



Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Iluminación y materiales

Ecuación general

Fuentes

Modelos

Sombreado

Materiales

Texturas



Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Ecuación general de transporte

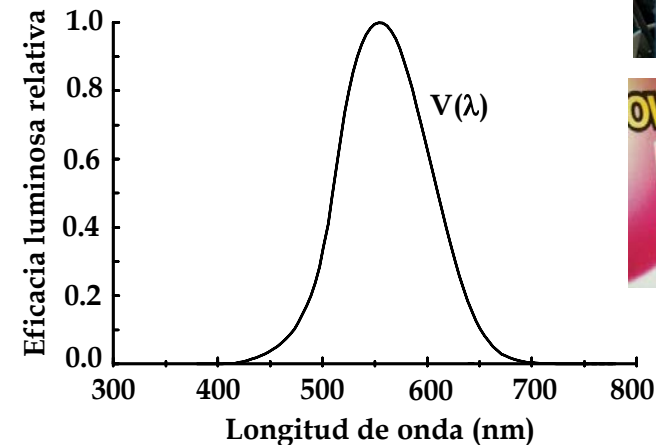
Iluminación

- ▶ Objetivo: Conocer la luz que llega al observador desde cada dirección
- ▶ Fuentes de luz: emisión
- ▶ Objetos: reflexión, refracción y absorción
- ▶ Observador: percepción



Magnitudes fotométricas

- ▶ Función de eficacia $V(\lambda)$
- ▶ Correspondencia energía \rightarrow luz
 - ▶ *Flujo o potencia luminosa (lumen):* Flujo radiante visible.
 - ▶ *Intensidad luminosa direccional de una fuente (candela):* Intensidad luminosa visible en una dirección
 - ▶ *Luminancia (candela/m²):* Radiancia visible
 - ▶ *Densidad superficial de flujo luminoso (lux)*
 - ▶ Luminosidad o brillo de una fuente: Radiosidad visible
 - ▶ Iluminación: Irradiación visible



Curva de rendimiento luminoso del flujo radiante monocromático $V(\lambda)$. $k=684$ lúmenes/watt para $\lambda=555\text{nm}$ máxima sensibilidad



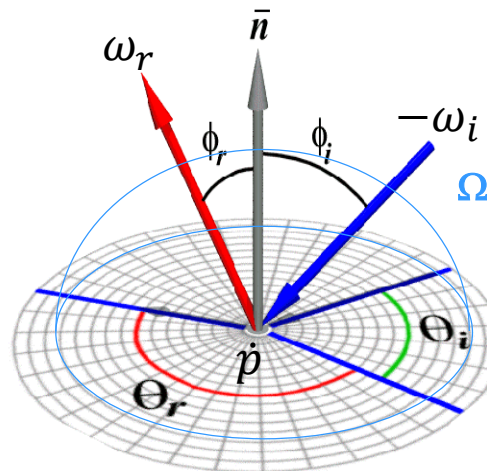
$$F = k \int_{\text{visible}} V(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda$$

potencia espectral de la fuente

Ecuación general de la iluminación (rflx)

- La **radiancia** L observada en un punto desde una dirección es la suma de la radiancia emitida propia más la reflejada en esa dirección

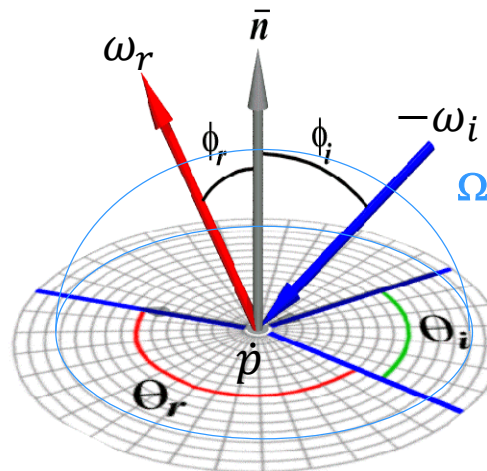
$$L_r(\dot{p}, \omega_r) = L_e(\dot{p}, \omega_r) + \int_{\Omega_i} BRDF(\dot{p}, \omega_r, \omega_i) L_i(\dot{p}, \omega_i) \cos \phi_i d\omega_i$$



Simplificaciones

- ▶ Fuentes de luz simples
- ▶ Solo algunas direcciones de entrada
- ▶ BRDF simulada

$$L_r(\dot{p}, \omega_r) = L_e(\dot{p}, \omega_r) + \int_{\Omega_i} BRDF(\dot{p}, \omega_r, \omega_i) L_i(\dot{p}, \omega_i) \cos \phi_i d\omega_i$$





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



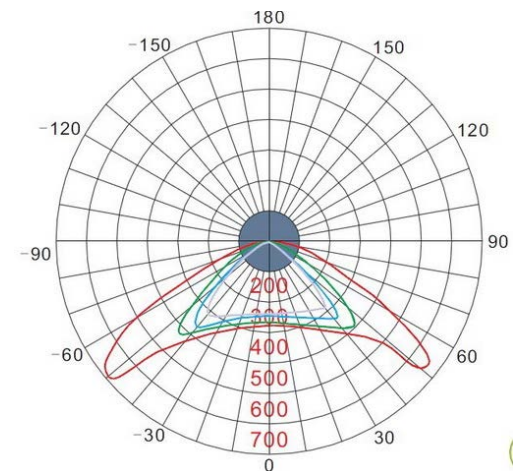
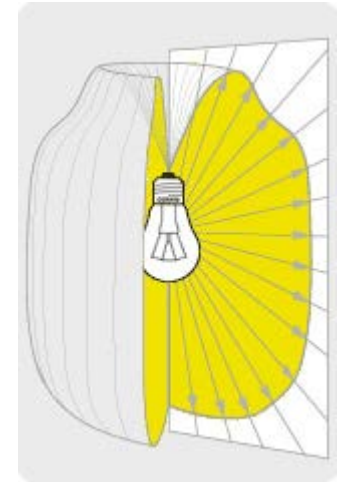
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Fuentes de luz

Cuerpos radiantes

- ▶ Una fuente de luz es un cuerpo que radia energía dentro del espectro visible
 - ▶ Temperatura alta
 - ▶ Luminiscencia
- ▶ La fuente se caracteriza por
 - ▶ Su geometría (extensa o puntual)
 - ▶ Su energía espectral direccional (candelas) condicionada usualmente por la luminaria
- ▶ Modelo mínimo para GpC
 - ▶ “**Intensidad**” de la fuente (I_r, I_g, I_b) en una dirección dada -radiancia-
 - ▶ El **vector de iluminación** \vec{l} es el vector unitario en el sentido contrario al que viajan los fotones



Fuentes direccionales

▶ Geometría

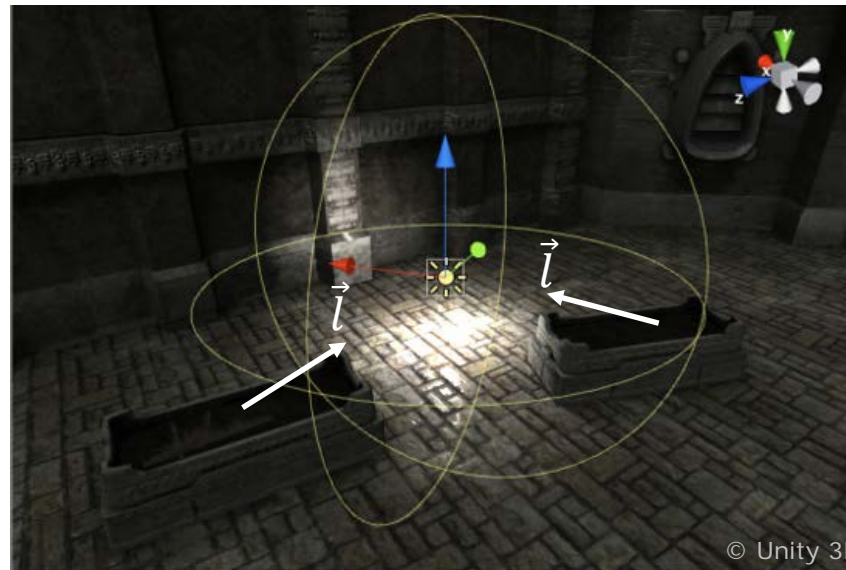
- ▶ Se supone suficientemente alejada para considerar que todos los fotones viajan en la misma dirección (caso del sol)
- ▶ Se caracteriza por una única dirección de iluminación \vec{l} independiente del punto observado



Fuentes puntuales uniformes

▶ Geometría

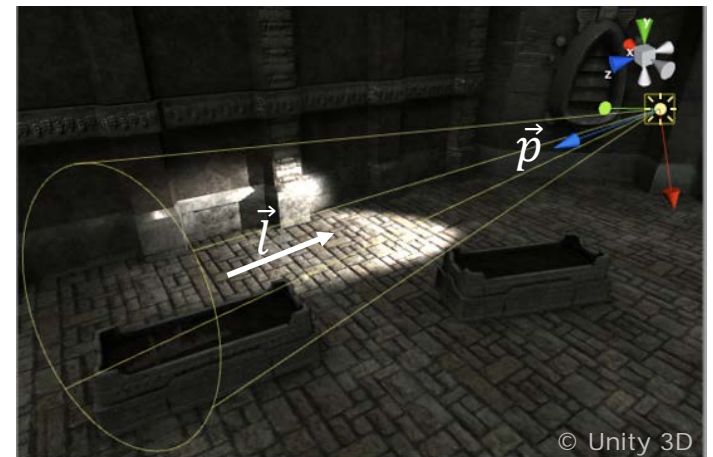
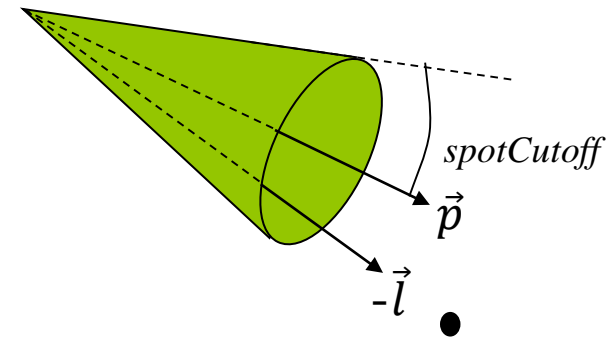
- ▶ Los fotones parte de un punto único -posición de la luz-
- ▶ La distribución espacial de la energía espectral es radial y uniforme desde ese punto. Puede atenuarse con la distancia
- ▶ El vector de iluminación \vec{l} se calcula como el vector unitario desde el punto observado a la posición de la luz



Fuentes puntuales focalizadas

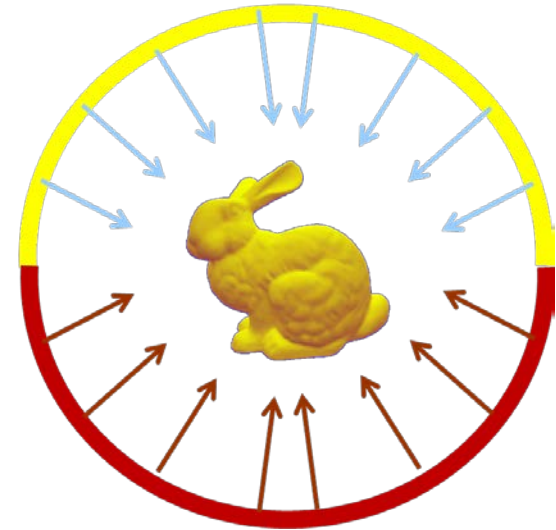
▶ Geometría

- ▶ Los fotones parten de un punto único -posición de la luz-
- ▶ Se define una dirección central de iluminación -vector unitario \vec{p} -
- ▶ El vector de iluminación \vec{l} se calcula como el vector unitario desde el punto observado a la posición de la luz
- ▶ La distribución espacial de la energía espectral es función del ángulo entre los vectores $-\vec{l}$ y \vec{p} . Suele definirse un ángulo máximo a partir del cuál no hay emisión



Fuentes semiesféricas

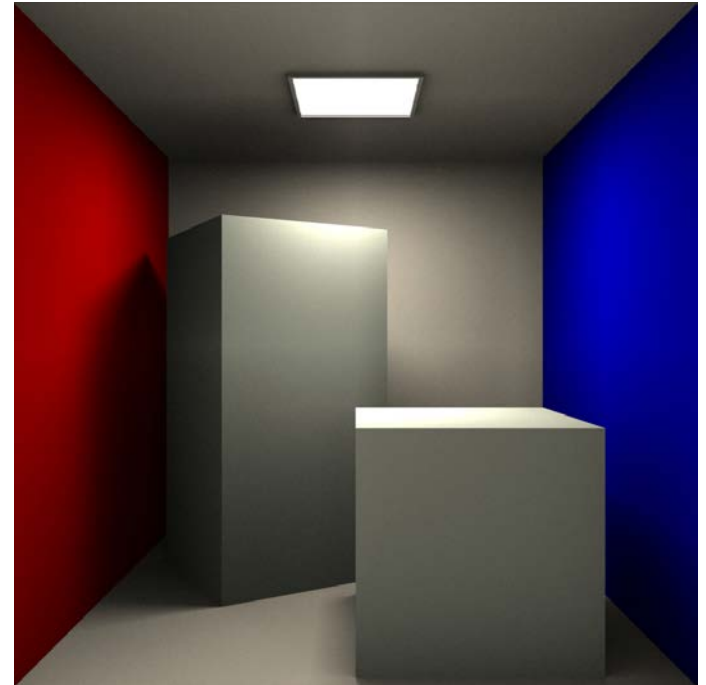
- ▶ Simulan la iluminación del cielo
- ▶ Geometría
 - ▶ Semiesfera emisora
 - ▶ El vector \vec{l} varía a lo largo de toda la semiesfera visible (integral) según la normal
 - ▶ La energía espectral tiene distribución radial uniforme
 - ▶ Se puede considerar la iluminación de la semiesfera inferior (suelo)



Fuentes extensas

▶ Geometría

- ▶ Generalmente suelen ser fuentes lineales, cuadriláteros o esferas
- ▶ El vector \vec{l} varía a lo largo de la fuente de luz
- ▶ La distribución espectral de la energía se suele considerar hemiesféricamente uniforme en cada punto de la fuente de luz
- ▶ La irradiación sobre el punto observado es la integral de las radiancias a lo largo de la superficie de la fuente





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

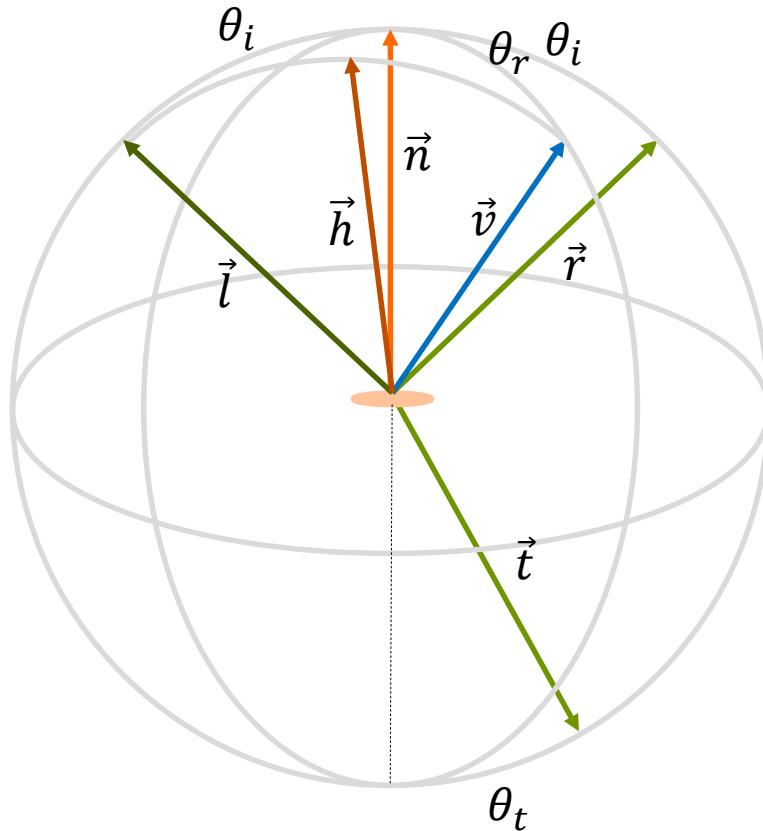


Modelos de iluminación

¿Qué es?

- ▶ Una solución a la ecuación general de iluminación
- ▶ **Necesitamos simplificar**
- ▶ Simplificación de la integral de las direcciones de entrada
 - ▶ Modelos locales: Sólo consideran la iluminación directa (procedente de las fuentes de luz)
 - ▶ Modelos globales o semiglobales: Consideran además otras direcciones
- ▶ Simplificación de la BDRF
 - ▶ Modelos empíricos: Asumen factores constantes -inventados- para cada tipo de reflexión
 - ▶ Modelos físicos: Intentan aproximar la reflexión a la respuesta real del material (dependencia de ángulos, rugosidad, anisotropía, etc)
- ▶ Simplificación de la visibilidad de la fuente

Vectores



\vec{l} : vector de il·luminaci3n
 \vec{n} : normal
 \vec{v} : vector de observaci3n

$$\vec{r} = 2(\vec{n} \cdot \vec{l})\vec{n} - \vec{l}$$

$$\vec{h} = \frac{\vec{l} + \vec{v}}{|\vec{l} + \vec{v}|}$$

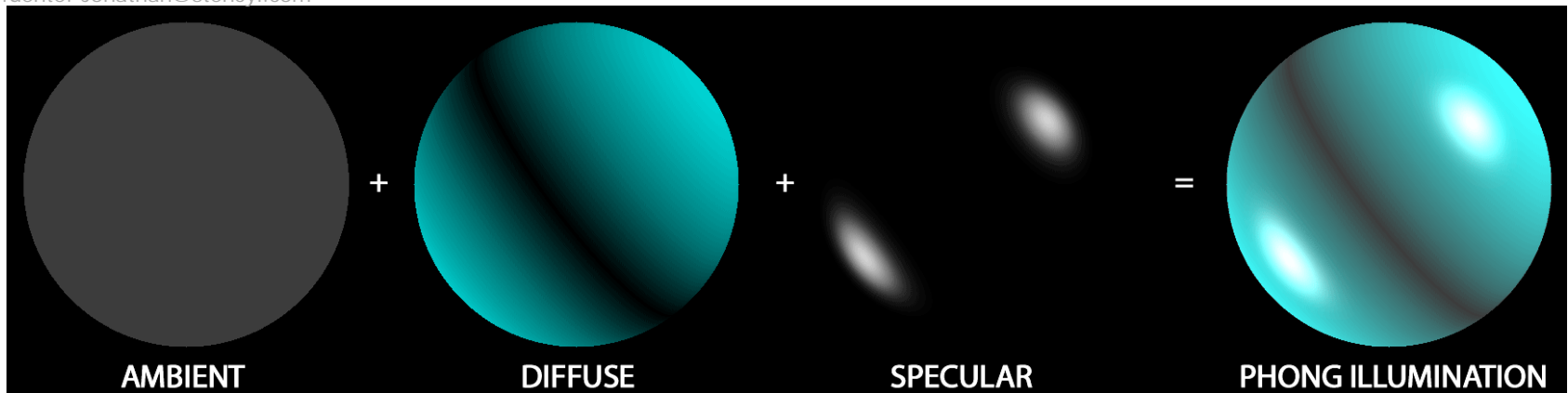
$$\vec{t} = \left(\frac{\eta_i}{\eta_t}(\vec{n} \cdot \vec{l}) - \sqrt{1 - \frac{\eta_i^2}{\eta_t^2}(1 - (\vec{n} \cdot \vec{l})^2)} \right) \vec{n} - \frac{\eta_i}{\eta_t} \vec{l}$$

Modelos locales

- ▶ Sólo se consideran iluminación directa, el resto se aproxima por iluminación ambiente
- ▶ La reflexión se descompone en difusa (ley de Lambert) y lóbulo especular
- ▶ La BRDF se simplifica a funciones ctes. o dependientes de la rugosidad

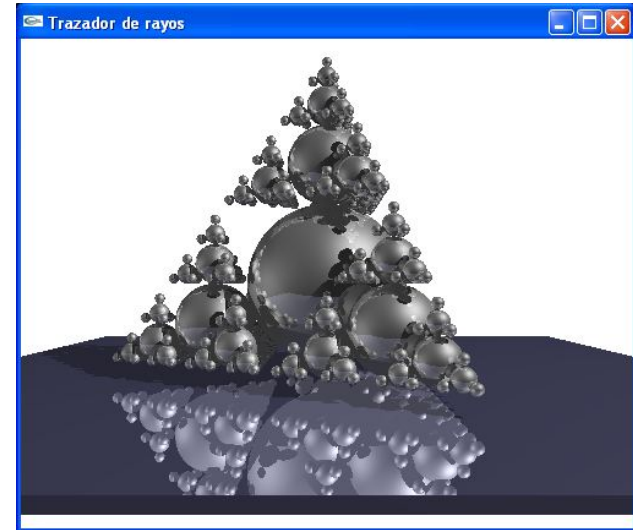
$$I_{RGB} = \underbrace{I_{aRGB} k_{dRGB}}_{\text{ambiental}} + \sum_{i=1}^m f_{att_i} I_{L_i RGB} \left[\underbrace{k_{dRGB} (\vec{n} \cdot \vec{l}_i)}_{\substack{\text{difusa} \\ \vec{n} \cdot \vec{l} > 0}} + \underbrace{k_{sRGB} (\vec{n}_i \cdot \vec{h})^n}_{\substack{\text{especular} \\ \vec{n} \cdot \vec{h} > 0}} \right]$$

fuelle: Jonathan@stencyl.com



Modelos globales

- ▶ Otras direcciones de entrada de luz
 - ▶ Reflexión y transmisión ideales: Trazado de rayos
 - ▶ Interreflexión difusa: Radiosidad



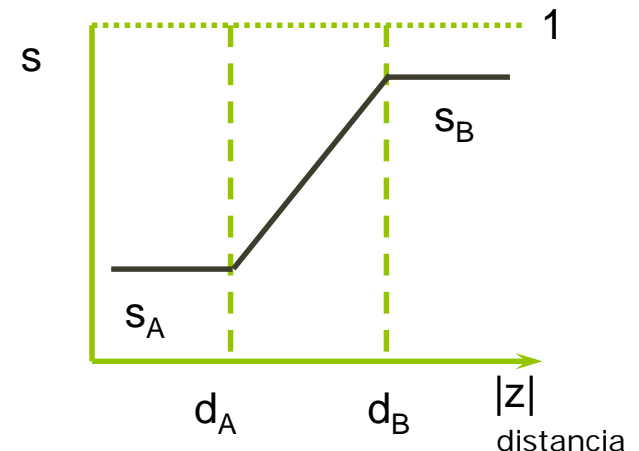
Atenuación con la distancia al observador

- ▶ Debemos tener en cuenta la distancia de los objetos al observador.
- ▶ Suponiendo que el observador en el origen podemos considerar la distancia como el valor absoluto de z .
- ▶ Se pueden conseguir efectos de atmósfera tomando una intensidad de fondo I_F e interpolando con la I obtenida por el modelo de iluminación



$$I' = s \cdot I_F + (1 - s) \cdot I$$

- ▶ $|z| < d_A$
 - ▶ La atmósfera siempre ofrece la misma atenuación mínima: s_A
- ▶ $d_A < |z| < d_B$
 - ▶ Atenuación **lineal** con la distancia:
$$s = s_A + \frac{s_B - s_A}{d_B - d_A}(|z| - d_A)$$
- ▶ $|z| > d_B$
 - ▶ Atenuación máxima constante: s_B





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



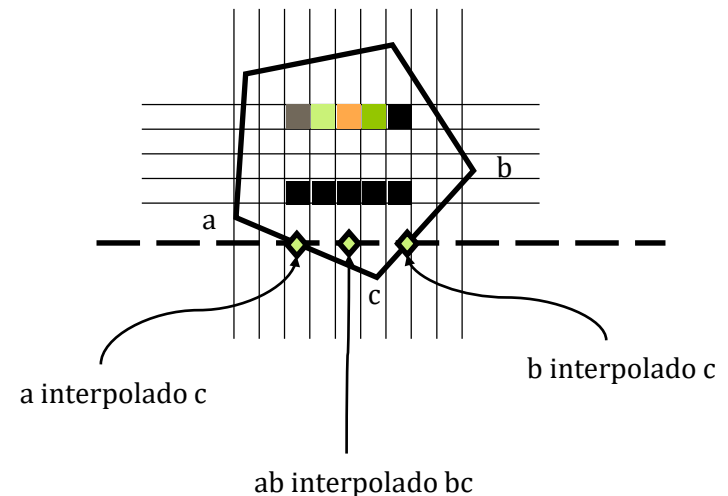
Modelos de sombreado

Algoritmo de sombreado (coloreado)

- ▶ ¿Cómo se calcula el color de un fragmento?
- ▶ Dos posibilidades
 - ▶ A partir del color de los vértices
 - ▶ Constante
 - ▶ Gouraud
 - ▶ Directamente en el fragmento
 - ▶ Interpolando normales (Phong)
 - ▶ Normales reales

Algoritmo fundamental de sombreado

para cada polígono
 proyectar vértices
 calcular fragmentos interiores al polígono
 para cada fragmento
 calcular el punto 3D sobre el polígono
 calcular el modelo de iluminación en ese punto
 colorear el fragmento

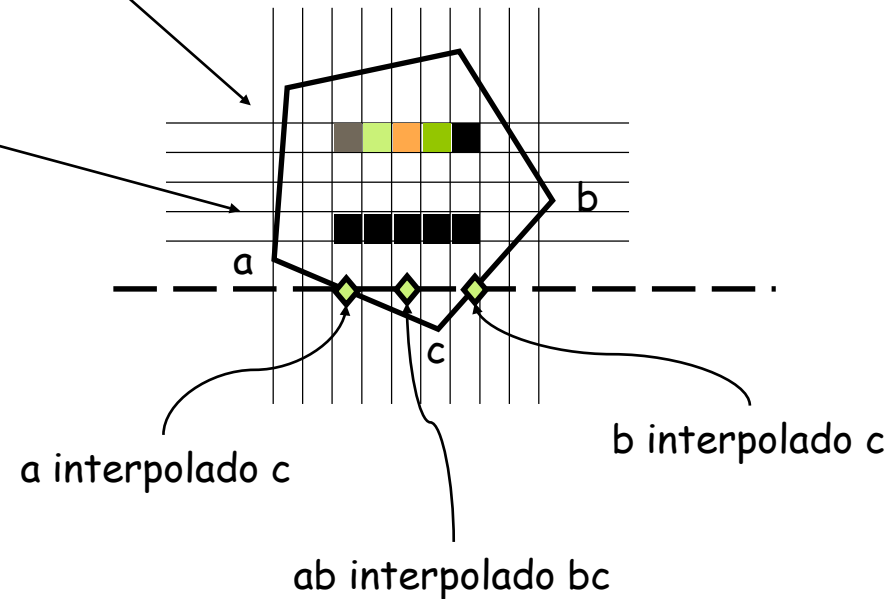


Tipos de algoritmos

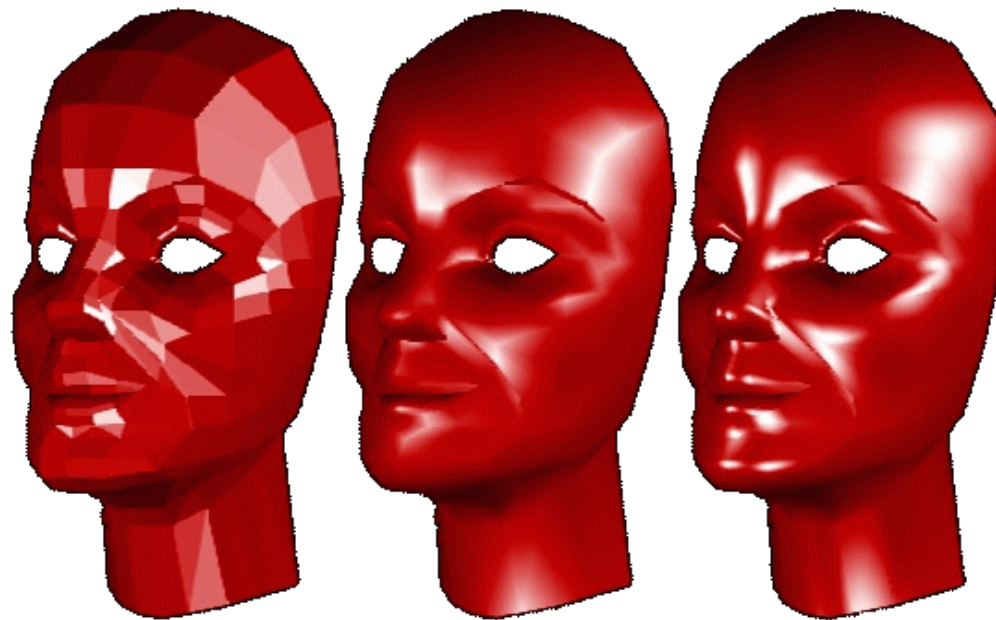
- ▶ El sombreado usa el modelo de iluminación para conseguir colorear el pixel
- ▶ El algoritmo fundamental de sombreado es demasiado costoso
 - ▶ Un cálculo (al menos) del m.i. Para cada pixel ocupado.
- ▶ Algoritmo de sombreado constante. Una vez por polígono.
 - ▶ Luz en el infinito ($N.L=cte$)
 - ▶ Observador en el infinito ($N.V=cte$)
 - ▶ El polígono representa una superficie plana
- ▶ Algoritmos de sombreado por interpolación
 - ▶ Cálculos de iluminación en los vértices e interpolación

Algoritmo fundamental de sombreado

para cada polígono
convertir el polígono al raster
para cada pixel (visible) del polígono
calcular el punto 3D sobre el polígono
calcular el modelo de iluminación en ese punto
colorear el pixel



Comparación visual de algoritmos de sombreado



Constante

Gouraud

Phong



Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



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** podemos calcular la luz percibida



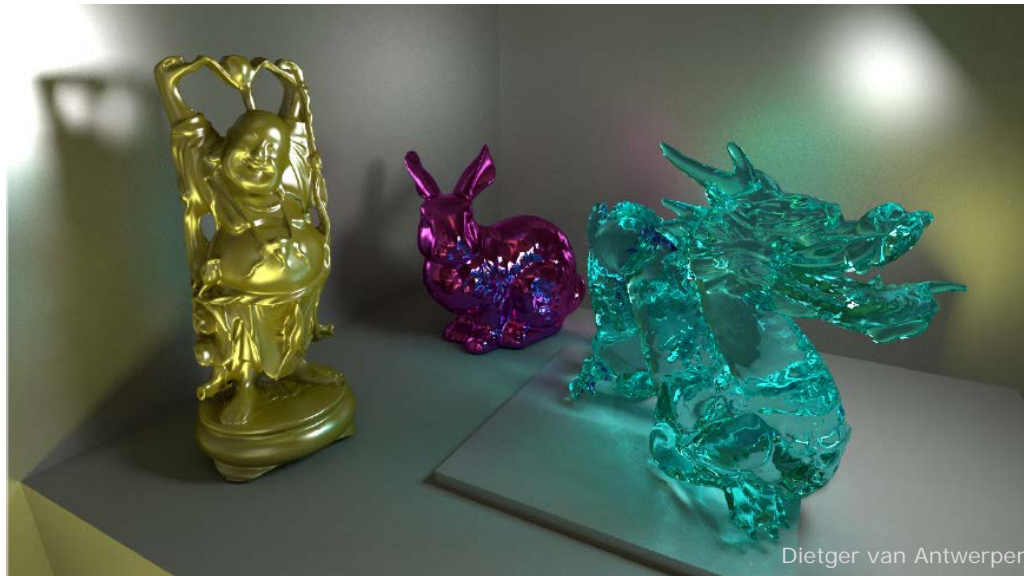
ecuación de iluminación simplificada

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

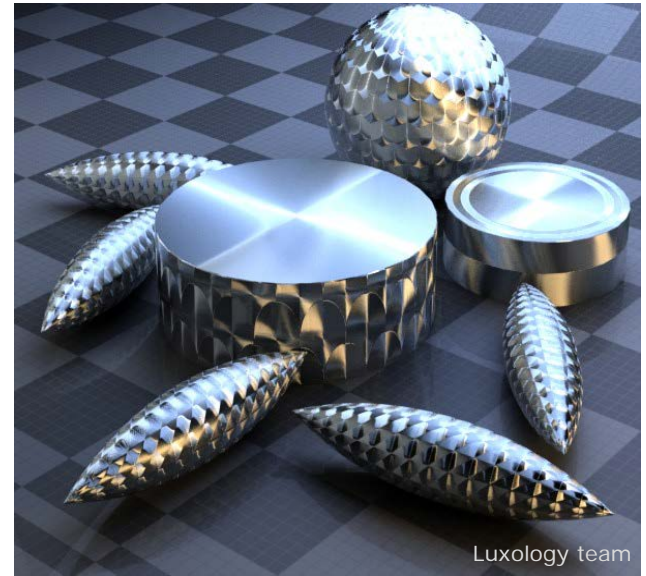
respuesta del material



Respuesta del material



Dietger van Antwerpen



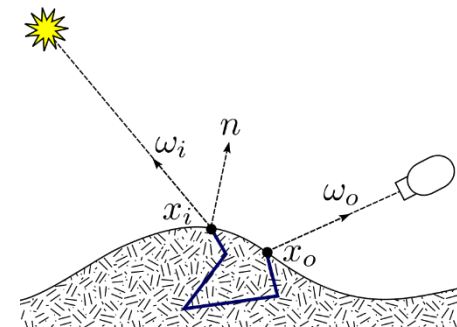
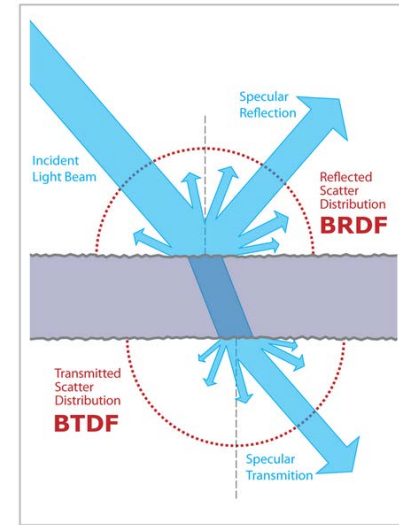
Luxology team



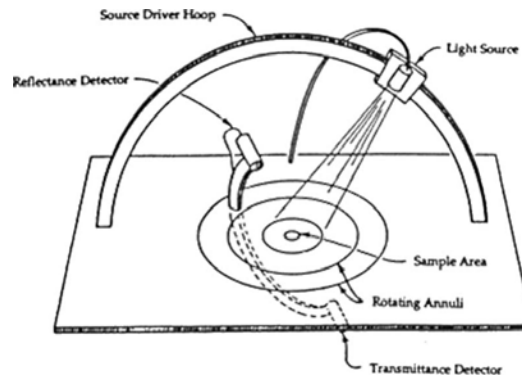
giga.unizar.es

Respuesta del material

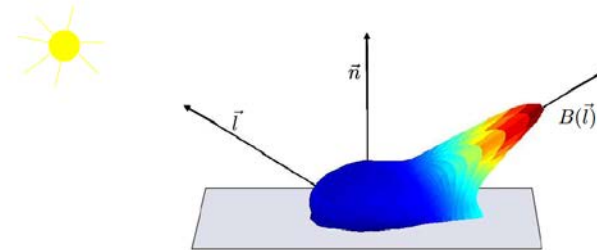
- ▶ Cada material, al ser iluminado, responde dispersando la luz de forma diferente
- ▶ La respuesta depende de multitud de variables
- ▶ Idealmente, se definen las funciones (**BSDF**) que, en cada punto, relacionan la irradiación en una dirección con la radiancia emitida en otra:
 - ▶ Función de distribución de la **reflectancia** bidireccional **BRDF**
 - ▶ Función de distribución de la **transmitancia** bidireccional **BTDF**
 - ▶ Función de distribución de la **reflectancia por dispersión interna** bidireccional **BSSRDF**
- ▶ La **BSDF** caracteriza la respuesta del material



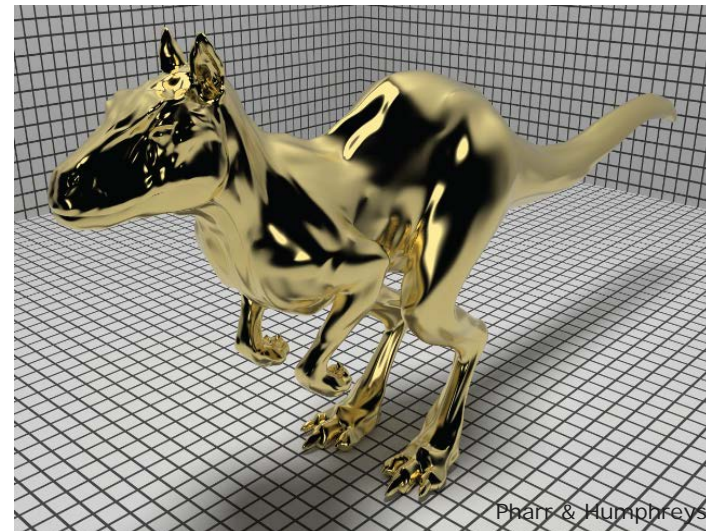
Medición de la BSDF



goniorreflectómetro



BRDF del plástico PVC



Render basado en la BRDF real del oro

Modelado de la BRDF

- ▶ **Materiales mates**
 - ▶ reflexión difusa
 - ▶ en todas direcciones
 - ▶ lambertiano (ideal)
 - ▶ reflexión uniforme en todas direcciones
- ▶ **Materiales pulidos**
 - ▶ reflejo de brillos
 - ▶ reflexión preferente en una dirección -lóbulos-
 - ▶ especular (ideal)
 - ▶ reflexión sólo en la dirección de reflexión perfecta



Peter Supan & Ines Stuppacher

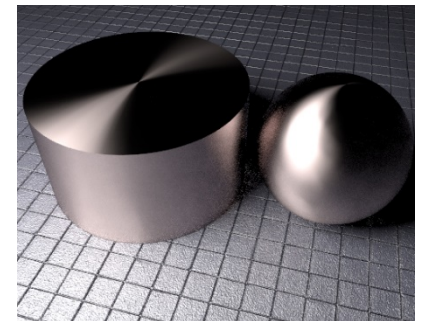
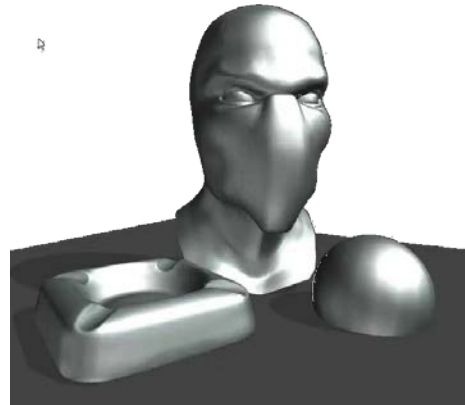
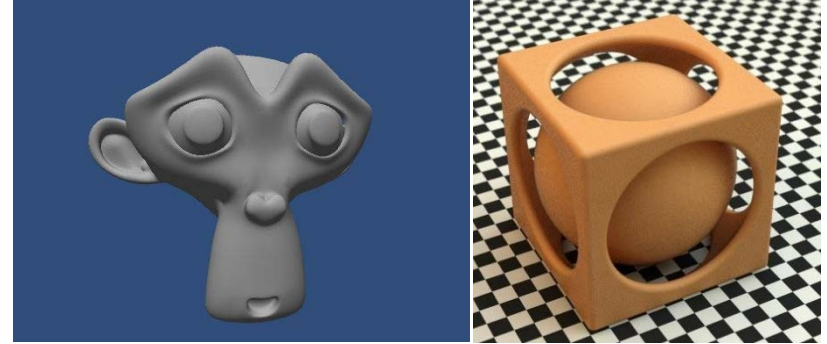
Modelos de la BRDF

▶ Empíricos

- ▶ Buscan obtener resultados aceptables con poco cálculo

▶ Físicos

- ▶ Buscan aproximarse a lo que sucede en realidad





Sección de
Informática
Gráfica | Computer
Graphics
Group
VALENCIA



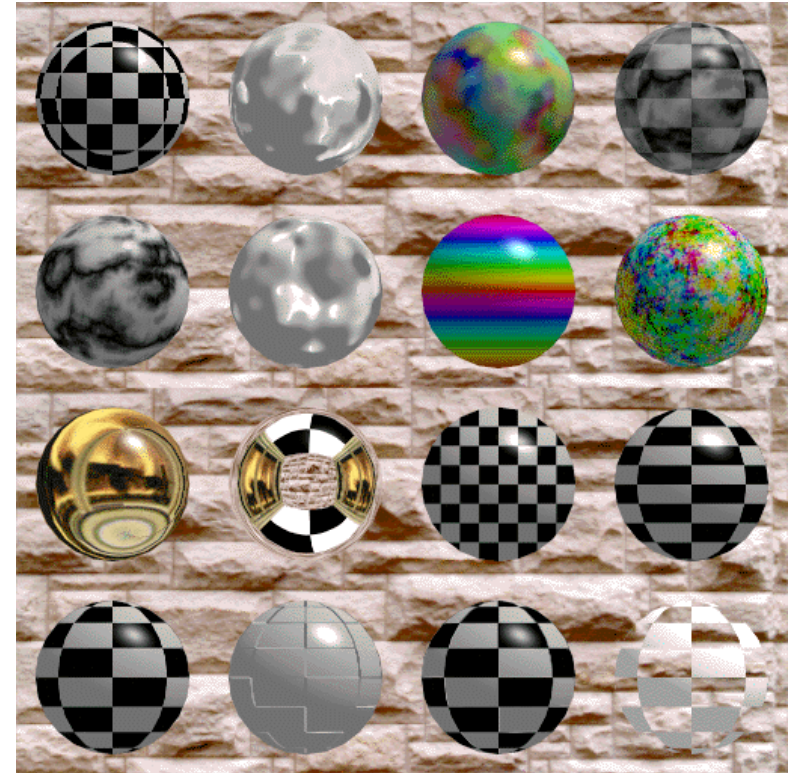
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Texturas

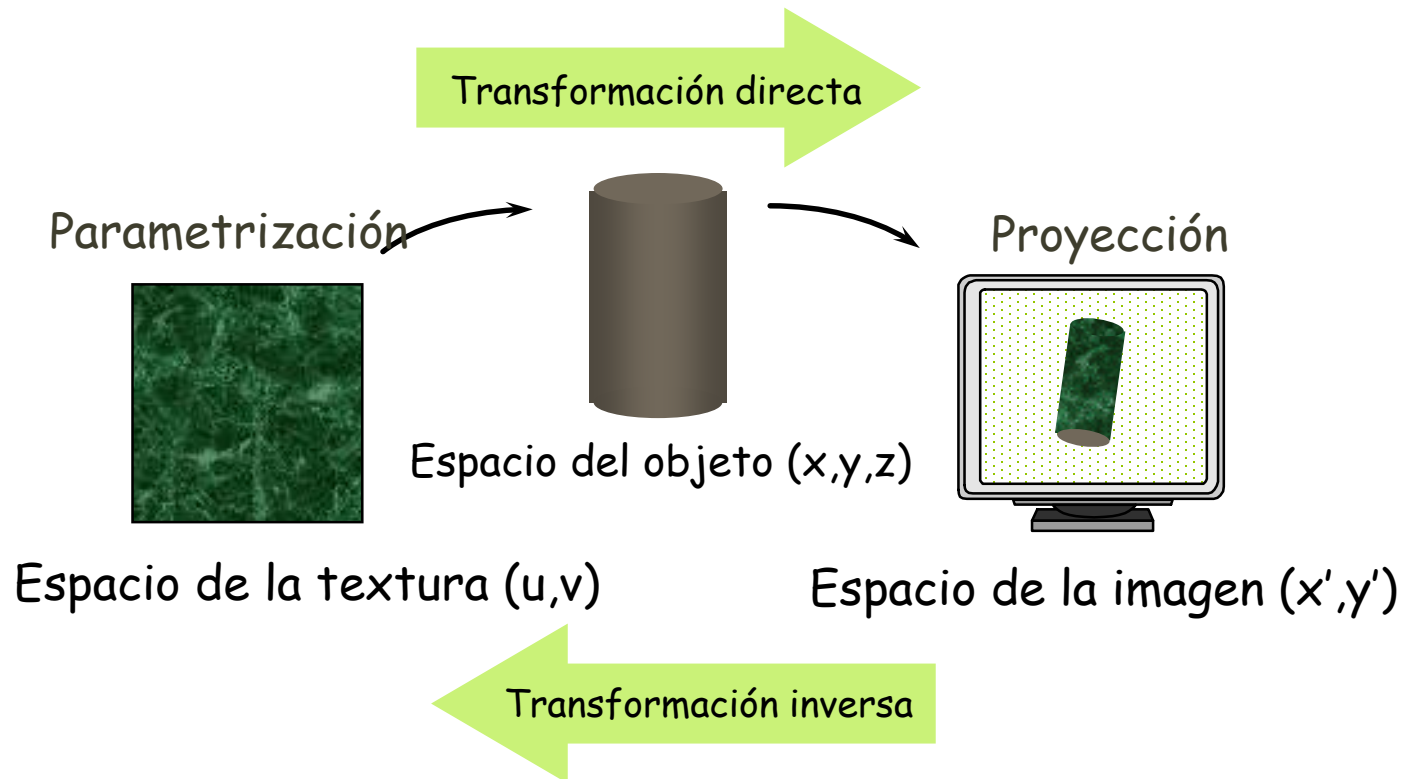
Introducción

- ▶ ¿Qué son?
 - ▶ Modificaciones al modelo de iluminación para que dependa del punto de la superficie en el que se calcula, en términos no geométricos.
- ▶ ¿Qué consiguen?
 - ▶ 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
 - ▶ Disminuir la apariencia plástica conferida por el modelo de Phong
 - ▶ Simular multitud de efectos: sombras, reflejos, transparencia, entornos, ...

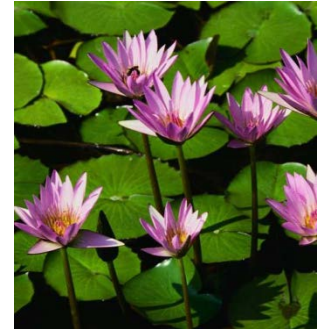


Fuente: University of Melbourne

Texturas por superposición



Texturas por superposición



Texturas por superposición



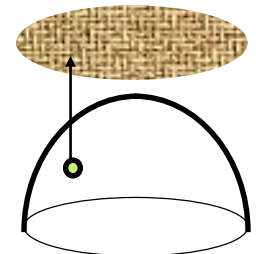
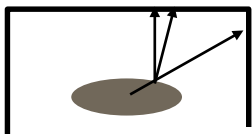
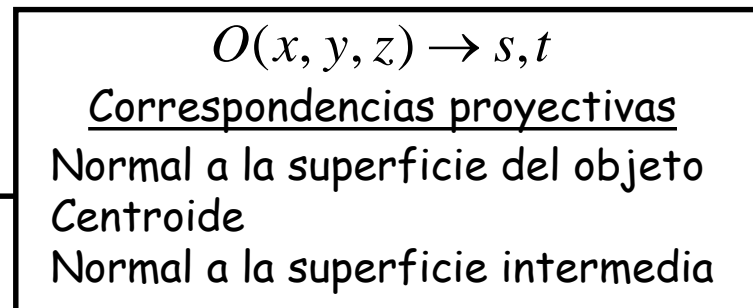
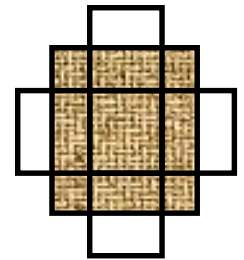
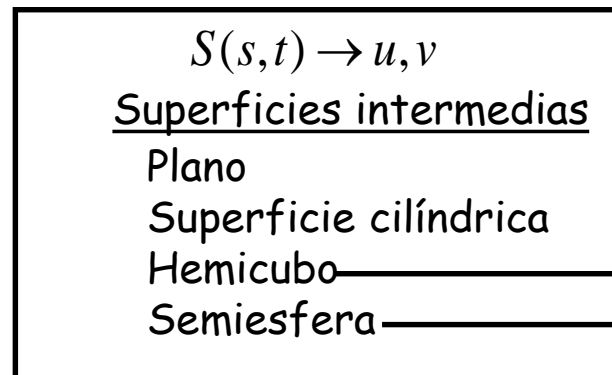
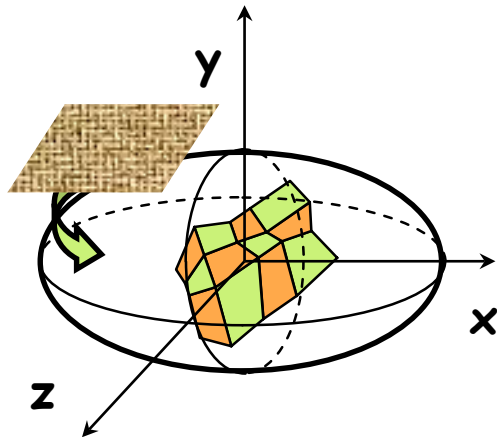
Uso de superficie intermedia

► Pasos

- 1º: correspondencia de la textura sobre una superficie intermedia
- 2º: correspondencia de la superficie auxiliar con la superficie del objeto

$$S(s, t) \rightarrow u, v$$

$$O(x, y, z) \rightarrow s, t$$



Texturas por superposición



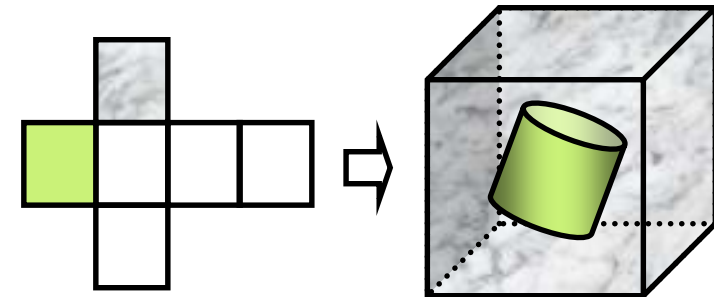
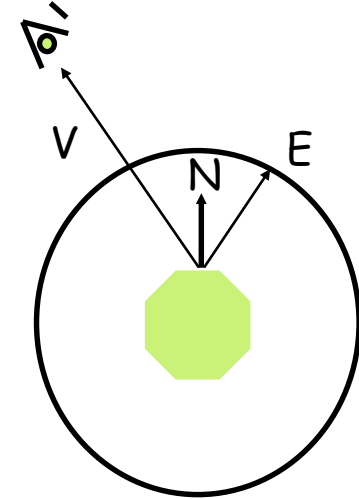
Sección de
Informática
Gráfica
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Mapas de entorno

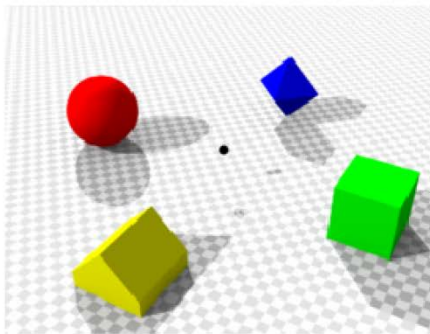
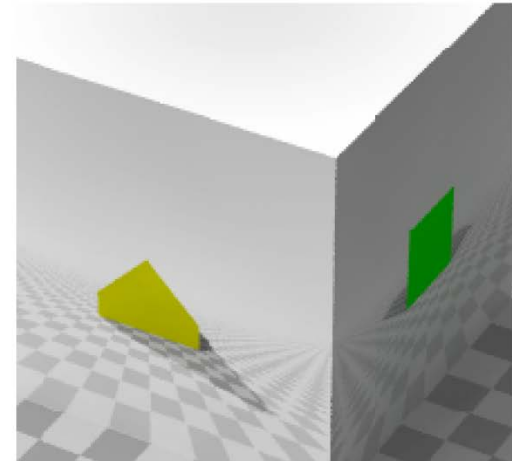
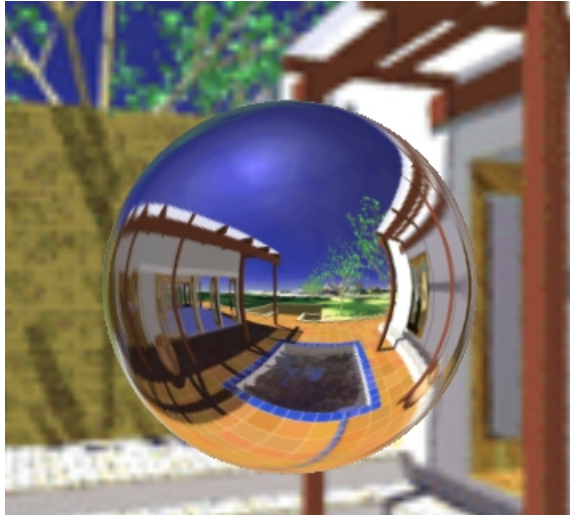
- ▶ Objetivo: Simular reflexión especular del entorno
- ▶ Método:
 - ▶ Uso de una superficie intermedia texturada con proyección del entorno
 - ▶ Correspondencia objeto - superficie mediante dirección de reflexión especular perfecta
- ▶ La textura depende del punto de vista



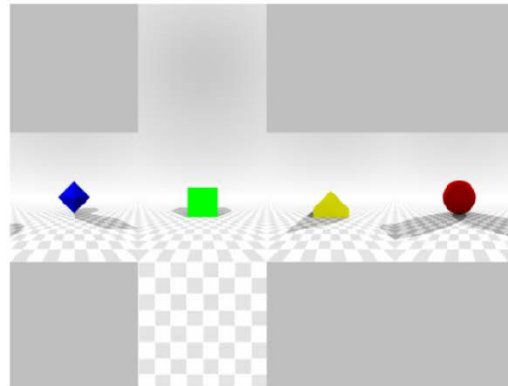
mapa de entorno

Texturas por superposición

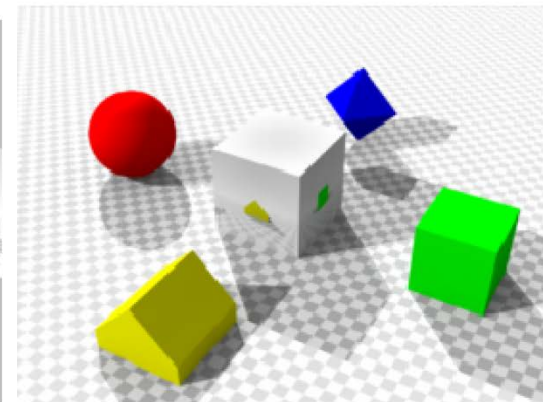
Mapas de entorno



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



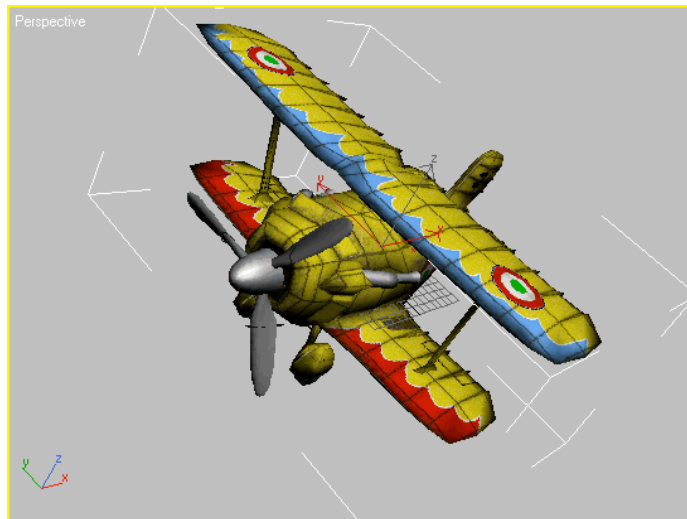
Fuente: <http://tfc.duke.free.fr/>

Texturas por superposición

Mapas *uv* para mallas poligonales

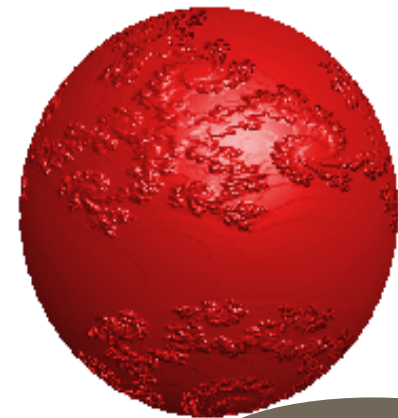
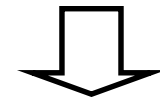
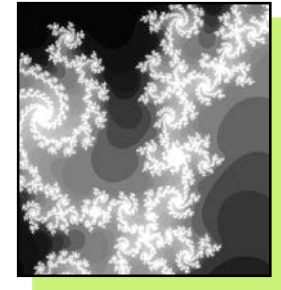
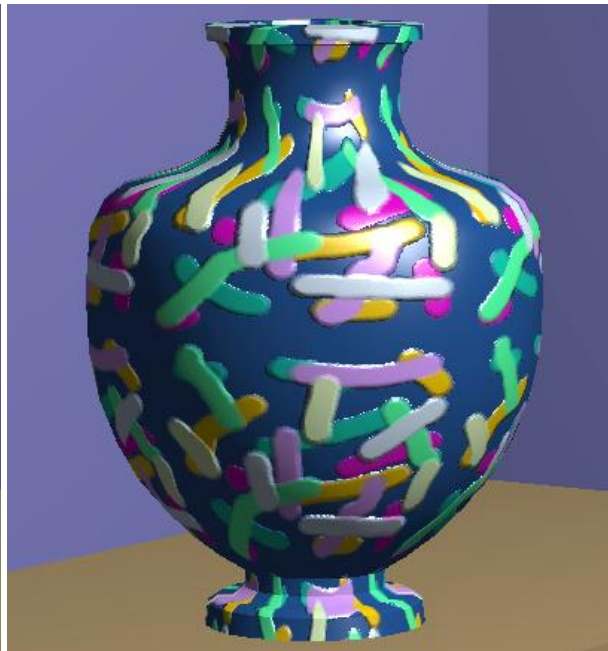
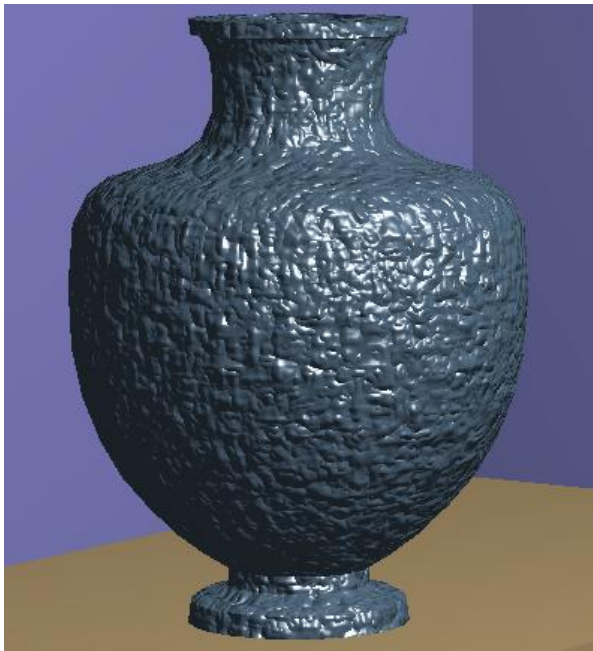


- ▶ Se utilizan diferentes proyecciones para los parches que forman la superficie
 - ▶ Se minimizan las distorsiones
 - ▶ Un vértice puede tener varias coordenadas de textura



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



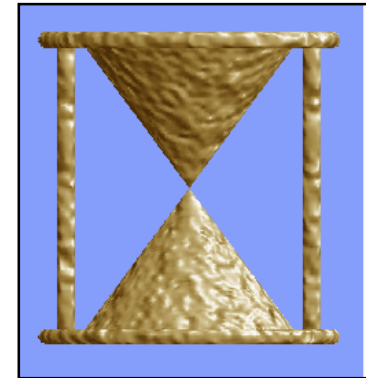
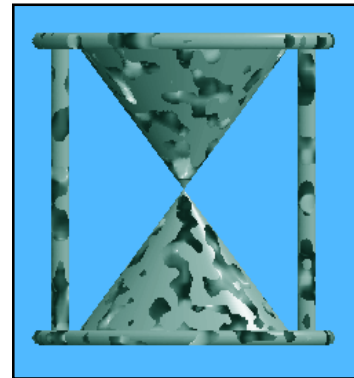
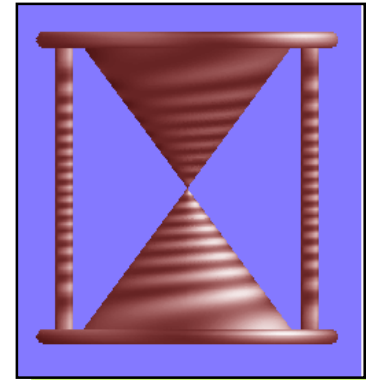
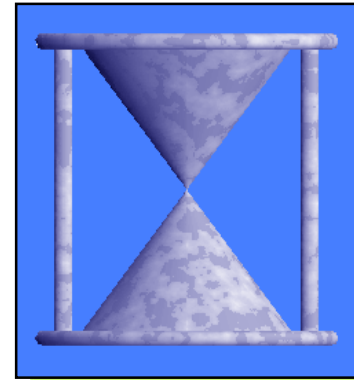


Texturas por alteración de la normal



Texturas sólidas

- ▶ **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



Billboards

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



color texture



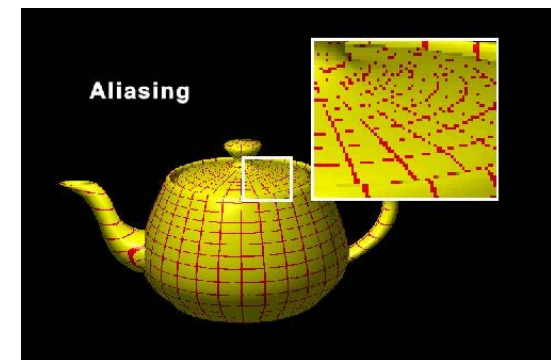
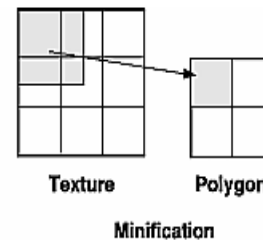
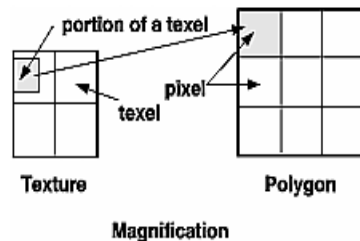
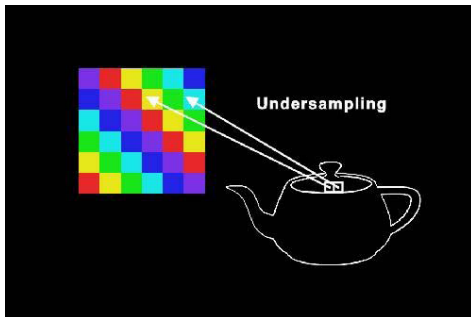
alpha texture
representing
transparency



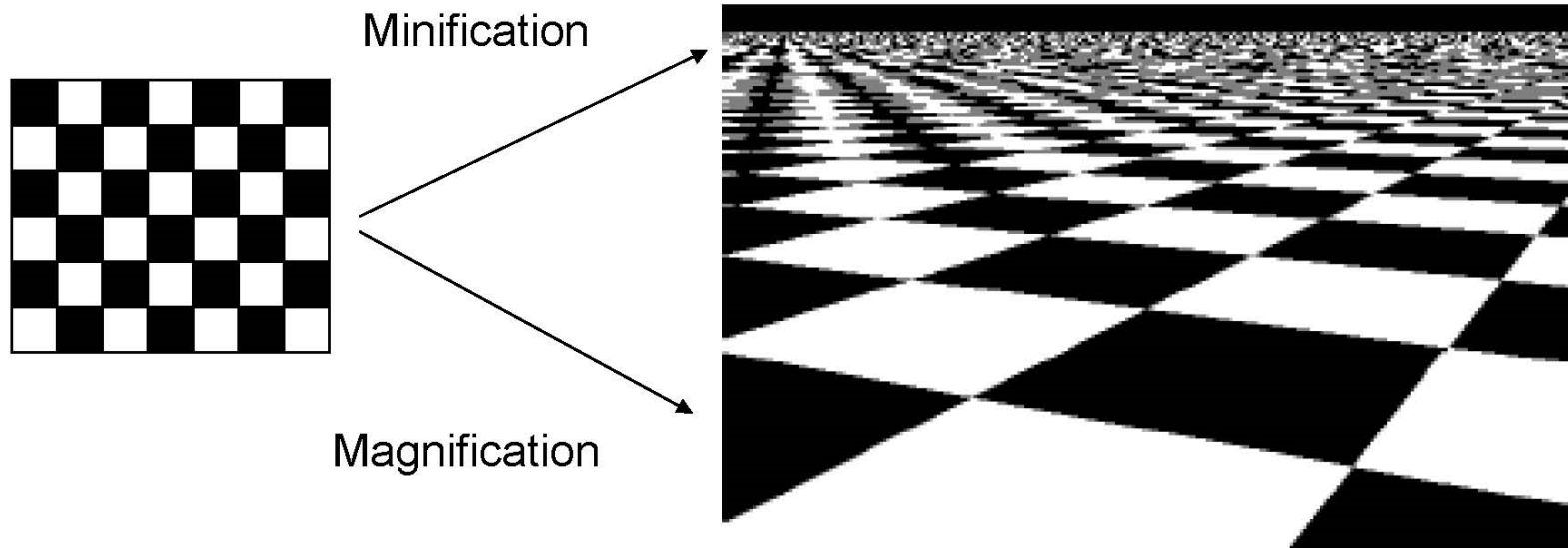
billboard: simple primitive
with color and alpha mapping

Antialiasing en texturas

- ▶ Al proyectar la textura es difícil que un texel coincida con el píxel.
- ▶ Aparece el muestreo demasiado bajo
- ▶ Problema **magnificación**: un téxel cubre más de un píxel
- ▶ Problema de **minificación**: un píxel cubre más de un téxel
- ▶ Soluciones: sobremuestreo, prefiltrado (mipmapping)



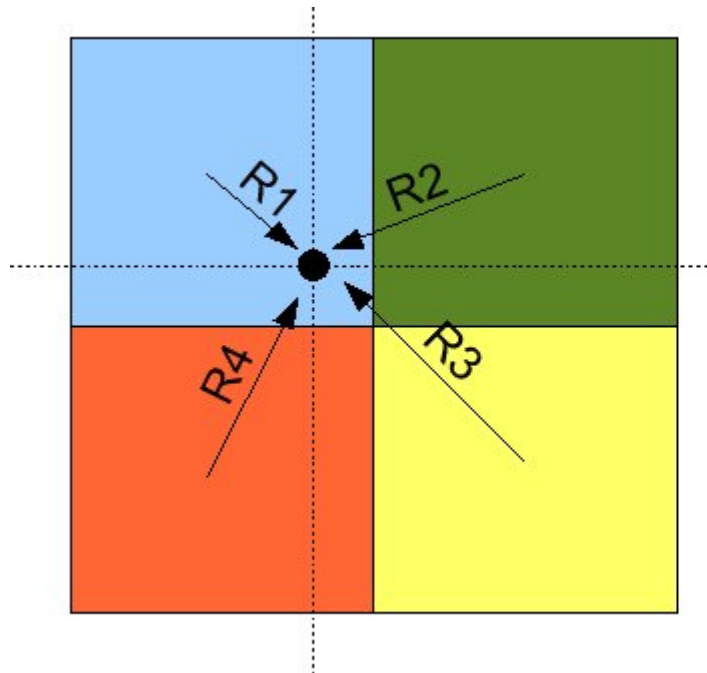
Antialiasing en texturas



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



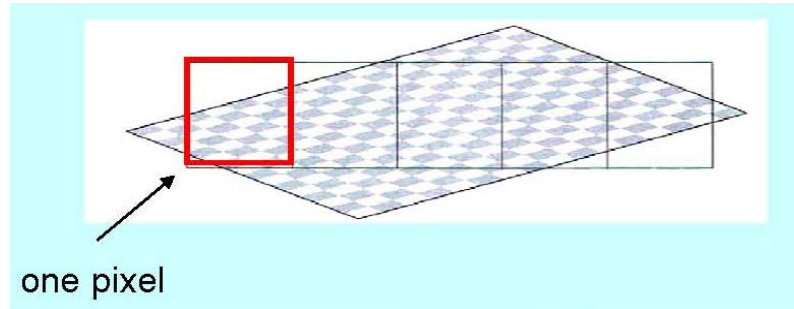
Resulting Pixel Colour

Antialiasing en texturas

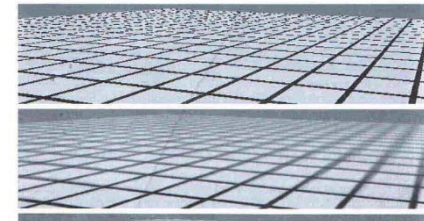
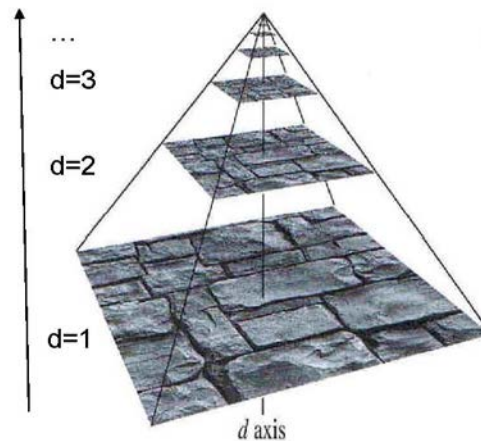
Minificación



- 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