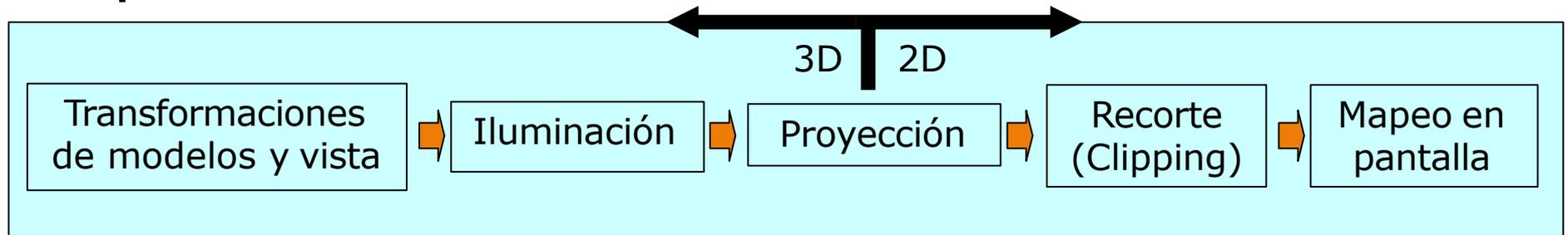


Introducción a la programación en OpenGL (2)

Pipeline Grafico

- Pipeline funcional:

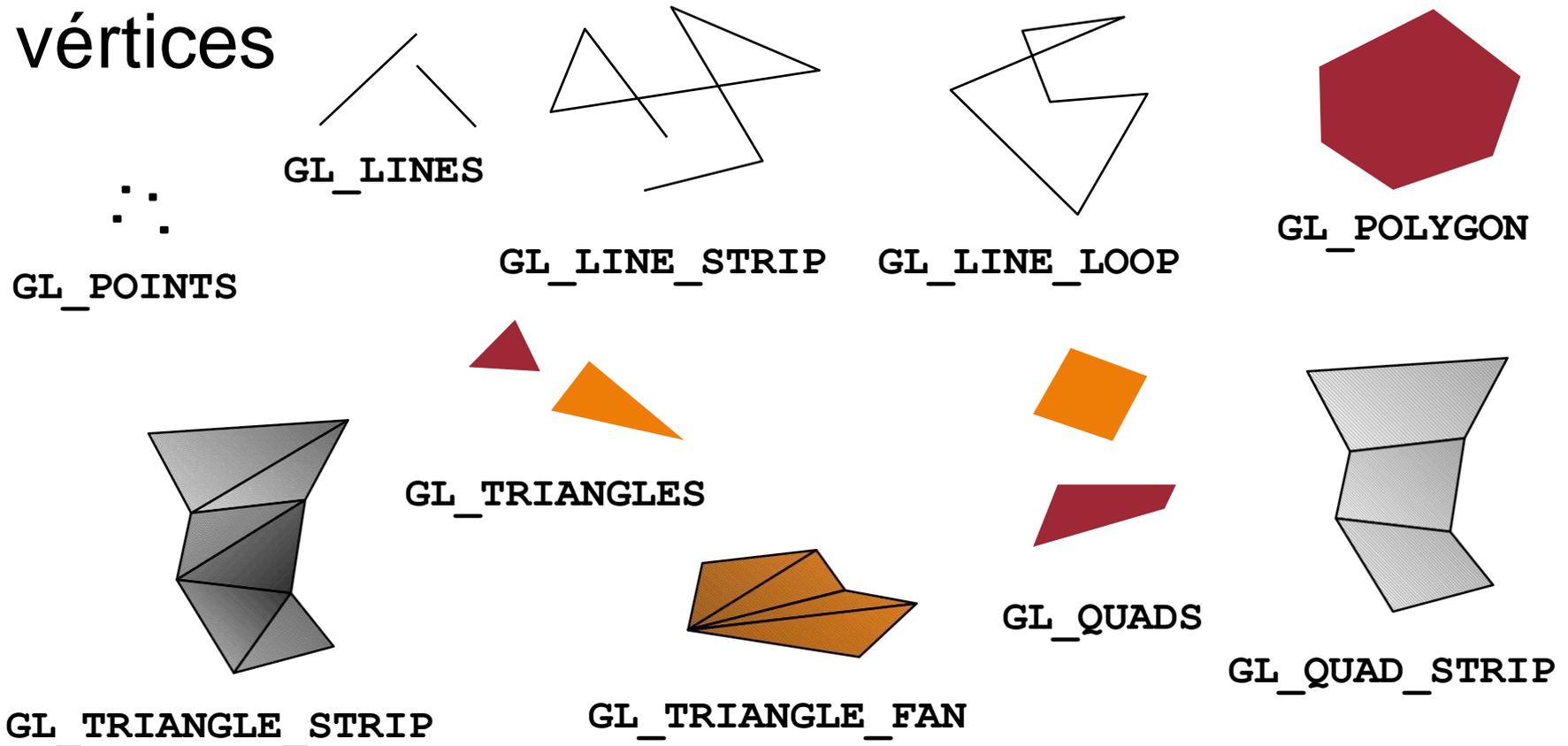


- **Objetivo:**

- Realizar transformaciones sobre los objetos de modo de llevar su descripción tridimensional a una bidimensional evaluando su iluminación y eliminando los que no se vean.
- **Nota:** la iluminación se calcula antes de que se realice el clipping o se utilice el z-buffer para determinar si el polígono es visible!!

Primitivas

- glBegin(...); ... glEnd();
- Todas las primitivas son definidas por sus vértices



Características a definir

- **Puntos:** se puede especificar el tamaño de los puntos dibujados con *GL_POINTS*
 - `glPointSize(GLfloat size_in_pixels);`
- Usar un tamaño diferente a 1 tiene diferentes efectos dependiendo si se ha habilitado el antialiasing de puntos.
 - `glEnable(GL_POINT_SMOOTH);`

Características a definir

- **Líneas:** se puede especificar el grosor de las líneas dibujadas con *GL_LINES*
 - `glLineWidth(GLfloat width_in_pixels);`
- También se puede especificar un patrón:
 - `glLineStipple(GLint factor, GLushort pattern);`
 - `glEnable(GL_LINE_STIPPLE);`

PATTERN	FACTOR	
0x00FF	1	_____
0x00FF	2	_____
0x0C0F	1	____ _
0x0C0F	3	_____
0xAAAA	1	- - - - -
0xAAAA	2	- - - - -
0xAAAA	3	____ _
0xAAAA	4	____ _

Características a definir

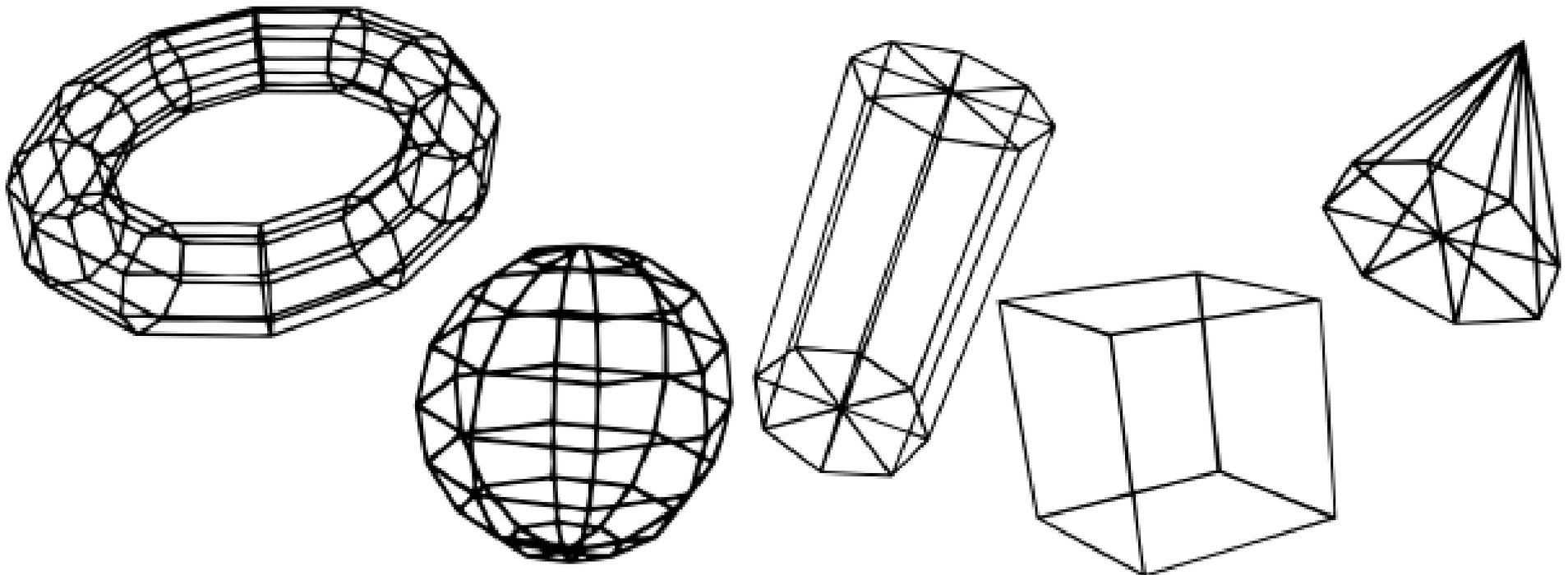
- Se puede especificar como OpenGL determina la cara frontal de un polígono
- `glFrontFace (GLenum mode) ;`
 - `GL_CCW`: antihorario (por defecto)
 - `GL_CW`: horario

Características a definir

- **Polígonos:** se puede especificar la forma en la que serán dibujados los polígonos
 - `glPolygonMode (GLenum face, GLenum mode)`
 - **face:** se refiere a la cara del polígono
 - `GL_FRONT_AND_BACK`
 - `GL_FRONT`
 - `GL_BACK`
 - **mode:** se refiere a la forma de dibujado
 - _ `GL_POINT`
 - _ `GL_LINE`
 - _ `GL_FILL`

Características a definir

- **Wireframe:** es un modo de dibujado con un nombre propio. Sólo se dibujan las aristas:
 - `GLPolygonMode (GL_FRONT_AND_BACK, GL_LINES);`

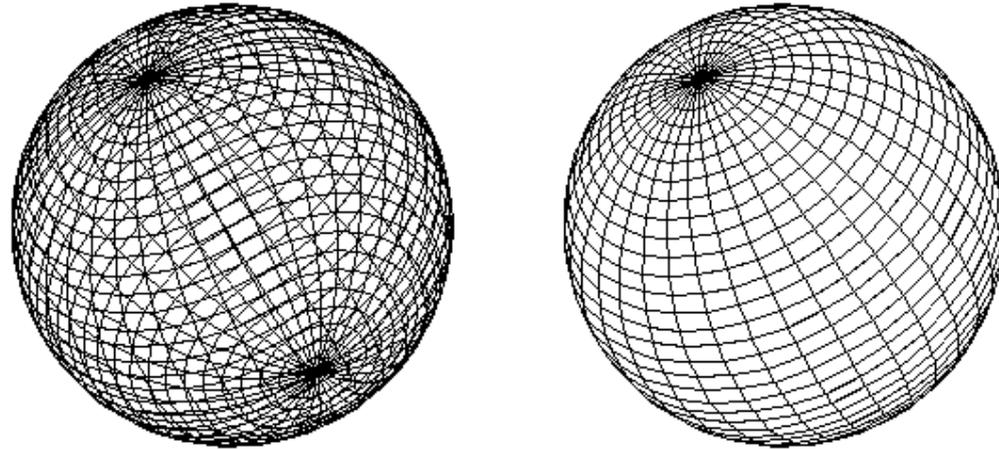


Backface culling

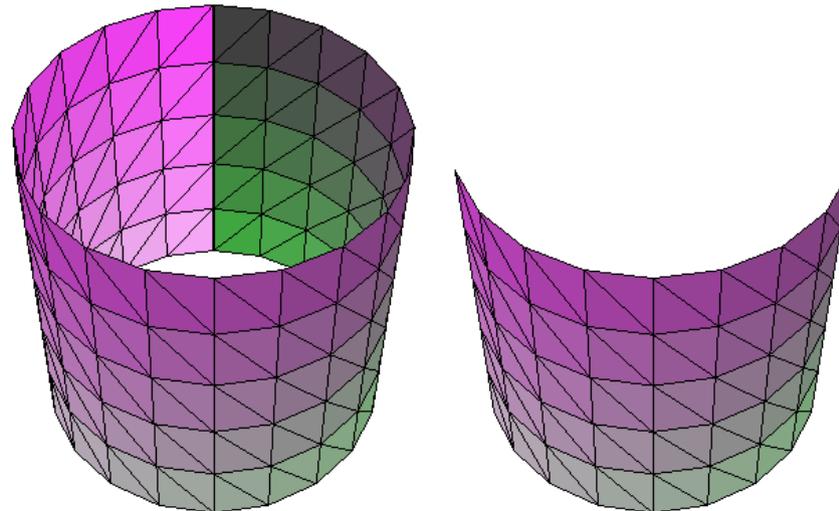
- Es una técnica que permite acelerar el dibujo de polígonos eliminando aquellos cuya cara frontal NO sea vista. Ésto pasa cuando se usan polígonos para definir superficies cerradas.
 - Todo polígono cuya cara frontal “no sea visible”, se encontrará oculto por otros polígonos cuya cara frontal “SÍ son visibles”
- `glCullMode (GLenum mode) ;`
 - `GL_FRONT`
 - `GL_BACK` (valor por defecto)
 - `GL_FRONT_AND_BACK`
- `glEnable (GL_CULL_FACE) ;`

Backface culling

Wireframe →

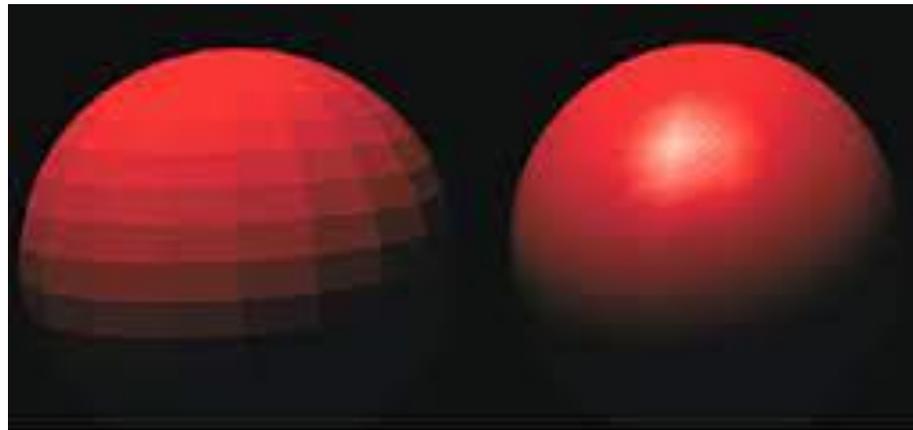


OJO! →



Modelos de color

- Se puede trabajar con dos modos de color:
 - `glShadeModel (GLenum mode);`
 - **mode:**
 - `GL_FLAT`: asigna un único color a toda la superficie del polígono
 - `GL_SMOOTH`: el color interior al polígono es el resultado de interpolar el color de sus vértices (Gouraud Shading)



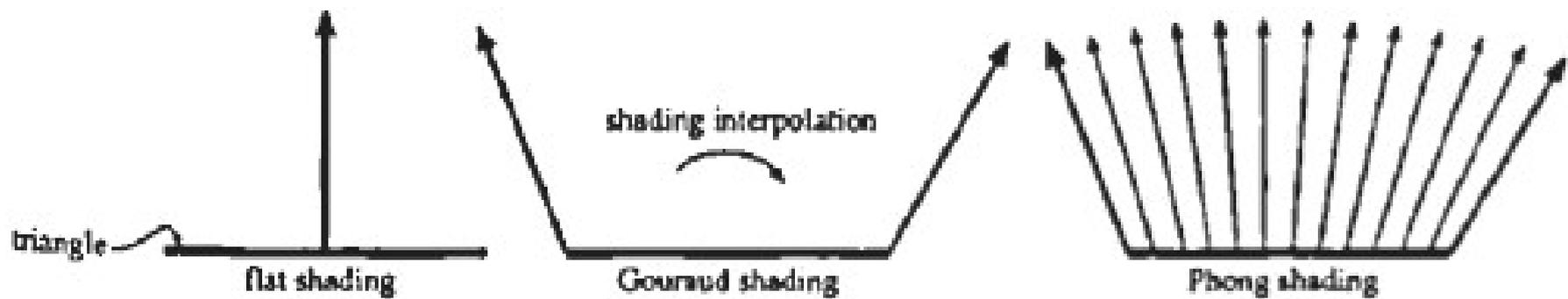
`GL_FLAT`

`GL_SMOOTH`

Iluminación

- Función que se encarga de calcular el color de un vértice en función de las luces definidas en el sistema.
- Se aplica a **TODOS** los vértices transformados, **también a los no visibles!**
- Utiliza el modelo de iluminación clásico implementado por las APIs: ecuación de la luz
- Se pueden utilizar otros modelos de iluminación
 - Utilizando Pixel y Vertex Shaders

Iluminación



Flat

Gouraud

Phong

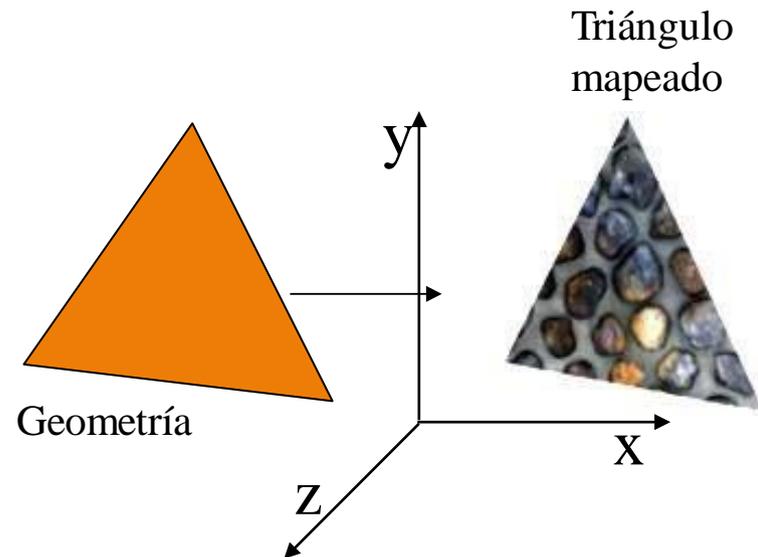
↑
Sólo con técnicas avanzadas (Pixel Shader y Vertex Shader)

Mapeo de Texturas

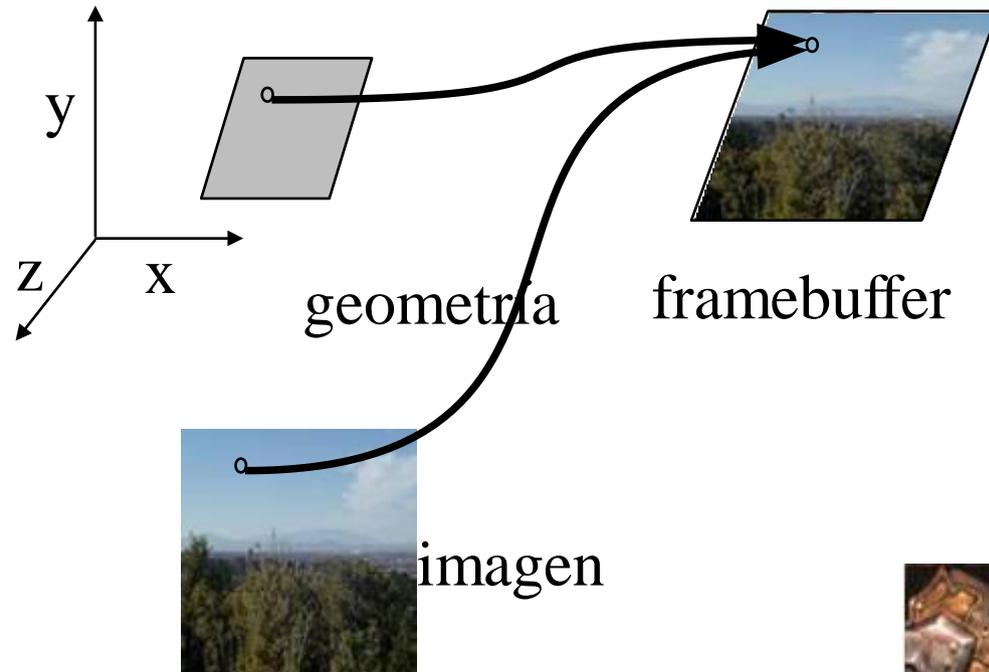
- Sistema mediante el cual se puede aplicar una imagen a un polígono
- Permite aumentar el realismo de la geometría



Imagen original: archivo
*.jpg, *.png, etc.



Mapeo de Texturas



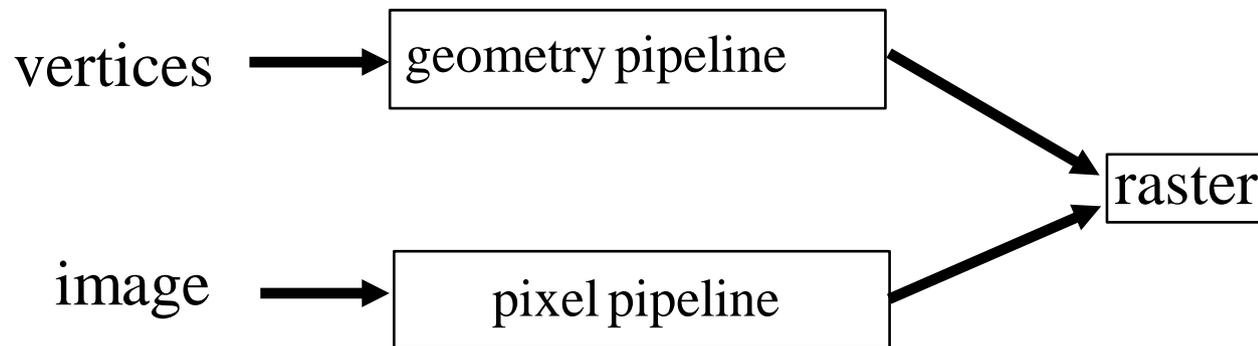
Sarge (Q3A)



Textura (cuerpo)

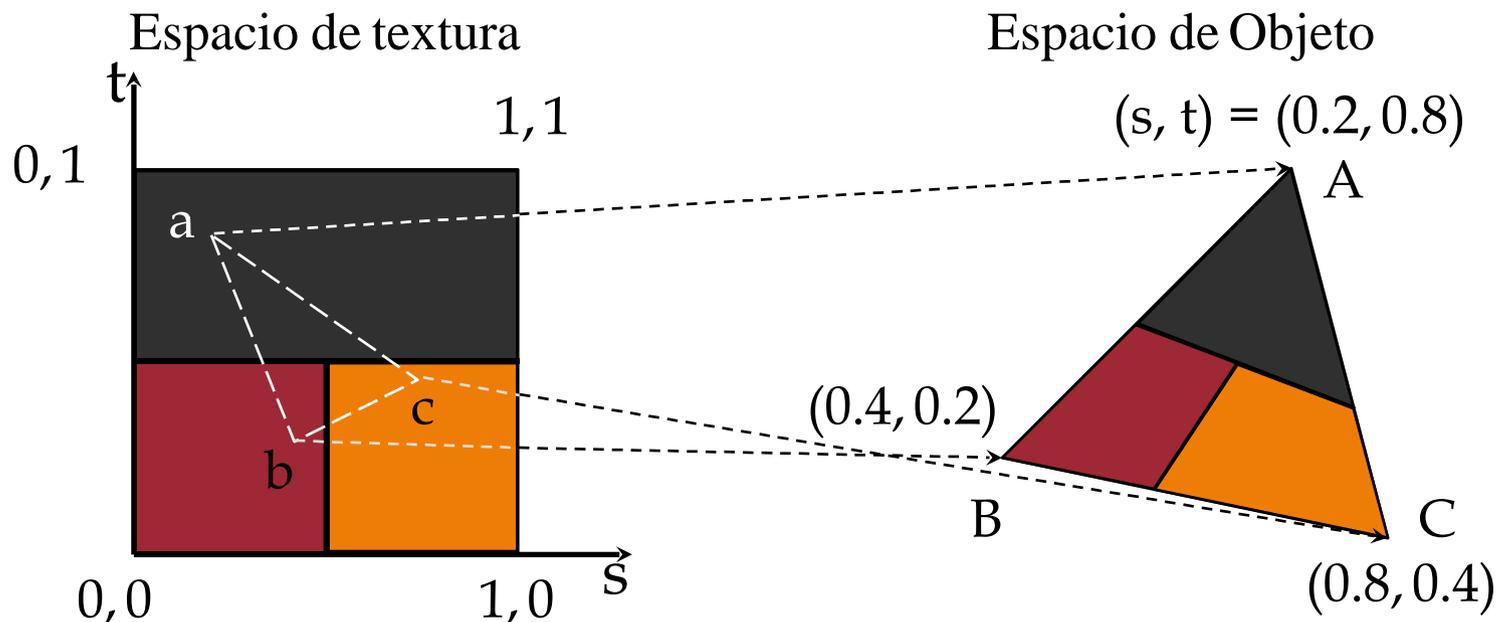
Mapeo de Texturas

- Imágenes y geometría fluyen desde ductos separados que se juntan en el rasterizador



Mapeo de Texturas

- El mapeo de texturas se especifica por cada vértice.
- Las coordenadas de texturas están en el rango $[0, 1]$



Mapeo de Texturas

- Cuando las coordenadas de textura se encuentran fuera del intervalo $[0, 1]$ es necesario indicar como se tiene que dibujar el polígono
 - `glTexParameteri(GL_TEXTURE2D, type, mode)`

type	mode
GL_TEXTURE_WRAP_S	GL_CLAMP, GL_REPEAT, GL_CLAMP_TO_BORDER, GL_CLAMP_TO_EDGE, GL_MIRRORED_REPEAT
GL_TEXTURE_WRAP_T	GL_CLAMP, GL_REPEAT, GL_CLAMP_TO_BORDER, GL_CLAMP_TO_EDGE, GL_MIRRORED_REPEAT
GL_TEXTURE_BORDER_COLOR	RGBA en el rango $[0, 1]$

Mapeo de Texturas



GL_CLAMP_TO_BORDER

GL_TEXTURE_BORDER_COLOR



GL_REPEAT

Mapeo de Texturas



GL_CLAMP

$0.5 * GL_TEXTURE_BORDER_COLOR + 0.5 * TEXEL_DEL_BORDE$



GL_CLAMP_TO_EDGE



GL_MIRRORED_REPEAT

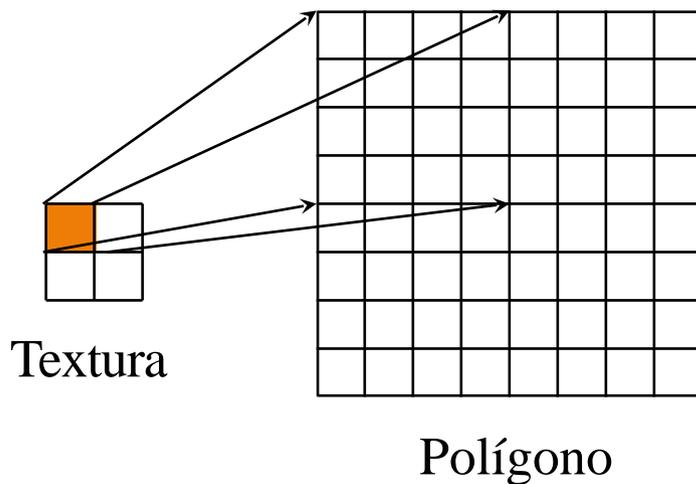
Mapeo de Texturas



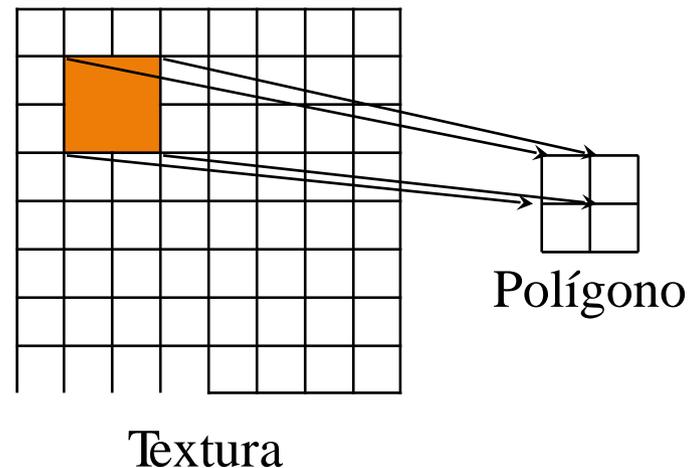
GL_REPEAT

Filtrado

- Generalmente las texturas y los polígonos no tienen las mismas dimensiones
 - La correspondencia de texels y pixels no es 1 a 1
- OpenGL debe aumentar o disminuir los texels para aplicarlos a la geometría



Magnificación: un pixel de la textura (texel) genera varios en el polígono final



Minimización: muchos texels de la Textura caen en el mismo píxel del polígono

Filtrado

- La definición del filtrado de texturas se hace con la función
 - `glTexParameterf(GL_TEXTURE_2D, type, mode);`
- **type:**
 - `GL_TEXTURE_MIN_FILTER`
 - `GL_TEXTURE_MAG_FILTER`
- **mode:**
 - `GL_NEAREST`: no interpola, elije el texel más cercano
 - `GL_LINEAR`: interpola los colores de los pixels del polígono usando la información de los colores de los texels adyacentes

Filtrado



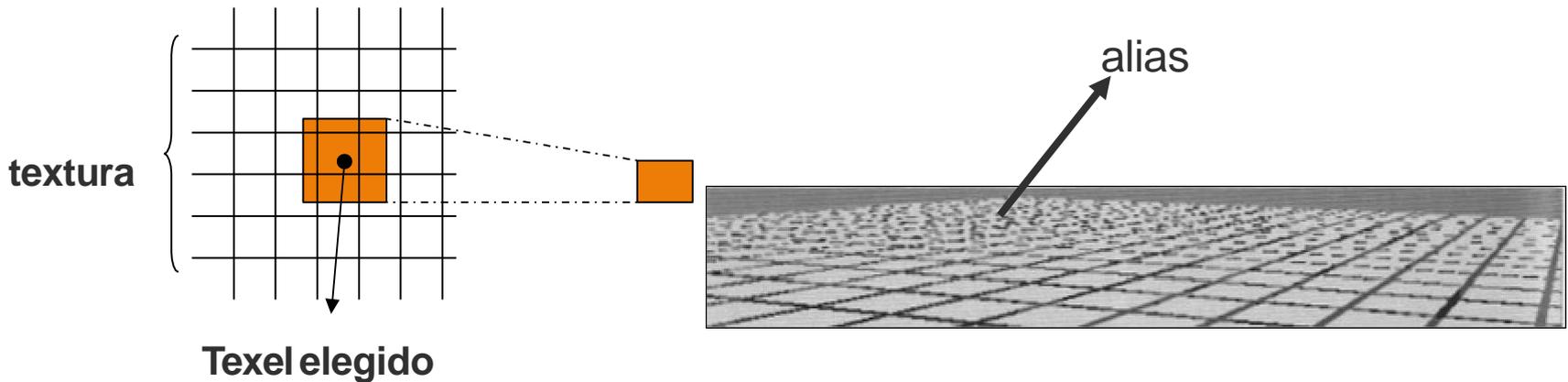
GL_NEAREST



GL_LINEAR

Problemas en el filtrado

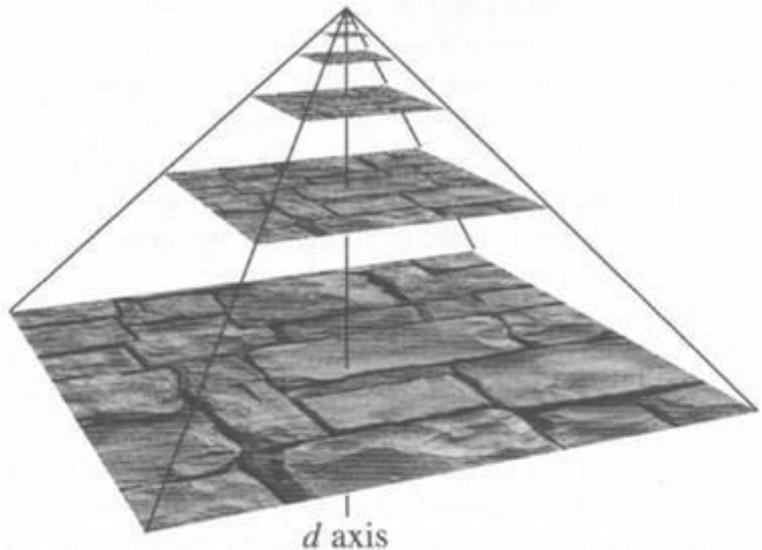
- En la magnificación la interpolación lineal funciona bastante bien.
- Sin embargo en la minimización no ocurre lo mismo: la interpolación genera “alias” cuando la geometría es lejana (hay que filtrar más)



MipMapping

- Un filtrado de más calidad que funcionara bien para todos los grados de escala implica un procesamiento de un nivel que es muy costoso de realizar en tiempo real.
- **Solución:** realizar el cálculo off-line utilizando texturas filtradas con diferente grado de minimización.

MipMapping



...
2
1
0

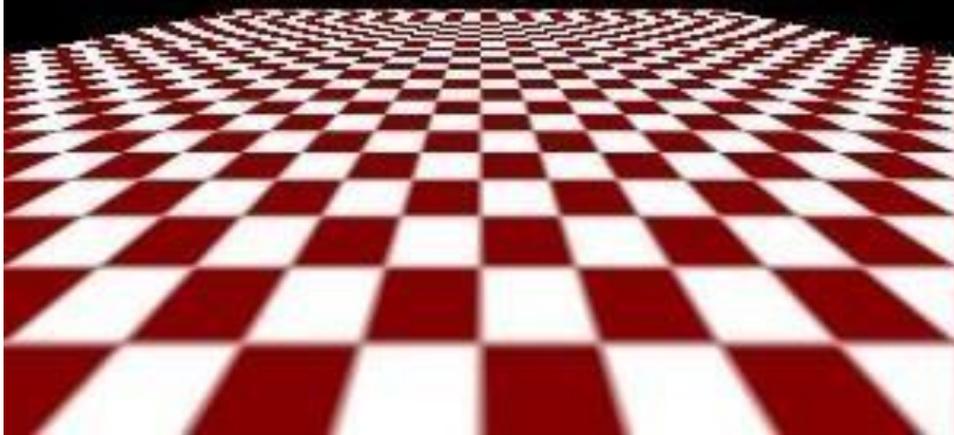
La textura original es utilizada para generar diferentes niveles: $1/2$, $1/4$, $1/8$, etc.

- En el momento de aplicar las texturas OpenGL decide el nivel a utilizar en función de la cantidad de minimización a aplicar.
- Este cálculo es soportado directamente por hardware.

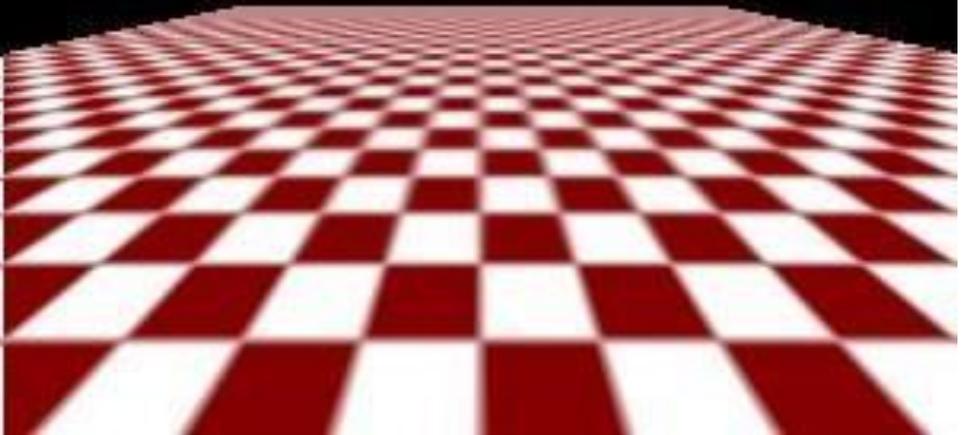
MipMapping

Source: "Advanced OpenGL Texture Mapping" by Nate Miller (flipcode.com)

Textura sin
Mipmaps



Textura con
Mipmaps



MipMapping

- Glu provee una primitiva que genera los mipmaps directamente a partir de una textura base y **carga los datos en la memoria de video:**
 - `gluBuild2DMipmaps(GL_TEXTURE_2D, 4 ancho, alto, ..., datos);`
 - La imagen corresponde al nivel 0
- Si no se quiere usar Mipmaps la primitiva a usar es
 - `glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 4, ancho, alto, ..., datos);`

Objetos de Textura

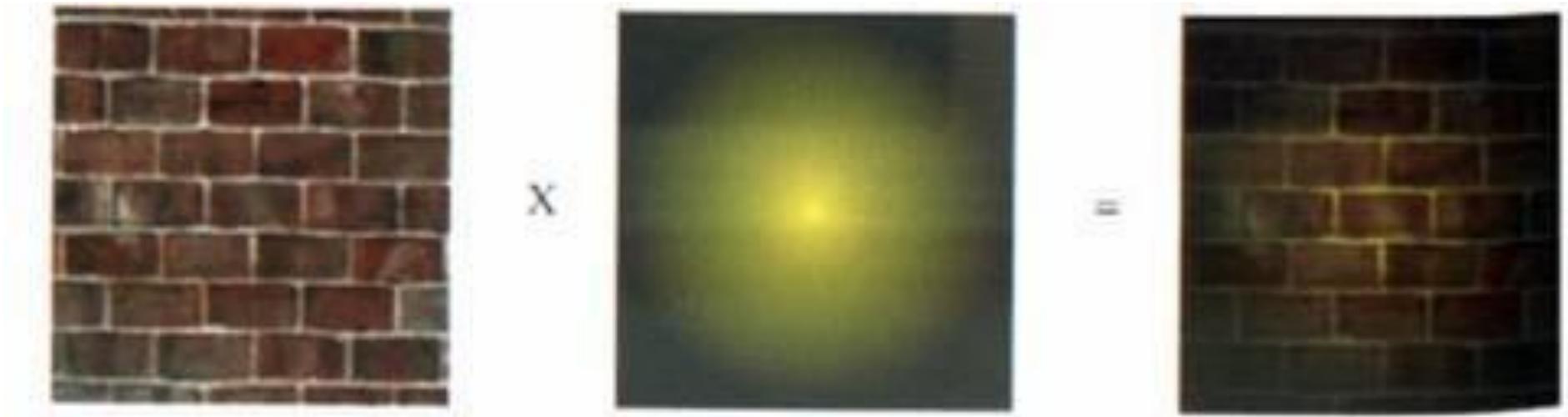
- A cada textura se le asigna un identificador (int) que se utiliza para indicarle al OpenGL cual es la textura con la que estamos trabajando.
- Para la generación de identificadores
 - `glGenTextures (n, *textIds);`
 - Se piden **n** identificadores consecutivos, y se almacena el primer identificador en **textIds**
- Cada vez que queremos definir una textura o utilizarla
 - `glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, id);`

Funciones de combinación

- Cuando se le aplica una textura a un polígono, el mismo ya tiene un color y hay que indicarle a OpenGL como combinarlo con el color de la textura.
 - `glTexEnvf (GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MOVE, param) ;`
 - **param:**
 - `GL_REPLACE`: la textura reemplaza los otros colores.
 - `GL_DECAL`: igual que `GL_REPLACE` pero considerando valores alpha de las texturas.
 - `GL_MODULATE`: se multiplica el color del polígono por el de la textura utilizando la información de iluminación.

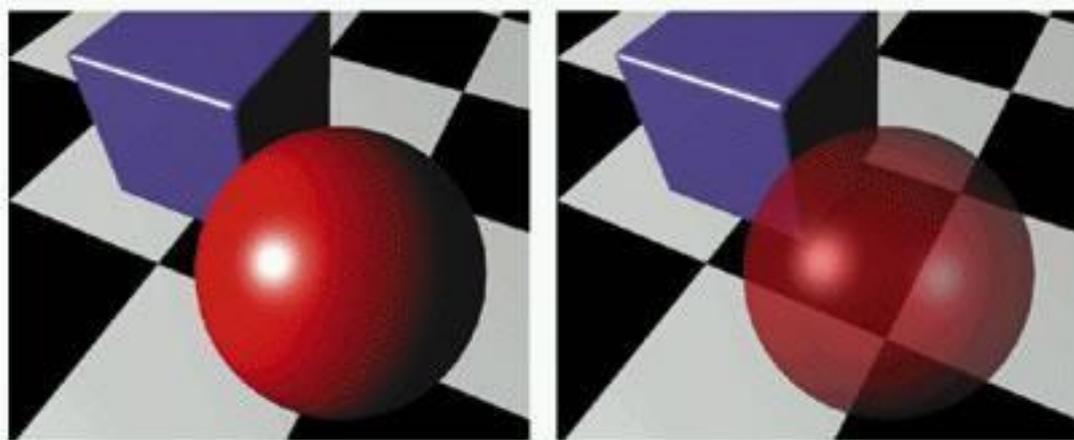
Funciones de combinación

GL_MODULATE



Transparencias (blend)

- OpenGL permite controlar la forma en la que los pixels de las primitivas que estamos dibujando son mezclados con los ya existentes en el *colorbuffer*.
- Para ello es necesario activar la funcionalidad de *blending* usando: `glEnable(GL_BLEND);`



Factores de combinación

- Durante el *blending* los pixels de la primitiva (fuente) son combinados con los ya existentes en el buffer (destino).
- La forma como se combinan se define usando:
 - `glBlendFunc(factorFuente, factorDestino);`
- Cada factor es un valor RGBA que multiplica a los valores fuente y destino respectivamente.
- El valor final se obtiene sumando ambos resultados:
 - $\text{final} = (\text{fuente} * \text{factorFuente} + \text{destino} * \text{factorDestino})$

Constantes de combinación

- La siguiente tabla muestra los diferentes factores de combinación que utiliza OpenGL

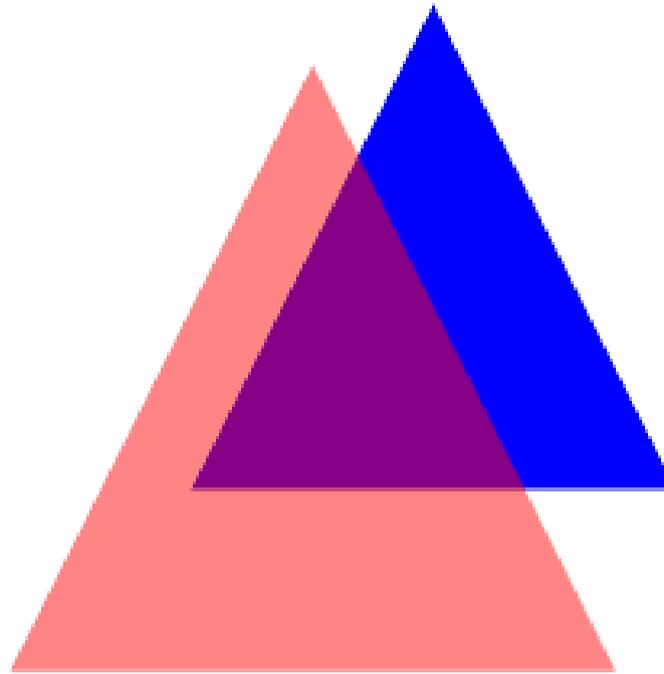
<u>Constant</u>	<u>Relevant Factor</u>	<u>Computed Blend Factor</u>
GL_ZERO	source or destination	(0, 0, 0, 0)
GL_ONE	source or destination	(1, 1, 1, 1)
GL_DST_COLOR	source	(R_d, G_d, B_d, A_d)
GL_SRC_COLOR	destination	(R_s, G_s, B_s, A_s)
GL_ONE_MINUS_DST_COLOR	source	$(1, 1, 1, 1) - (R_d, G_d, B_d, A_d)$
GL_ONE_MINUS_SRC_COLOR	destination	$(1, 1, 1, 1) - (R_s, G_s, B_s, A_s)$
GL_SRC_ALPHA	source or destination	(A_s, A_s, A_s, A_s)
GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA	source or destination	$(1, 1, 1, 1) - (A_s, A_s, A_s, A_s)$
GL_DST_ALPHA	source or destination	(A_d, A_d, A_d, A_d)
GL_ONE_MINUS_DST_ALPHA	source or destination	$(1, 1, 1, 1) - (A_d, A_d, A_d, A_d)$
GL_SRC_ALPHA_SATURATE	source	$(f, f, f, 1); f = \min(A_s, 1 - A_d)$

Constantes de combinación

- La transparencia se logra usando:

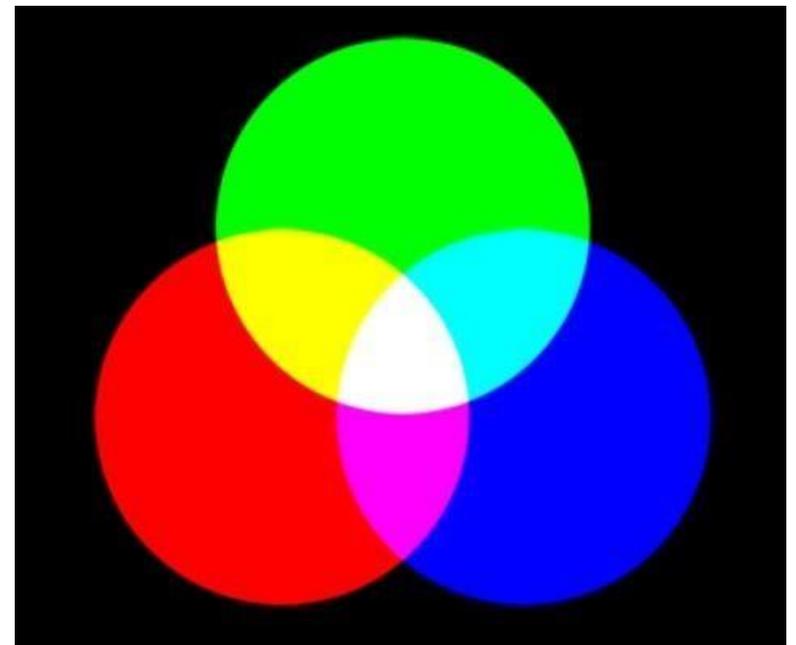
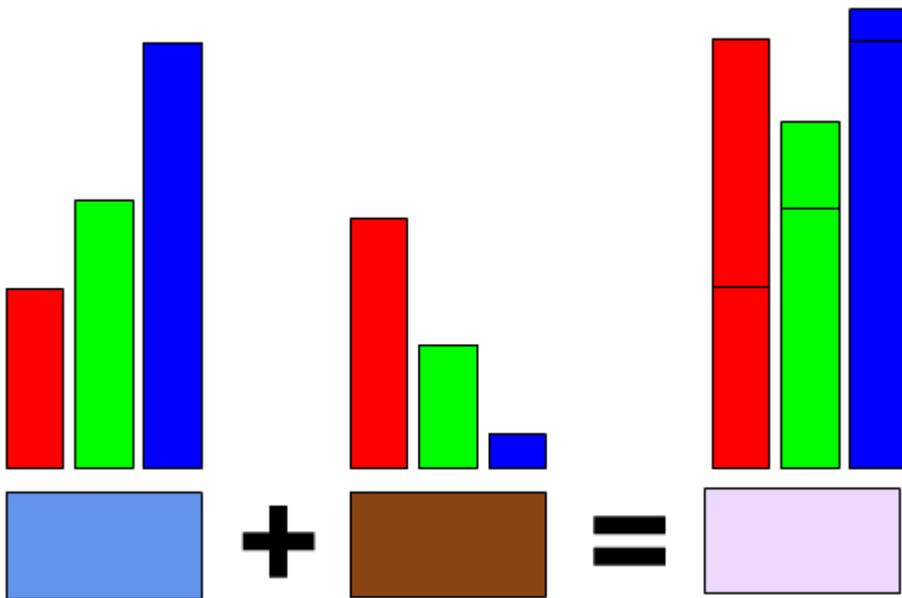
```
glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA)
```

- Hay que dibujar primero las primitivas más lejanas y luego las más cercanas.



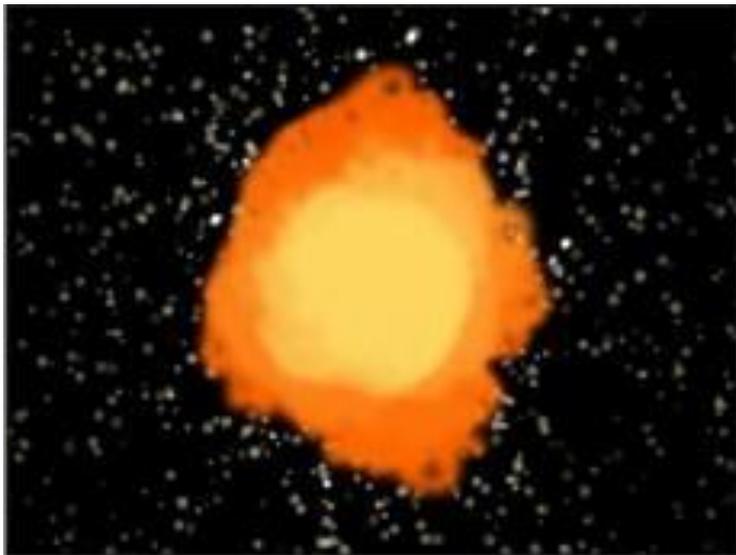
Additive Blending

- `glBlendFunc (GL_ONE, GL_ONE)`
- Esta función de combinación es conmutativa.
- Los colores tienden a quedar más claros.

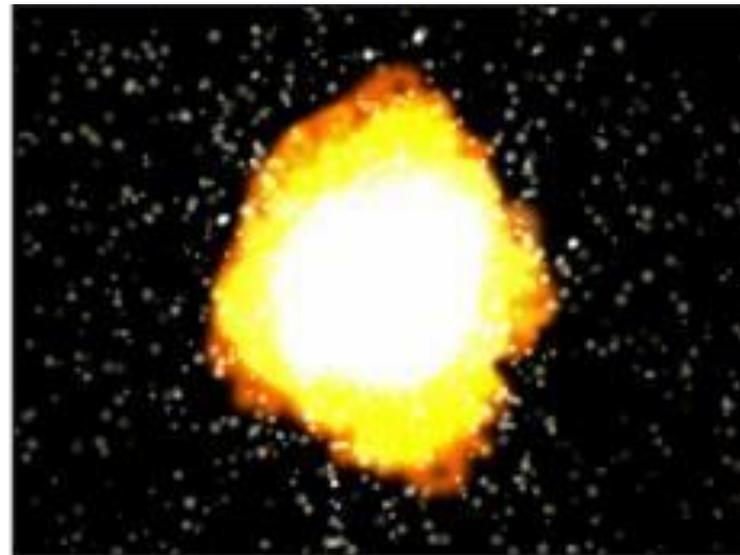


Additive Blending

- Se puede utilizar para dejar una textura más brillante.
- Se dibuja la primer vez sin *blending* y la segunda vez (la misma textura en el mismo lugar) activando este *blend*.



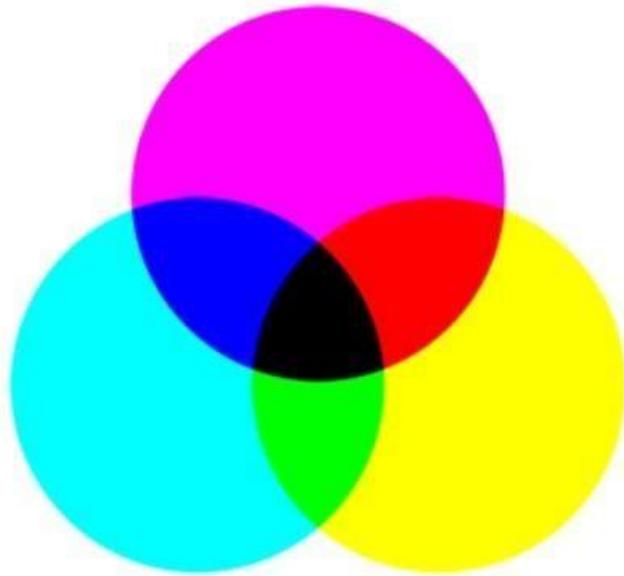
Additive Blend off



Additive Blend on

Subtractive Blending

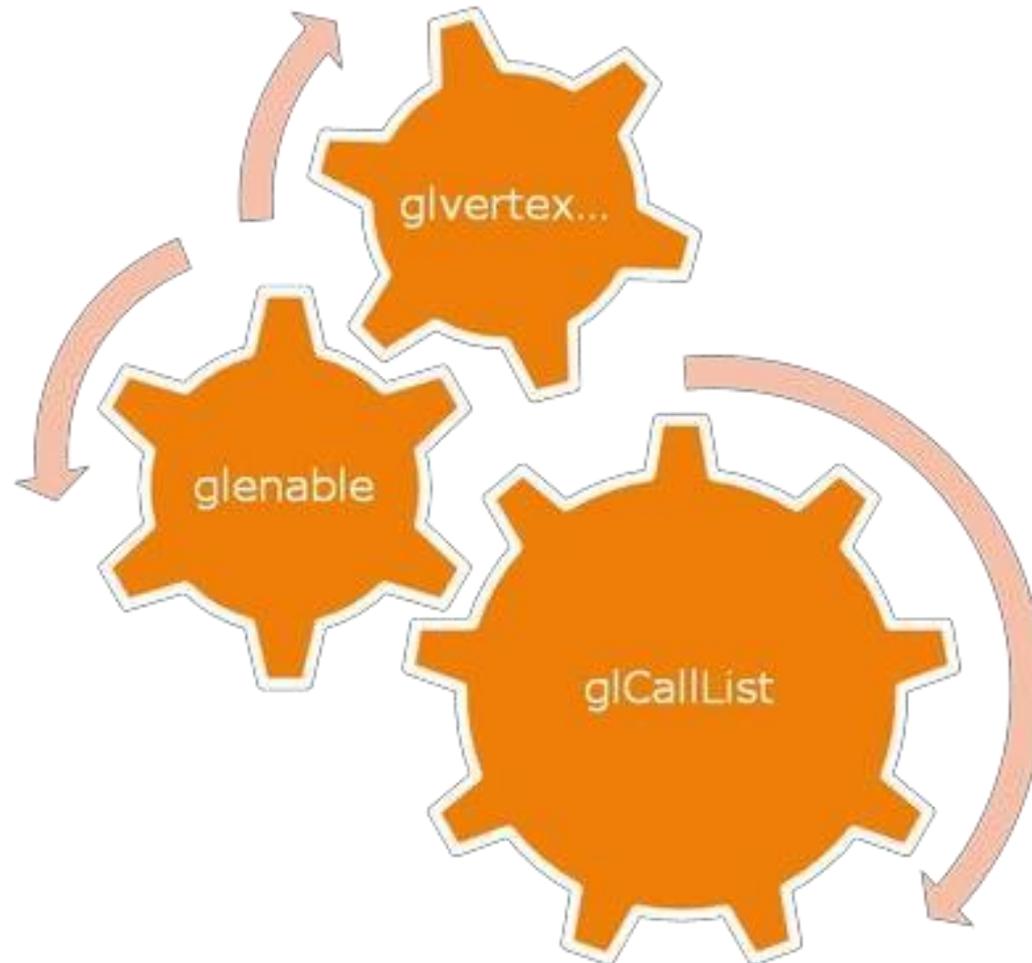
- `glBlendFunc (GL_ZERO,
GL_ONE_MINUS_SRC_COLOR)`
- Los colores tienden a quedar más oscuros



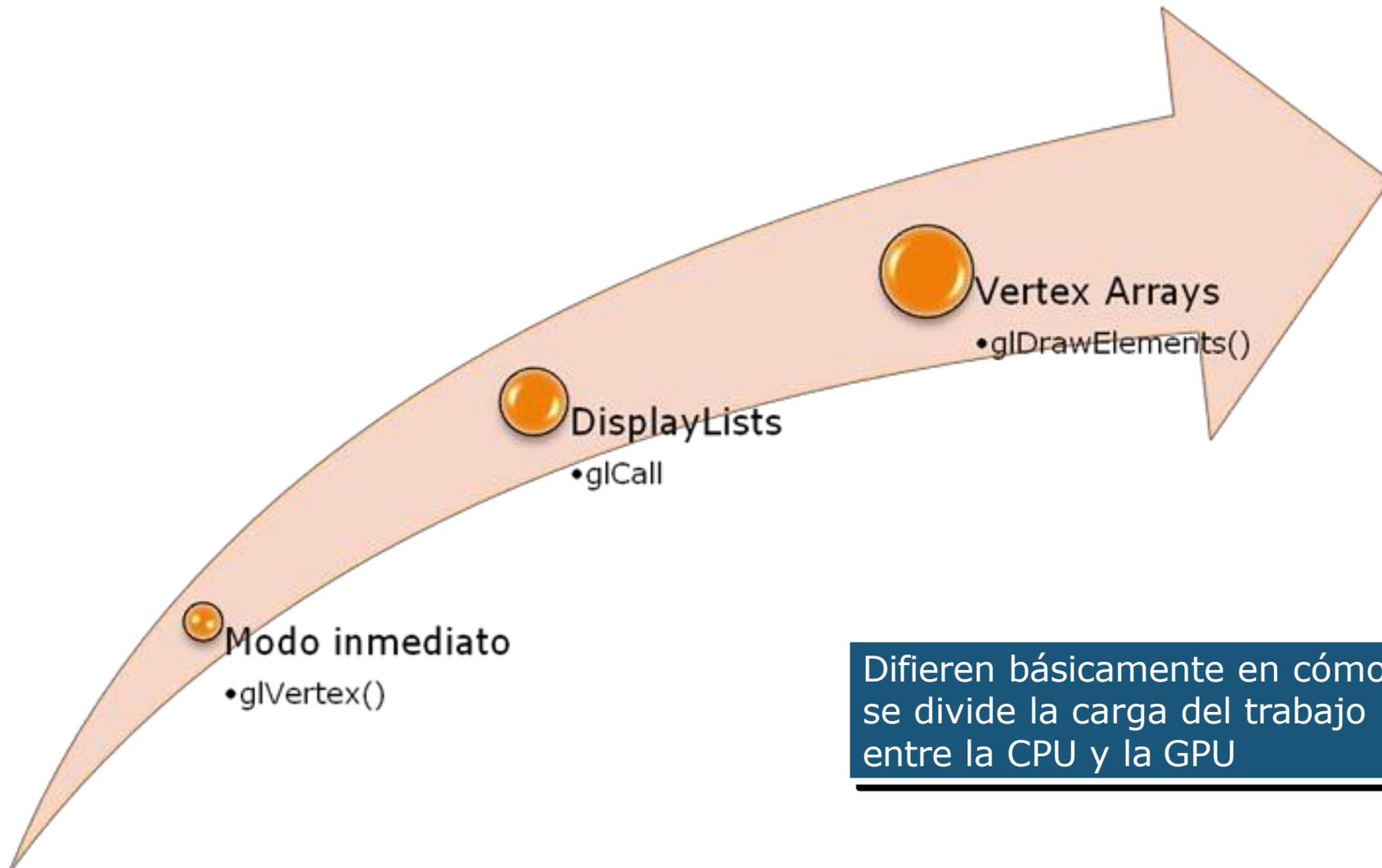
A tener en cuenta...

- Las transparencias no son compatibles con el Z-Buffer.
 - Los polígonos transparentes no ocluyen a los que tienen menor Z.
- Deshabilitar el Z-Buffer obliga a dibujar la geometría en orden.
- Una alternativa es:
 1. Dibujar primero la geometría opaca con el Z-Buffer activado
 2. Dibujar luego la geometría transparente con el Z-Buffer desactivado. Tener en cuenta el orden!

Uso eficiente del hardware



Modos de funcionamiento



Difieren básicamente en cómo se divide la carga del trabajo entre la CPU y la GPU

Modos de funcionamiento

- **Modo inmediato o directo**

- Las primitivas son enviadas al *pipeline* y desplegadas una a una.
- No hay memoria de las entidades gráficas que pasaron.

- **Ejemplo:**

```
glTexCoord3f (...);  
glVertex3f (...);           //primer vértice  
glTexCoord3f (...);  
glVertex3f (...);           //segundo vértice
```

Modos de funcionamiento

- **Display Lists**

- Se puede almacenar una secuencia de comandos OpenGL para ser utilizados luego.
- Las *Display Lists* se compilan y almacenan en el servidor gráfico (GPU)
- Pueden ser desplegadas con diferentes estados (aplicado a toda la compilación)
- Hay ciertos comandos OpenGL que no son compilados (ver la especificación de `glNewList`)

Modos de funcionamiento

- **Display Lists (cont.)**
- **Ejemplo**

```
int displayList = glGenLists(1);
glNewList(displayList, GL_COMPILE);
    glBegin(...);
    glVertex3f(...);
    glVertex3f(...);
    glEnd();
glEndList();
glCallList(displayList);    //dibujando
glTranslatef(...);
glCallList(displayList);    //dibujando
```

Modos de funcionamiento

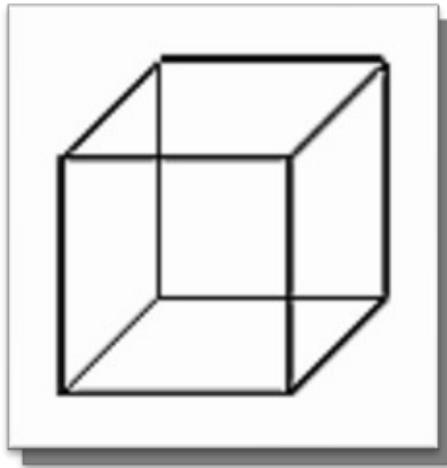
- **Vertex Arrays**

- Se pueden ejecutar muchas primitivas gráficas con una sola llamada a OpenGL.
- Los datos se almacenan en *buffers* de estructura fija, lo que permite una gran optimización.
- Los vertex arrays proveen mejor rendimiento de las aplicaciones porque formatean los datos para un mejor acceso de memoria.

Modos de funcionamiento

- **Vertex Arrays (cont.)**

- Cuando se dibuja un cubo, se tiene que transmitir 3 veces la información de cada vértice



- Usando *vertex arrays* se almacena la información de cada vértice sólo una vez en el hardware gráfico, que luego se la puede utilizar varias veces (menos invocaciones a funciones de OpenGL)

Modos de funcionamiento

- **Vertex Arrays (cont.)**
 - Se pueden manejar hasta 6 arrays con información
 - VERTEX_ARRAY
 - COLOR_ARRAY
 - NORMAL_ARRAY
 - TEXTURE_COORD_ARRAY
 - EDGE_FLAG_ARRAY
 - INDEX_ARRAY

Modos de funcionamiento

- **Vertex Arrays (cont.)**
- **Ejemplo**

```
GLfloat colores[24] = {...}; //8 colores  
GLfloat vertices[24] = {...}; //8 vértices  
GLubyte indices[24] = {...}; //6 quads
```

```
glEnableClientState(GL_COLOR_ARRAY);  
glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);  
glColorPointer(3, GLfloat, 0, colores);  
glVertexPointer(3, GLfloat, 0, vertices);  
glDrawElements(GL_QUADS, 24,  
               GL_UNSIGNED_BYTE, indices);
```

Temas avanzados

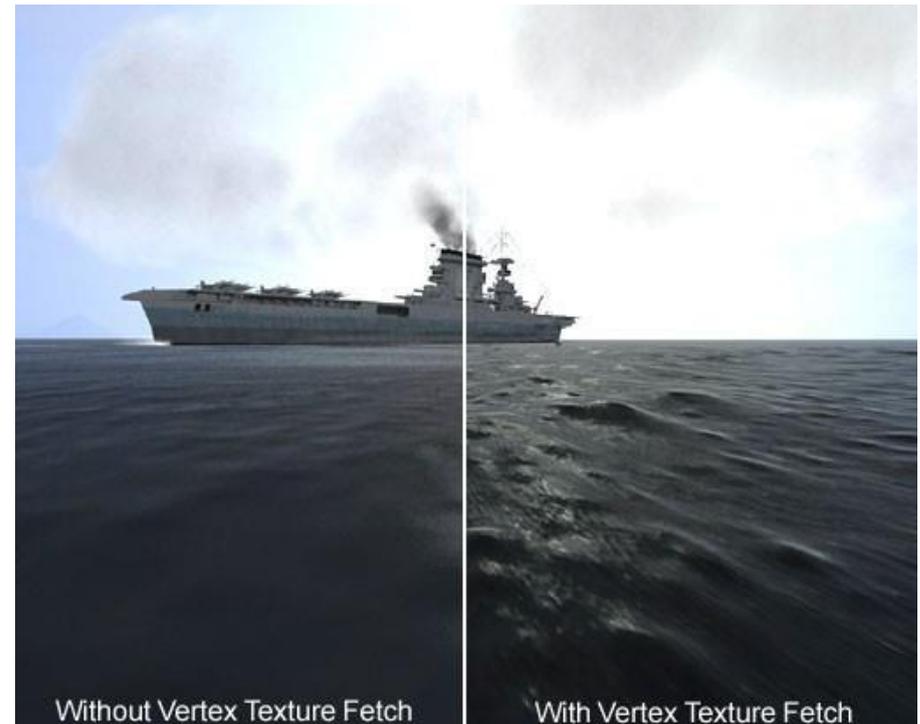
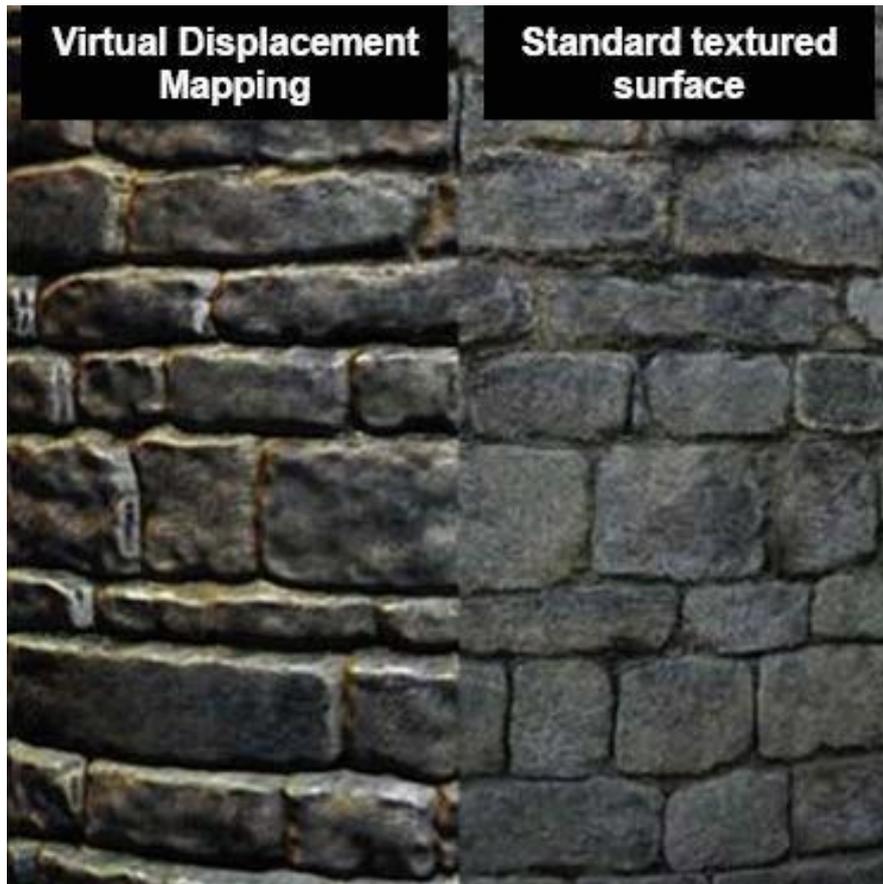


Shaders

- Sistema mediante el cual se puede asociar un programa a cada punto que es procesado por la tarjeta de video.
- Las primeras versiones eran muy limitadas en cuanto al tamaño del programa asociado.
- Las últimas versiones soportan loops y arrays.
- Permiten implementar el modelo de iluminación de Phong en tiempo real.

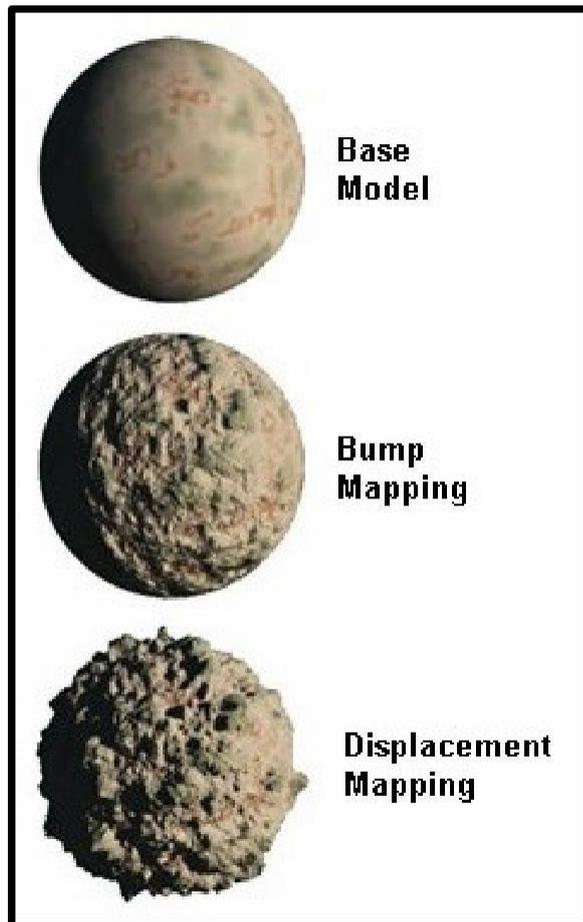
Ejemplos

- Generación de imágenes foto-realistas



Ejemplos

- Se puede aumentar la calidad del modelo sin aumentar la cantidad de polígonos.



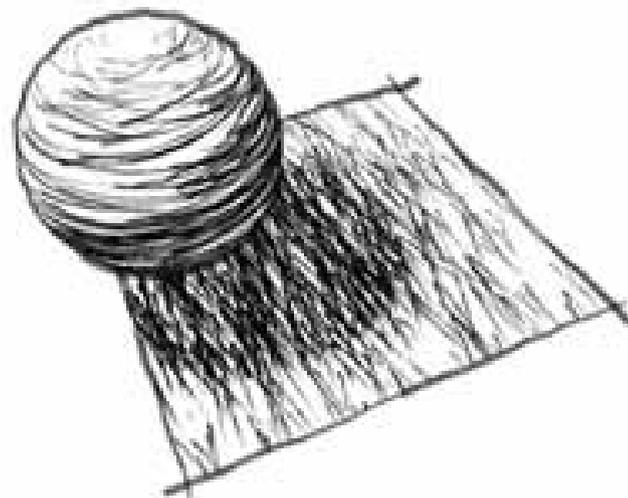
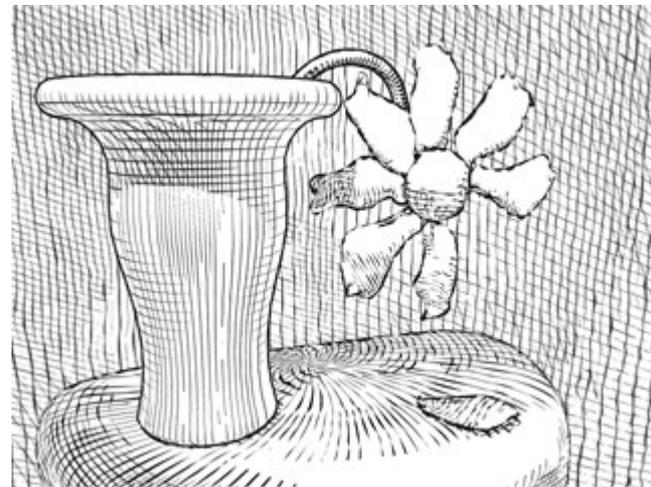
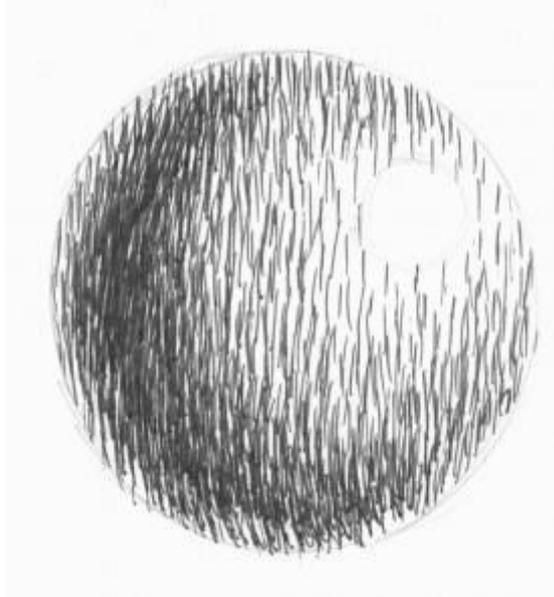
Ejemplos

- Efectos no foto-realistas (cel shading)



Ejemplos

- Efectos no foto-realistas (hatching shader)



Documentación

- Especificación
 - <http://www.opengl.org/documentation/specs/version1.5/glspec15.pdf>
- OpenGL Reference Manual
 - http://www.opengl.org/documentation/blue_book/
- OpenGL Programming Guide
 - http://www.opengl.org/documentation/red_book/
- Otra información
 - <http://www.opengl.org/>
 - <https://www.khronos.org/opengl/>