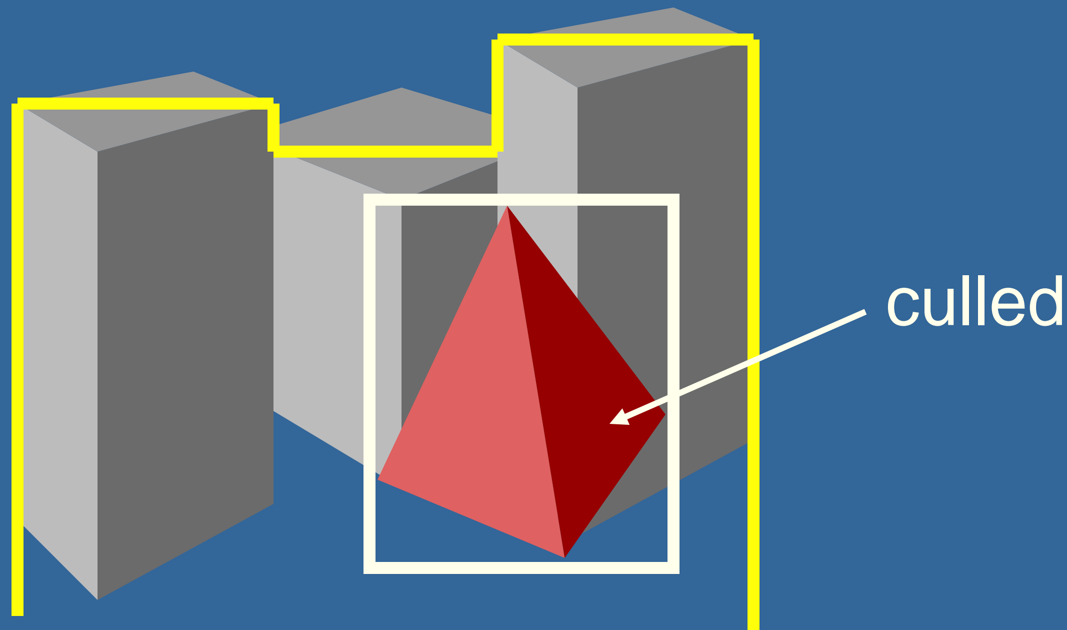


- Objetivo: paisaje urbano
  - Oclusión densa
  - Espectador está aprox. a 2 metros sobre el piso
- Algoritmo:
  - Procesar la escena de adelante a atrás utilizando un quad tree
  - Mantener un horizonte constante a trozos
  - Cull objetos contra el horizonte
  - Agregar el contorno de los objetos visibles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

Tomas Akenine-Möller © 2002

Test de oclusión con horizontes de oclusión

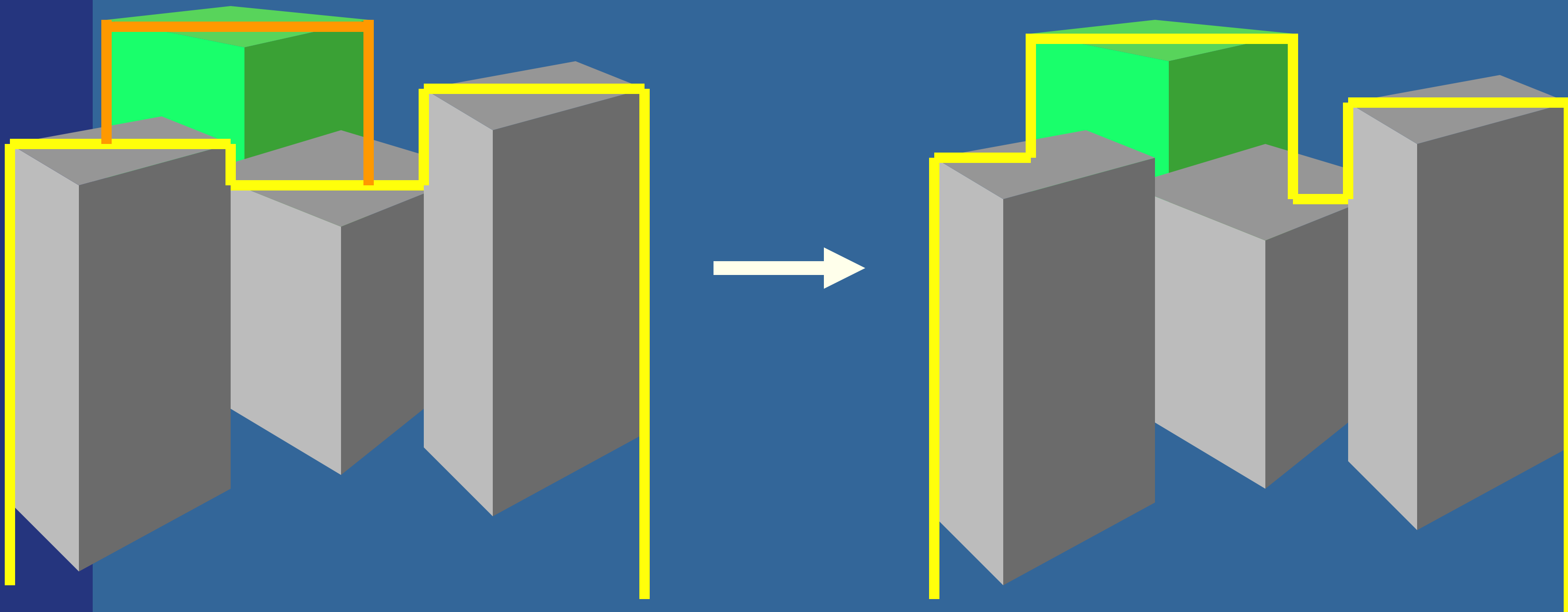
- Para procesar al tetraedro (que está detrás de los objetos grises):
  - Encontrar una caja de proyección alineada a los ejes
  - Comparar contra el horizonte de oclusión



Tomas Akenine-Mőller © 2002

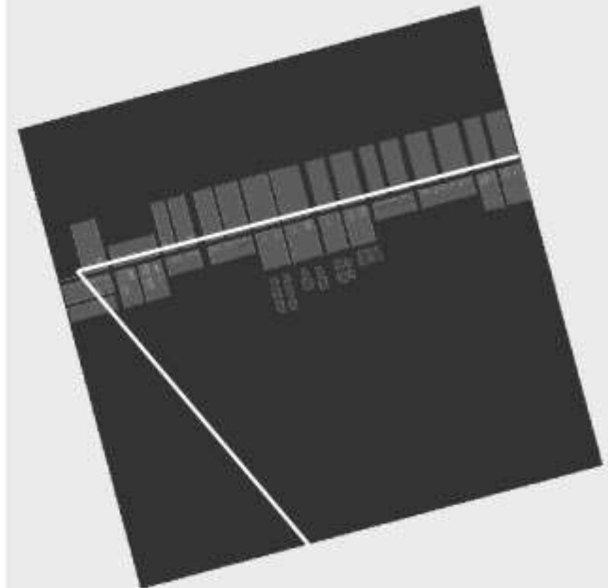
Actualizar horizonte

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



Tomas Akenine-Mőller © 2002

Ejemplo:

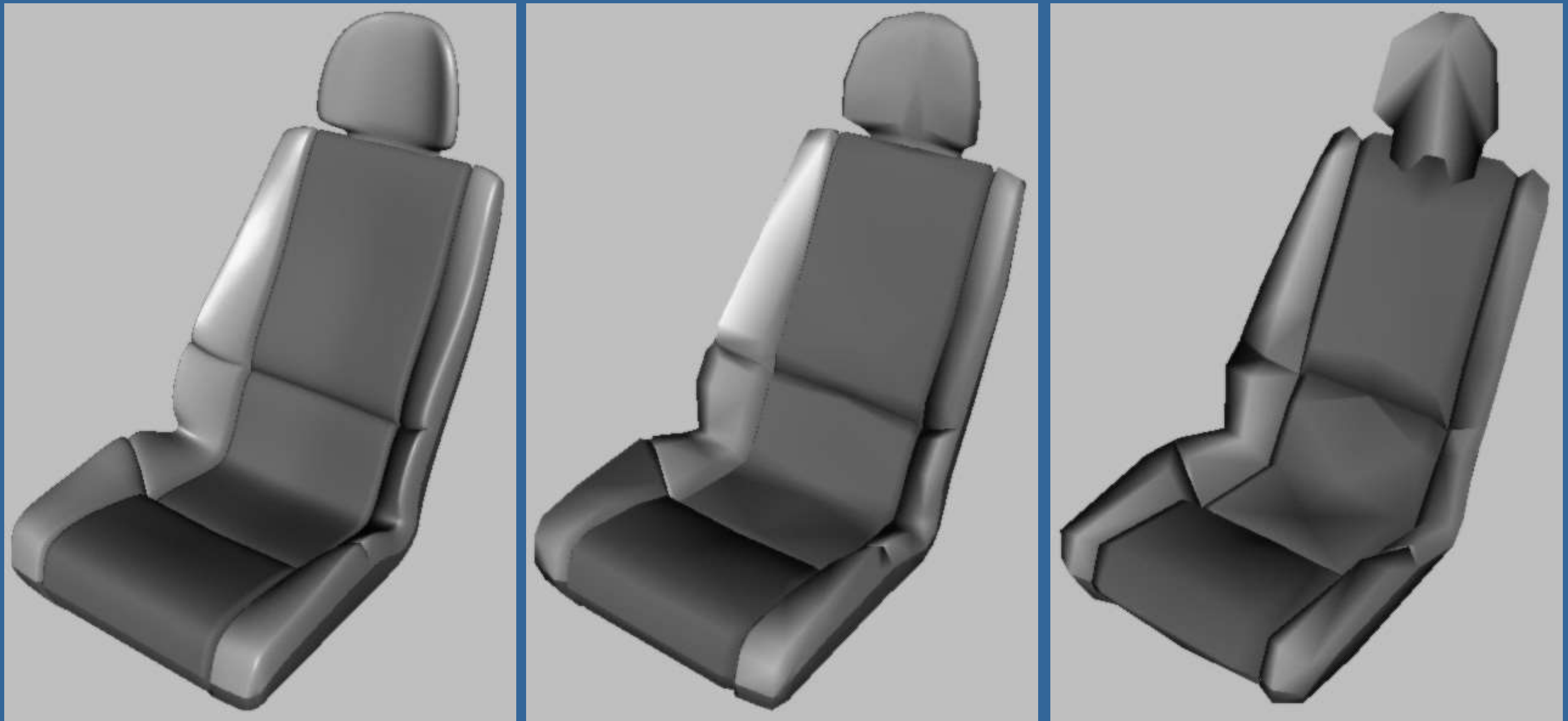


Leer el capítulo del libro

Tomas Akenine-Mőller © 2002

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

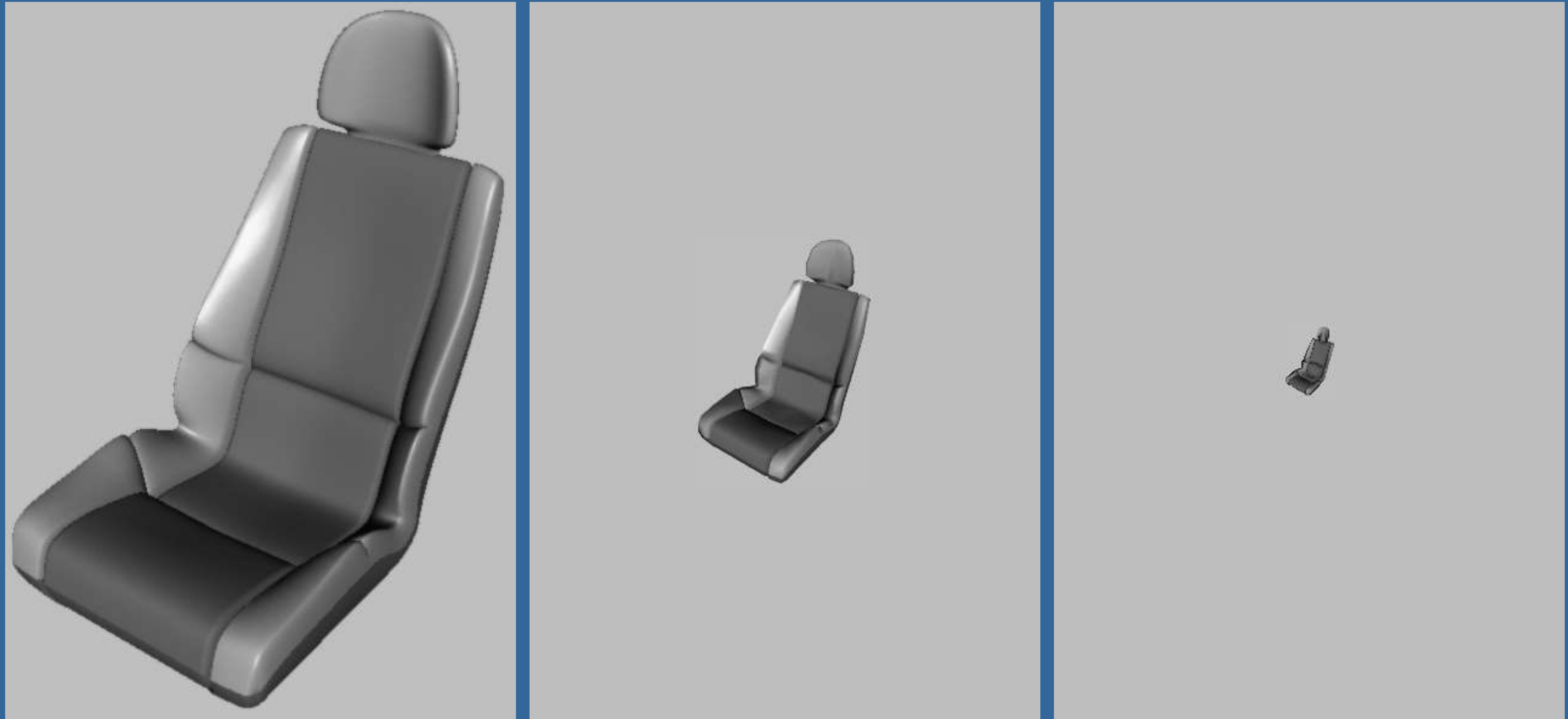
- Utilizar niveles de detalle diferentes a distancias de usuario diferentes
- Más triángulos cuanto más cerca del espectador



Tomas Akenine-Mőller © 2002

LOD rendering

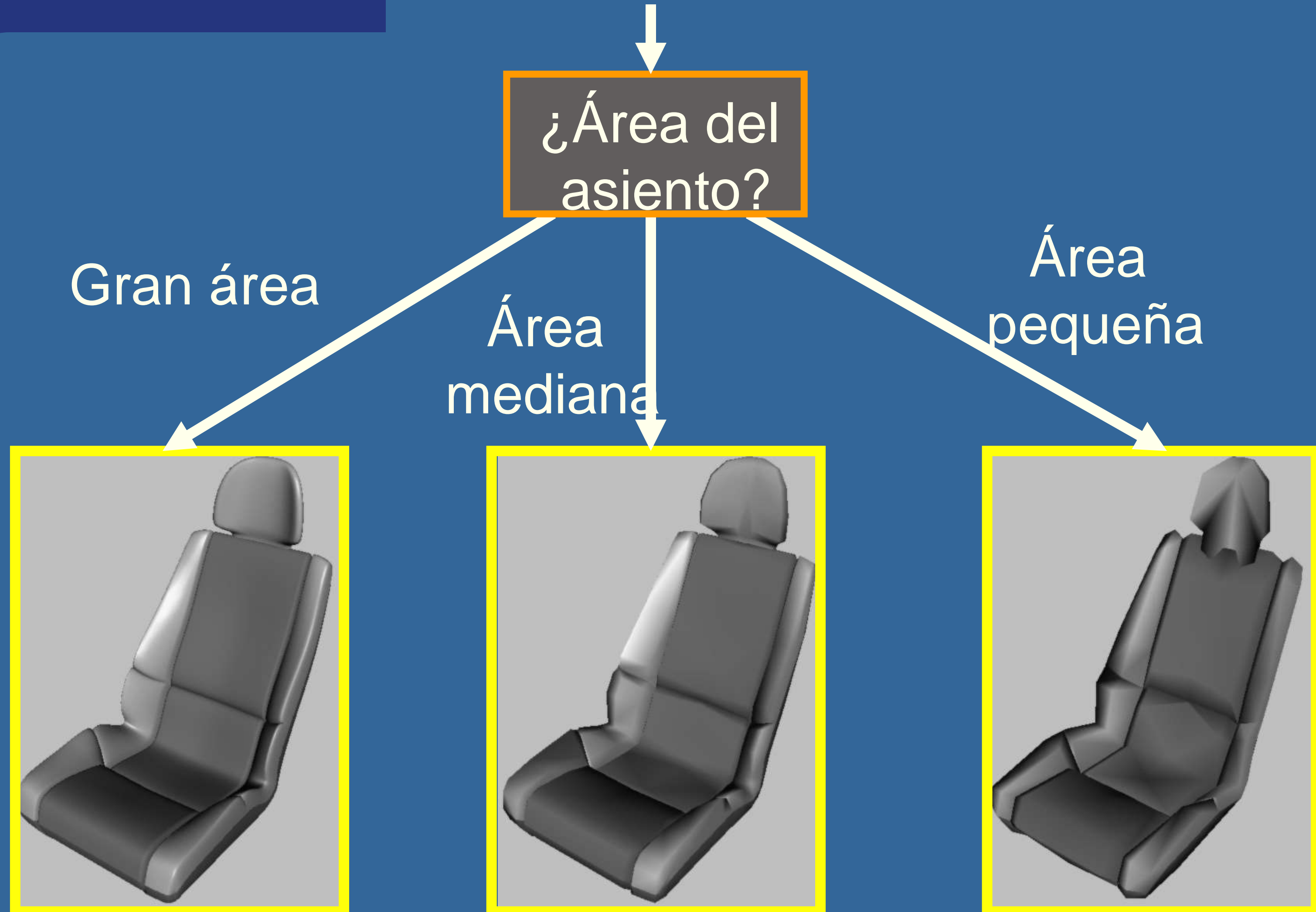
- Casi no hay diferencia, pero mucho más rápido



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

Tomas Akenine-Mőller © 2002

Grafo de escena con LODs



Tomas Akenine-Mőller © 2002

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 saltearlo

Tomas Akenine-Mőller © 2002