Computación Gráfica

Eduardo Fernández

Iluminación y Sombreado

Basado en: **Capítulo 14**

Del Libro: **Introducción a la Graficación por Computador**

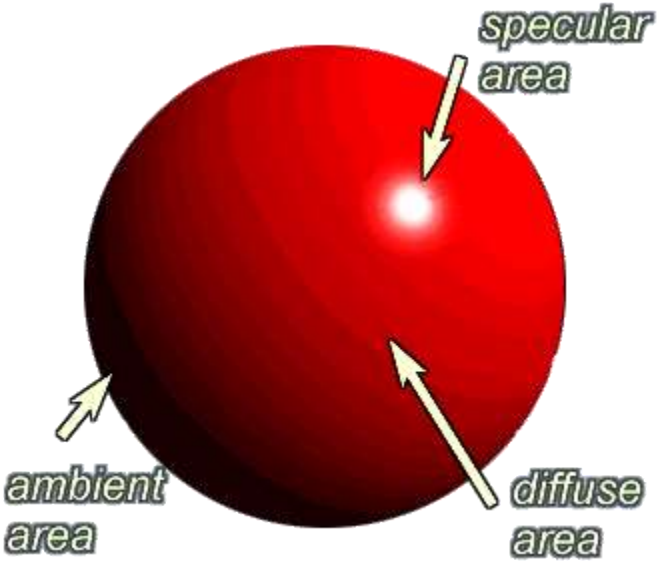
Foley – Van Dam – Feiner – Hughes - Phillips

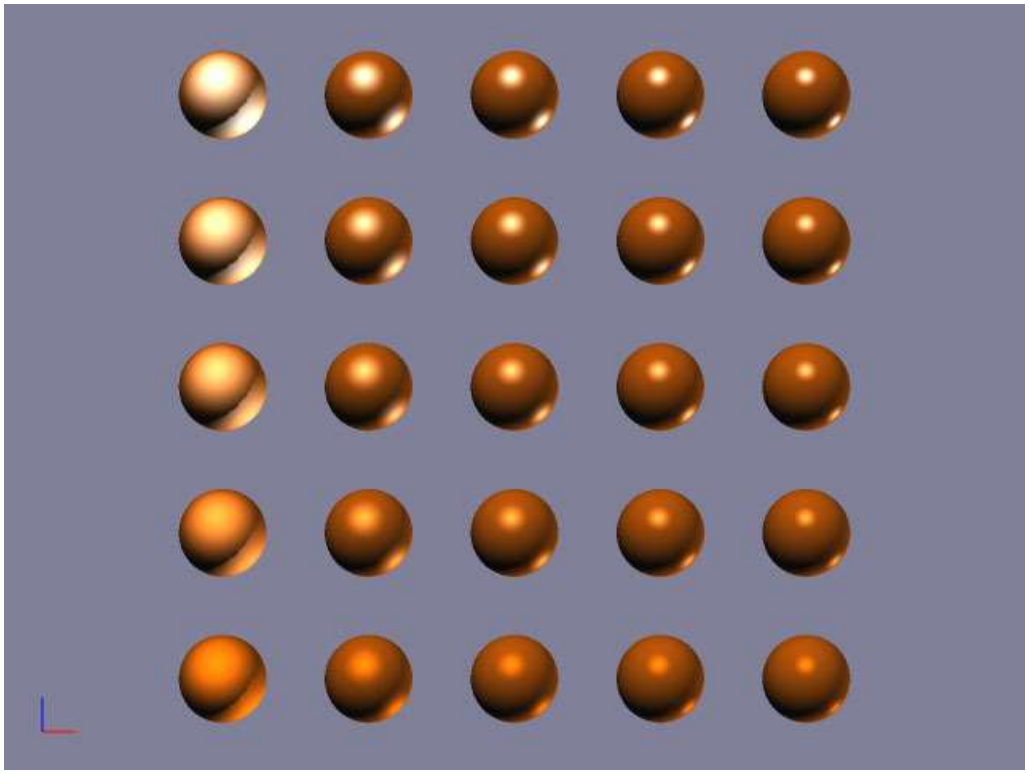
Resumen del capítulo

- Modelos simples de iluminación.
- Modelos de sombreado más comunes.
- Modelos de sombreado aplicados a texturas.
- Efectos de transparencia, refracción, reflexión, sombras.

Modelo de iluminación simple

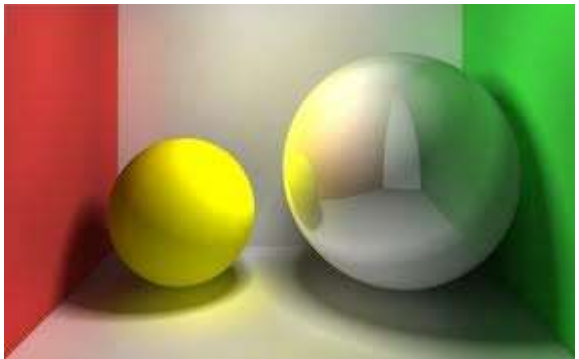
Sólo influyen la superficie en cuestión, las luces y la posición del observador (cálculos simples).





Modelos de iluminación complejos

Las sombras, las interreflexiones y la difusión de la luz en otros medios se calculan por otros algoritmos (implican cálculos complejos).



Modelo de iluminación simple

Pero igualmente, con un modelo de iluminación simple + trucos se puede dar “ilusión” de realismo.

Ecuación de Iluminación

Luz reflejada por un objeto en un punto de su superficie hacia una dirección particular (radiancia: $(W/sr \cdot m^2)$).

$$I_{(intensidad)} = Luz_{\mathbf{a}mbiental} + Luz_{\mathbf{d}ifusa} + Luz_{e\mathbf{s}pecular}$$

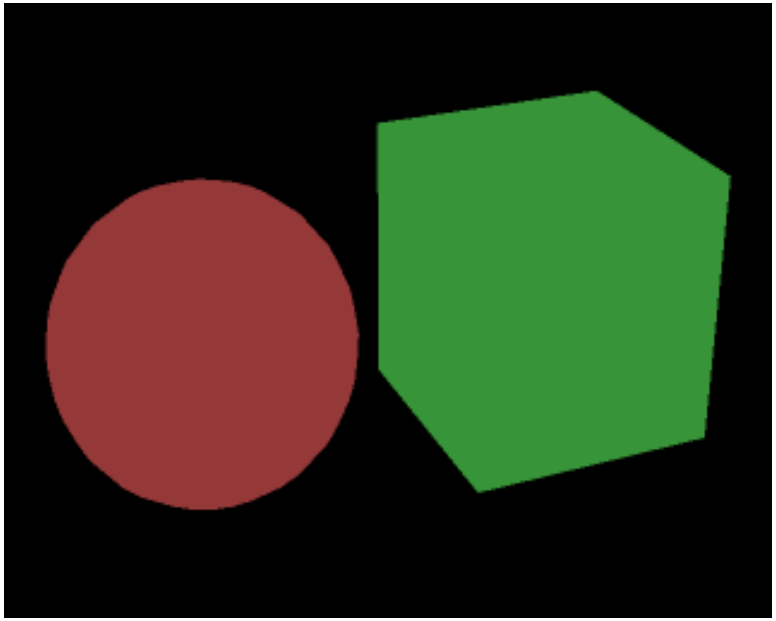
luz y superficie coloreada.

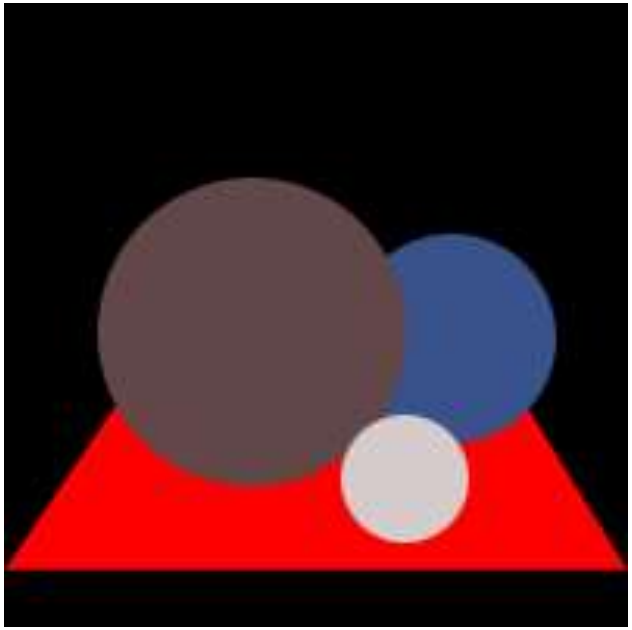
$$I_{(intensidad,\lambda)} = Luz_{\mathbf{a}mbiental,\lambda} + Luz_{\mathbf{d}ifusa,\lambda} + Luz_{e\mathbf{s}pecular,\lambda}$$

múltiples fuentes de luz.

$$I_{(intensidad,\lambda)} = Luz_{\mathbf{a}mbiental,\lambda} + \Sigma_L \left(Luz_{\mathbf{d}ifusa,\lambda,L} + Luz_{e\mathbf{s}pecular,\lambda,L} \right)$$

Luz Ambiental





Los objetos no tienen fuente de luz externa.

Cada objeto tiene una silueta monocromática.

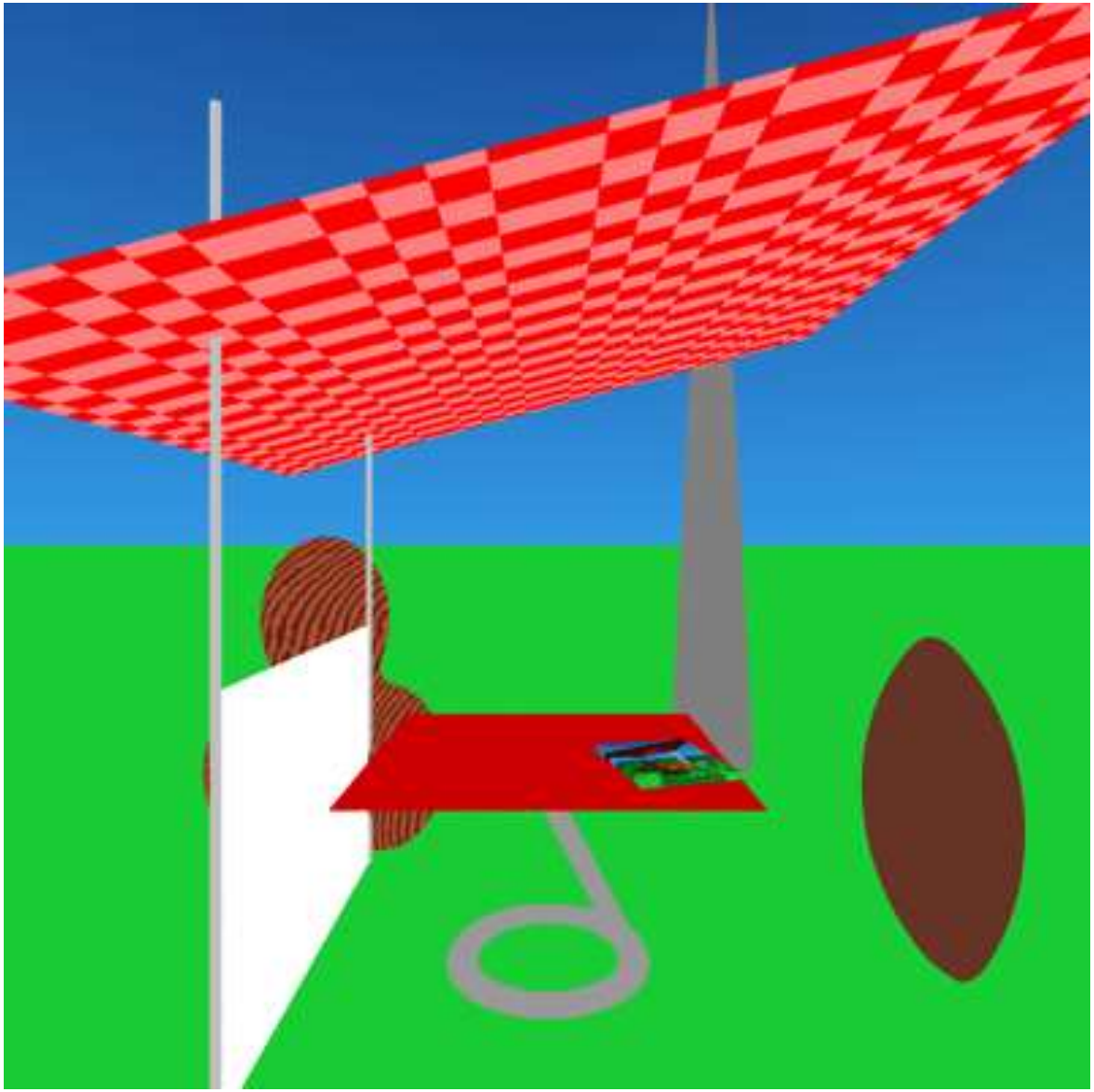
$I=k_i$, valor entre 0 y 1

$I=I_a k_a$,

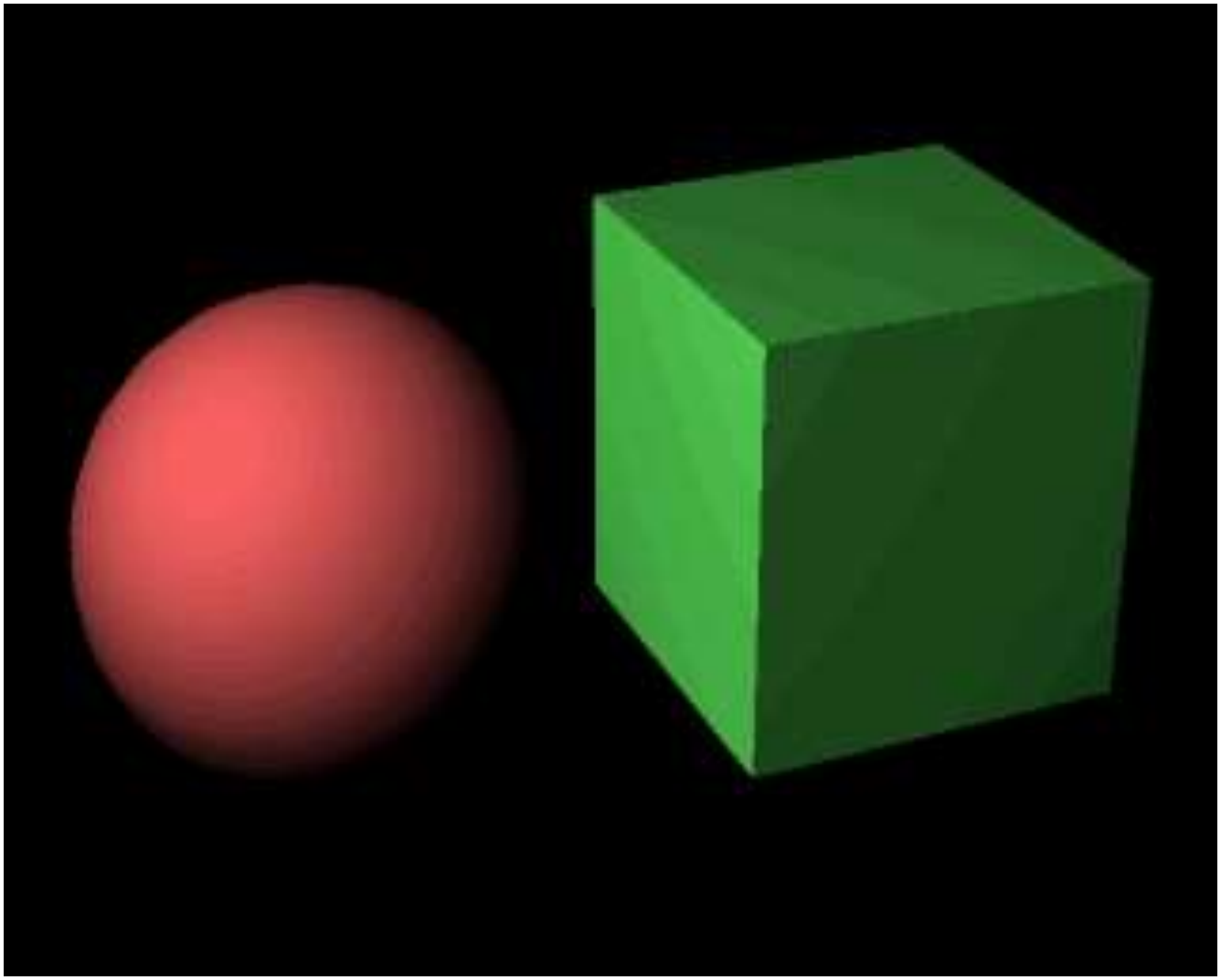
I_a =*Intensidad de la luz ambiental,*

k_a = *cantidad de luz ambiental de un objeto.*

Luz Ambiental



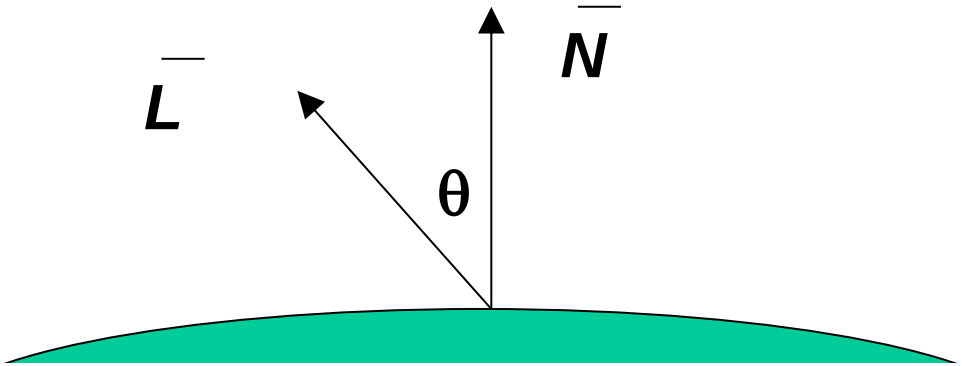
Reflexión difusa



Reflexión difusa

Fuente luminosa puntual: la luz emana en todas direcciones a partir de un solo punto.

Objetos de brillantez variable: la misma depende de la dirección y la distancia respecto a la fuente luminosa.

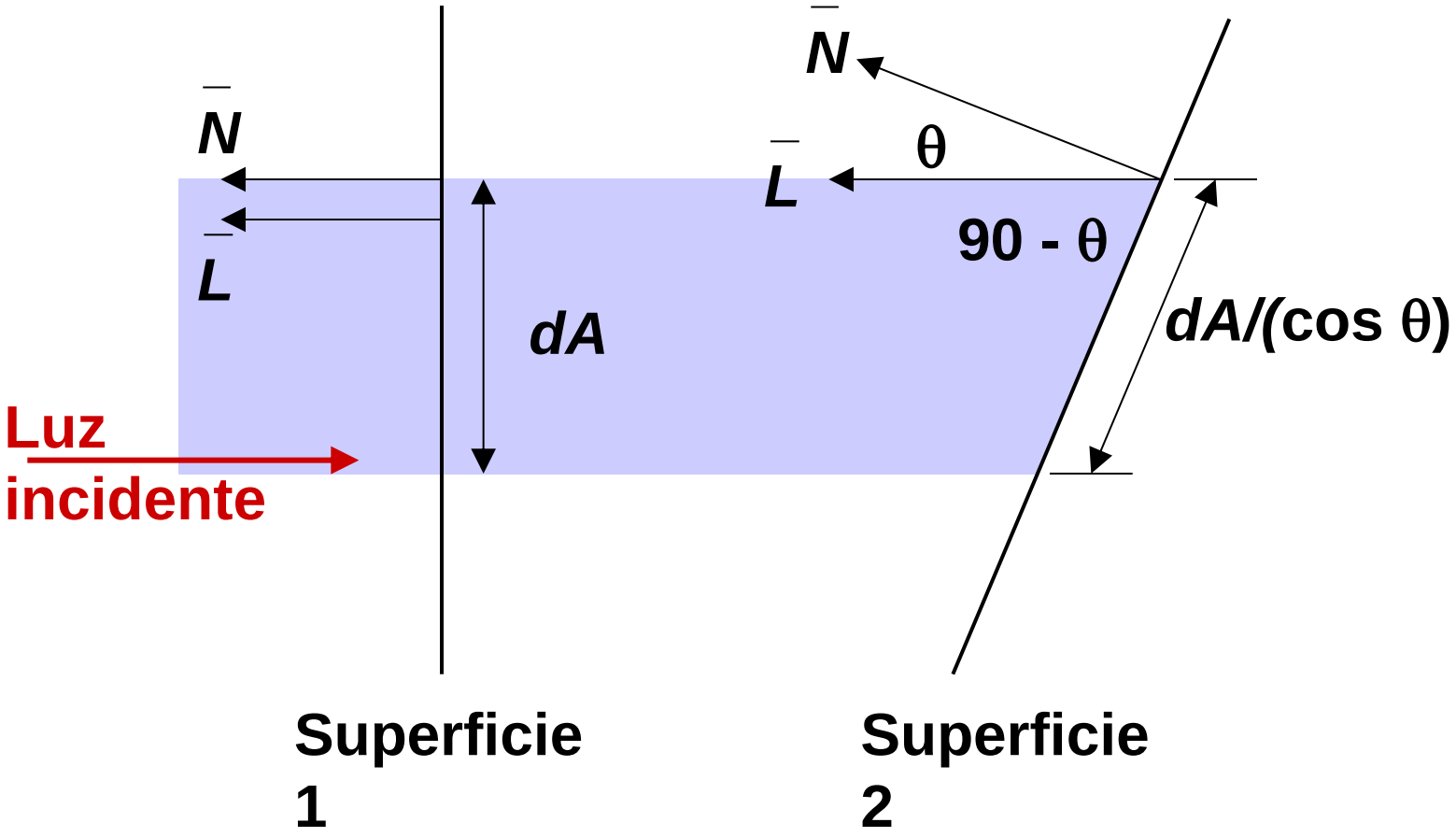


$$I = I_p k_d \, (N \cdot L)$$

I_p es intensidad de luz difusa.

k_d es cantidad de luz difusa del objeto.

Reflexión difusa **(reflexión lambertiana)**



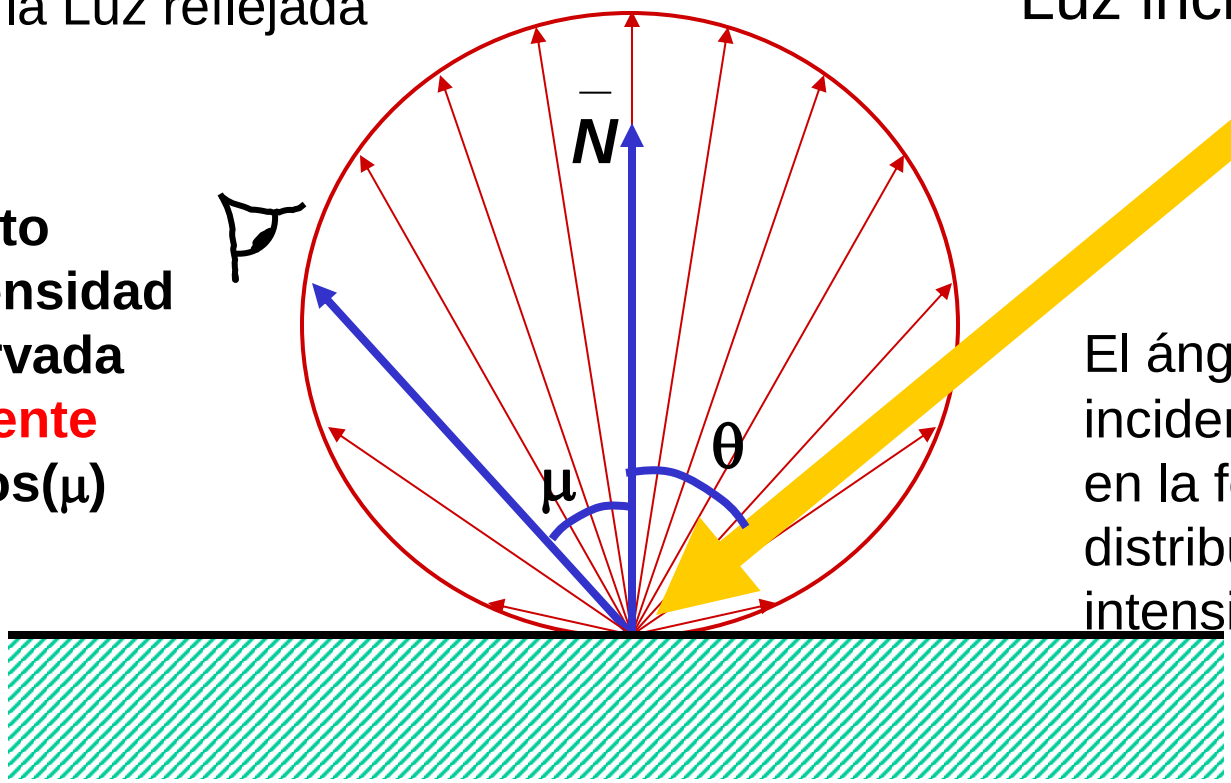
La luz que cae en dA es directamente proporcional a cos(θ). Esto se aplica a cualquier superficie.

Reflexión difusa **(reflexión lambertiana)**

Distribución de intensidades
de la Luz reflejada

Luz incidente

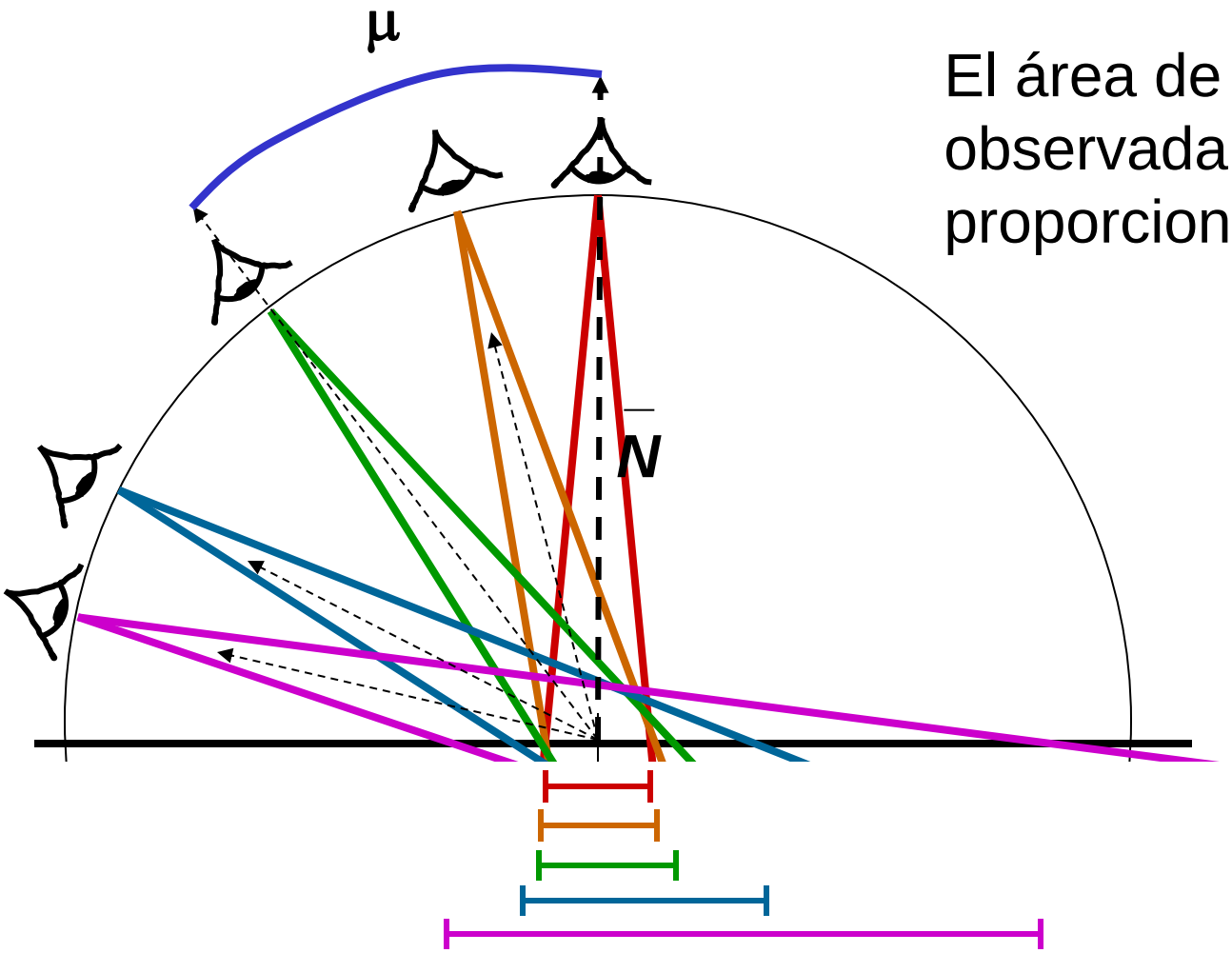
Para un punto dado, la intensidad de luz observada es directamente propor. al cos(μ)



El ángulo θ de la luz incidente no influye en la forma de la distribución, sí en la intensidad.

La intensidad que le llega al observador es directamente proporcional a cos(θ). Esto es particular de las superficies Lambertianas

Reflexión difusa **(reflexión lambertiana)**



El área de superficie observada es **inversamente** proporcional a cos(μ)

Reflexión difusa **(reflexión lambertiana)**

Tenemos 2 efectos contrapuestos:

1) La intensidad de luz observada es **directamente** proporcional a cos(μ) .

2) La cantidad de área de superficie observada es **inversamente** proporcional a cos(μ) .

=>Ambas cantidades se compensan.

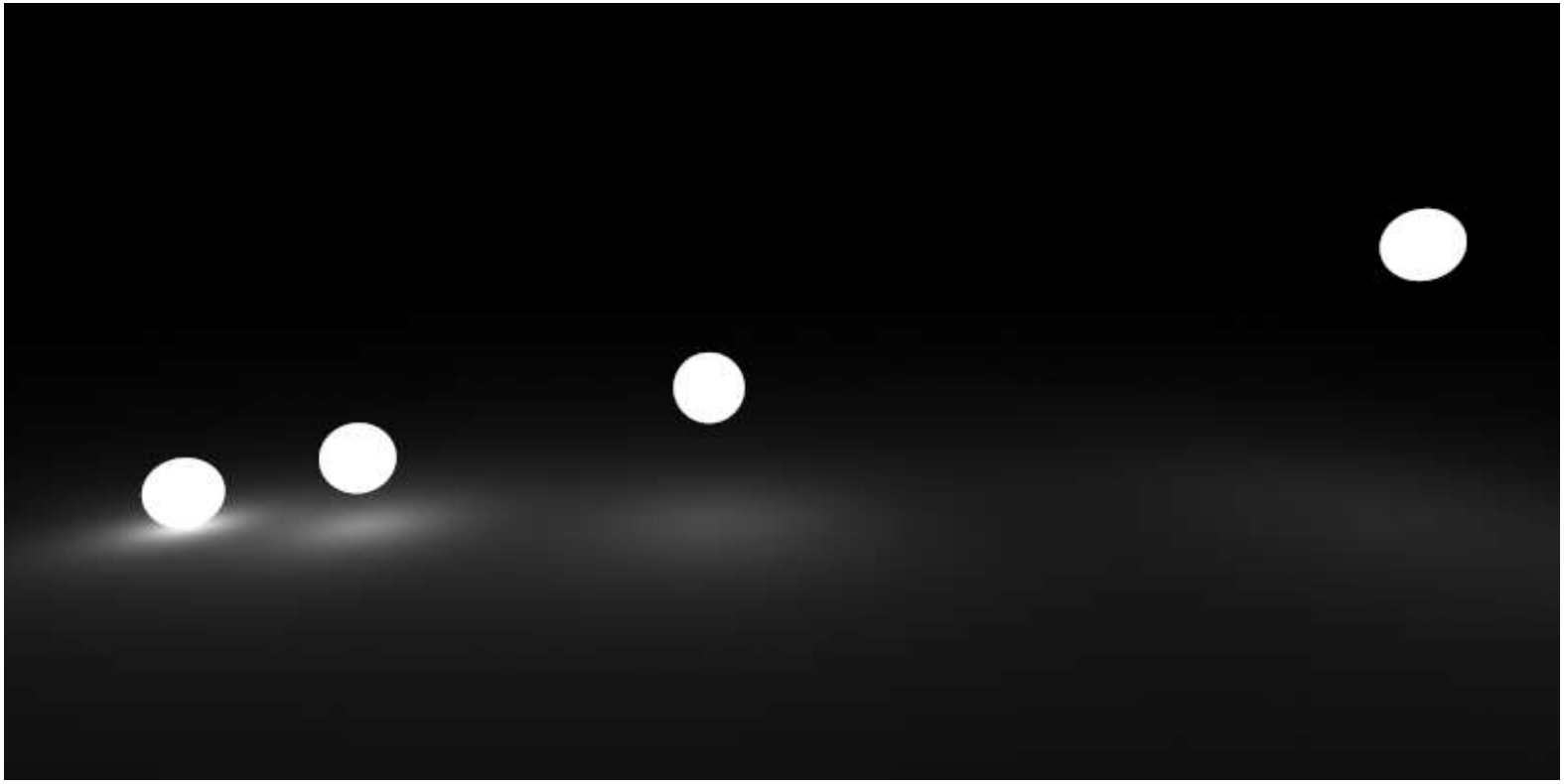
Por tanto, **para las superficies lambertianas, la cantidad de luz que ve el observador es independiente de la dirección de éste** y sólo es proporcional a cos(θ), donde θ es el ángulo de incidencia de la luz.

Reflexión ambiental + difusa

$$I = I_a k_a + I_p k_d (N \cdot L)$$

Atenuación de la fuente luminosa

Factor de Atenuación debido a la distancia entre la fuente puntual y la superficie.



Atenuación de la fuente luminosa

Factor de Atenuación debido a la distancia entre la fuente puntual y la superficie.

$$I = I_a k_a + f_{att} I_p k_d (N \cdot L)$$

Fórmulas de f_{att}

$f_{att} = {}^{1}/d_L{}^{2}$ (donde d_L es la distancia a la fuente luminosa)

$$f_{att} = \min\left(\frac{1}{c_1 + c_2 d_L + c_3 d_L{}^2}, 1\right)$$

Luces y superficies coloreadas

La intensidad de la luz puntual se descompone (de forma simple) en 3 valores: I_{pR}, I_{pG}, I_{pB}

Idem con la luz ambiente: I_{aR}, I_{aG}, I_{aB}

Idem con el color del objeto: O_{dR}, O_{dG}, O_{dB}

=>

$$I_R = I_{aR} k_a O_{dR} + f_{att} I_{pR} k_d O_{dR} (N \cdot L)$$

$$I_G = I_{aG} k_a O_{dG} + f_{att} I_{pG} k_d O_{dG} (N \cdot L)$$

$$I_B = I_{aB} k_a O_{dB} + f_{att} I_{pB} k_d O_{dB} (N \cdot L)$$

Luces y superficies coloreadas

Modelo más realista, que trabaja directamente con λ.

$$I_\lambda = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} k_d O_{d\lambda} (N \cdot L)$$

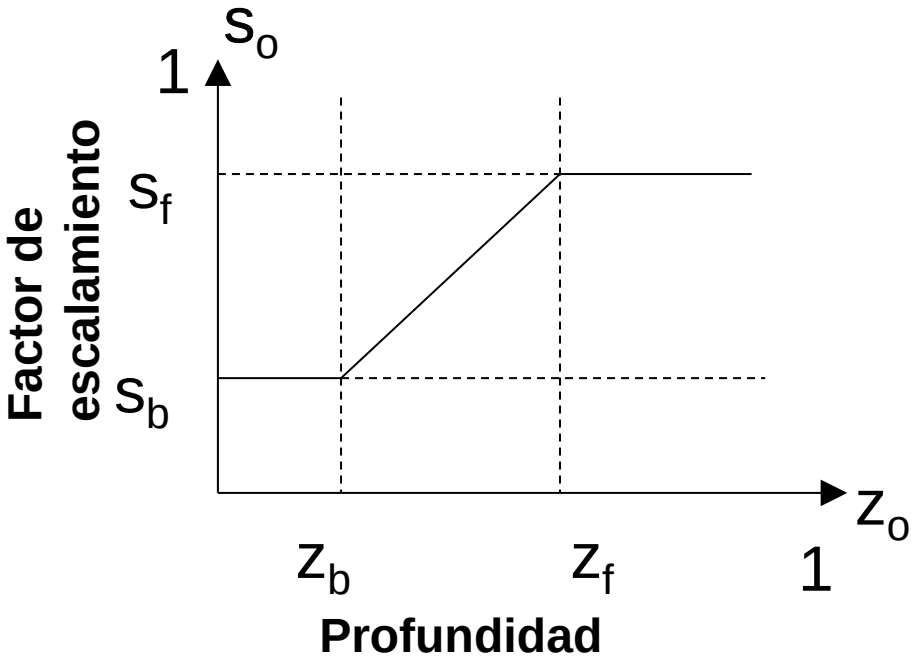
Atenuación Atmosférica

Los objetos más lejanos al observador se generan con menor intensidad que los más cercanos.

s_o= factor de escalamiento del objeto.

I_λ = intensidad inicial del objeto.

$I_{dc\lambda}$ = intensidad indicadora de profundidad.



Atenuación Atmosférica

Si $\mathbf{z_o} < z_b$ => $\mathbf{s_o} = s_b$

Si $\mathbf{z_o} > z_f$ => $\mathbf{s_o} = s_f$

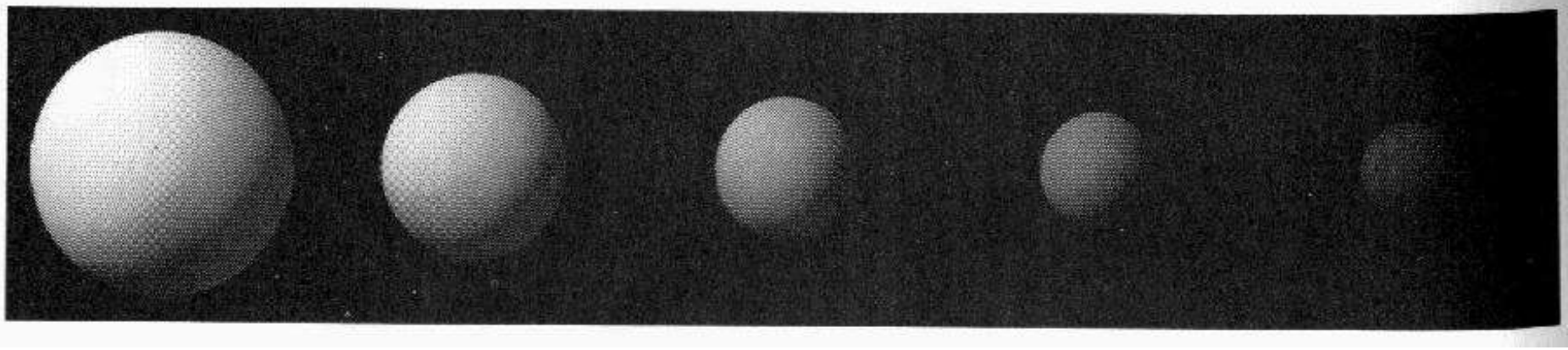
En otros casos:

$$\mathbf{s_o} = s_b + (\mathbf{z_o} - z_b)(s_f - s_b)/(z_f - z_b)$$

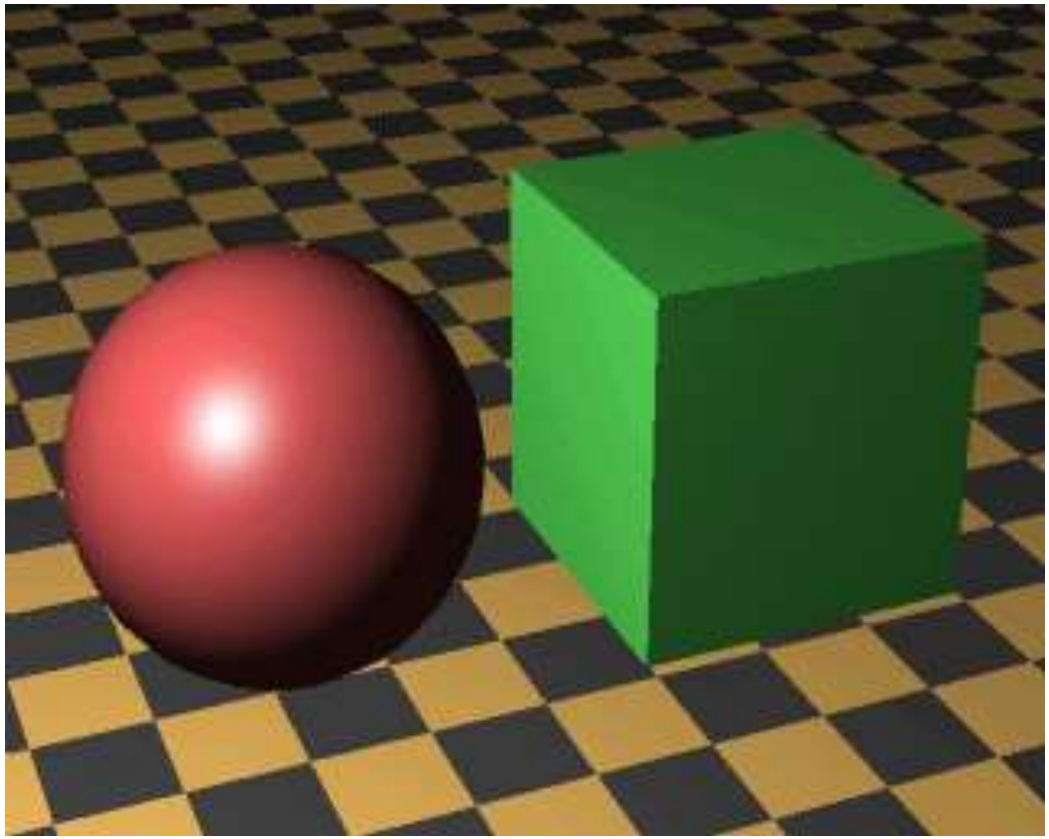
Por tanto, la intensidad del objeto es:

$$I'_\lambda = \mathbf{s_o}\, I_\lambda + (1 - \mathbf{s_o}) I_{dc\lambda}$$

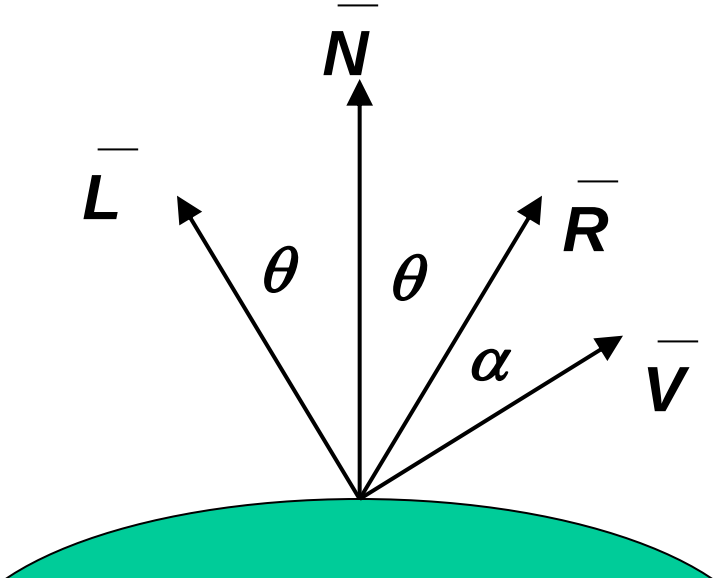
Atenuación Atmosférica



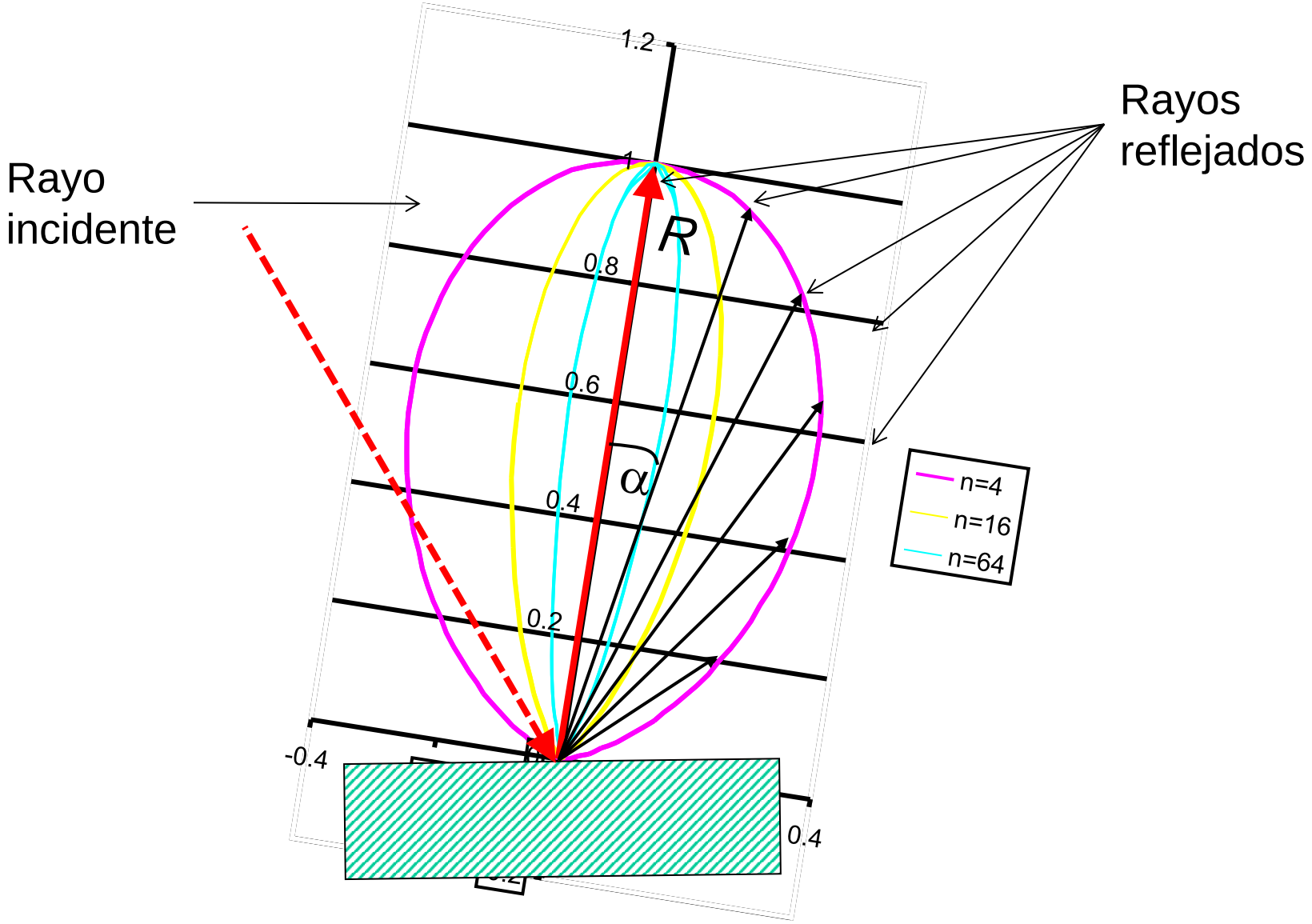
Reflexión Especular



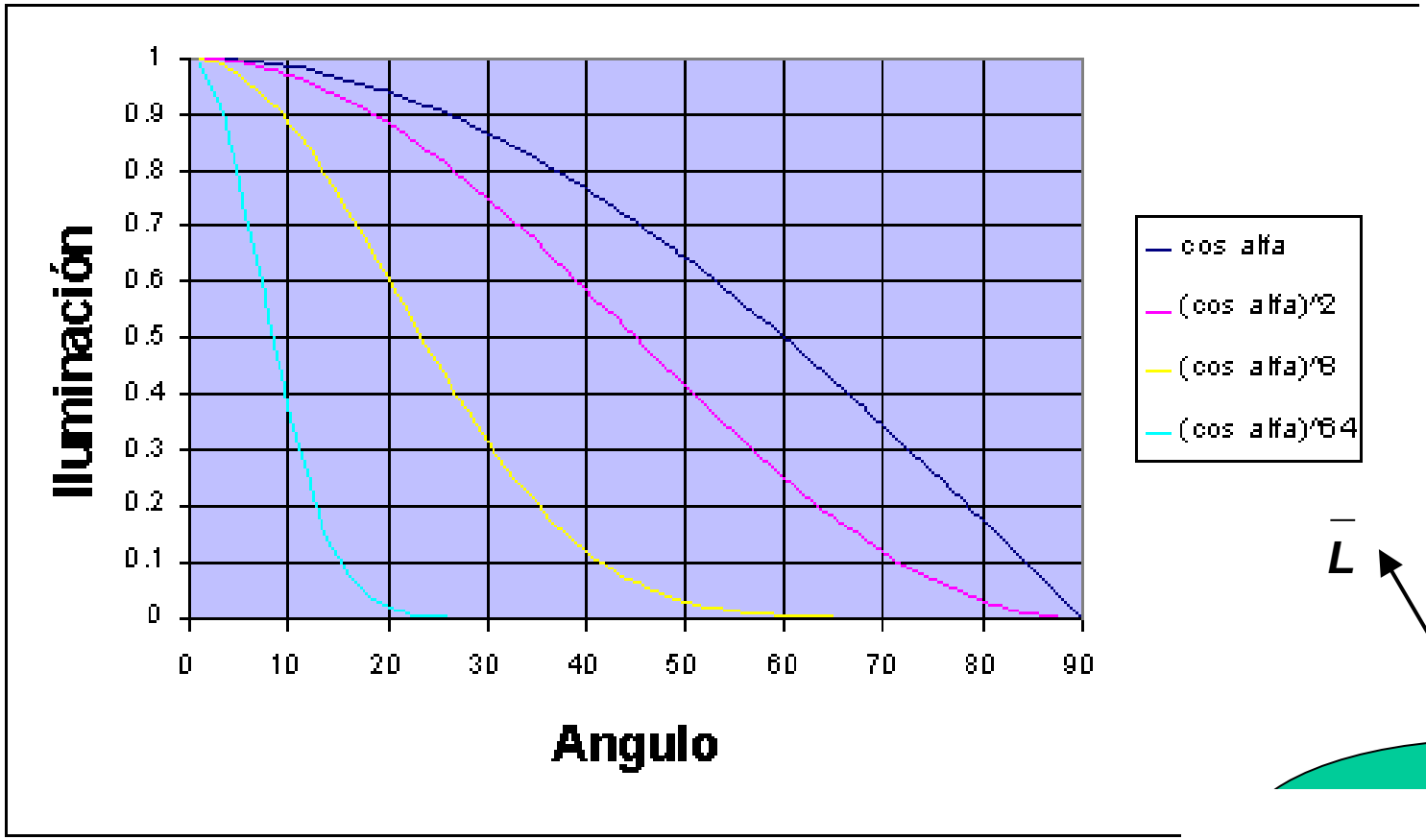
Reflexión Especular

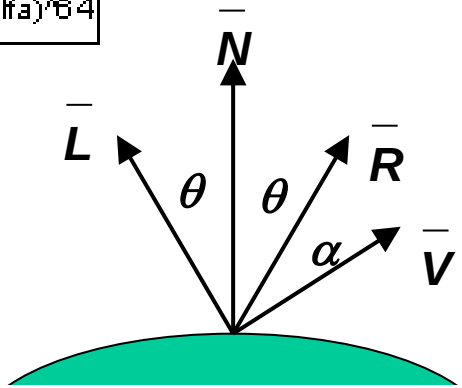


Reflexión Especular (modelo de Phong)



Reflexión Especular (**modelo de Phong**)





A la ecuación de intensidad se le suma el término

$(\cos \alpha)^n = (R \cdot V)^n$

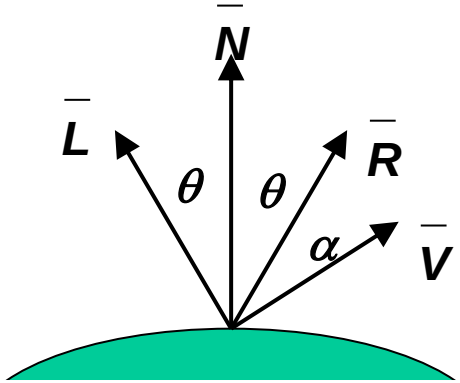
Reflexión Especular (**modelo de Phong**)

Es un modelo para reflectores imperfectos.

Hay un componente *n*, llamado *exponente de reflexión especular*.

$$I_\lambda = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} \left[k_d O_{d\lambda} (N \cdot L) + W(\theta)\, (R \cdot V)^n \right]$$

donde $W(\theta)$ es la fracción de luz reflejada especularmente.



Si considero $W(\theta)$ constante = k_s

Si $O_{s\lambda}$ es el *color especular del objeto*

$$I_\lambda = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} \left[k_d O_{d\lambda} (N \cdot L) + k_s\, O_{s\lambda}\, (R \cdot V)^n \right]$$

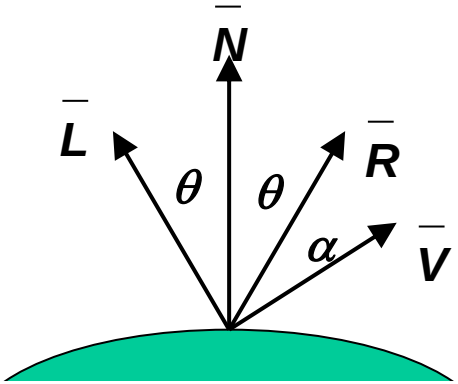
Reflexión Especular (**modelo de Phong**)

Cálculo de R

$$R = 2N(N \cdot L) - L$$

=>

$$R \cdot V = (2N(N \cdot L) - L) \cdot V$$



---

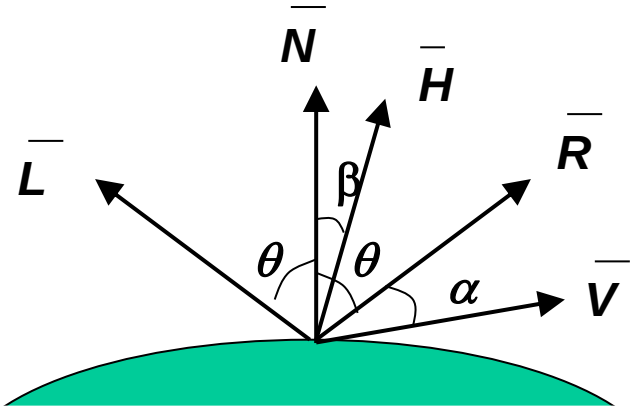
alternativa: $(N \cdot H)^n$ en lugar de $(R \cdot V)^n$

H = vector intermedio entre L y V

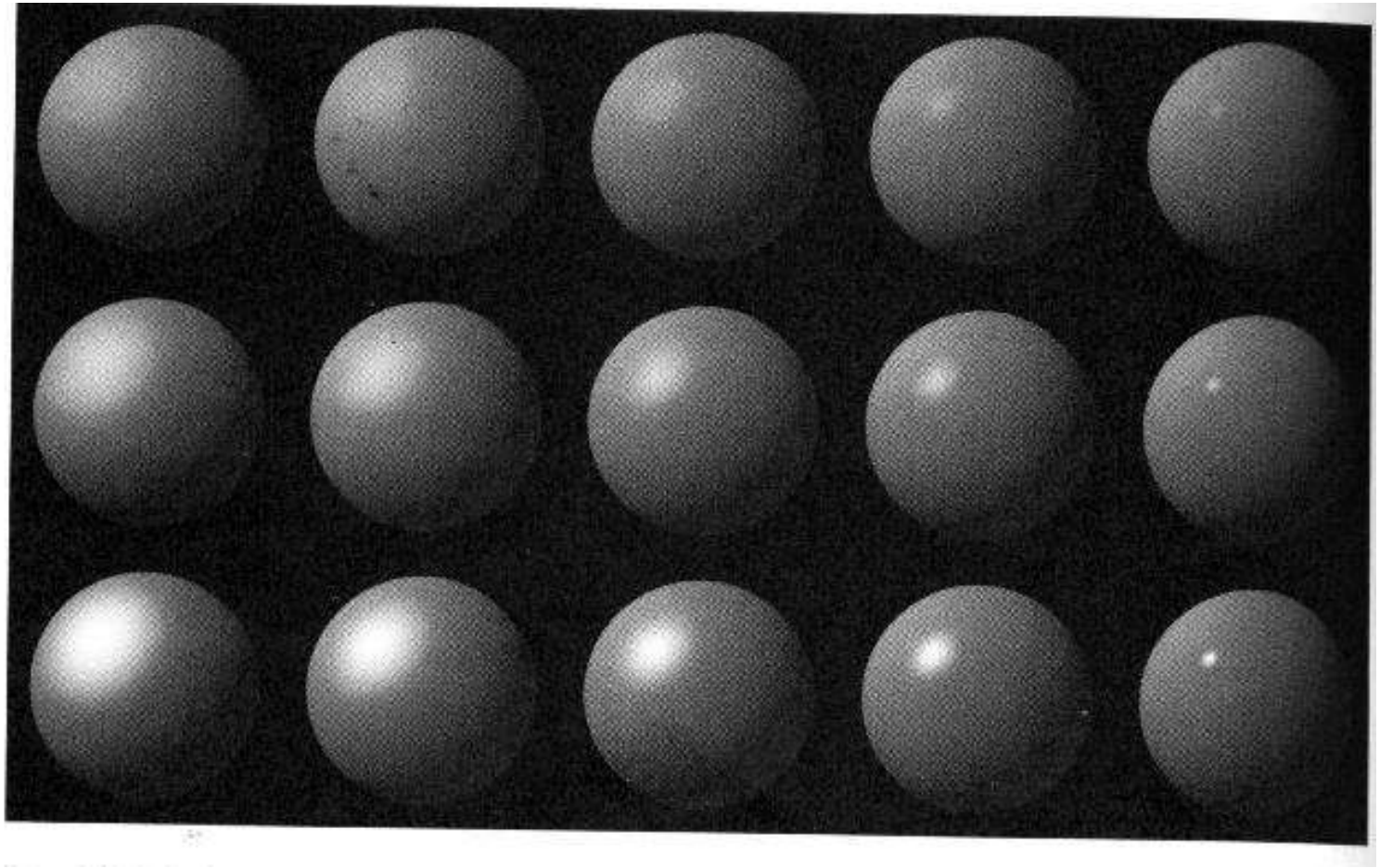
$$H = (L + V) / |L + V|$$

=>

$$(N \cdot H)^n \neq (R \cdot V)^n$$



Reflexión Especular (**modelo de Phong**)

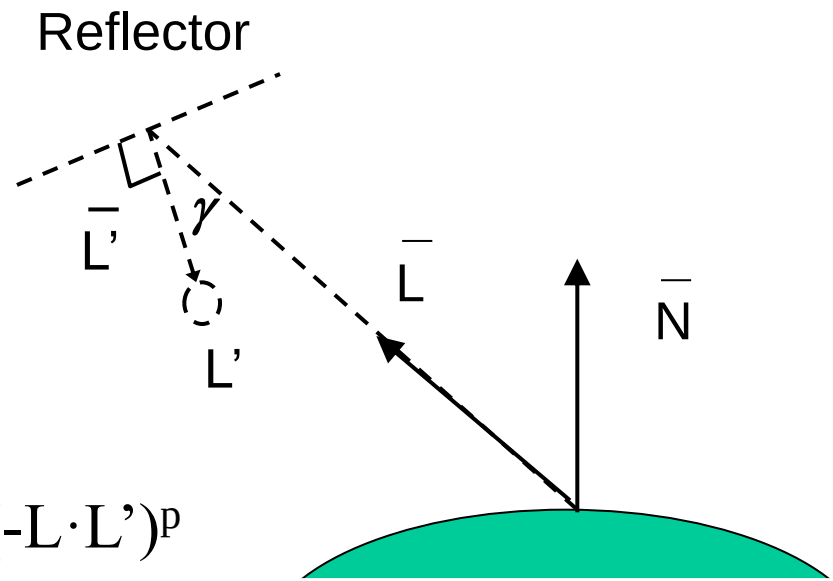


Todas las esferas tienen $I_a = I_p$=1, k_a= 0.1, k_d=0.45.

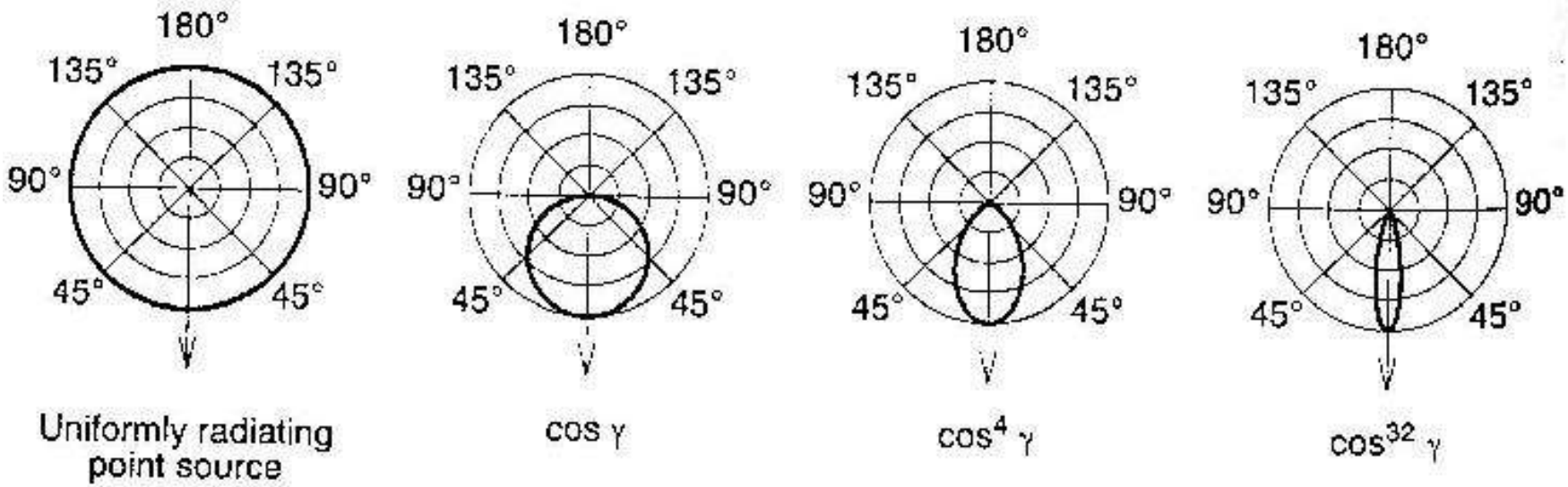
De izquierda a derecha, n = 3.0, 5.0, 10.0, 27.0, 200.0

De arriba a abajo, k_s = 0.1, 0.25, 0.5

Modelo de Warn

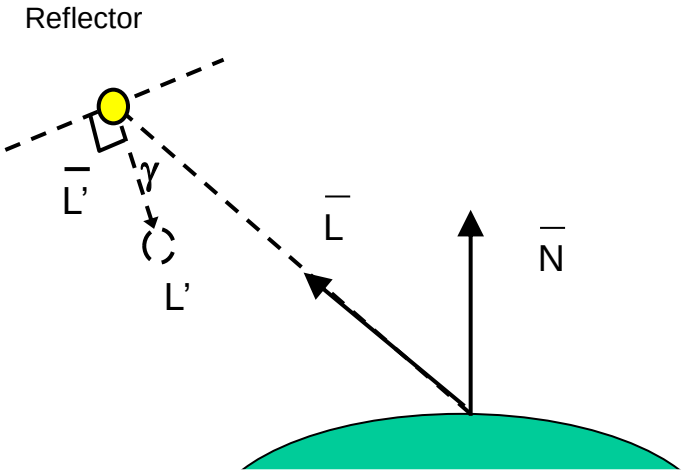


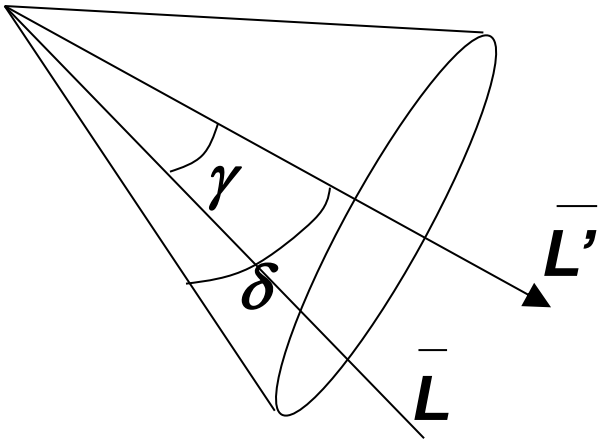
$$I_{L,\gamma}\,(\cos\gamma)^p = I_{L,\gamma}\,(-L\cdot L')^p$$

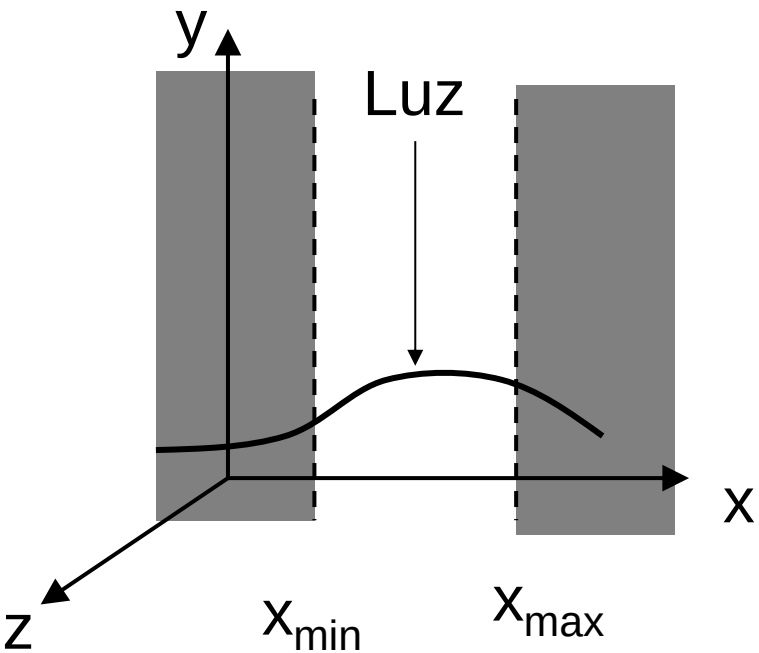


Modelo de Warn

Utilización de aletas y conos.

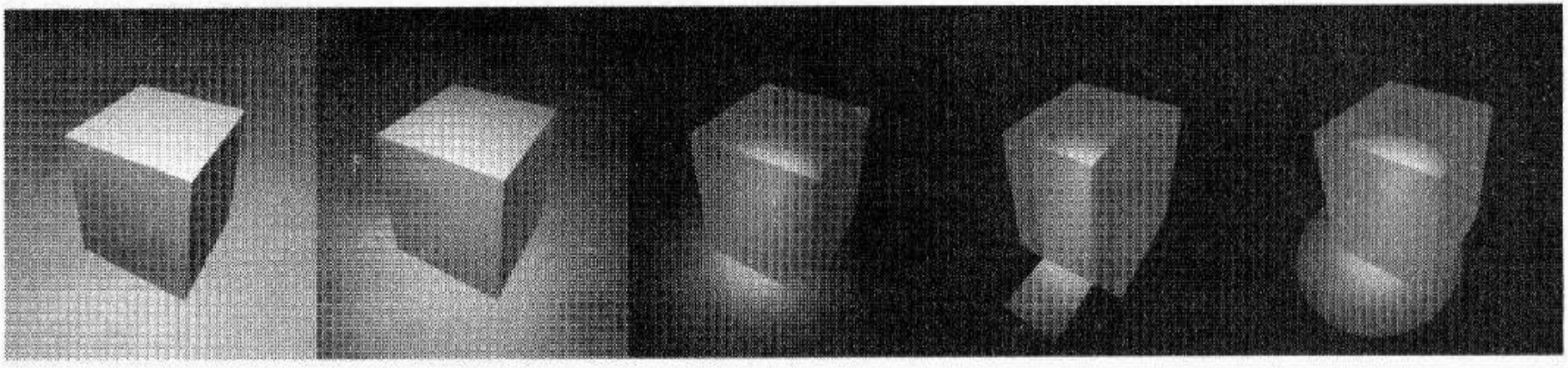






Modelo de Warn

Utilización de aletas y conos.



(a) (b) (c) (d) (e)

Fuentes luminosas múltiples

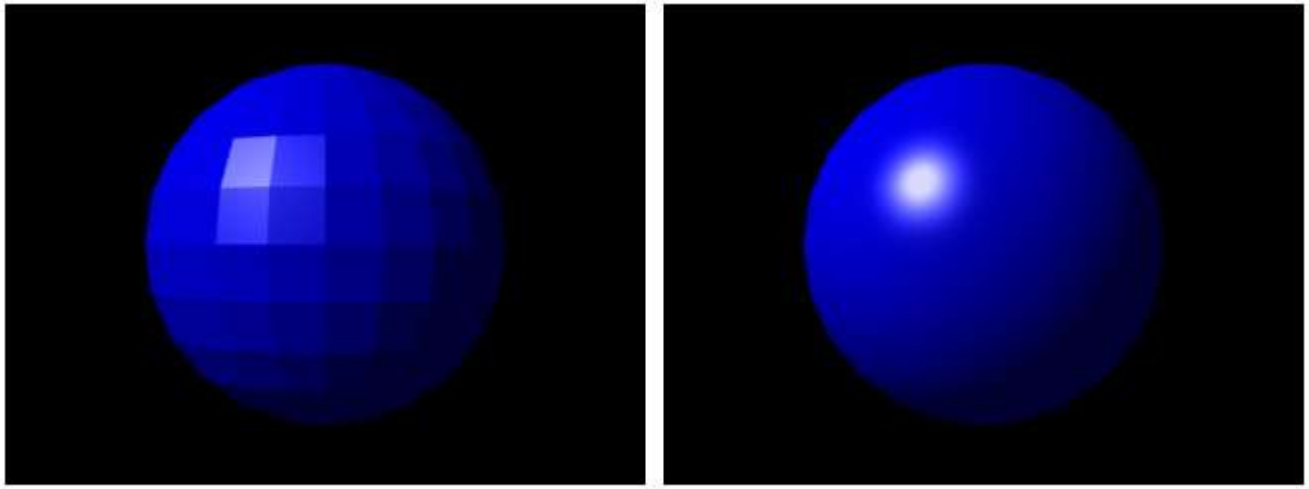
$$I_\lambda = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + \sum_{1 \le i \le m} f_{att_i} I_{p\lambda_i} \left[k_d O_{d\lambda} \left(\overline{N} \cdot \overline{L}_i \right) + k_s O_{s\lambda} \left(\overline{R}_i \cdot \overline{V} \right)^n \right]$$

Se incrementa la posibilidad de problemas

Es probable que I_λ supere el máximo permitido (1, o 255).

El control se puede hacer píxel a píxel o considerando toda la imagen.

Modelos de sombreado para polígonos



FLAT SHADING PHONG SHADING

Modelos de sombreado para polígonos

Sombreado constante:

- aplica una sola vez un modelo de iluminación para todo el polígono.
- Esta simplificación sirve si:
  - La fuente luminosa está en el infinito, por tanto $N \cdot L$ es constante
  - El observador está en el infinito, por tanto $N \cdot V$ es constante en toda la cara del polígono.
  - El polígono representa la superficie real que se modela y no es una aproximación a una superficie curva.
- Si las suposiciones son incorrectas, entonces hay un método para determinar L y V

Sombreado Interpolado

En lugar de evaluar la ecuación de iluminación para cada píxel, esta se interpola linealmente sobre un triángulo a partir de los valores determinados para sus vértices.

Se puede generalizar para otro tipo de polígonos.

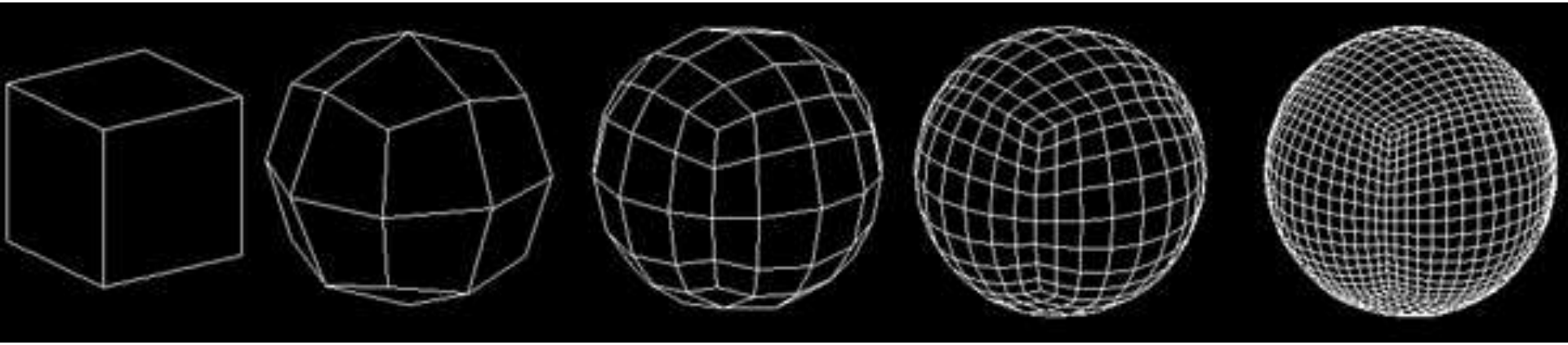
A su vez, en lugar de realizar la interpolación para cada píxel, se puede hallar una ecuación de diferencia.

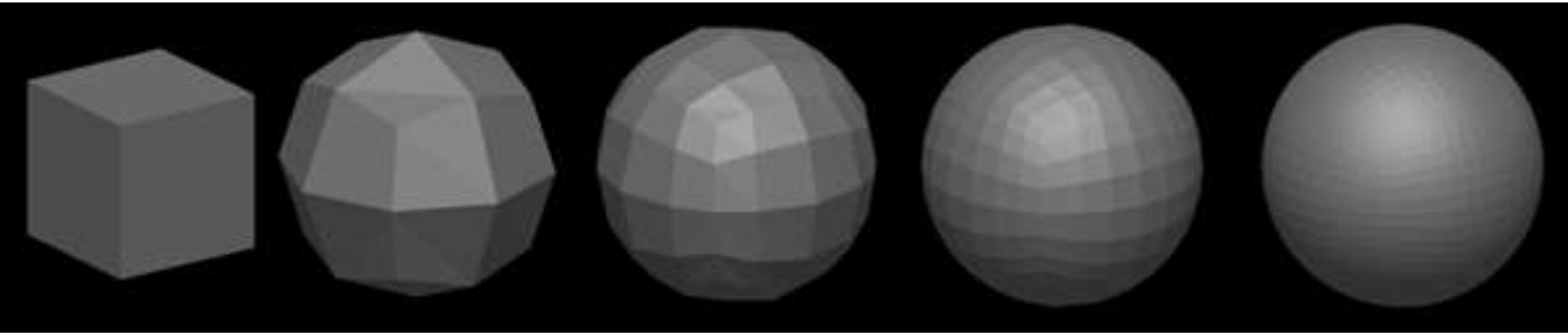
Esta interpolación no evita la apariencia facetada. Según el objeto a modelar, esto es positivo o no.

Sombreado de malla poligonal

Una superficie curva se puede aproximar a otra facetada (malla poligonal)

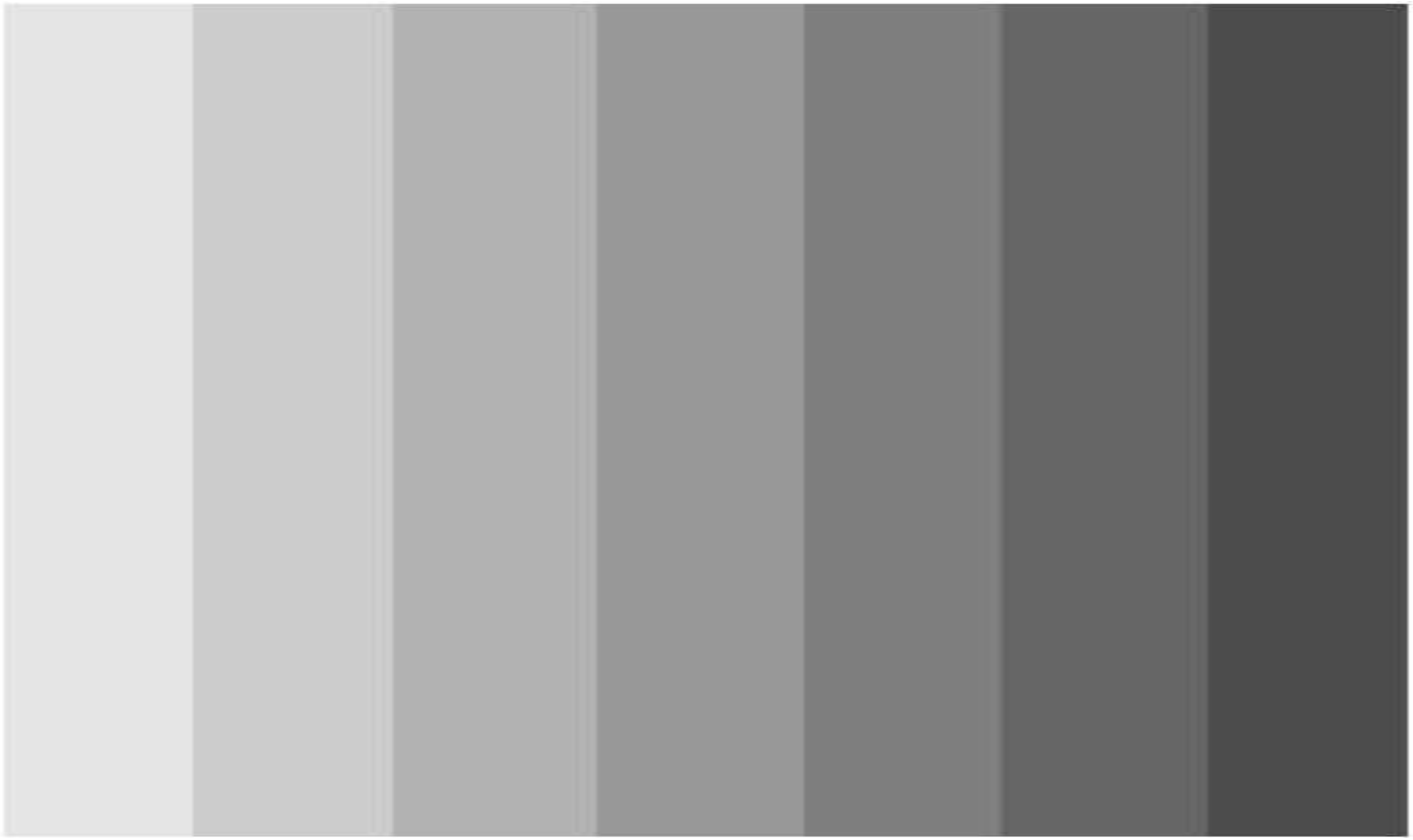
No se logran buenos resultados en la interpolación, aunque se trabaje con una densidad alta de polígonos.





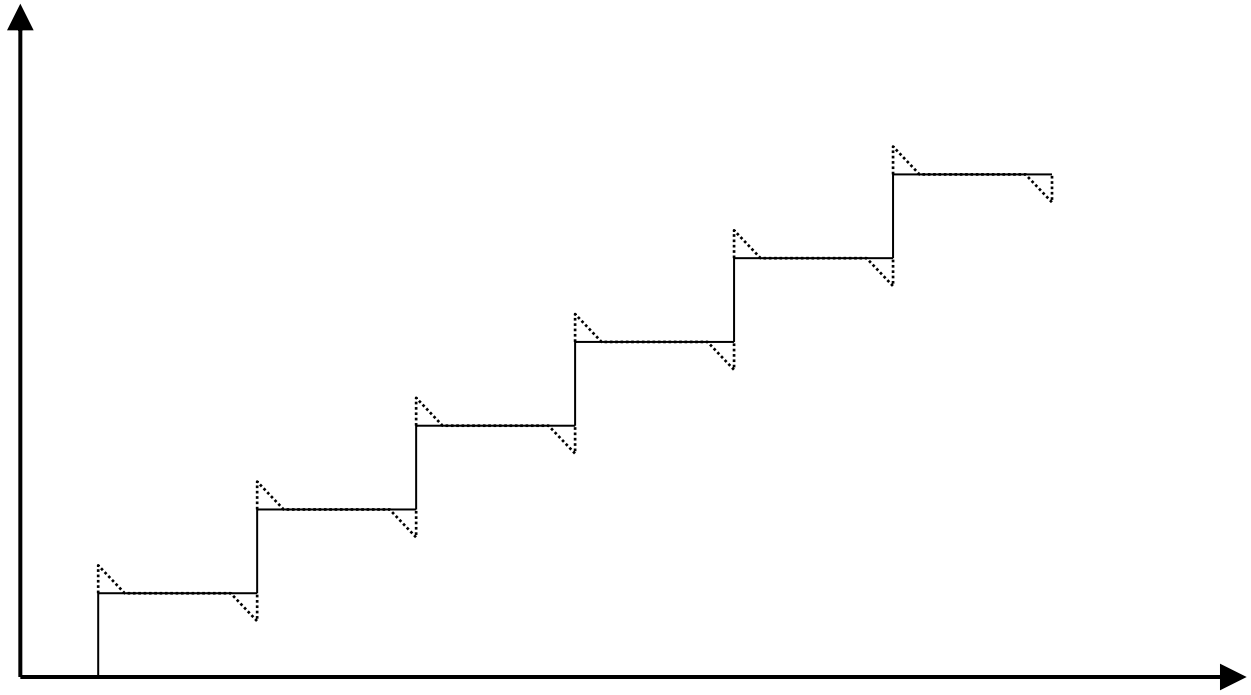
Sombreado de malla poligonal

Los problemas en la visualización de una superficie curva a través de una aproximación facetada, tienen su origen en el efecto de banda de Mach.



Sombreado de malla poligonal

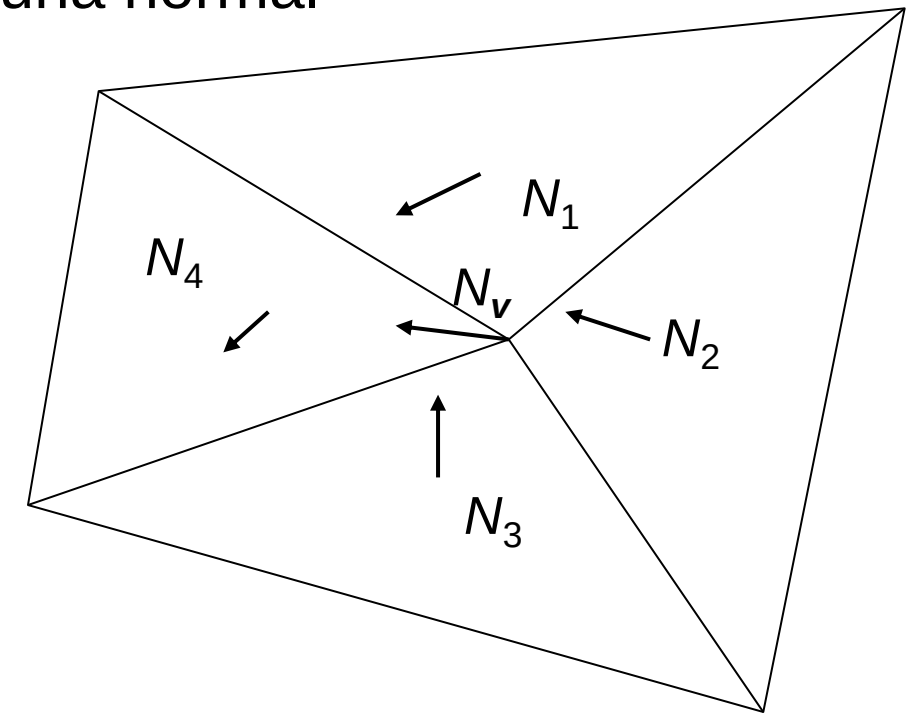
Esquema de las intensidades reales y las percibidas.



Sombreado de Gouraud

1) A cada vértice se le asigna una normal

$$\overline{N}_v = \frac{\sum_{1 \le i \le n} \overline{N}_i}{\left| \sum_{1 \le i \le n} \overline{N}_i \right|}$$

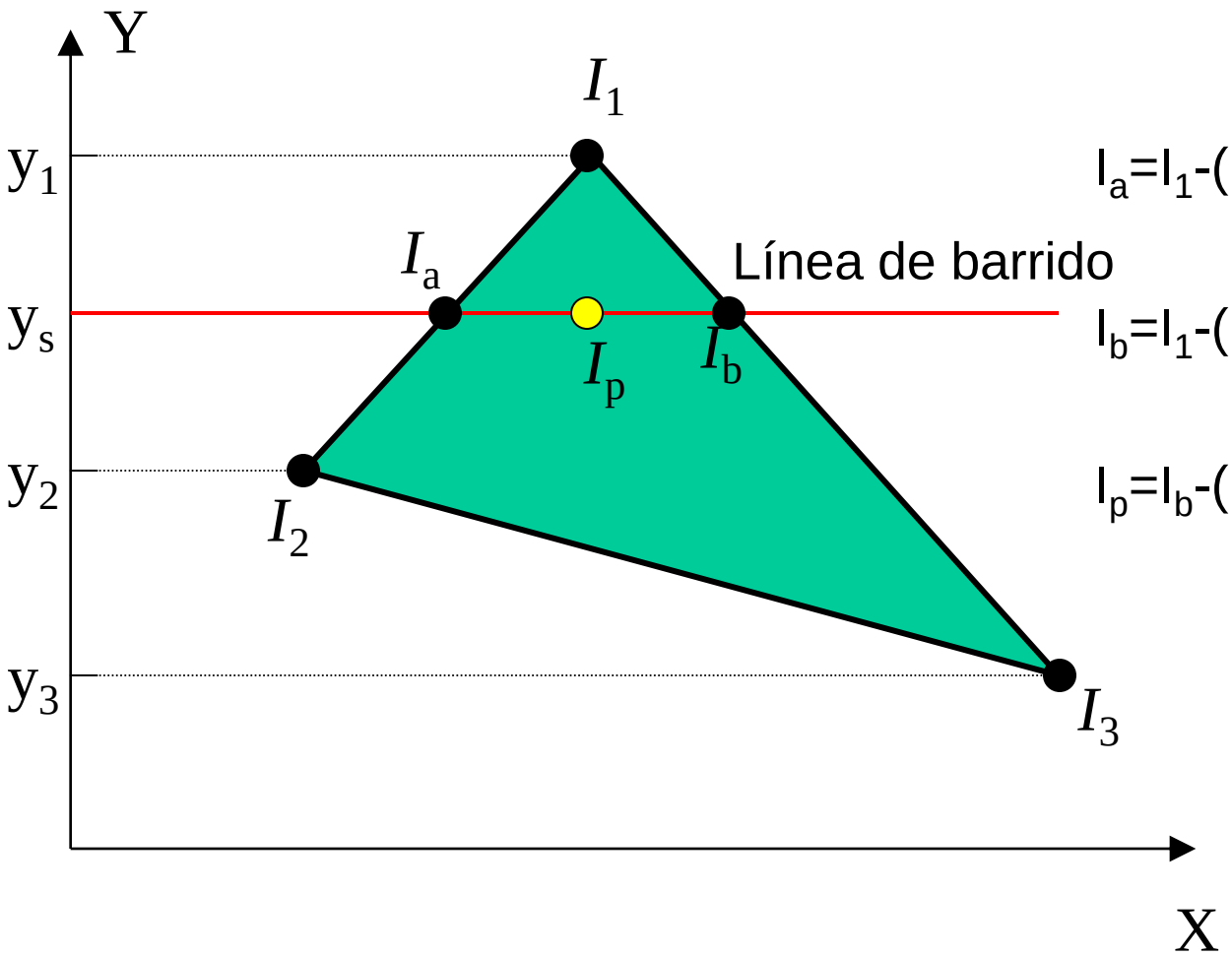


2) Se calculan las intensidades de los vértices usando algún modelo de iluminación ya visto.

3) Se interpola la intensidad en cada píxel del polígono.

Sombreado de Gouraud

3) Se interpola la intensidad en cada píxel del polígono.

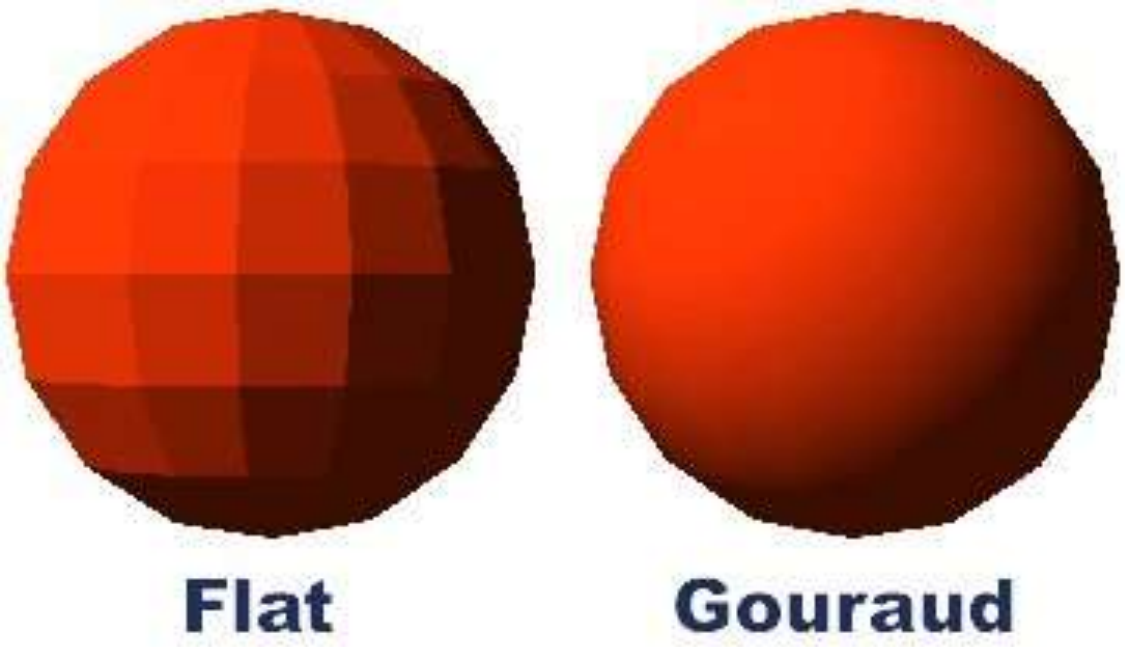


$I_a = I_1 - (I_1 - I_2)(y_1 - y_s)/(y_1 - y_2)$

$I_b = I_1 - (I_1 - I_3)(y_1 - y_s)/(y_1 - y_3)$

$I_p = I_b - (I_b - I_a)(x_b - x_p)/(x_b - x_a)$

Sombreado de Gouraud

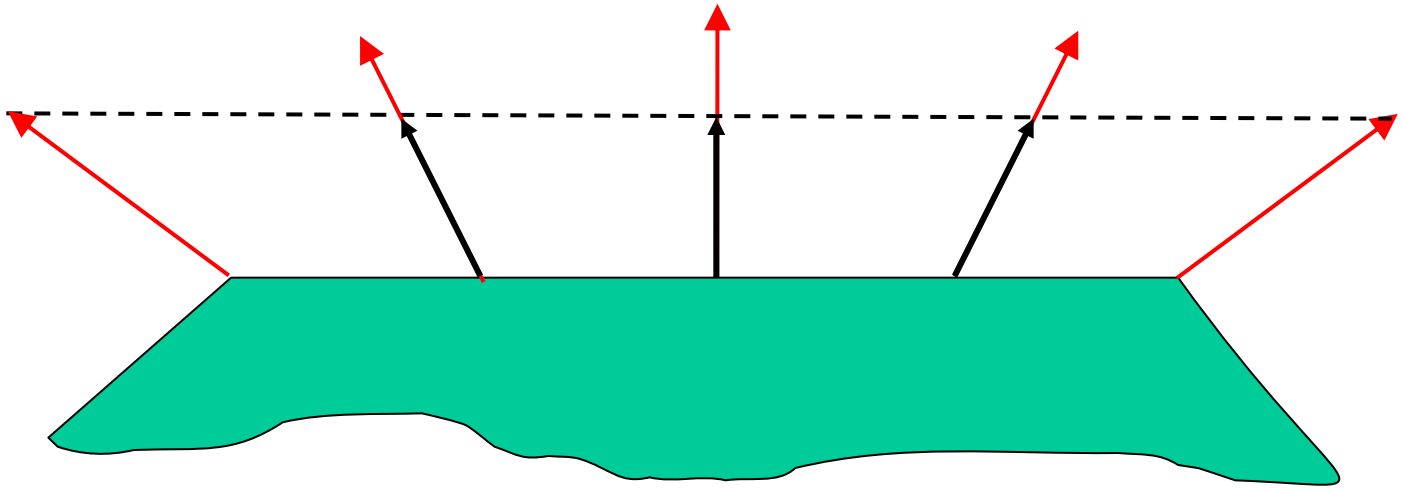


Sombreado de Phong

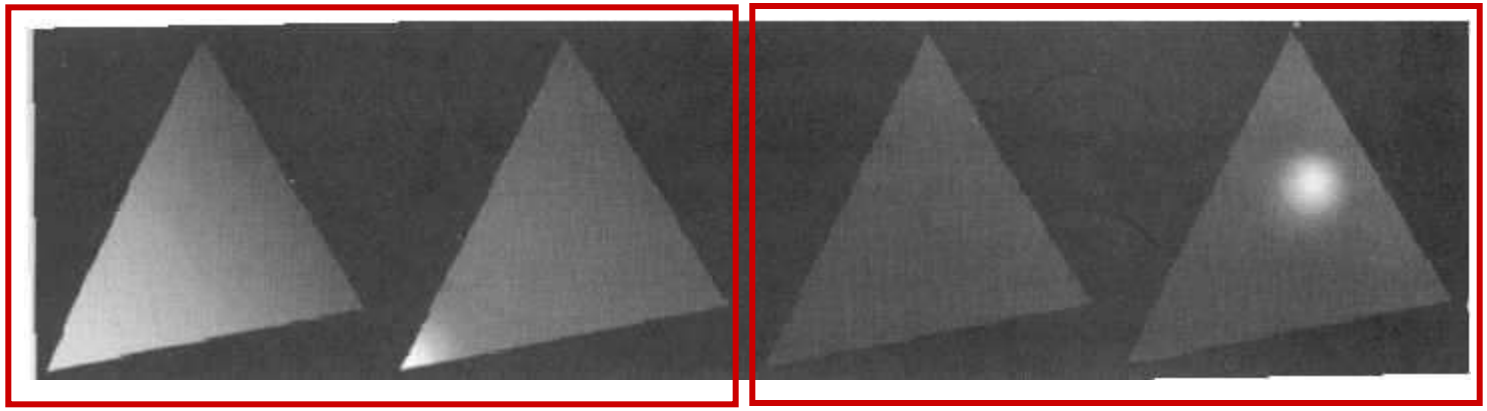
En lugar de interpolar la intensidad del vertice (Gouraud), se interpola y normaliza la normal a los vértices.

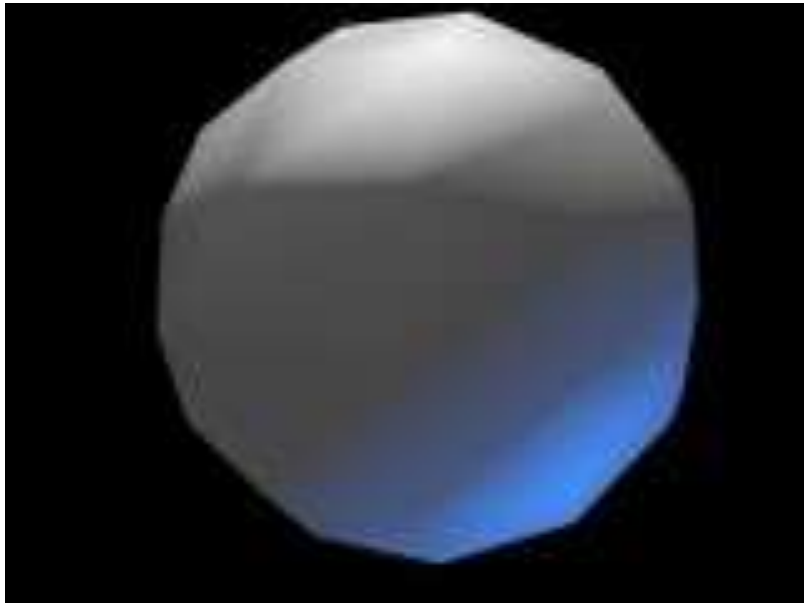
Si se utiliza sombreado de Phong con *n* alto, la diferencia entre Phong y Gouraud puede llegar a ser notable.

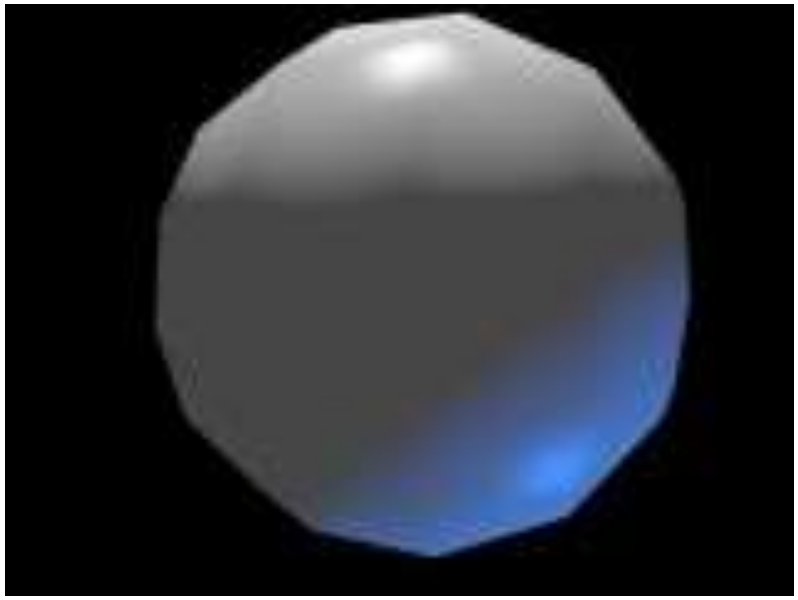
Normalizar un vector es costoso, y aplicar un modelo de iluminación a cada píxel también puede serlo.



Sombreado de Phong



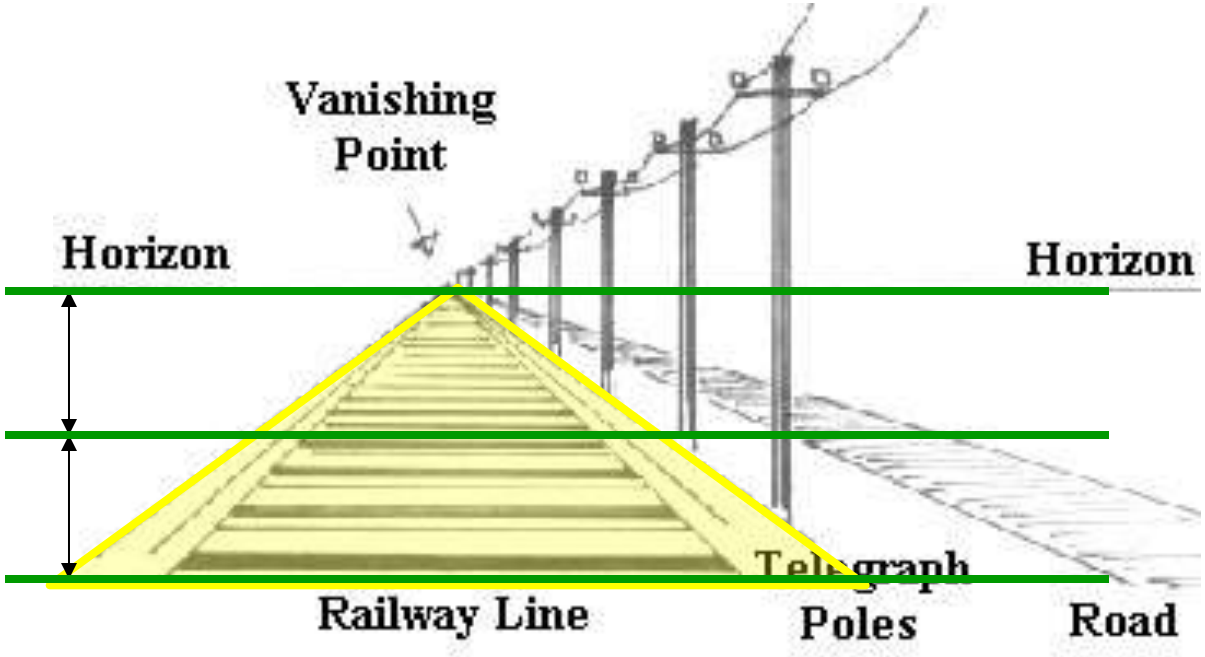




Problemas con sombreado interpolado

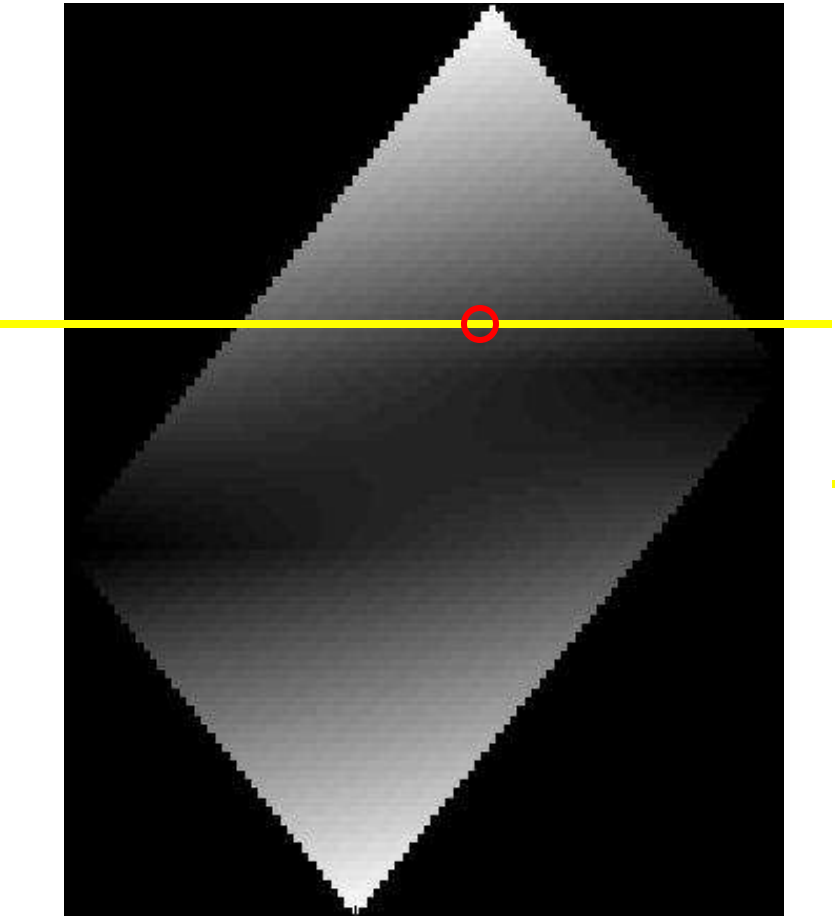
1) ***Silueta poligonal***
2) ***Distorción de perspectiva***. (las interpolaciones se hacen sobre la proyección en pantalla, por tanto no consideran la perspectiva).

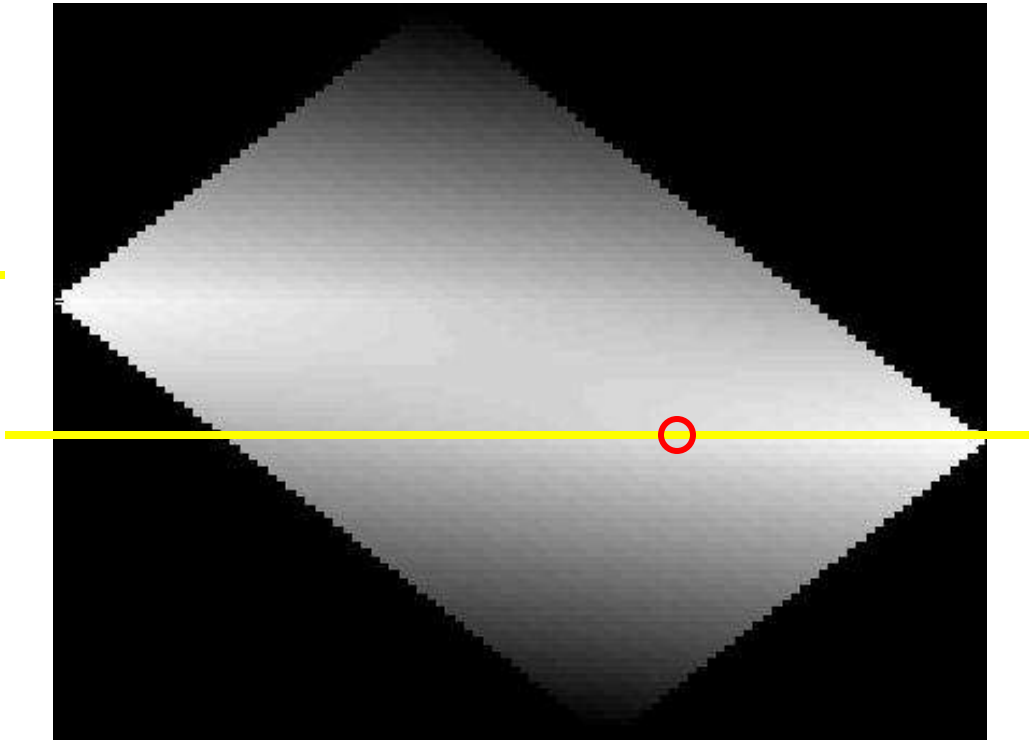
Distancias iguales en la **y** no se corresponde con distancias iguales en la **z**.



Problemas con sombreado interpolado

3) ***Dependencia de la orientación.*** Las lineas de rastreo son siempre horizontales, pero el polígono interpolado puede cambiar su orientación.

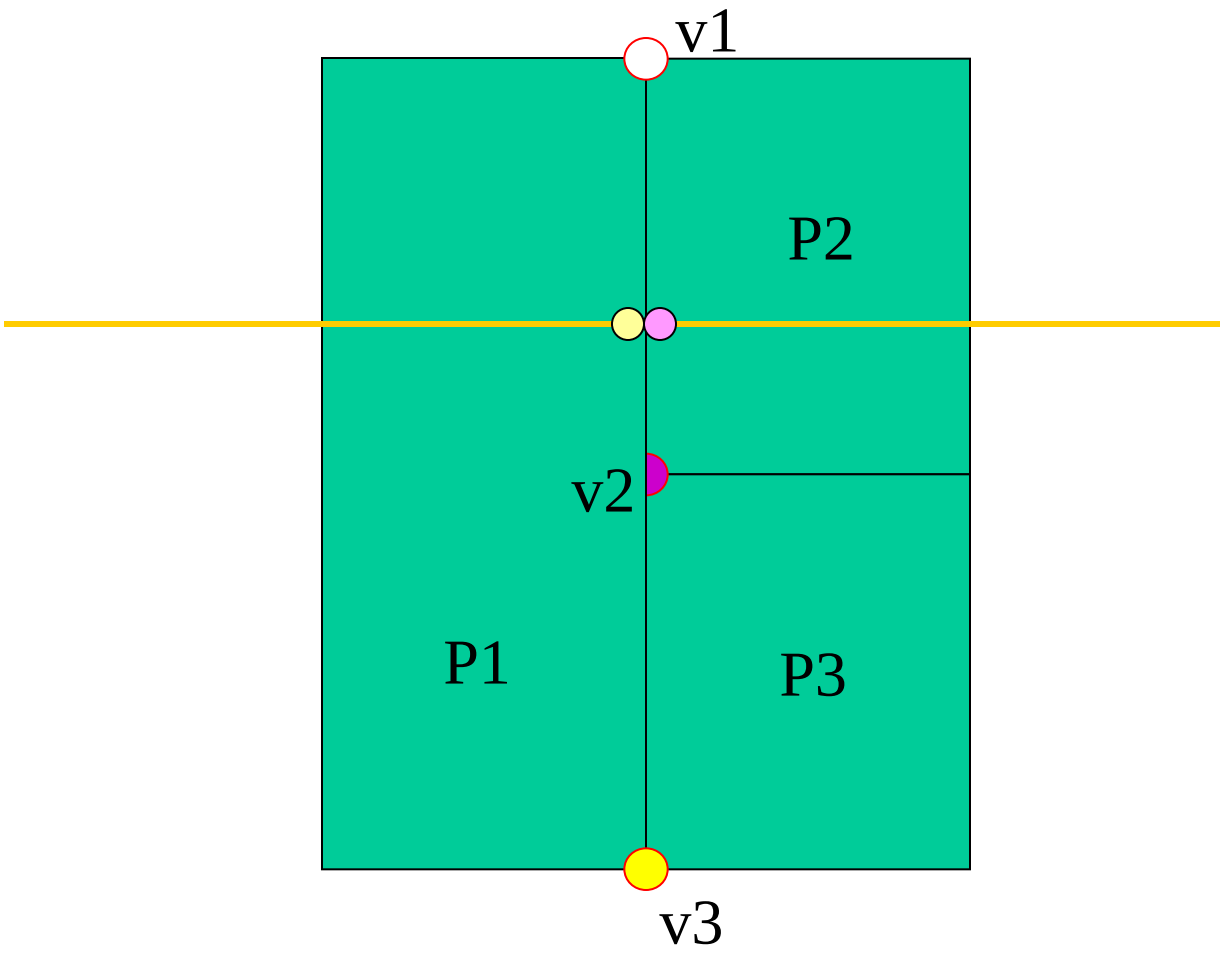




Problemas con sombreado interpolado

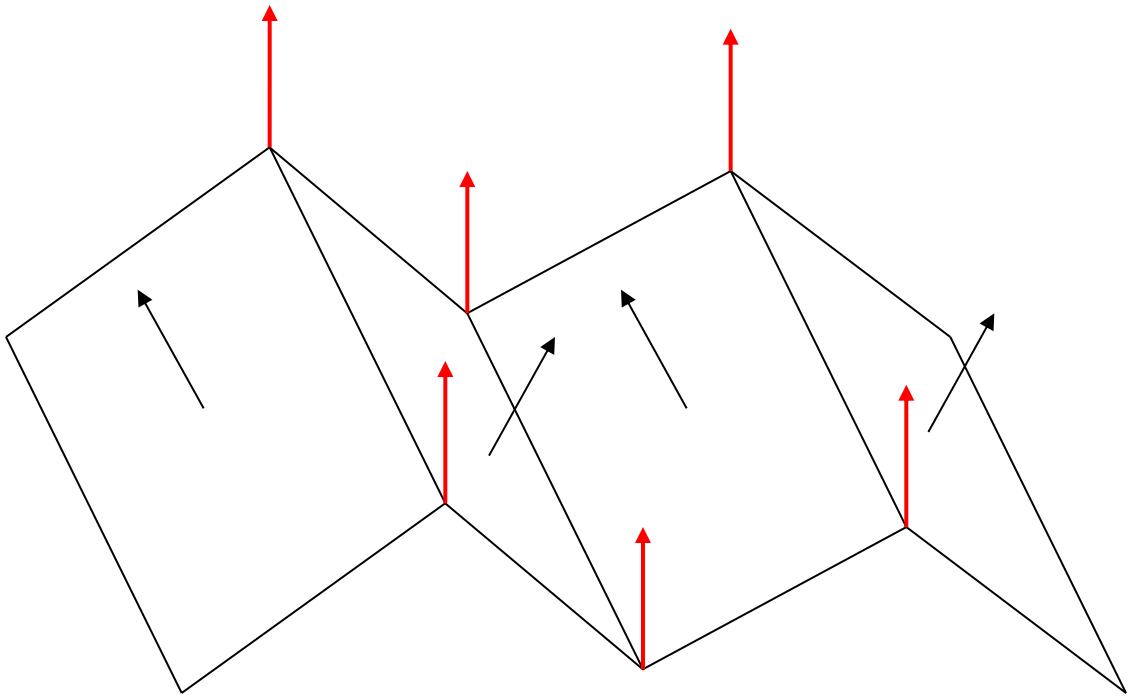
4) ***Problemas en vértices compartidos.***

Se genera discontinuidad entre píxeles adyacentes.



Problemas con sombreado interpolado

5) ***Normales a vértices que no son representativas.***



Detalle de superficie

Las superficies vistas son planas o bicúbicas. Las mismas son suaves y uniformes, lo cual no se ajusta a la mayoría de las superficies reales.

Hay algunos métodos para salvar estos detalles faltantes.

Polígonos de detalle de superficie

Correspondencia de Texturas

Correspondencia de Protuberancias

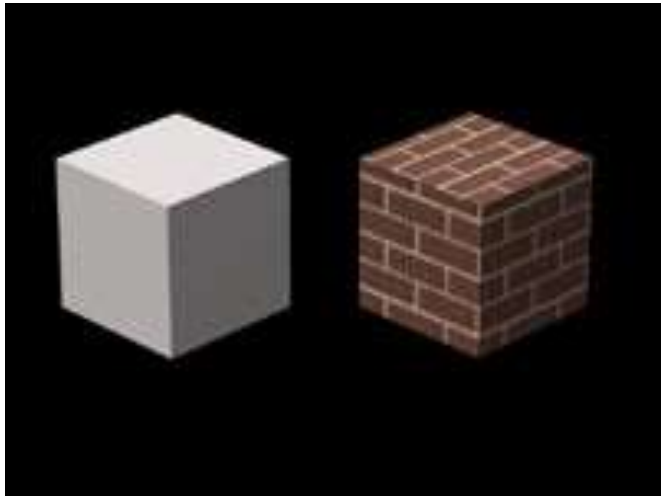
Otros métodos

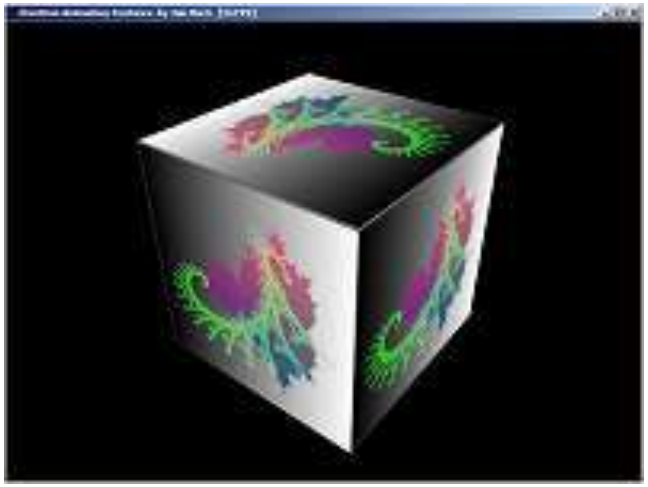
Polígonos de detalle de superficie

- A la casa del capítulo 6, se le pueden agregar objetos, como ser: ventanas, puertas, letras, etc.
- Esto se hace a través de “polígonos de detalle” asociados a los “polígonos base” (paredes, techo, piso).
- Los “polígonos de detalle” son coplanares con los base.
- Las propiedades de los “polígonos de detalle” tienen prioridad sobre las de los “polígonos base”.
- Al estar asociados al polígono base, se aplica *jerarquía* para el cálculo de las superficies visibles.

Correspondencia de Texturas (texture mapping o pattern mapping)

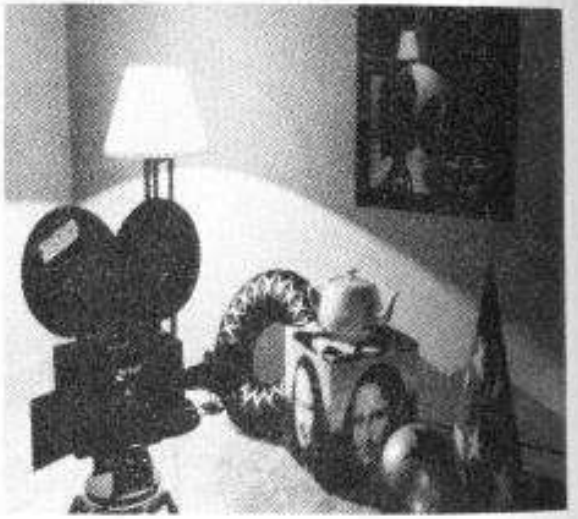
- Se establece una correspondencia entre una imagen y una superficie.
- Como alternativa, en lugar de imagen se puede utilizar un procedimiento (o algoritmo).
- Con frecuencia un píxel de pantalla puede estar cubierto por varios elementos de textura (píxeles de la imagen). Hay que trabajar con todos para evitar artefactos de discretización.



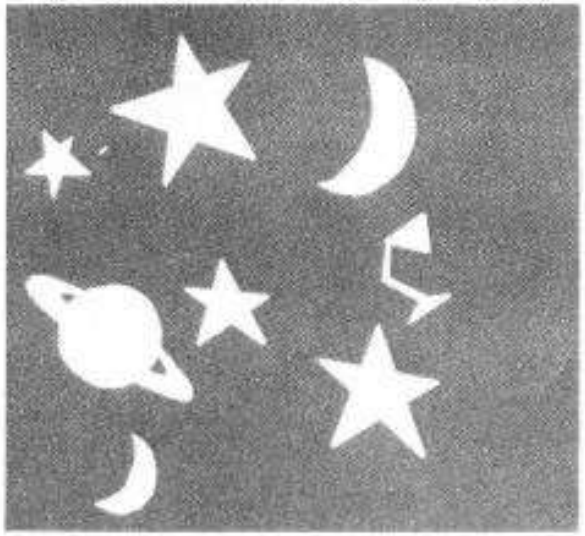


(a)

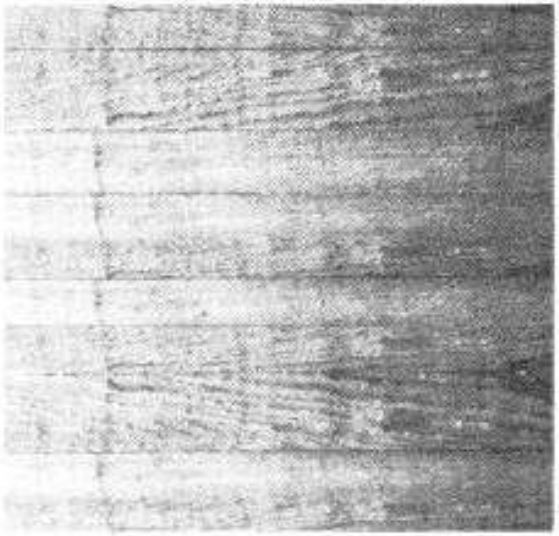
(b)



(c)



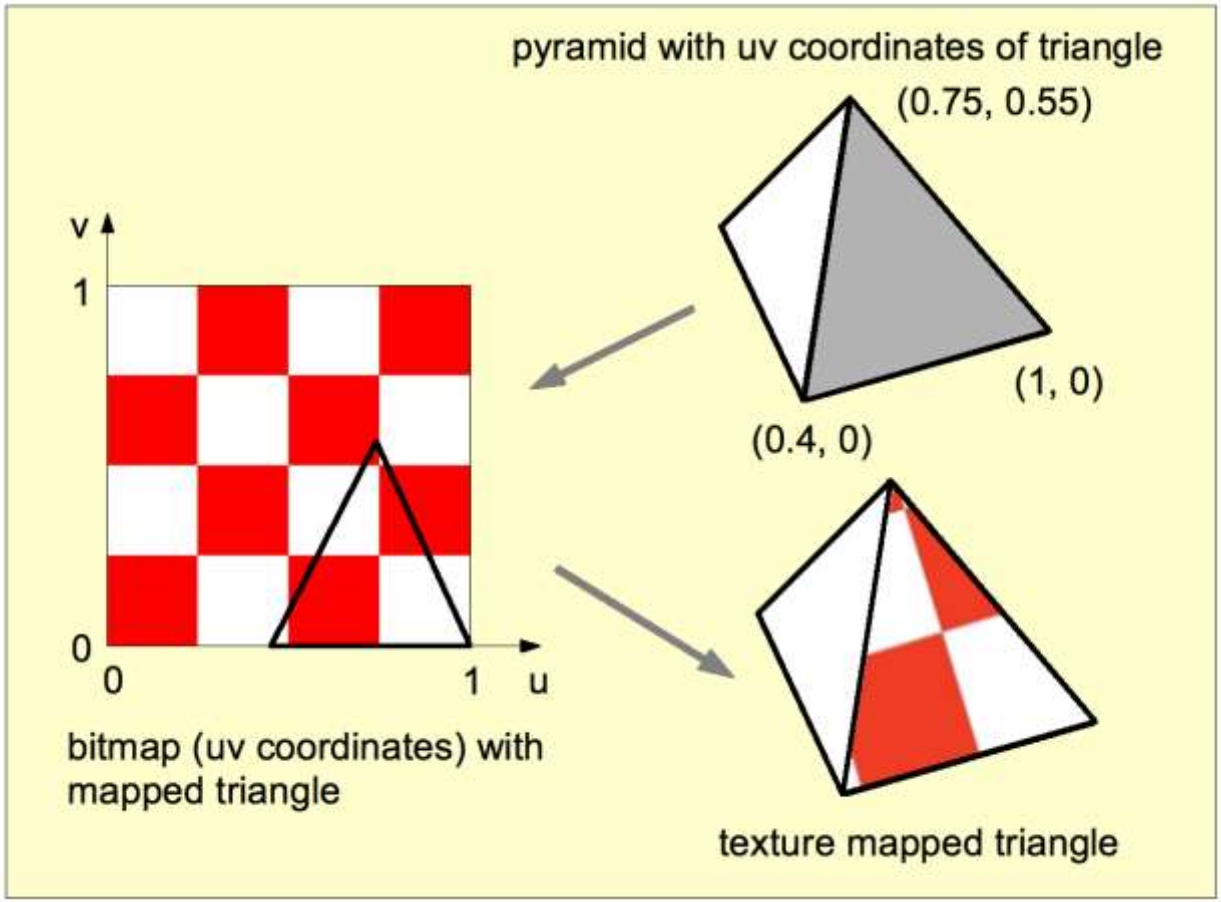
(d)



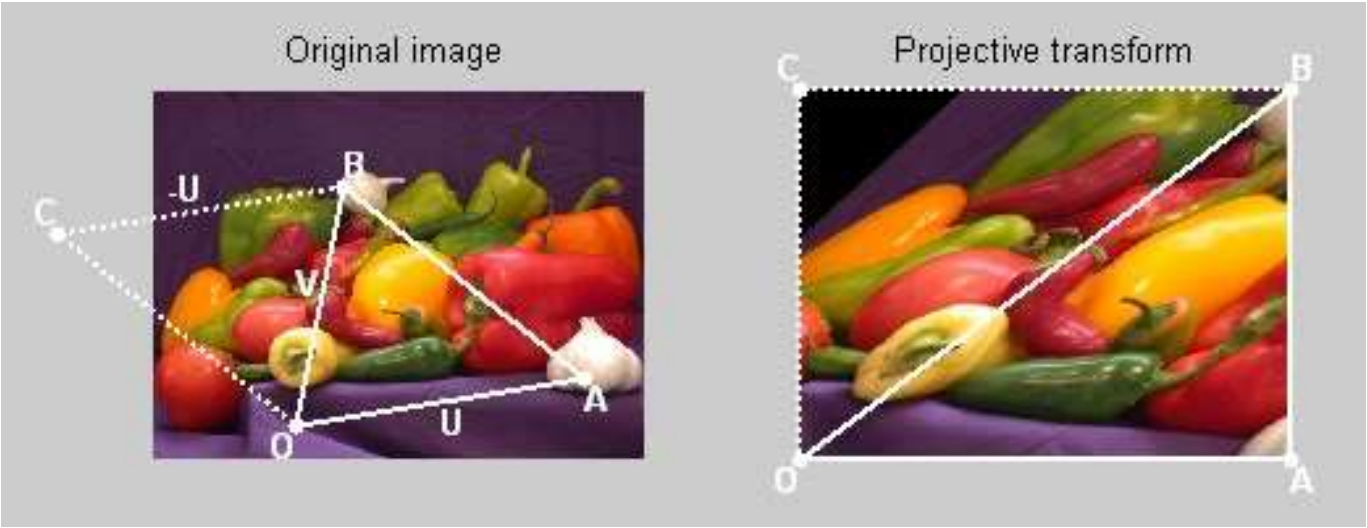
(e)

(f)

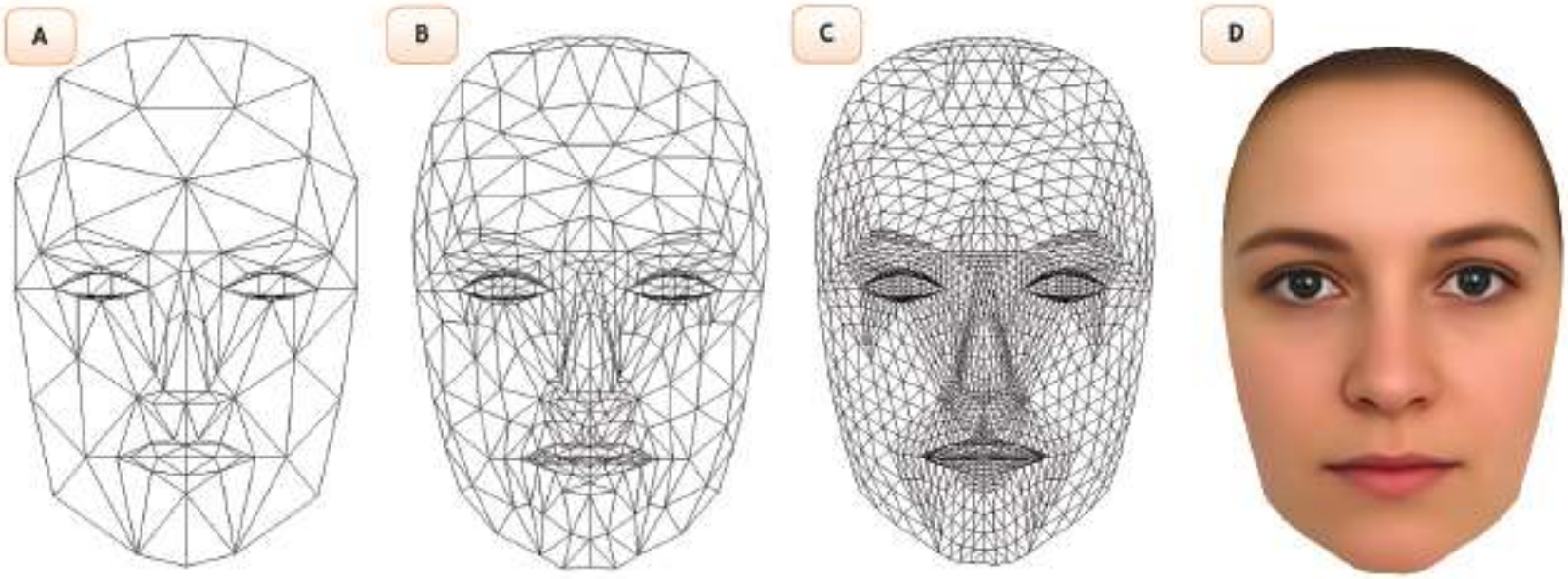
Correspondencia de Texturas (texture mapping o pattern mapping)



Correspondencia de Texturas (texture mapping o pattern mapping)



Correspondencia de Texturas (texture mapping o pattern mapping)

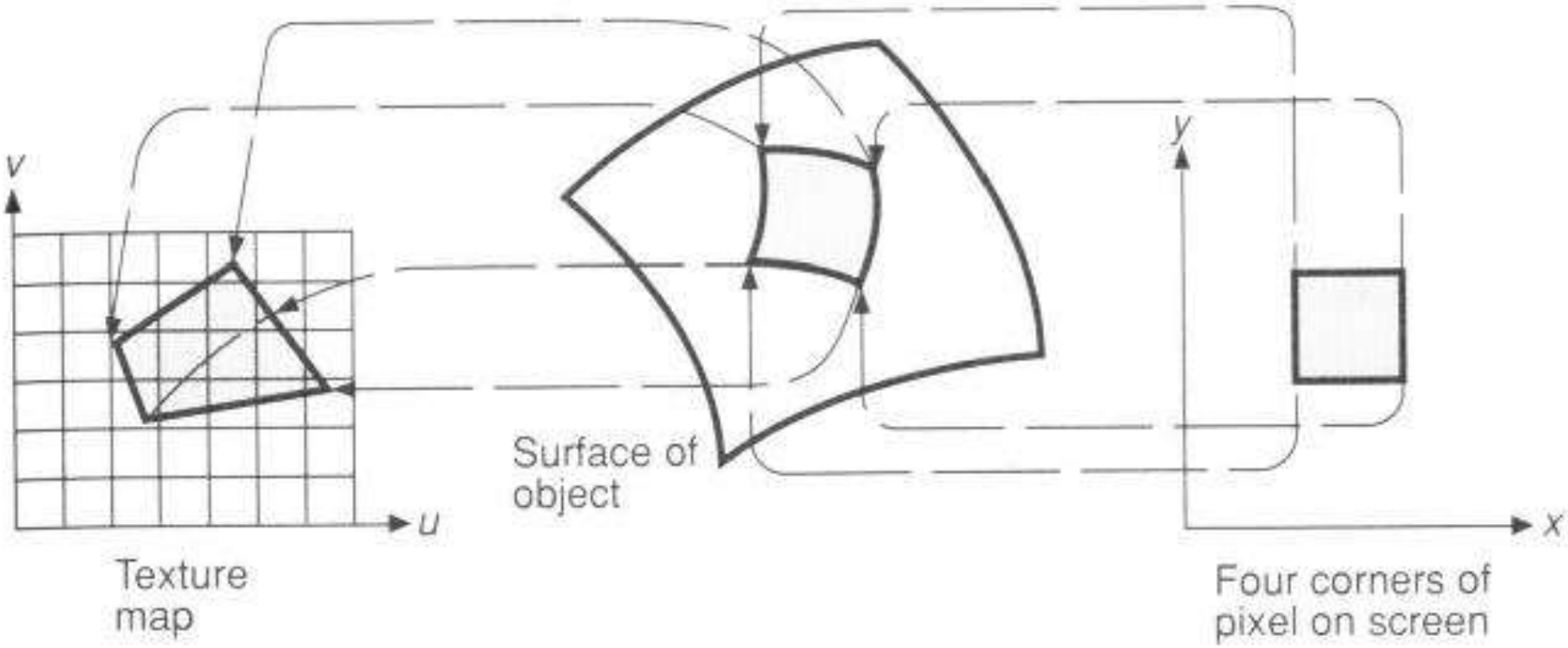


2.
2987 tris.
Class : Warlord
Name : Thorgrim
1024 Diffuse,Specular map
GameArtisans.org
Dominance War V 3D Mini
g2000

q2000

Correspondencia de Texturas (texture mapping o pattern mapping)

(u,v) ← (s,t) ← (x,y)

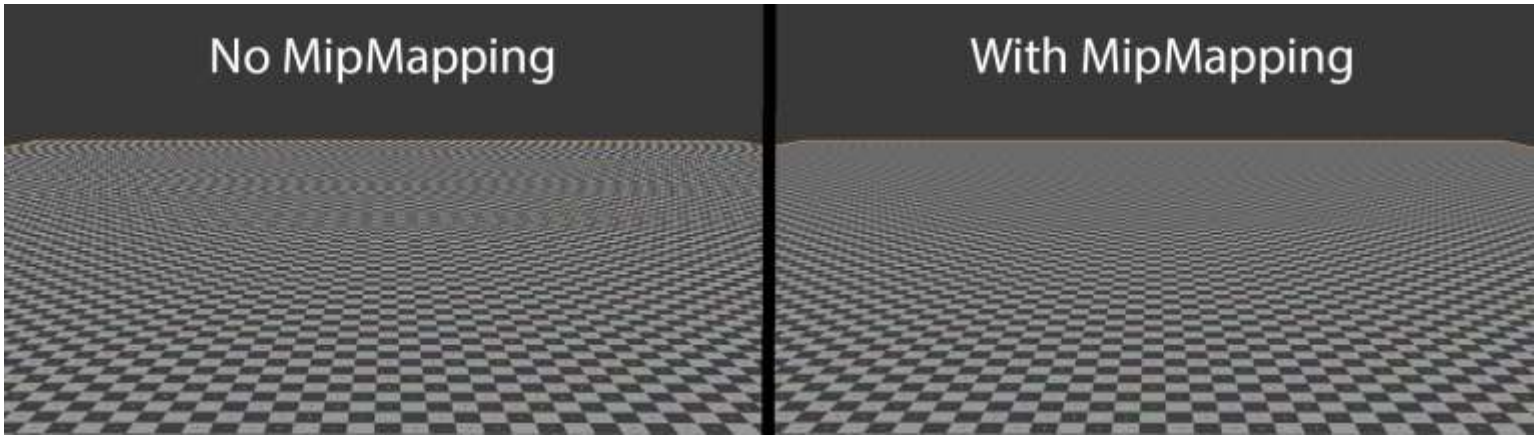


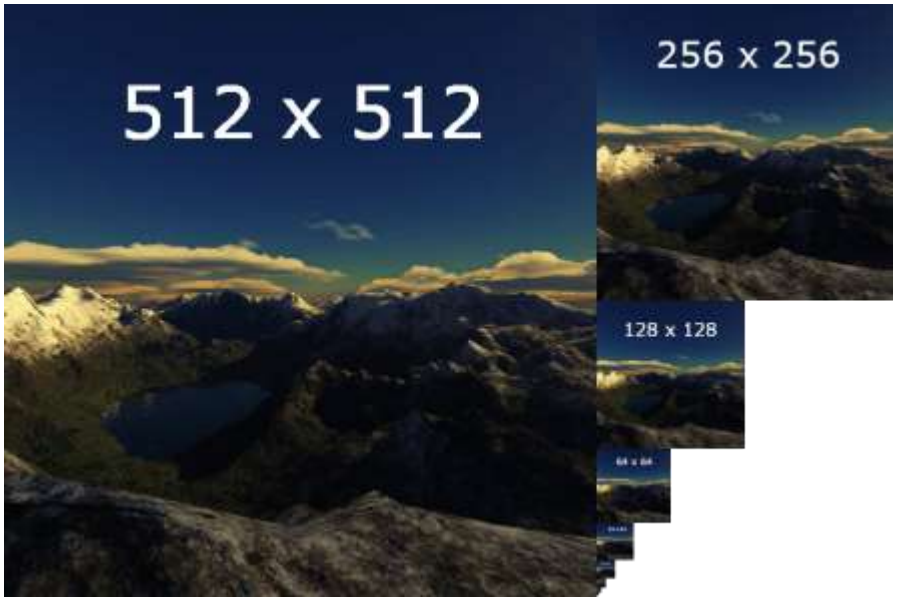
Correspondencia de Texturas (texture mapping o pattern mapping)

- El valor de cada píxel se halla haciendo promedio ponderado, según la porción del elemento de textura que está dentro del cuadrilátero del mapa de textura.
- Si las coordenadas (u,v) caen fuera de la imagen, se puede duplicar la imagen.
- Se puede hacer corresponder las 4 esquinas del rectángulo de (s,t) con un cuadrilátero en (u,v).
- Si la superficie es un polígono, se asignan coordenadas (u,v) de mapa de textura directamente a sus vértices. Los valores internos se interpolan de la forma ya vista.
  - Problema: la interpolación causa distorción en caso de perspectiva.

MIP map (Multum In Parvo)

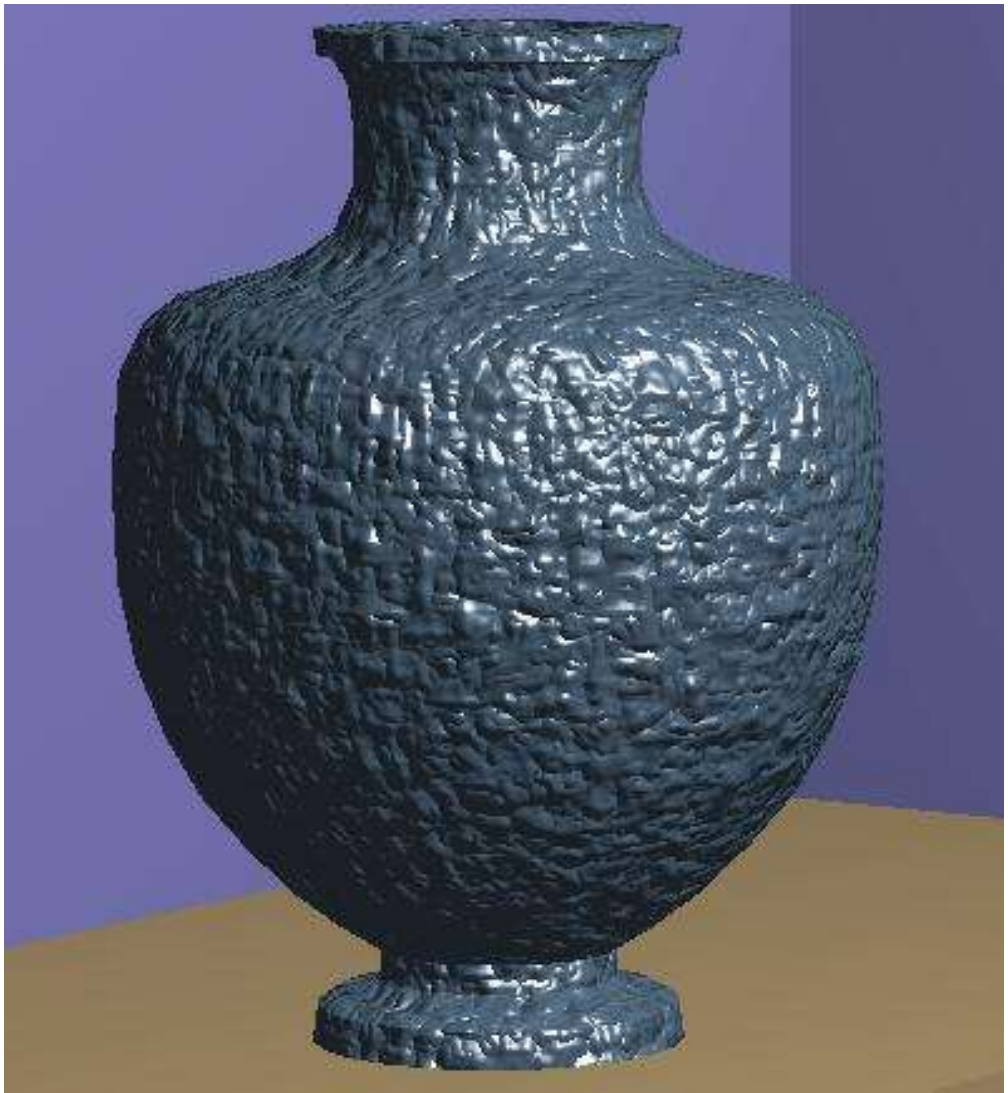
Textura con múltiple resolución





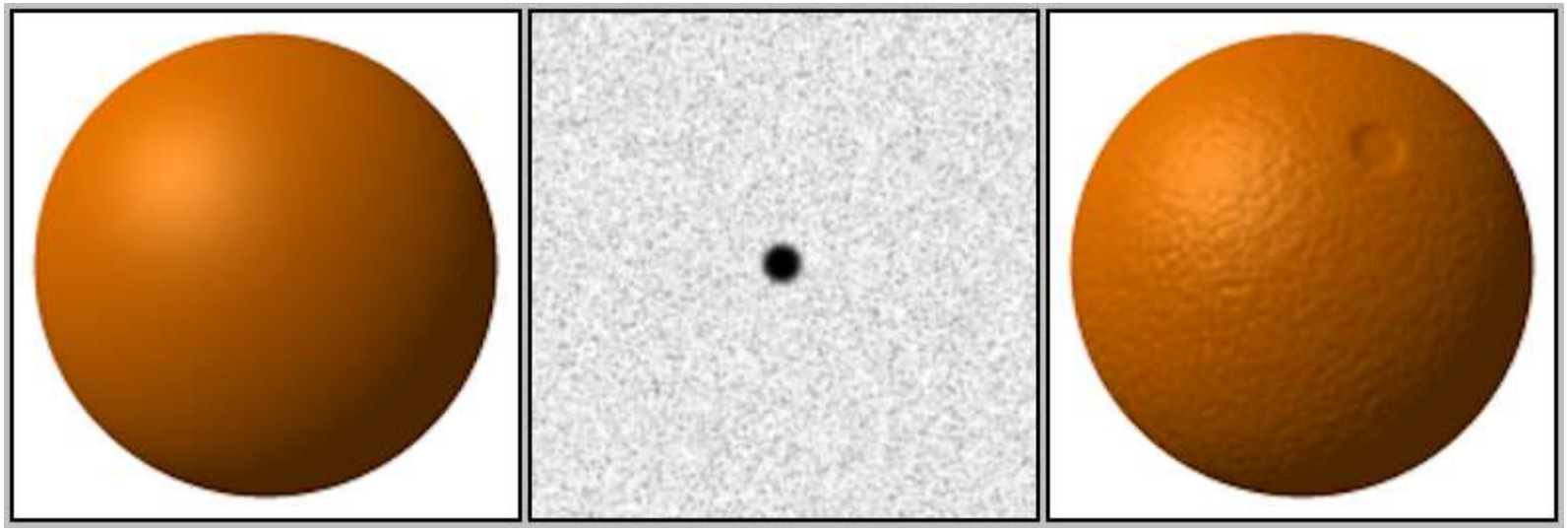
- **Se calcula y almacenan las imágenes a cada resolución.**
- **Se toma los dos niveles más cercanos a los que se precisan y se hace una interpolación trilineal para obtener el valor.**

Correspondencia de Protuberancias (bump mapping)



Correspondencia de Protuberancias (bump mapping)

Correspondencia de Protuberancias (bump mapping)



Correspondencia de Protuberancias (bump mapping)

- Se define una textura de desplazamientos, usada para simular el desplazamiento de un punto de la superficie un poco encima o debajo de su actual posición. **En lugar de desplazar la superficie se cambia únicamente la orientación de la normal.**

Dado un punto de la superficie $P=[x(u,v), y(u,v), z(u,v)]$, se cumple que, si P_u y P_v son las derivadas parciales de P (tangentes a la superficie) en la dirección de u y v, entonces:

$$N = P_u \times P_v$$

Si se desplazase al punto P un valor B a lo largo de la Normal:

$$\boldsymbol{P' = P + BN/|N|}$$ donde P' es la nueva ubicación de P

La normal N también se desplazaría aprox. a N':

$$\boldsymbol{N' = N + (B_u(N \times P_v) - B_v(N \times P_u)) / |N|}$$

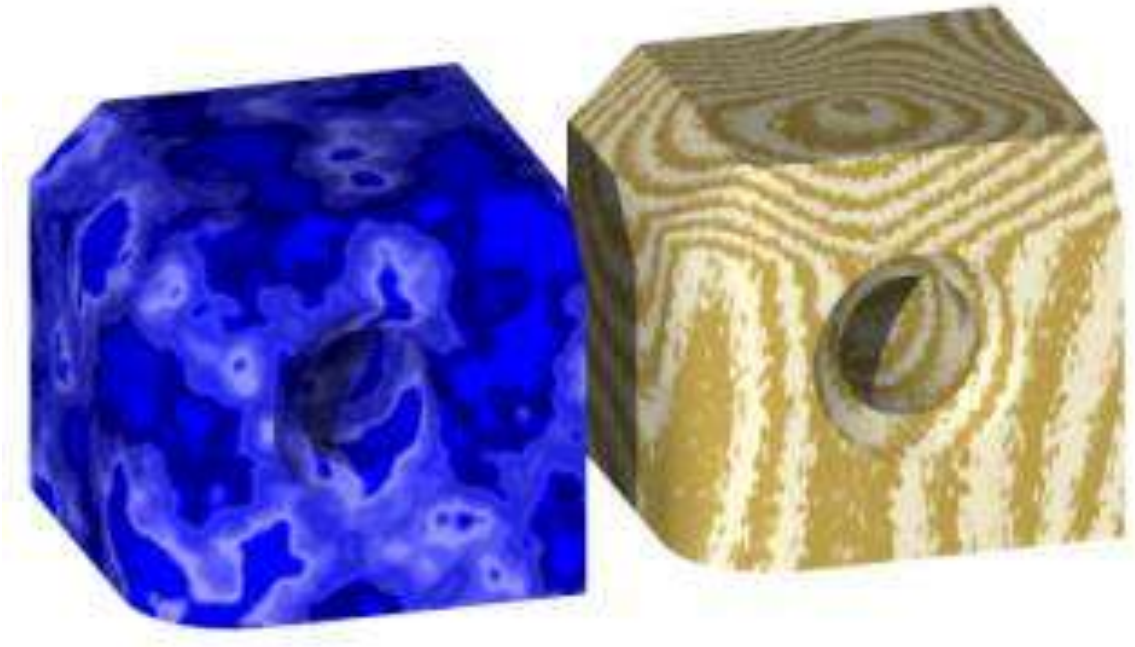
Sólo se calcula N'.
No se halla P'.

donde B_u y B_v son derivadas de B respecto de u y v

Diferencia entre bump mapping y perturbación real de la superficie

Otros métodos

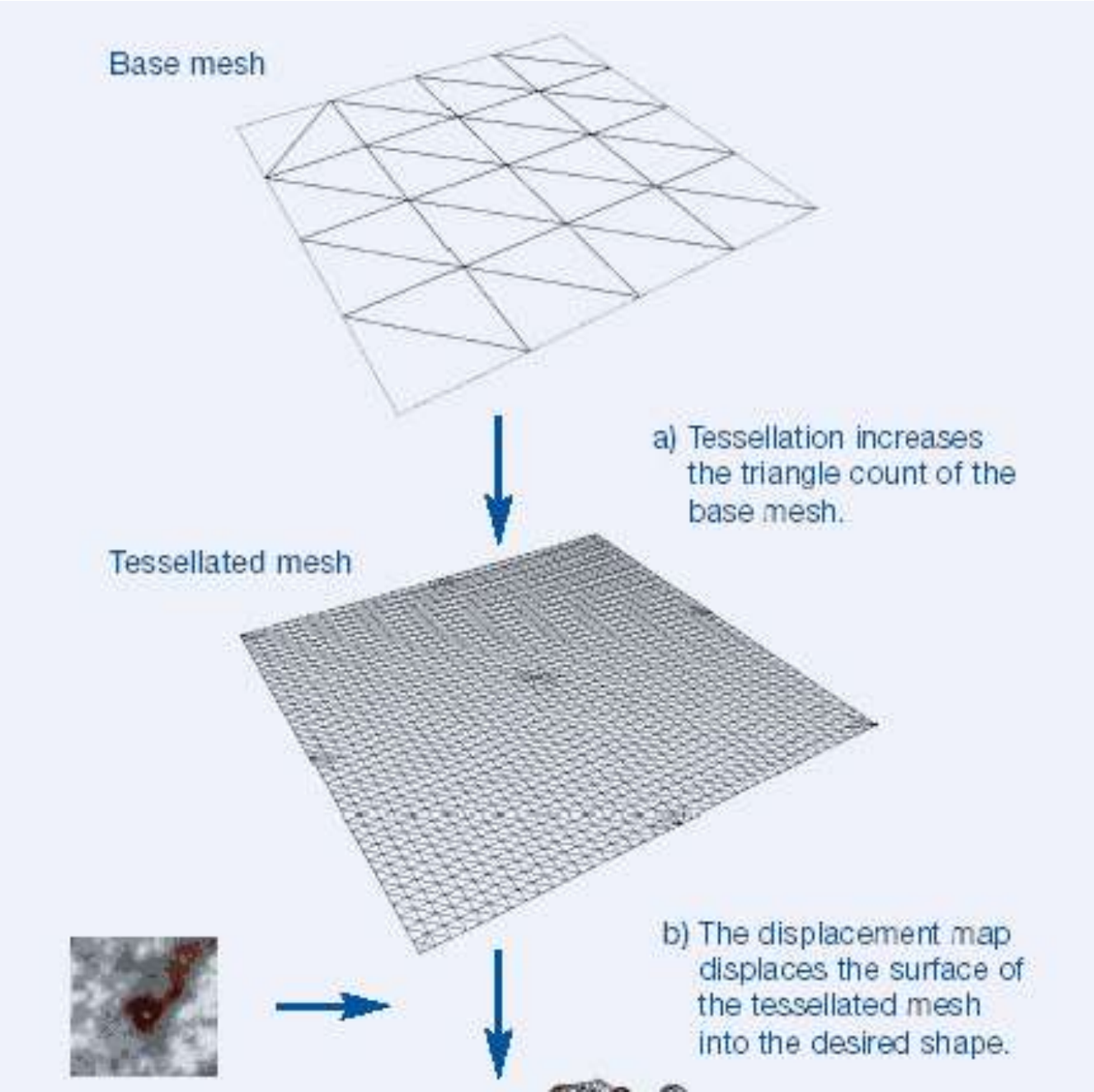
- Texturas tridimensionales permiten mejor simulación de objetos tallados en madera u otros materiales.



Otros métodos

Detalle de superficie

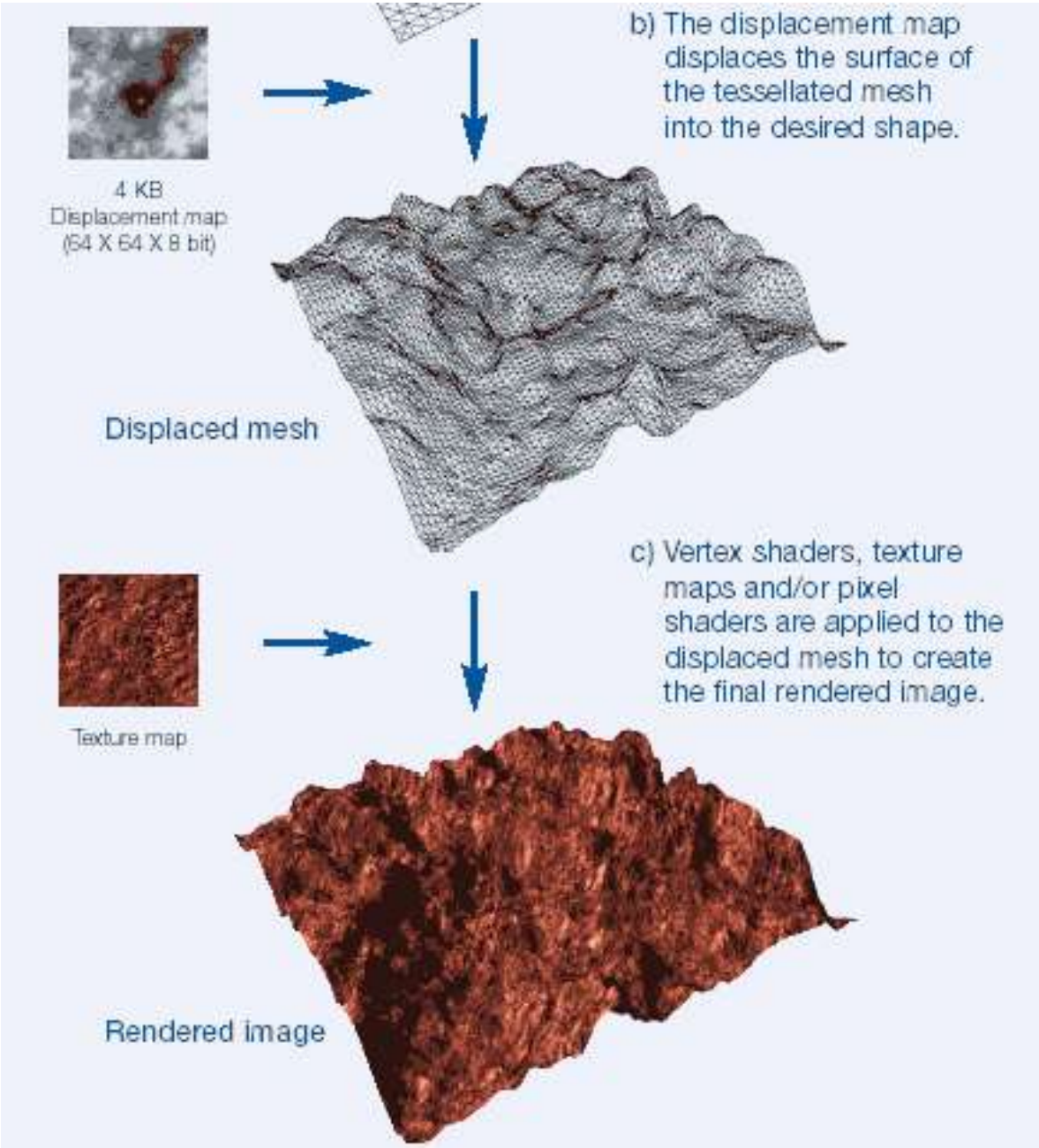
- Correspondencia con otras propiedades de las superficies. Por ejemplo, correspondencia de desplazamiento.



Otros métodos

Detalle de superficie

- Correspondencia con otras propiedades de las superficies. Por ejemplo, correspondencia de desplazamiento.



Sombras

Si la fuente luminosa es puntual, no hay vistas parciales a ella.

$$I_\lambda = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + \sum_{1 \le i \le m} S_i f_{att_i} I_{p\lambda_i} \left[k_d O_{d\lambda} \left(\overline{N} \cdot \overline{L}_i \right) + k_s O_{s\lambda} \left(\overline{R}_i \cdot \overline{V} \right)^n \right]$$

S_i = 0 , si la luz i está bloqueada en este punto.

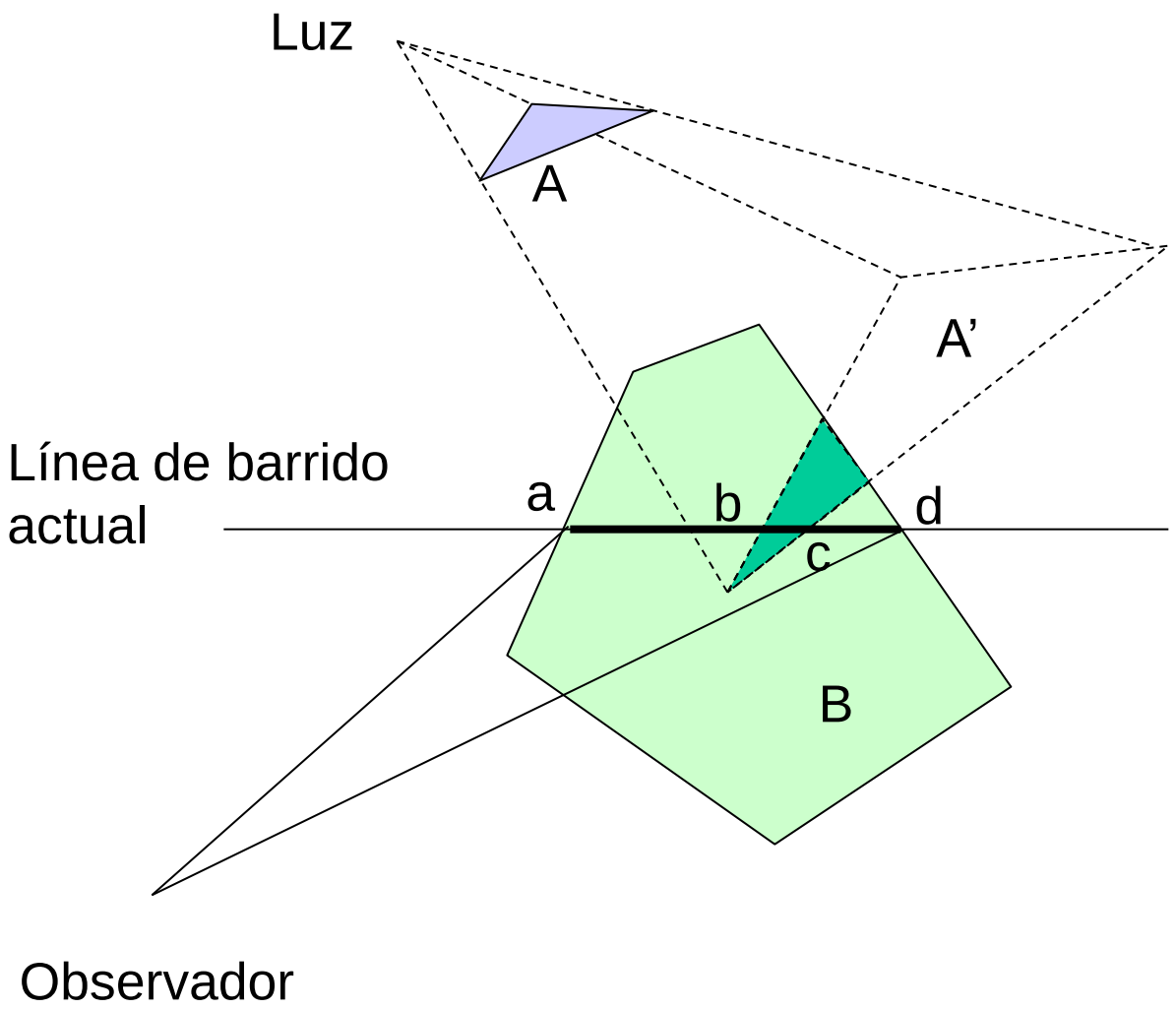
S_i = 1, si la luz i no está bloqueada en este punto.

Sombras por línea de barrido

Se pueden combinar los procesamientos de sombras y de superficies visibles.

- La fuente luminosa es el centro de proyección.
- Las aristas de los polígonos se proyectan sobre otros polígonos que intersecten la línea de barrido actual.
- Cuando el barrido cruza una arista de sombra, se cambian los colores de los píxeles de la imagen.

Sombras por línea de barrido



Sombras por línea de barrido

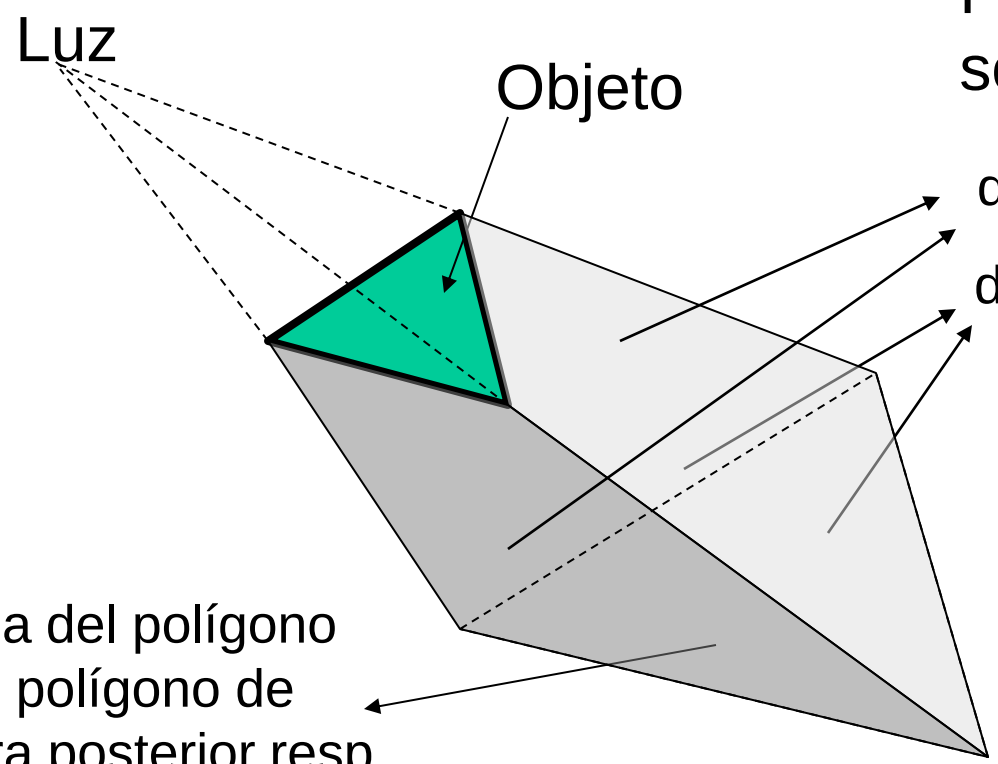
Problema: Si hay n polígonos => hay que calcular n(n-1) proyecciones.

Solución parcial:

Proyectar los n polígonos en una esfera de centro la fuente luminosa.

No considerar proyecciones cuyas extensiones no se sobrepongan + otros casos particulares.

Volúmenes de sombra



Polígonos de sombra :

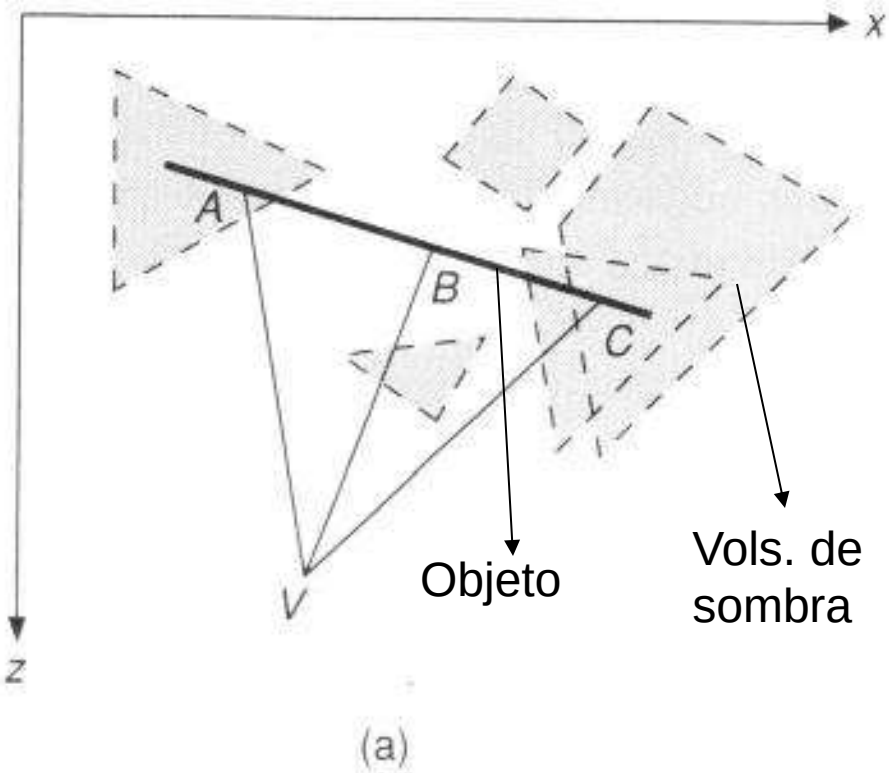
de cara anterior y

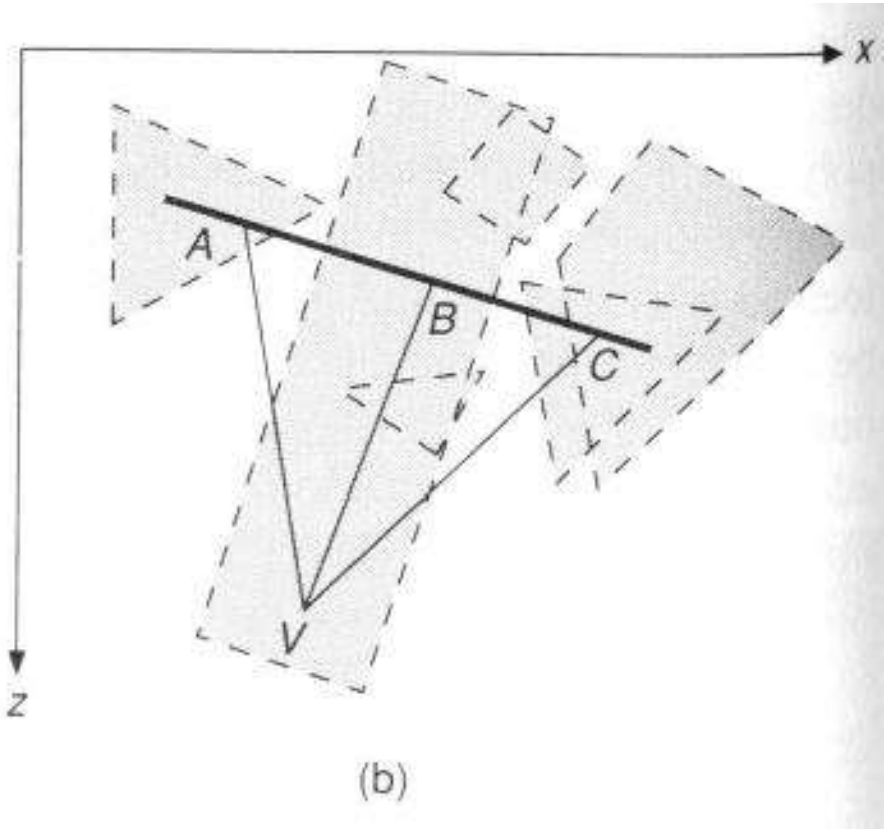
de cara posterior

respecto al observador

Copia escalada del polígono original. Es un polígono de sombra de cara posterior resp. al observador.

Volúmenes de sombra





V = punto de observación.

Se trazan rayos desde V. Por cada rayo, hay un contador que *suma 1* a cada p. de s. de cara anterior y *resta 1* a cada p. de s. de cara posterior. Para muchas fuentes luminosas, hay contadores diferentes.

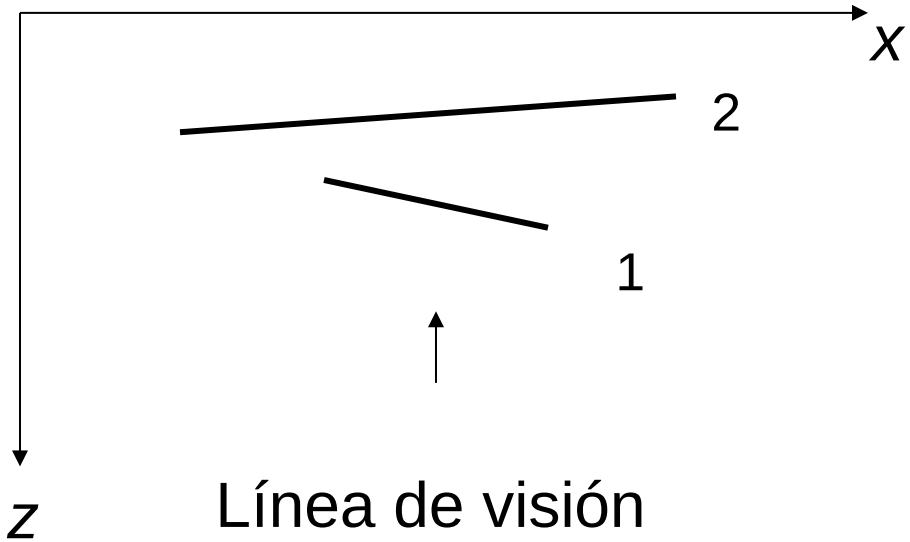
Un punto está bajo sombra si el contador es positivo en él.

Transparencia

No refractiva y refractiva

Transparencia no refractiva

Transparencia interpolada



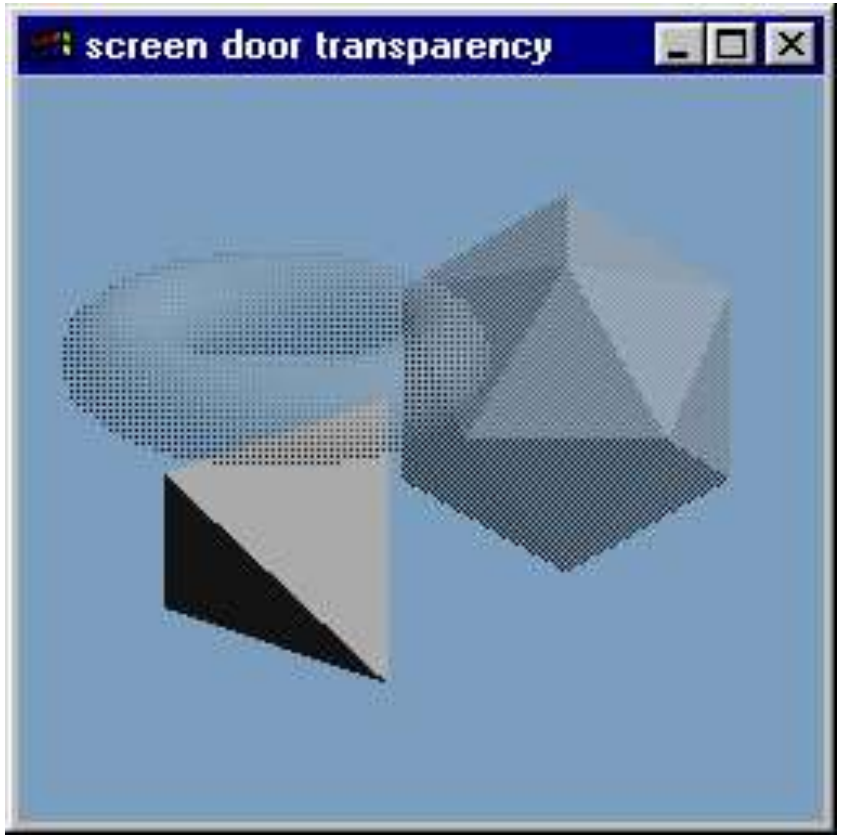
$$I_\lambda = (1 - k_{t1})I_{\lambda 1} + k_{t1}I_{\lambda 2}$$

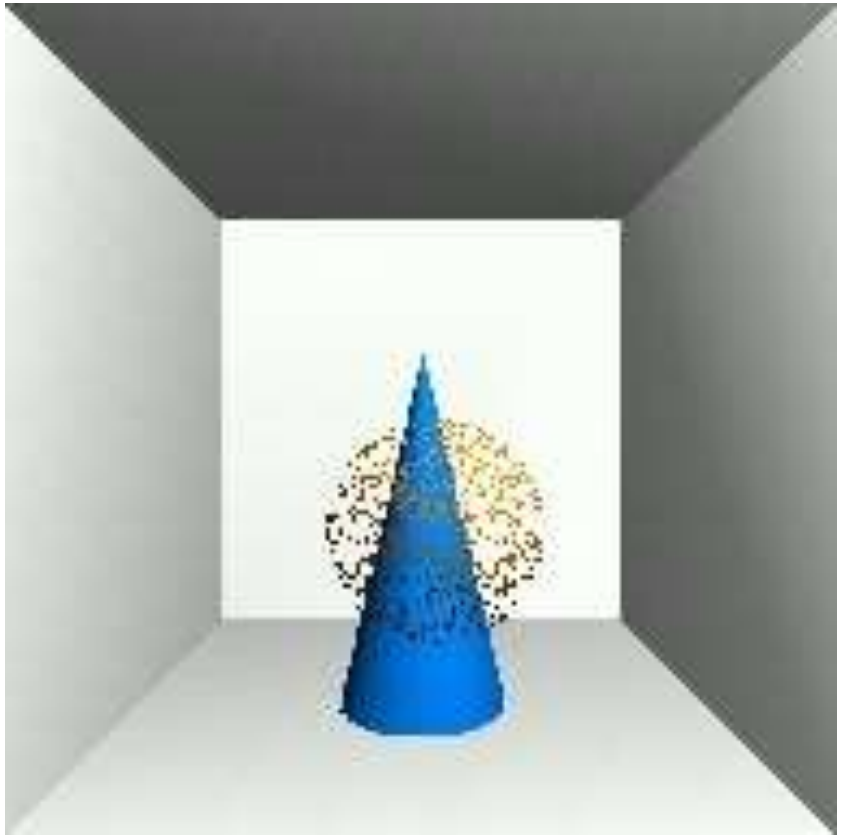
k_{ti} (coeficiente de transmisión) mide la transparencia del pol. i

Transparencia no refractiva

Transparencia de mosquitero (screen-door)

Se implanta una malla que genera solo algunos píxeles relacionados con la proyección del objeto transparente.





Transparencia no refractiva

Transparencia filtrada

$$I_\lambda = I_{\lambda 1} + k_{t1}\, O_{t\lambda}\, I_{\lambda 2}$$

$O_{t\lambda}$ es el color de transparencia del polígono 1. Este valor puede depender del λ.

/material/libro5.rar

Tanto la transparencia **interpolada** como la **filtrada** se pueden invocar recursivamente, si hay varios polígonos (1,2,…) transparentes superpuestos.

$$I_\lambda = I_{\lambda 1} + k_{t1}\, O_{t\lambda}\, (I_{\lambda 2} + k_{t2}\, O_{t\lambda}\, (\ldots))$$

$$I_\lambda = (1 - k_{t1}) I_{\lambda 1} + k_{t1}((1 - k_{t2}) I_{\lambda 2} + k_{t2}(\ldots))$$