



Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Materialles y Texturas

Características de los materiales

Texturas

Antialiasing



Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Características de los materiales

Luz percibida

- ▶ Al mirar un punto de la superficie de un objeto iluminado percibimos la luz que refleja
- ▶ Si conocemos el **campo de luz** (irradiancia) y la **respuesta del material** (BSDF) podemos calcular la luz percibida
- ▶ En los modelos locales usamos la irradiación procedente directamente de las fuentes. El resto se estima.



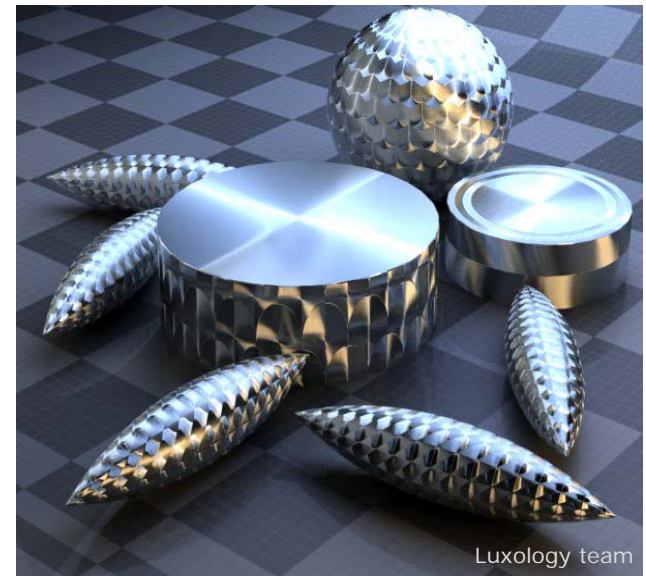
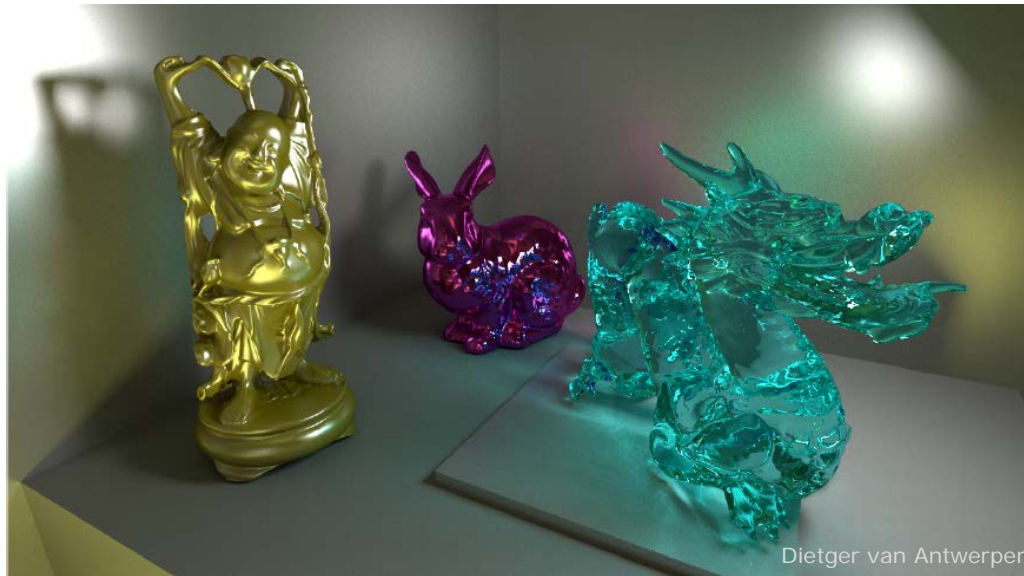
ecuación de iluminación simplificada

$$L_r = f_r \sum L_i \cos \theta_i$$

respuesta del material

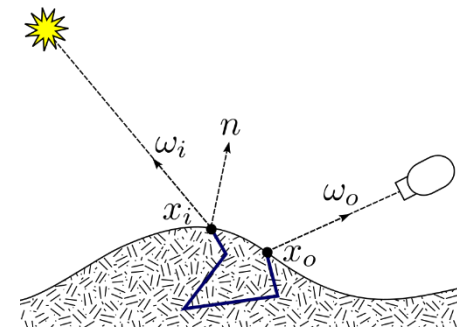
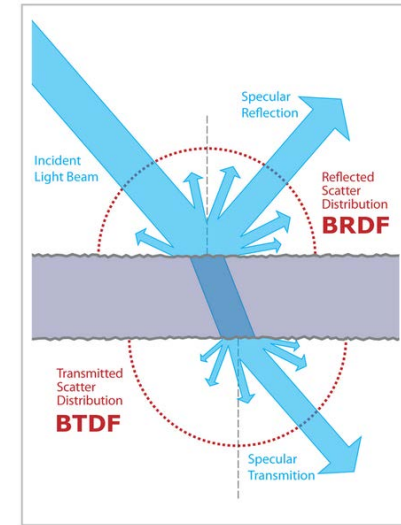


Respuesta del material

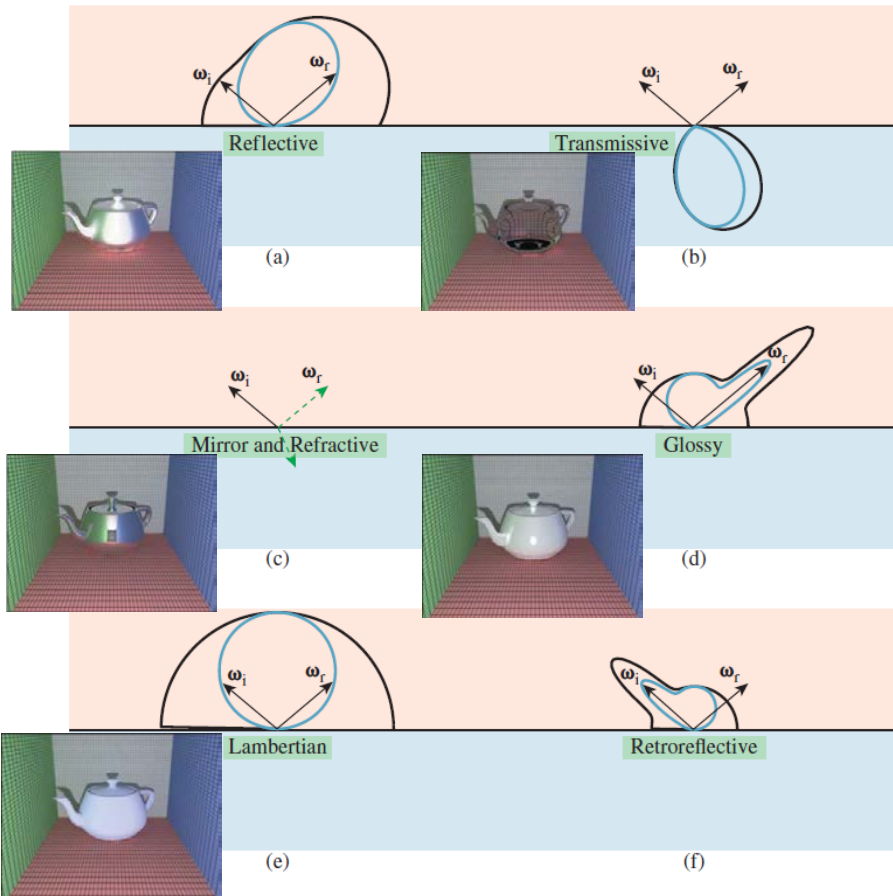


Respuesta del material

- ▶ Cada material, al ser iluminado, responde dispersando la luz de forma diferente
- ▶ La respuesta depende de la longitud de onda, el ángulo de incidencia de la luz, la polarización, la posición desde donde se observa, el tipo de material (dieléctrico, metálico), la traslucencia, la rugosidad, la orientación de las microfacetas, etc
- ▶ Idealmente, se definen las funciones (**BSDF**) que, en cada punto, relacionan la irradiación en una dirección con la radiancia emitida en otra:
 - ▶ Función de distribución de la **reflectancia** bidireccional BRDF
 - ▶ Función de distribución de la **trasmitancia** bidireccional BTDF
 - ▶ Función de distribución de la **reflectancia por dispersión interna** bidireccional BSSRDF



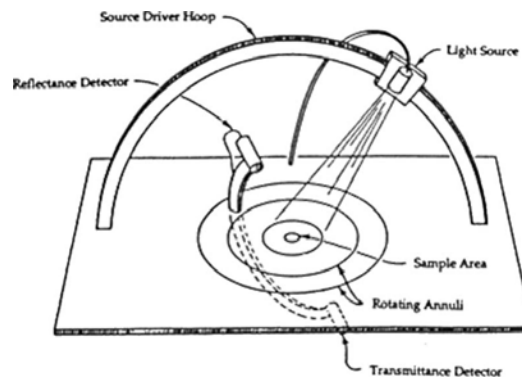
Tipos de BSDF



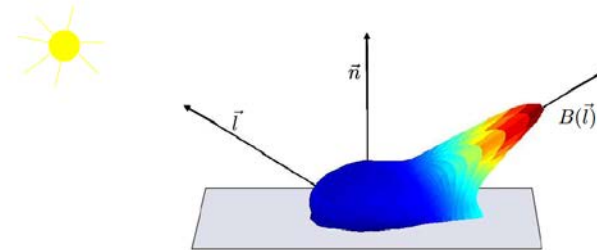
- ▶ La función BSDF es la curva en negro
- ▶ La curva en azul representa la densidad de probabilidad de que un fotón salga despedido en esa dirección
- ▶ Por ejemplo, la relación entre las curvas en (e) viene dada por el coseno entre la normal y la dirección de salida

- a) Cuerpo reflectivo genérico
- b) Cuerpo traslúcido genérico
- c) Reflexión y refracción ideales
- d) Cuerpo con brillos
- e) Cuerpo difuso ideal
- f) Cuerpo con retrorreflexión

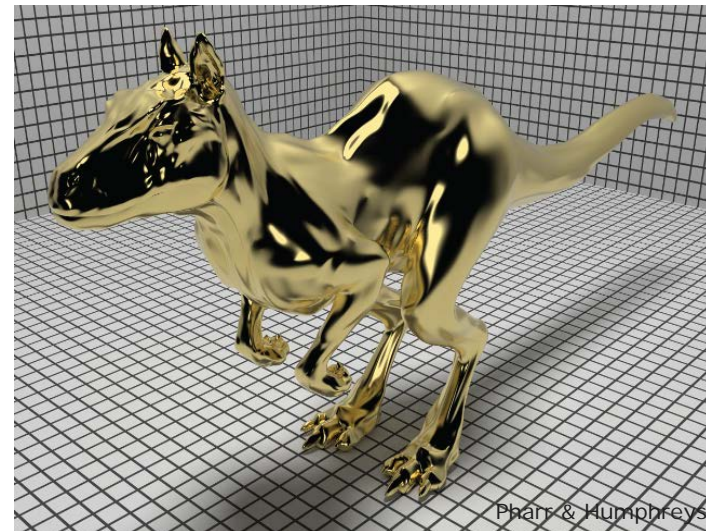
Medición de la BSDF



goniorreflectómetro



BRDF del plástico PVC



Render basado en la BRDF real del oro

Modelado de la BRDF

- ▶ **Materiales mates: reflexión difusa**
 - ▶ reflexión en todas direcciones
 - ▶ lambertiano
 - ▶ reflexión uniforme en todas direcciones
- ▶ **Materiales pulidos: brillos**
 - ▶ reflexión preferente en una dirección
 - ▶ especular
 - ▶ reflexión sólo en la dirección de reflexión perfecta



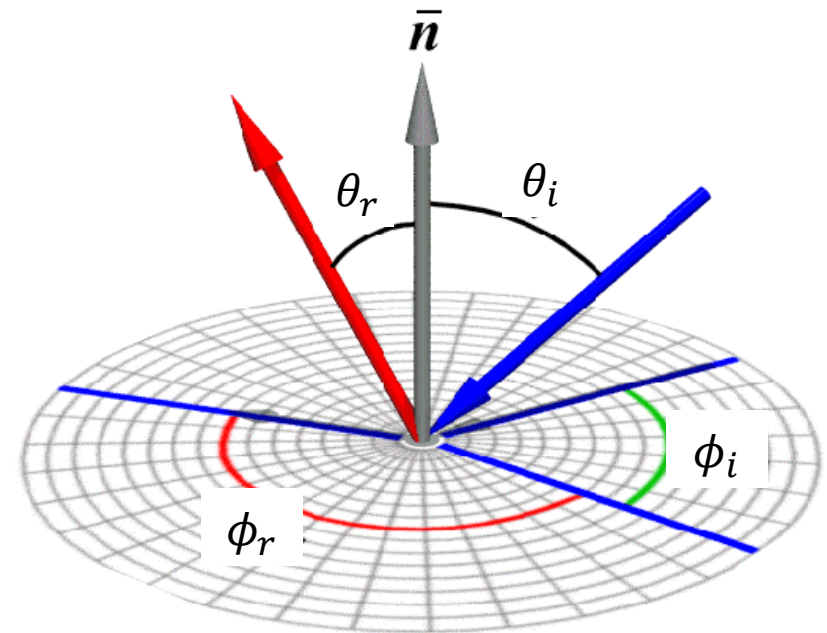
BRDF

- ▶ La BRDF relaciona la radiancia saliente con la irradiación entrante
- ▶ Una magnitud intuitiva es la razón entre el flujo entrante y el saliente debido a éste. Reflectancia o albedo

$$\rho(\Omega_i \rightarrow \Omega_r) = \frac{\int d\Phi_r}{\int d\Phi_i}$$

- ▶ Debe ser menor que 1 para que se conserve la energía
- ▶ Dependiendo del espacio de integración (dirección, haz, hemiesfera) podemos definir 9 reflectancias
 - ▶ la reflectancia direccional-hemiesférica es lo que llamamos **factor de reflexión** cuando usamos fuentes puntuales

$$f_r(\vec{x}, \vec{w}_i, \vec{w}_r) = \frac{L_r(\vec{x}, \theta_r, \phi_r)}{dH_i(\vec{x})} = \frac{L_r(\vec{x}, \theta_r, \phi_r)}{L_i(\vec{x}, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i dw_i}$$



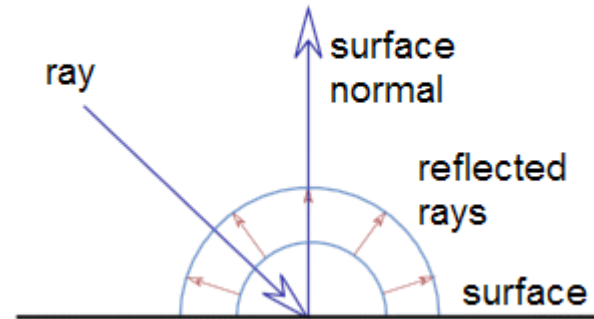
$$\rho(\vec{w}_i \rightarrow \Omega_r) = \frac{\iint_{S, \Omega_r} d\Phi_r}{\int_S d\Phi_i}$$

Modelo de Lambert

- ▶ La reflexión es uniforme
- ▶ La BRDF es constante
- ▶ El material se caracteriza por el factor de reflexión difusa $\rho = k_{dRGB}$ (color del objeto)
- ▶ $f_r = \rho / \pi$
- ▶ El factor de reflexión puede descomponerse en un escalar constante y un color que puede variar a lo largo de la superficie

$$\rho = k_{dRGB} = k_d \cdot O_{RGB}$$

Diffuse surface



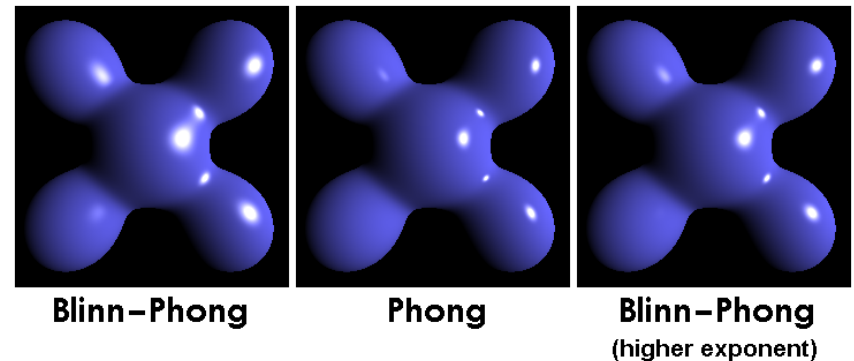
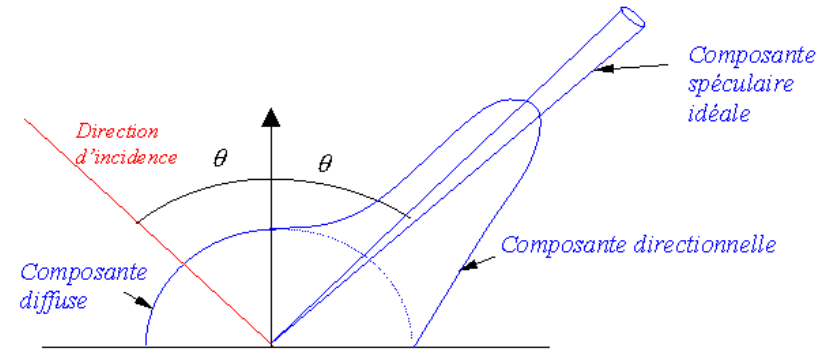
Modelo de Blinn-Phong

- ▶ Añade una componente direccional a la BRDF en la dirección de reflexión perfecta
- ▶ La consecuencia es la aparición de brillos
- ▶ Phong:

$$f_r = \frac{1}{\pi} [k_{dRGB} + k_{sRGB} (\vec{r} \cdot \vec{v})^n]$$

- ▶ Blinn:

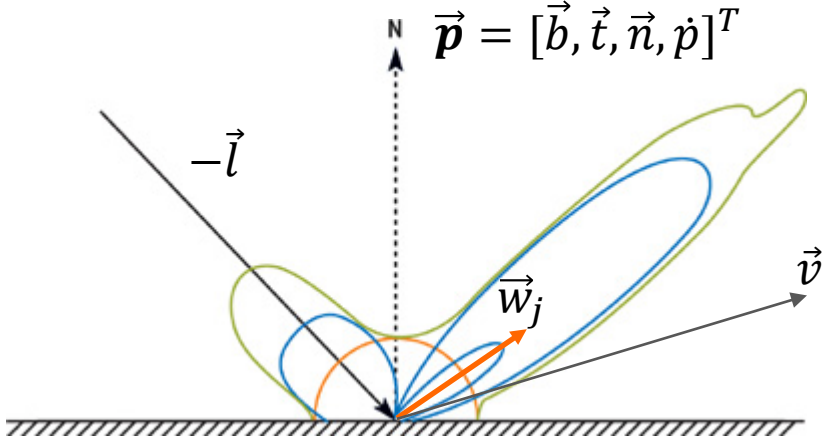
$$f_r = \frac{1}{\pi} [k_{dRGB} + k_{sRGB} (\vec{n} \cdot \vec{h})^s]$$



Modelo de Lafortune

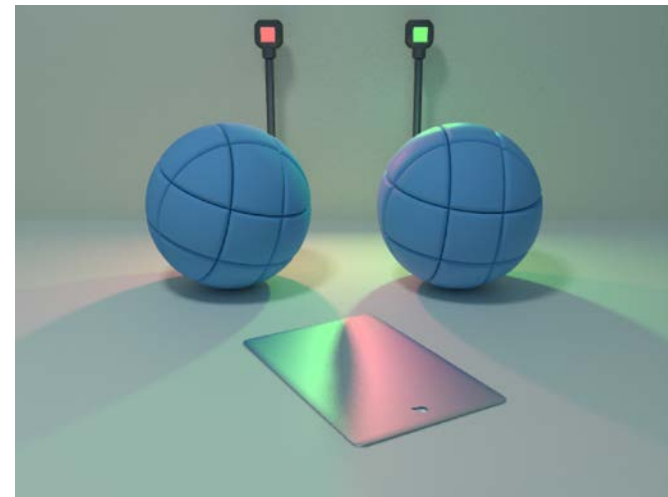
- ▶ Múltiples lóbulos frente al único del modelo de Phong
- ▶ En un modelo a medio camino entre la física observada (BRDF medida) y la conveniencia de representación mediante potencias del coseno
- ▶ Cada lóbulo viene definido por un vector director \vec{w}_j
- ▶ La BRDF es la suma de todos los lóbulos

$$\mathbf{w}_j = \begin{bmatrix} a_{jb} l_b \\ a_{jt} l_t \\ a_{jn} l_n \end{bmatrix}$$



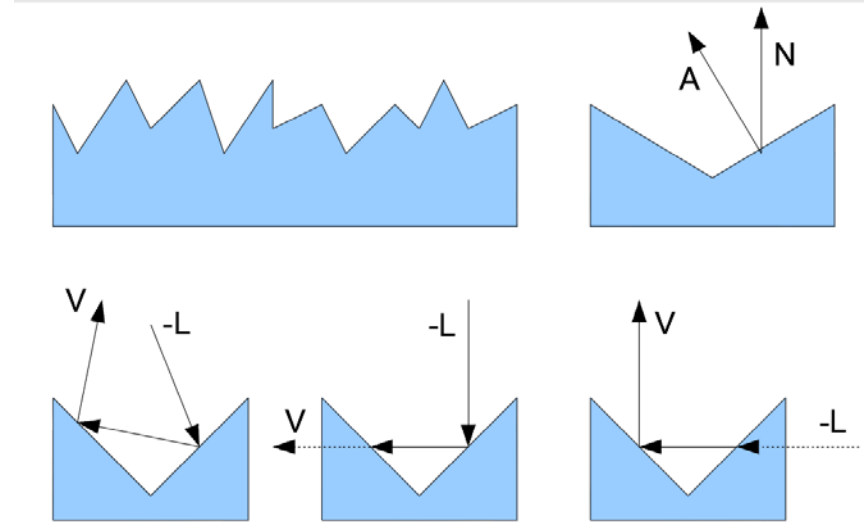
$$\vec{p} = [\vec{b}, \vec{t}, \vec{n}, \rho]^T$$

$$f_r = \frac{k_d}{\pi} + k_s \sum_{j=1}^n (\vec{v} \cdot \vec{w}_j)^{s_j} = \frac{k_d}{\pi} + k_s \sum_{j=1}^n (\mathbf{v}^T \mathbf{A}_j \mathbf{l})^{s_j}$$



Modelos físicos (PBR): μ Facetas

- ▶ La superficie está compuesta de μ facetas
- ▶ En cada valle se dan efectos de
 - ▶ Interreflexión
 - ▶ Apantallamiento
 - ▶ Sombra
- ▶ La radiancia en la dirección de observación viene atenuada por un factor geométrico
 $G(\vec{l}, \vec{v}, \vec{a}) \in [0,1]$ para las μ facetas con normal \vec{a} que tiene en cuenta el apantallamiento y la sombra



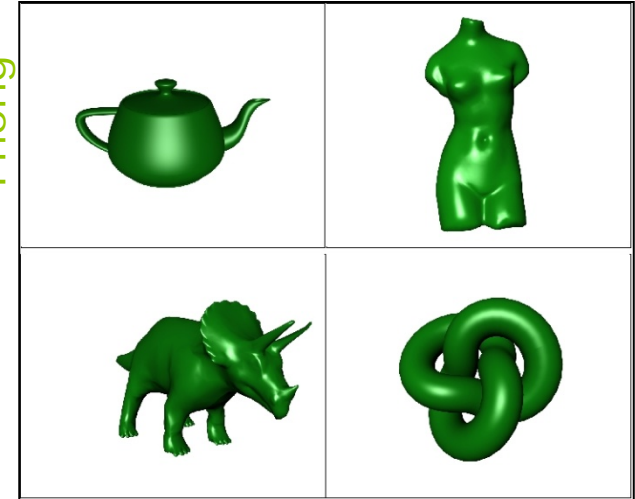
Modelo de Cook-Torrance

- ▶ Modelo físico de μ facetas espejo (reflexión especular)
- ▶ Cada μ facetas responde según la física de la luz en la interfase de dos medios (Fresnel) $F(\vec{n} \cdot \vec{l}, \eta, \lambda)$
- ▶ Como el espejo es ideal, sólo contamos las μ facetas que reflejan hacia el observador ($\vec{n} \equiv \vec{h}$)
 - ▶ Distribución de las μ facetas $D(\vec{h})$, fracción en la dirección que interesa
 - ▶ Probabilidad de obstrucción

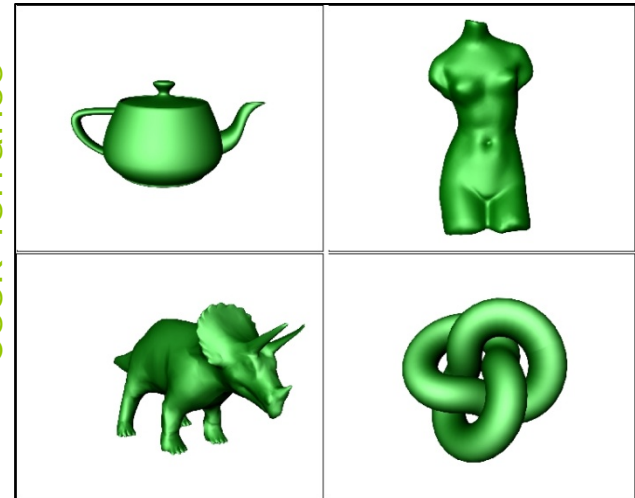
$$G(\vec{l}, \vec{v}, \vec{h})$$

$$f_r = \frac{1}{\pi} \left[k_{dRGB} + k_s \frac{F_{RGB}() \cdot D() \cdot G()}{(\vec{n} \cdot \vec{l})(\vec{n} \cdot \vec{v})} \right]$$

Phong



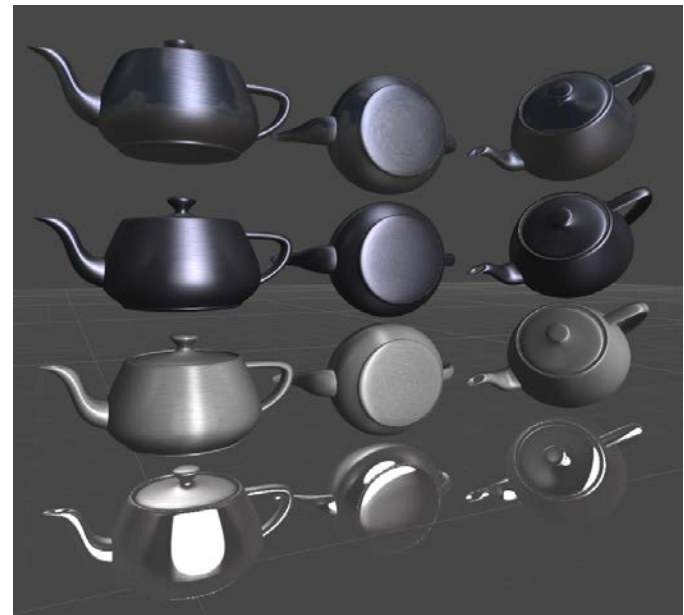
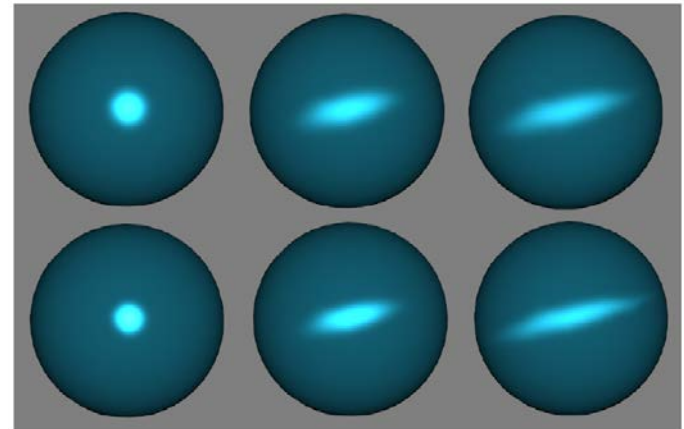
Cook-Torrance



Modelo de Ward

- ▶ Modelo empírico que tiene en cuenta la posible anisotropía (azimut) en la reflexión especular
- ▶ Considera dos factores de rugosidad σ_T y σ_B en las direcciones tangenciales
- ▶ La reflexión especular viene en función de \vec{t}, \vec{b}

$$f_r = \frac{1}{\pi} \left[k_{dRGB} + k_{sRGB} \frac{W(\vec{n}, \vec{h}, \vec{t}, \vec{b}, \sigma_T, \sigma_B)}{\sqrt{(\vec{n} \cdot \vec{l})(\vec{n} \cdot \vec{v})}} \right]$$



Modelo Oren-Nayar

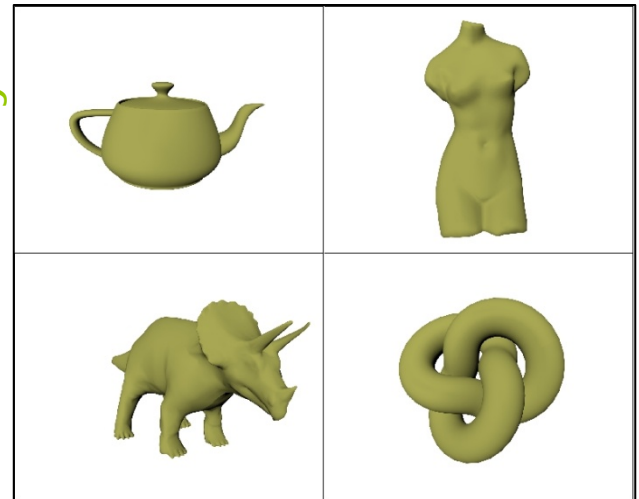
- ▶ Modelo físico de μ facetas difusores perfectos (reflexión difusa)
- ▶ Considera efectos como retrorreflexión mejor que Lambert
- ▶ Considera un factor de rugosidad σ como la desviación típica de la función de distribución de normales de las μ facetas
- ▶ La función $R()$ depende la rugosidad y la geometría de la reflexión

$$f_r = \frac{1}{\pi} [k_{dRGB} R(\vec{n}, \vec{l}, \vec{v}, \sigma) + k_{sRGB}]$$

Phong



Oren-Nayar





Resumen: BSDF

- ▶ Con la BSDF se quiere dar respuesta a los efectos observados
 - ▶ Reflejos nítidos en la superficie de un cristal o un espejo
 - ▶ Brillos más o menos concentrados de las superficies pulidas como los metales, plásticos, cerámicas, ...
 - ▶ La variación gradual del tono en superficies mates independientemente desde dónde se mire
 - ▶ El aspecto ligeramente translúcido de algunos materiales como el mármol, la cera o la piel
 - ▶ El paso de la luz a través del material translúcido
- ▶ La BSDF (Función de distribución de la dispersión bidireccional) se compone de
 - ▶ La BRDF que describe la reflexión
 - ▶ La BTDF que describe la transmisión
 - ▶ La BSDF que describe la reflexión por debajo de la superficie
- ▶ La BSDF en un punto de una superficie depende de
 - ▶ las propiedades del objeto en ese punto como el color, la rugosidad o la reactancia
 - ▶ la dirección de entrada de la luz (dirección de irradiación)
 - ▶ la dirección de salida de la luz (dirección de observación)



Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



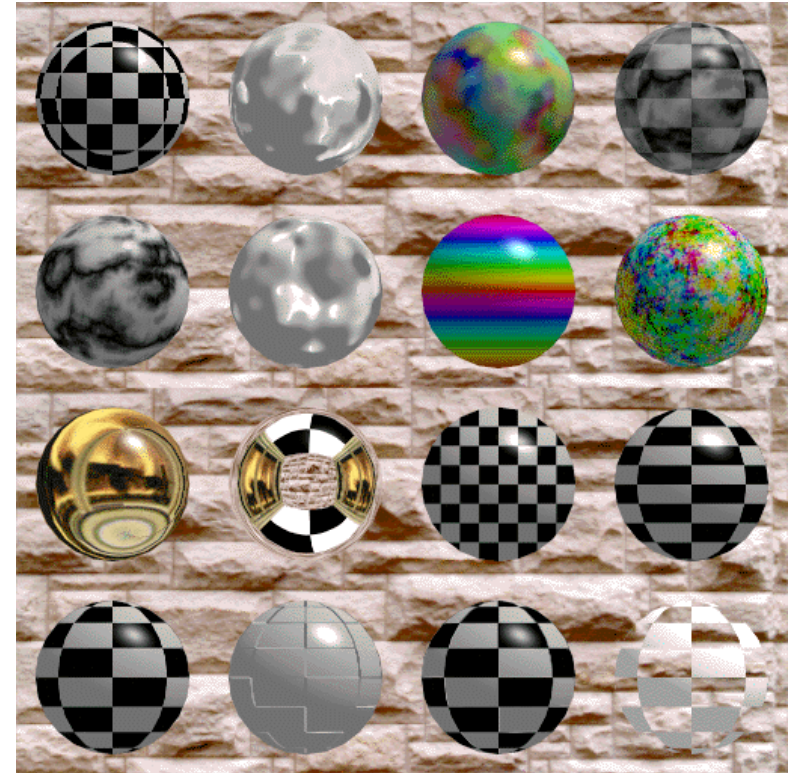
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Espacio de textura

Introducción

- ▶ ¿Qué son?
 - ▶ Definición: Una función evaluada en un punto utilizando sólo información local a ese punto que permite modificar el resultado del modelo de iluminación.
- ▶ ¿Qué consiguen?
 - ▶ Disminuir la apariencia plástica conferida por el modelo de Phong
 - ▶ Dotar a los objetos de un detalle superficial (pintado, abultamientos, veteado, etc) que enriquece el realismo de la imagen, sin aumentar el número de polígonos
 - ▶ Simular multitud de efectos: sombras, reflejos, entornos, rugosidad, ...
- ▶ ¿Dónde se aplican?
 - ▶ Generalmente en el shader de fragmentos



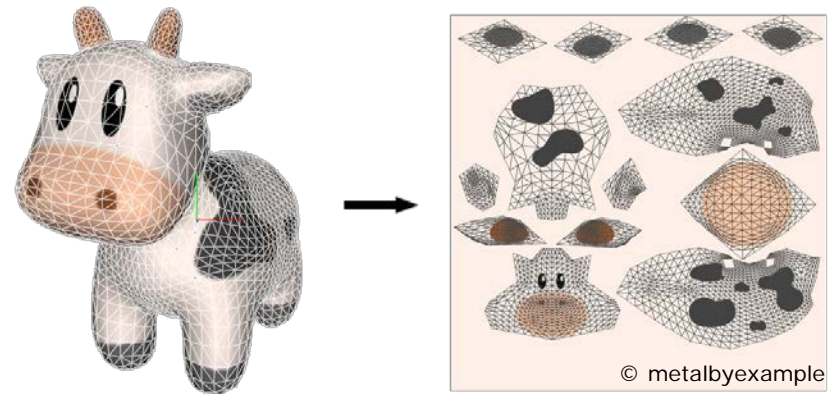
Fuente: University of Melbourne

Introducción

- ▶ Algunos atributos que se pueden modificar con texturas
 - ▶ El color en cada punto de la superficie (reflexión difusa)
 - ▶ La reflexión especular
 - ▶ La normal a la superficie
 - ▶ La situación del punto (desplazamiento)
 - ▶ La transparencia
 - ▶ La irradiación (mapas de sombras)

Introducción

- ▶ Evaluación de la textura
 - ▶ Por muestreo sobre el espacio de la textura (generalmente un bitmap)
 - ▶ Por un procedimiento (texturas procedurales)





Sección de
Informática
Gráfica
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



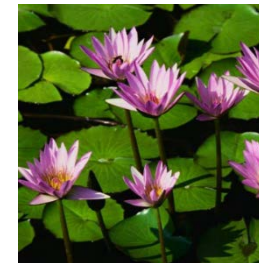
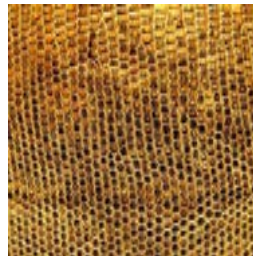
Texturas por superposición

texture mapping



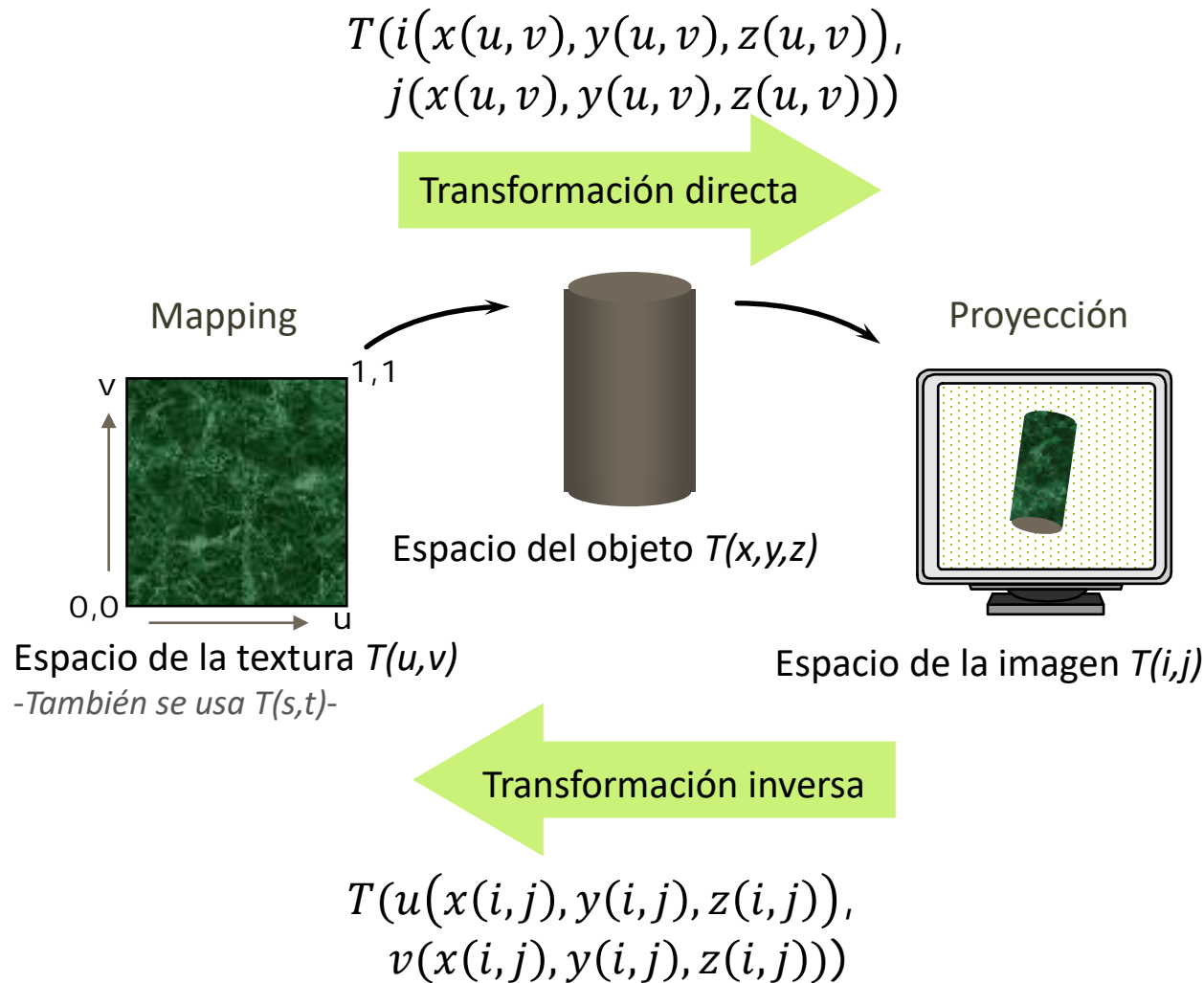
Texturas por superposición

- ▶ La textura modifica el color difuso en cada punto de la superficie del objeto
- ▶ El resultado es como si un imagen envolviera al objeto



Texturas por superposición

Espacios y transformaciones

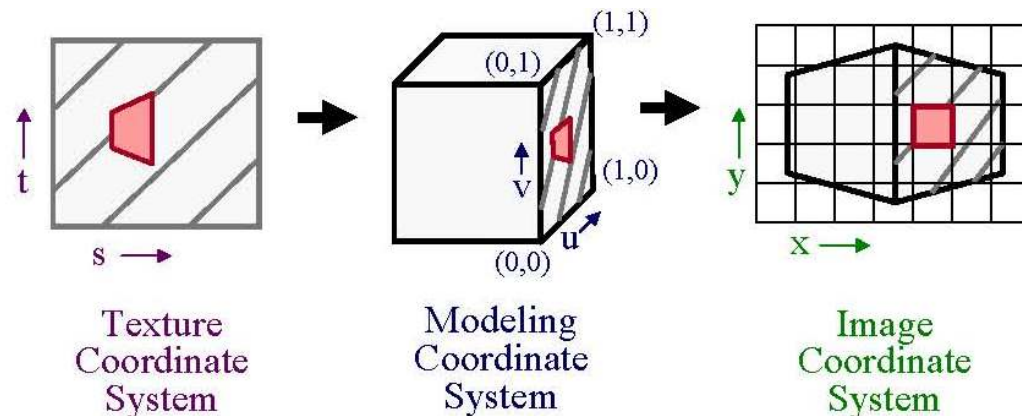


Texturas por superposición



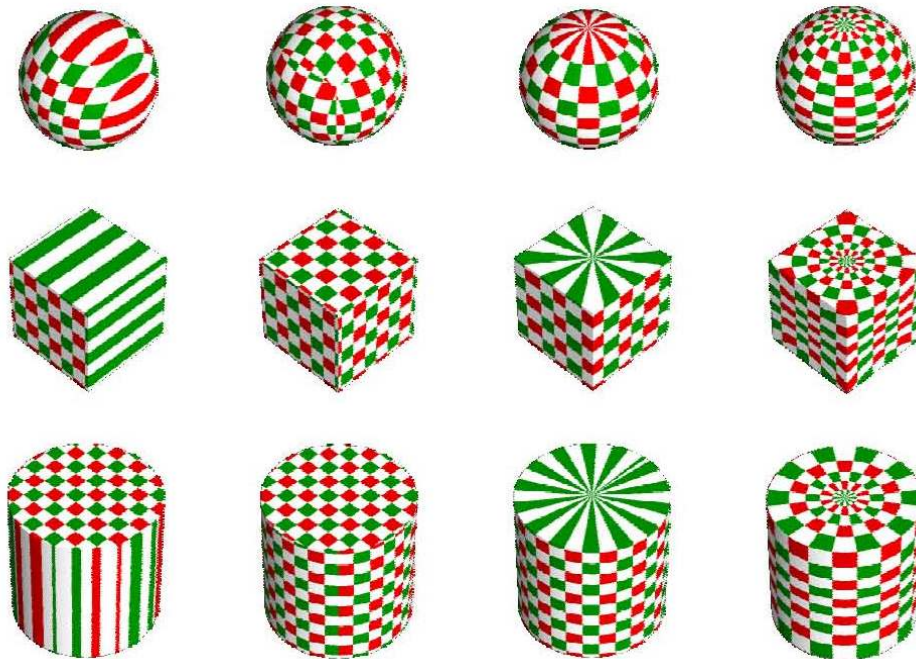
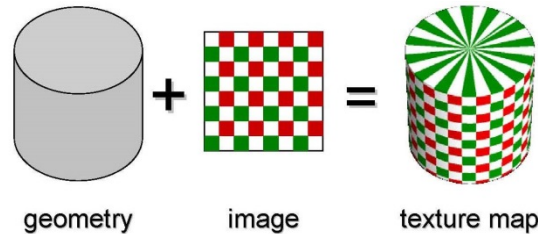
Pasos a seguir

- ▶ Definir la textura
- ▶ Especificar la correspondencia (*mapping*) de la textura a la superficie (coordenadas de textura por vértice)
- ▶ Calcular la correspondencia de la textura y la superficie proyectada en el *raster* (coordenadas de textura por fragmento) al *rasterizar*
- ▶ Desde el fragmento, muestrear la textura con el filtro adecuado y usar la muestra para modificar el color del fragmento



Texturas por superposición

Diferencias en el mapping



Texturas por superposición



Sección de
Informática
Gráfica

Computer
Graphics
Group



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Mapping

- ▶ El problema básico consiste en conseguir la función de mapeado directa o inversa, es decir, la relación entre el vértice y el téxel



$$\begin{aligned}x &= x(s, t); \quad y = y(s, t); \quad z = z(s, t) \\s &= s(x, y, z); \quad t = t(x, y, z)\end{aligned}$$

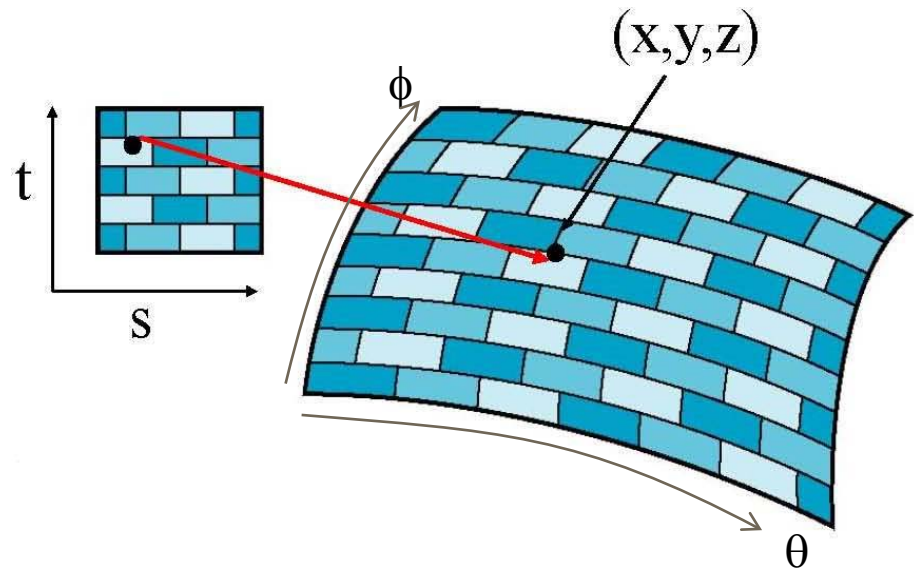
- ▶ Dos maneras:

- ▶ Manual

- ▶ Herramientas de autor para grafistas

- ▶ Automática

- ▶ Cálculo por distancias
- ▶ Superficies paramétricas

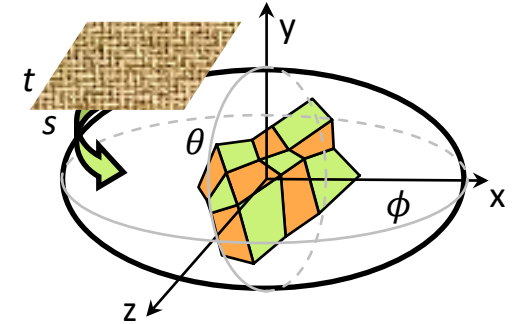


Texturas por superposición

Uso de superficie intermedia



- ▶ Cuando es difícil parametrizar la superficie original se usa una superficie auxiliar que sí lo es
 - ▶ 1º: correspondencia de la textura sobre una superficie auxiliar intermedia
 - ▶ 2º: correspondencia de la superficie auxiliar con la superficie del objeto

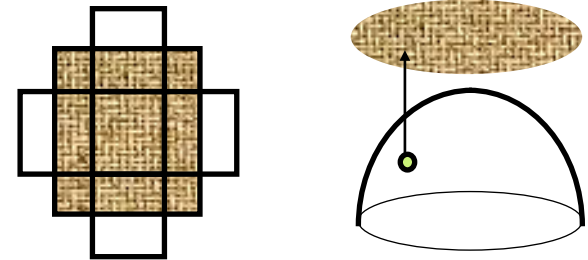


1º

Superficies
intermedias

$$(s, t) = T(\phi, \theta)$$

Plano
Superficie cilíndrica
Hemicubo
Semiesfera

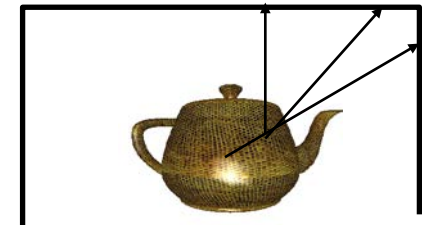


2º

Correspondencias
proyectivas

$$(\phi, \theta) = O(x, y, z)$$

Normal a la superficie del objeto
Centroide
Normal a la superficie intermedia



Texturas por superposición



Sección de
Informática
Gráfica

Computer
Graphics
Group

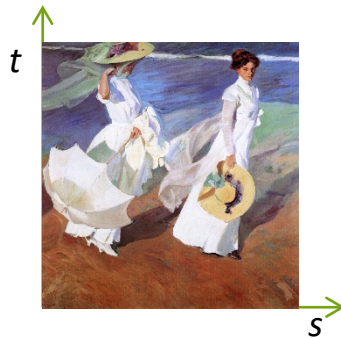


UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

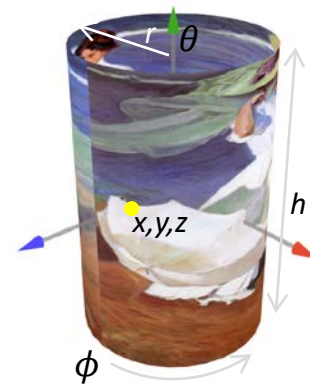
Correspondencia con superficie intermedia

► Mapeado Cilíndrico

- Si se mapea sobre el lateral no hay distorsión
- Se produce una costura para $s=0$ y $s=1$



$$T(\phi, \theta) \begin{cases} s = \phi/2\pi \\ t = \theta/h \end{cases}$$



$$\phi = \begin{cases} \arcsin(x/r) & \text{si } z \geq 0 \\ \pi - \arcsin(x/r) & \text{si } z < 0 \end{cases}$$

$$\theta = y + h/2$$

Texturas por superposición



Sección de
Informática
Gráfica

Computer
Graphics
Group

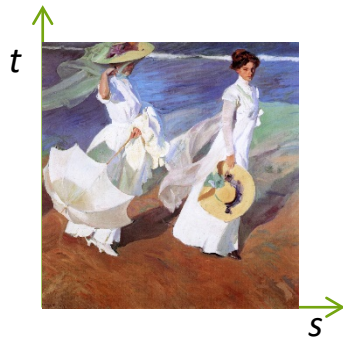


UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

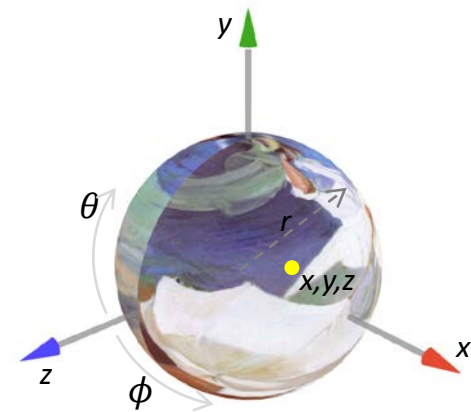
Correspondencia con superficie intermedia

► Mapeado Esférico

- Distorsión mayor cuanto más cerca de los polos
- Costura para $s=0, s=1$
- Habituales en mapas de entorno



$$T(\phi, \theta) \begin{cases} s = \phi / 2\pi \\ t = \frac{\theta}{\pi} + 1/2 \end{cases}$$



$$\phi = \begin{cases} \arcsin\left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}}\right) & \text{si } z \geq 0 \\ \pi - \arcsin\left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}}\right) & \text{si } z < 0 \end{cases}$$
$$\theta = \arcsin\left(\frac{y}{r}\right)$$

Texturas por superposición



Sección de
Informàtica
Gràfica
VALENCIA

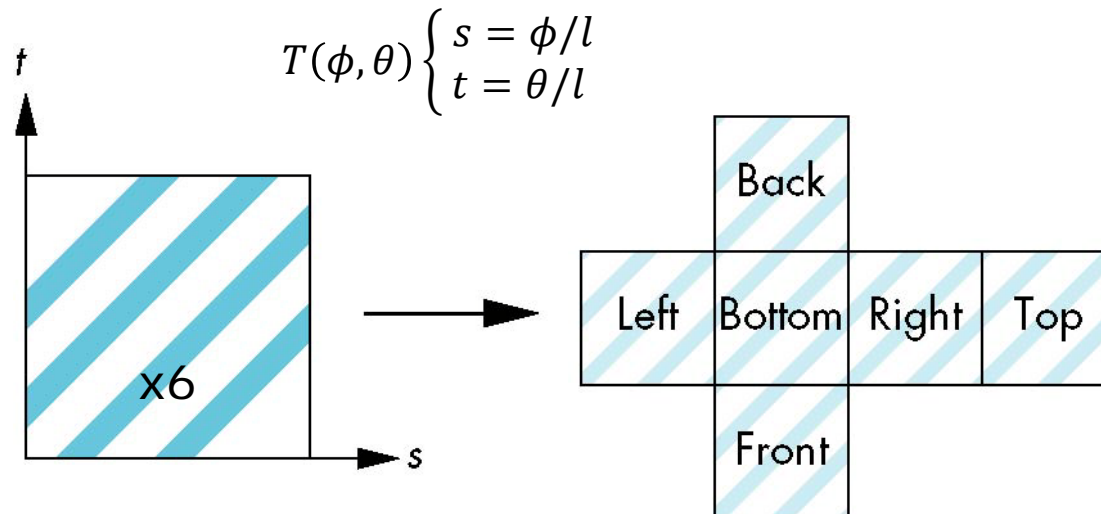
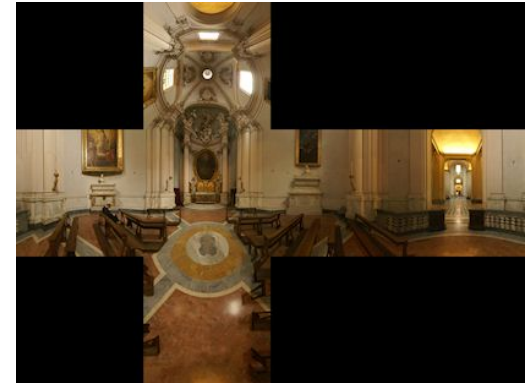


UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Correspondencia con superficie intermedia

► Mapeado Cúbico

- Mapeo de 6 texturas, una por cada cara del cubo
- Las 6 texturas forman una única en un mapa en 'cruz'
- Habitual como mapa de entorno

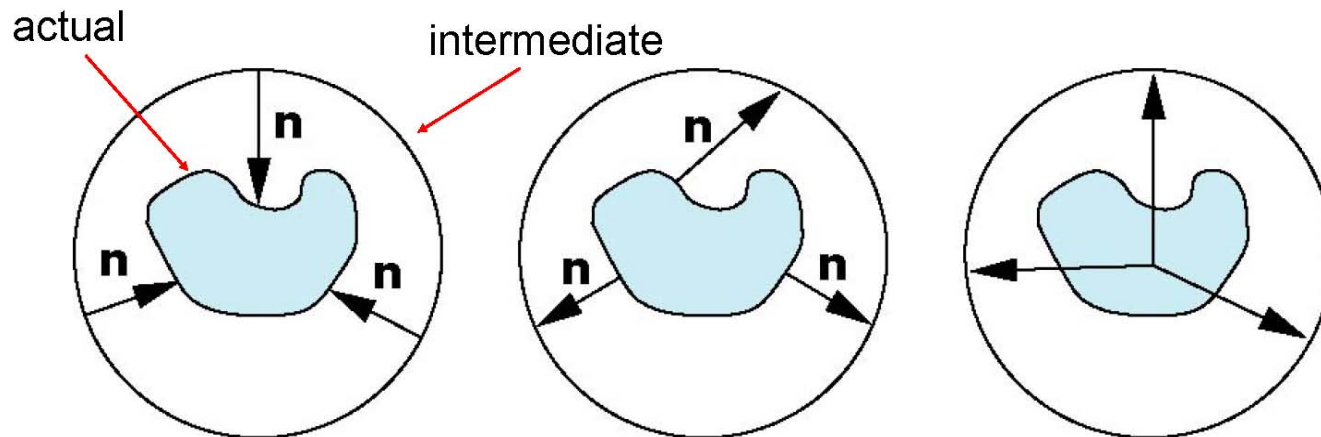


Texturas por superposición

Correspondencia proyectivas



- ▶ El segundo paso, consiste en mapear desde el objeto intermedio al objeto real, se pueden utilizar tres posibles estrategias:
 - ▶ Normales del objeto intermedio al real
 - ▶ Normales del objeto real al intermedio
 - ▶ Vectores desde el centroide del objeto intermedio



Texturas por superposición

Mapas uv para mallas poligonales



- ▶ Se utilizan diferentes proyecciones para los parches que forman la superficie
 - ▶ Se minimizan las distorsiones
 - ▶ Un vértice puede tener varias coordenadas de textura





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Mapas de entorno

Texturas por superposición



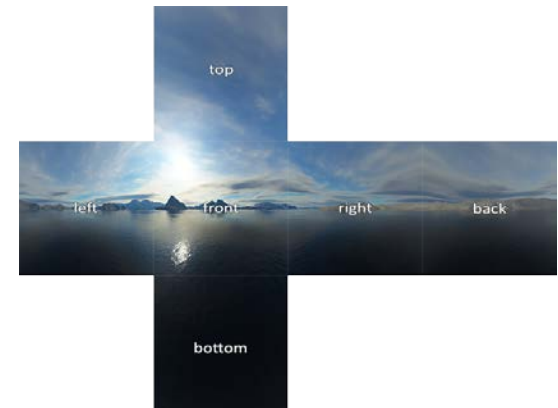
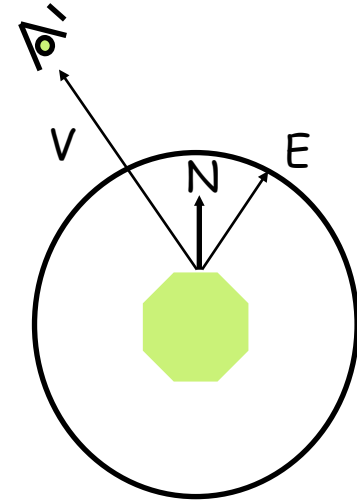
Sección de
Informática
Gráfica
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Mapas de entorno

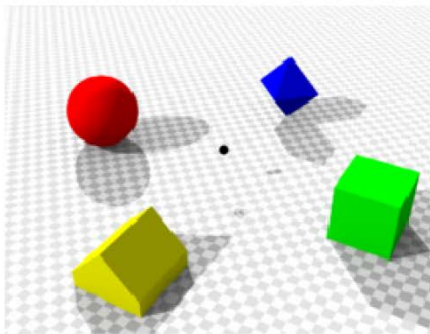
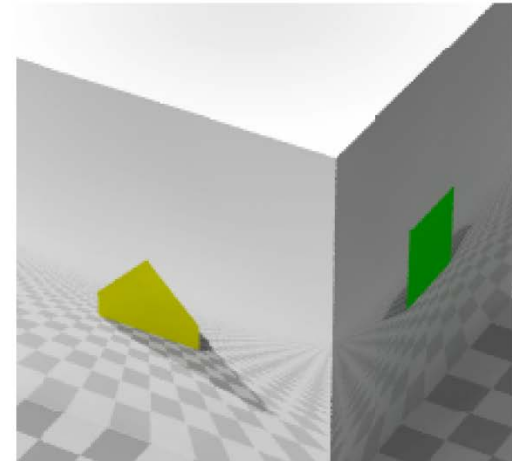
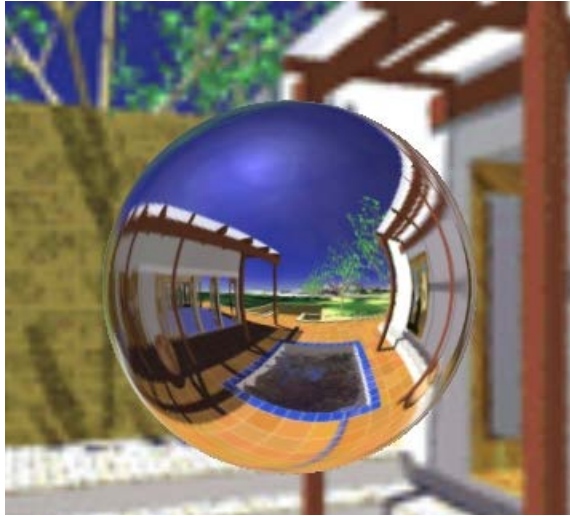
- ▶ **Objetivo:** Simular reflexión especular del entorno
- ▶ **Método:**
 - ▶ Uso de una superficie intermedia texturada con proyección del entorno
 - ▶ Correspondencia objeto - superficie mediante dirección de reflexión especular perfecta
- ▶ La textura depende del punto de vista



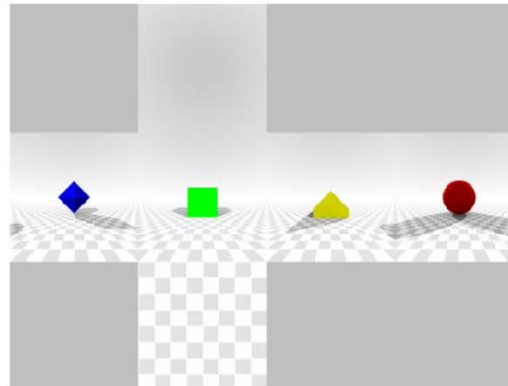
Superficie intermedia

Texturas por superposición

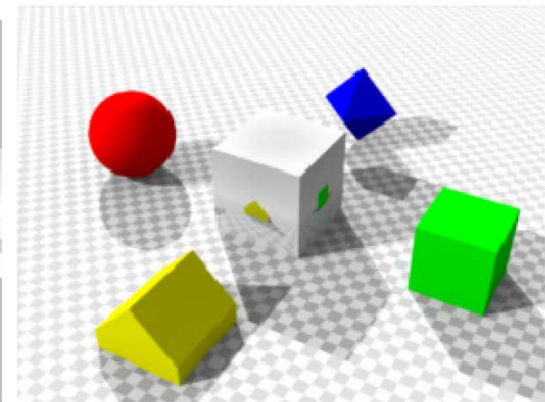
Mapas de entorno



place a viewer in a scene



generate the environment
texture from six view directions



apply the texture
to an object at the
position of the viewer

Texturas por superposición

Mapas de entorno



Sección de
Informática
Gráfica
VALENCIA



Computer
Graphics
Group
UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Fuente: <http://tfc.duke.free.fr/>



Sección de
Informática
Gráfica
VALENCIA



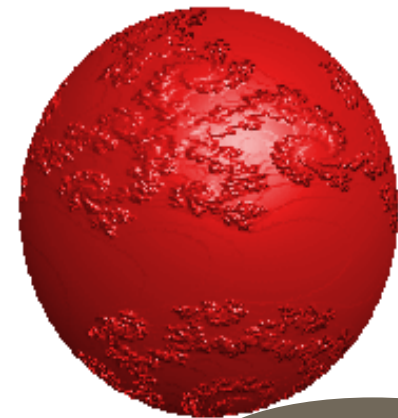
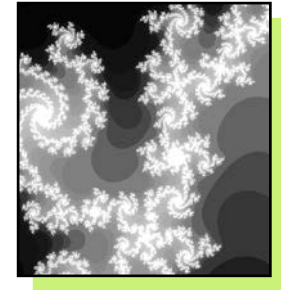
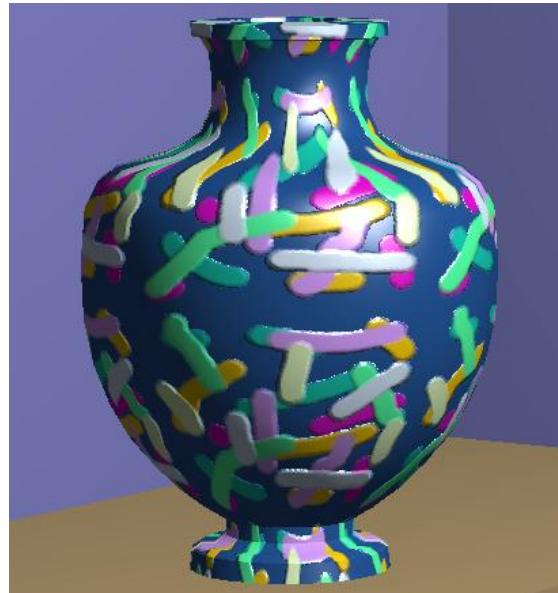
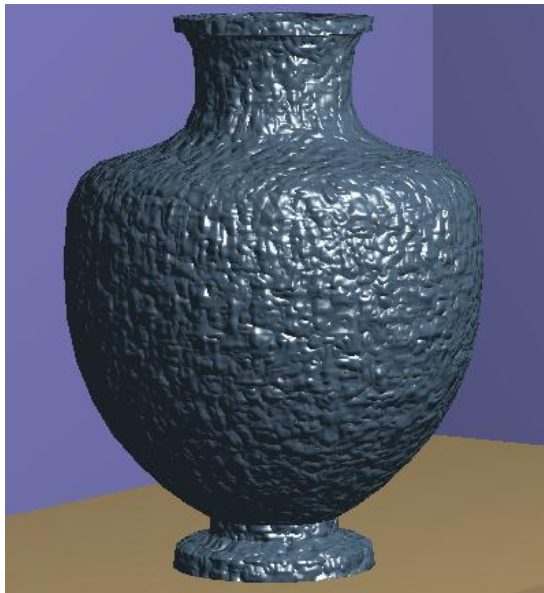
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Texturas por alteración de la normal

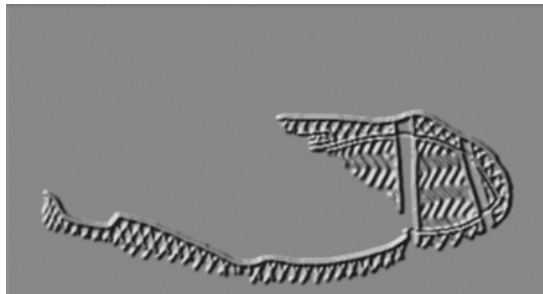
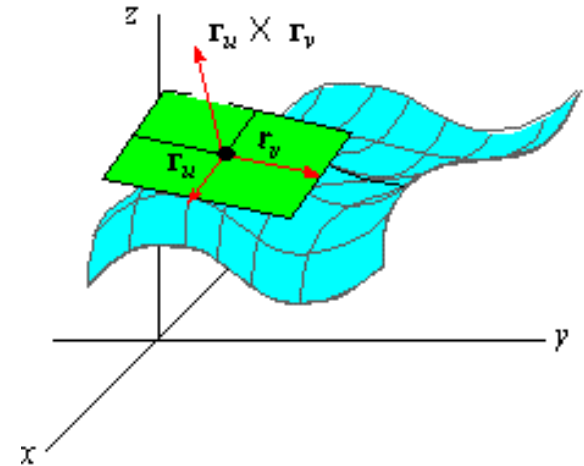
Texturas por alteración de la normal

- ▶ Objetivo: Modelar abultamientos, abolladuras o rugosidades sin necesidad de modificar la geometría del objeto.
- ▶ Lo que se modifica es la normal exterior
- ▶ Bump Mapping



Texturas por alteración de la normal

- ▶ La textura es una matriz monocanal
- ▶ Las diferencias en cada dirección sirven para calcular una normal aparente





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

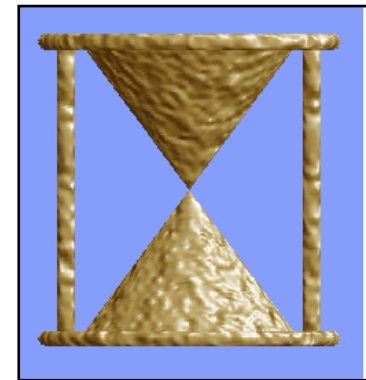
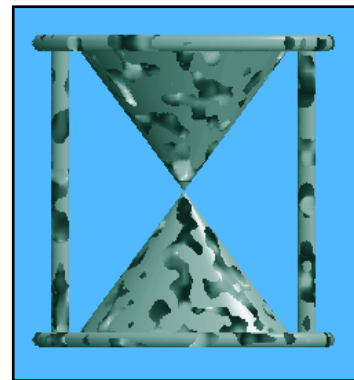
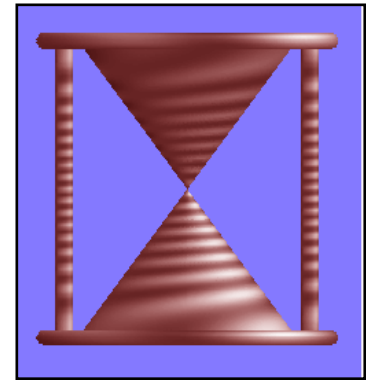
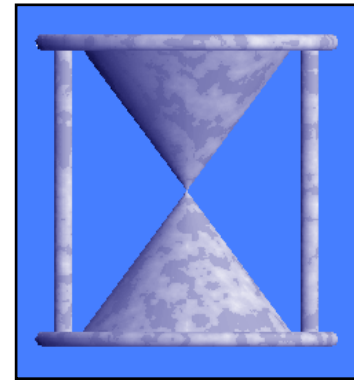


Texturas 3D

Texturas 3D

Generalidades

- ▶ **Objetivo:** Utilizar una función directa de correspondencia $T(x,y,z)$
- ▶ **Método:**
 - ▶ Definir una función de textura en el espacio
 - ▶ Sumergir el objeto en espacio de la textura
 - ▶ Fijar la textura al objeto en escala y posición
- ▶ **Ventajas**
 - ▶ Eliminación de la transformación de parametrización
 - ▶ Complejidad cualquiera de la superficie del objeto
- ▶ **Desventajas**
 - ▶ Son difíciles de definir y ajustar
 - ▶ Mayor coste computacional
- ▶ **Otras características**
 - ▶ Aplicables tanto al color como a la normal





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Billboards

Billboards

- ▶ Un billboard es un polígono con una textura de mezcla y un vector de orientación asociado
- ▶ Cuando la posición y orientación de la cámara cambian, este vector de orientación cambiará



color texture



alpha texture
representing
transparency



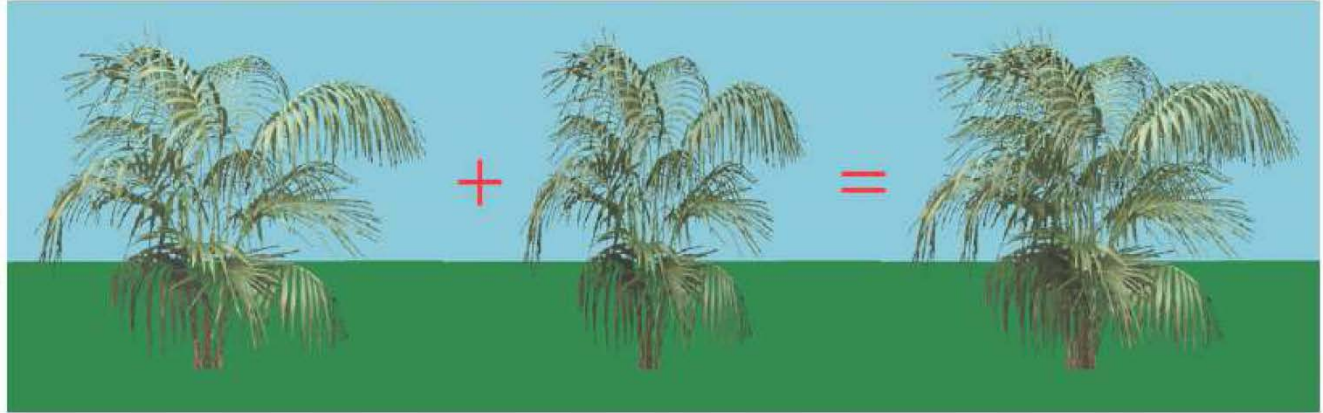
billboard: simple primitive
with color and alpha mapping



Billboards



color and
alpha texture



billboards at different orientations

combined 3D billboard

- ▶ Visto desde la posición apropiada proporciona un aspecto 3D





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



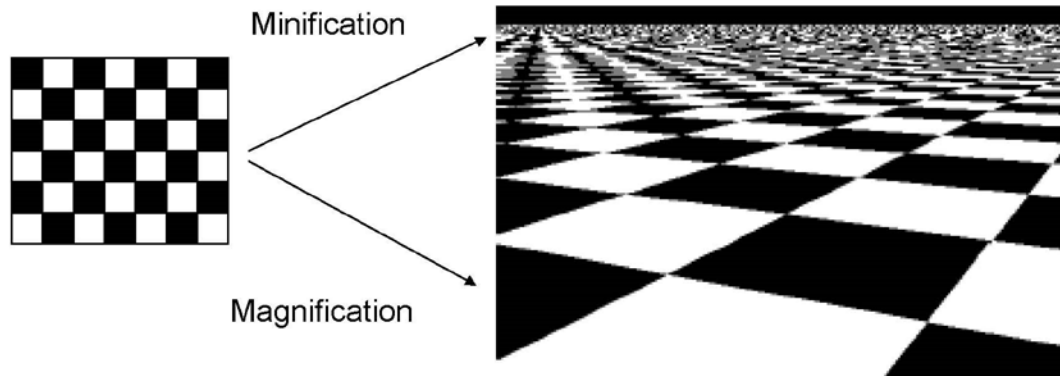
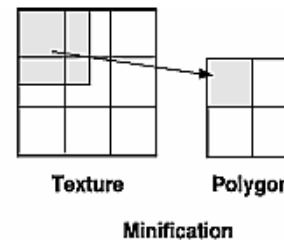
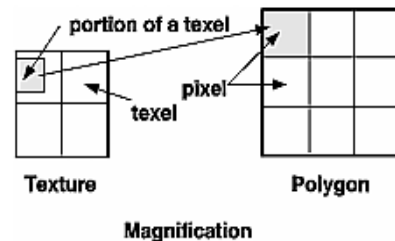
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Antialiasing en texturas

Antialiasing en texturas

- ▶ Al proyectar la textura es difícil que un texel coincida con el píxel.
- ▶ Problema de **magnificación**: un téxel cubre más de un píxel
- ▶ Problema de **minificación**: un píxel cubre más de un téxel

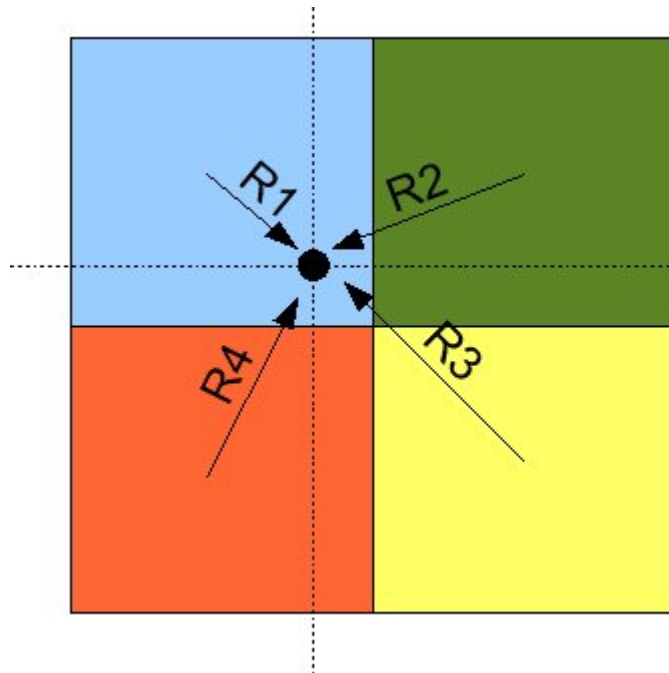


Antialiasing en texturas

Magnificación



- ▶ Para eliminar el efecto de magnificación se aplica el filtrado
 - ▶ Más cercano
 - ▶ Bilineal
 - ▶ ...



Real numbered Texture coordinate (u,v) . Distance from the four neighboring texels is used to in a weighed average



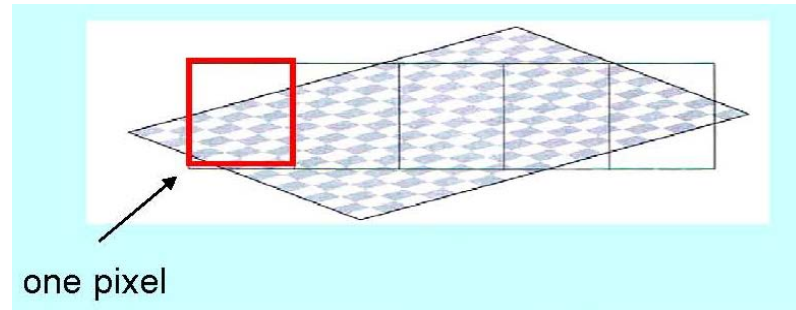
Resulting Pixel Colour

Antialiasing en texturas

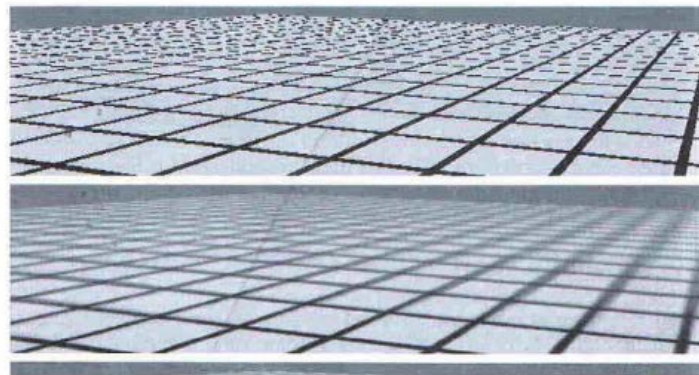
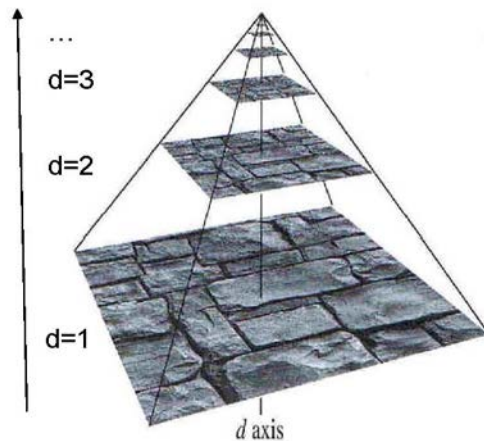
Minificación



- La minificación es más difícil de resolver: varios texeles cubren un píxel



- Una solución es el **mipmapping**: texturas con múltiples niveles de detalle



Non mipmapping

mipmapping