



Iluminación

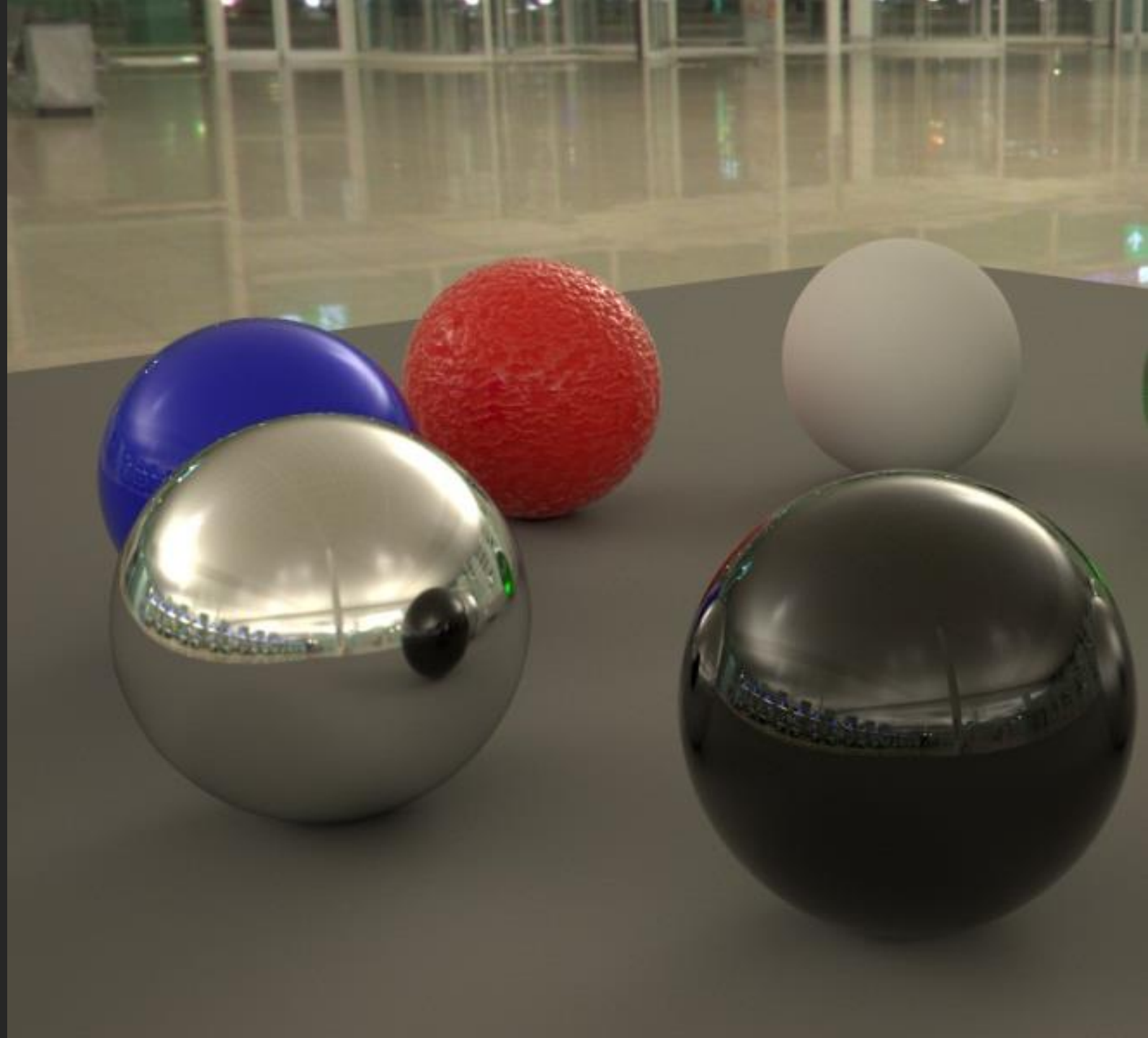
TC2008B MODELACIÓN DE
SISTEMAS MULTIAGENTES CON
GRÁFICAS COMPUTACIONALES

Principios de Iluminación

La luz que llega a los objetos es parcialmente absorbida y parcialmente reflejada.

La cantidad de luz reflejada determina el color y brillo del objeto:

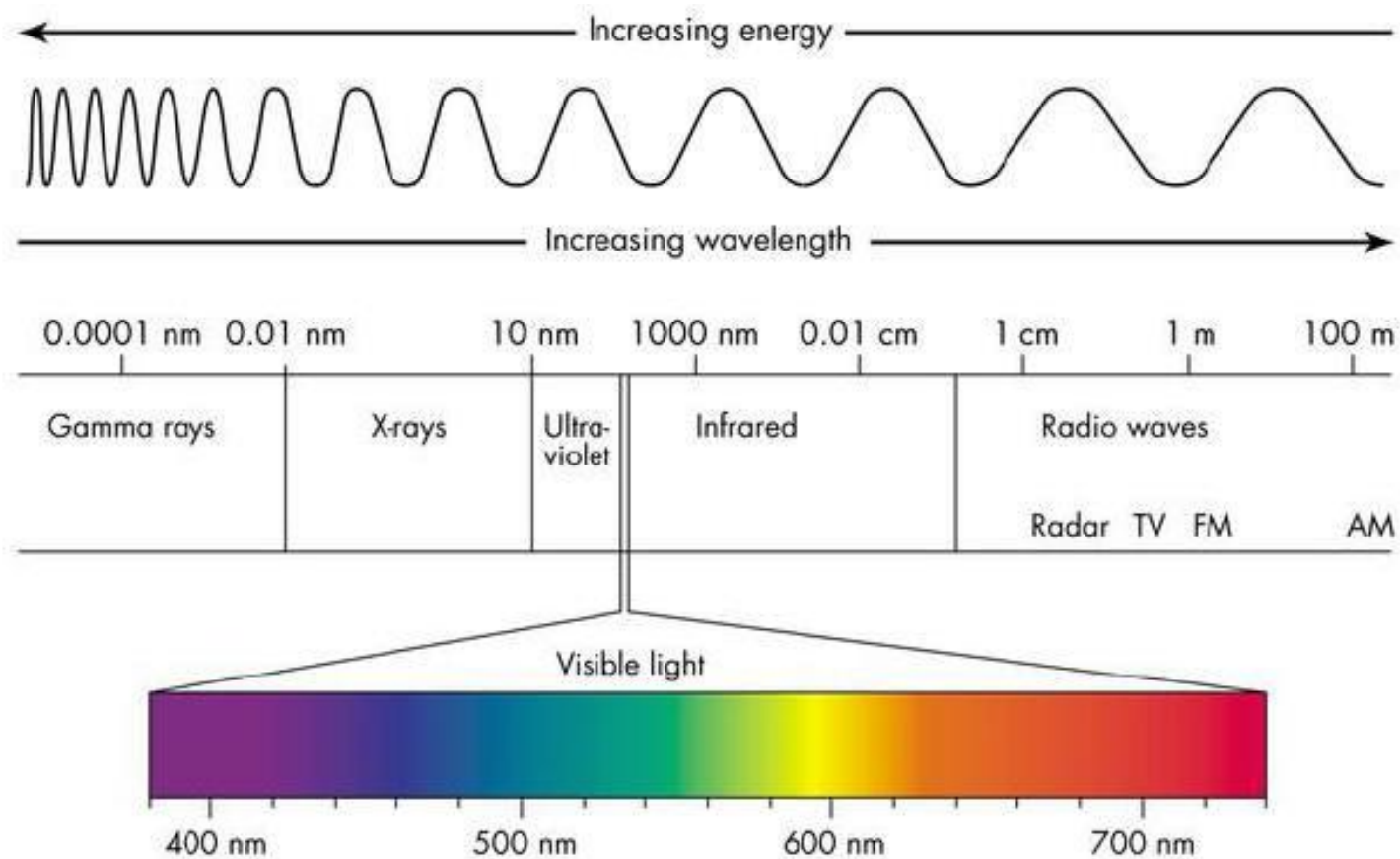
- Una superficie se ve roja bajo una luz blanca porque el componente rojo de la luz es reflejado y el resto de los componentes es absorbido.
- El reflejo de la luz es rebotado en una manera que depende de la suavidad y orientación de la superficie.



Principios de iluminación simulada

Si queremos crear imágenes realistas debemos simular la iluminación de las superficies en la escena:

- Estamos simulando *física y óptica*.
- Usaremos muchas aproximaciones para lograr suficiente velocidad.



Ejemplos


Revisemos diversos efectos de iluminación simulada (sombreado) aplicados a videojuegos desde 2011...

Crysis II (2011)




Tomb Raider (2011)



A promotional image for the video game Alan Wake. The character Alan Wake is shown from the waist up, standing in a dark, misty forest at night. He is wearing a light-colored, textured jacket over a dark shirt and dark trousers. He holds a flashlight in his right hand, which is turned on, casting a bright beam of light to the right. In his left hand, he holds a handgun. The background features dark evergreen trees and a wooden fence. The overall atmosphere is dark and mysterious.

Alan Wake (2012)

**ALAN
WAKE**
COMING TO PC EARLY 2012



Wolfenstein: the new order (2014)

Metal Gear Solid 5 (2016)



DETROIT become human (2017)





A way out (2018)





Doom Eternal (2020)



Cyberpunk 2077 (2020)

RTX
ON

Yakuza: like a dragon (2021)



Definiciones

Iluminación (proceso físico)

Es el transporte de energía (el flujo luminoso de la luz visible) desde las fuentes de luz hasta las superficies y puntos, sea por vía directa o indirecta.

Iluminado (modelo físico)

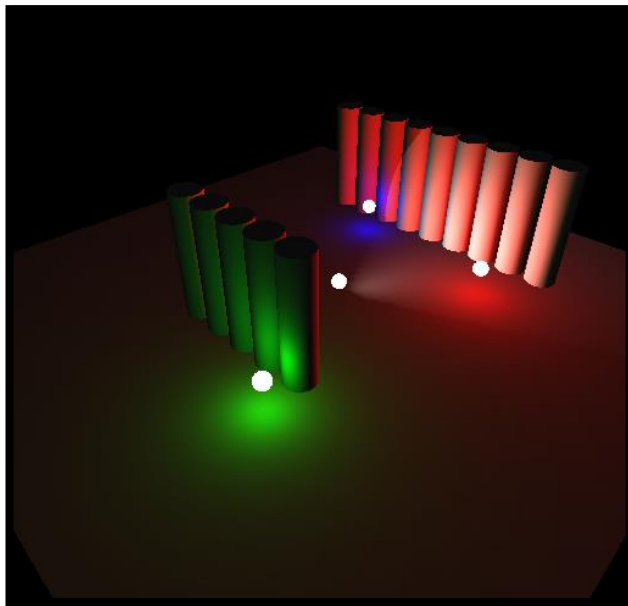
El proceso de calcular la intensidad luminosa (luz saliente) en un punto 3D, usualmente sobre una superficie.

Sombreado (shading, modelo computacional)

El proceso de asignar colores a píxeles.

Modelos de Iluminación

Empíricos: formulaciones sencillas que aproximan fenómenos observados.

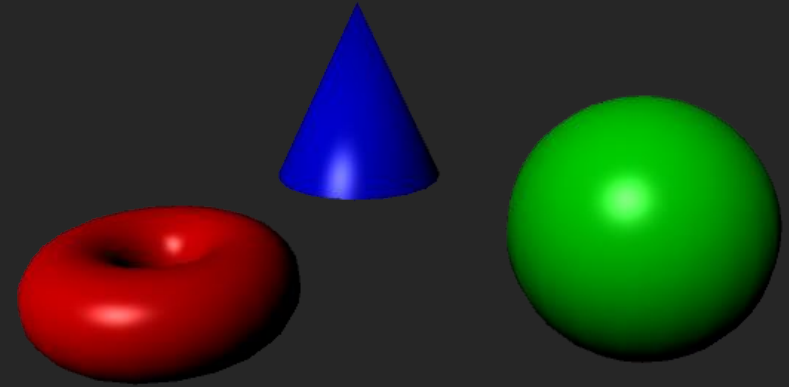


Basados en física: modelos basados en la física real de la luz interactuando con la materia.





Modelo de iluminación local




Se calcula el sombreado de cada polígono por separado y no hay reflexiones de color entre objetos (color bleeding).

Sólo vemos la luz que es directamente reflejada del objeto.

Tiempo Real.

Ejemplo: Modelo de iluminación de *Phong*.



Modelo de iluminación global

Se producen imágenes de calidad superior con más precisión en las reflexiones de color y en las sombras suaves.

Múltiples interacciones de luz y objetos.

Por mucho tiempo fue calculado fuera de línea, pero hoy en día, por medio de *shaders* en el GPU, se calcula en tiempo real.

Ejemplos:

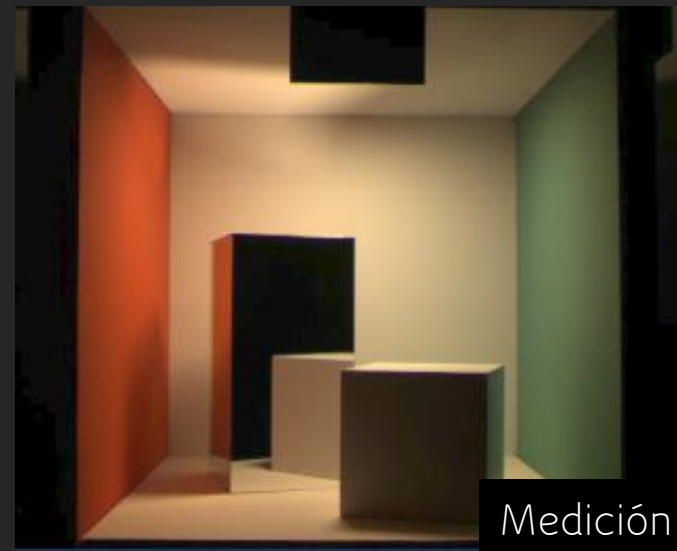
Raytracing

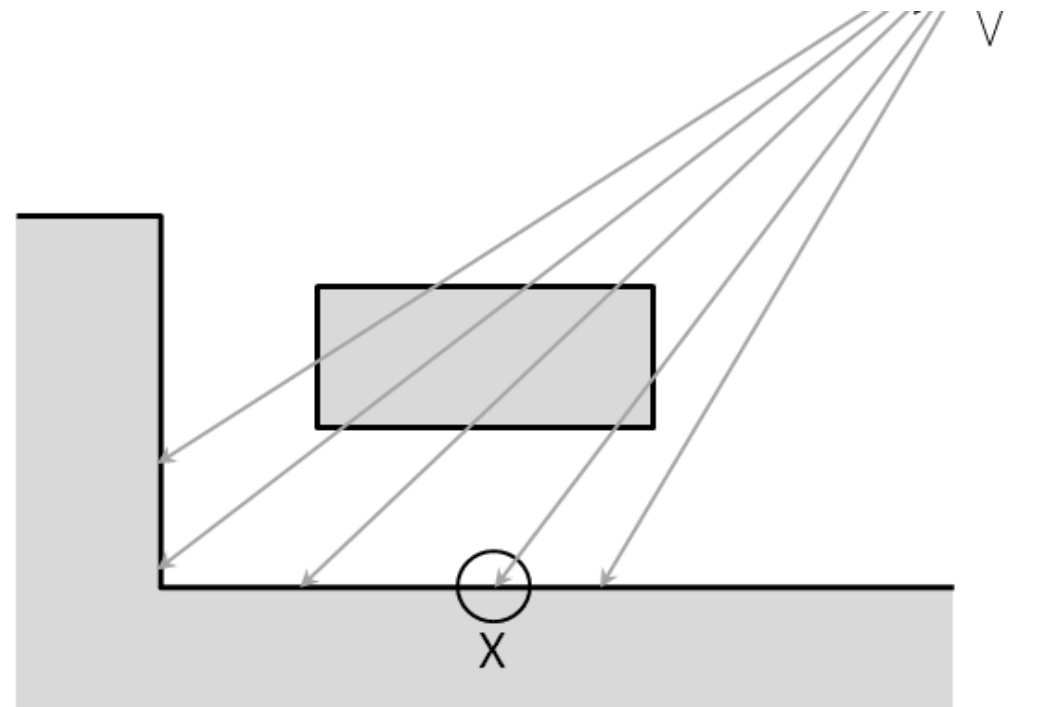
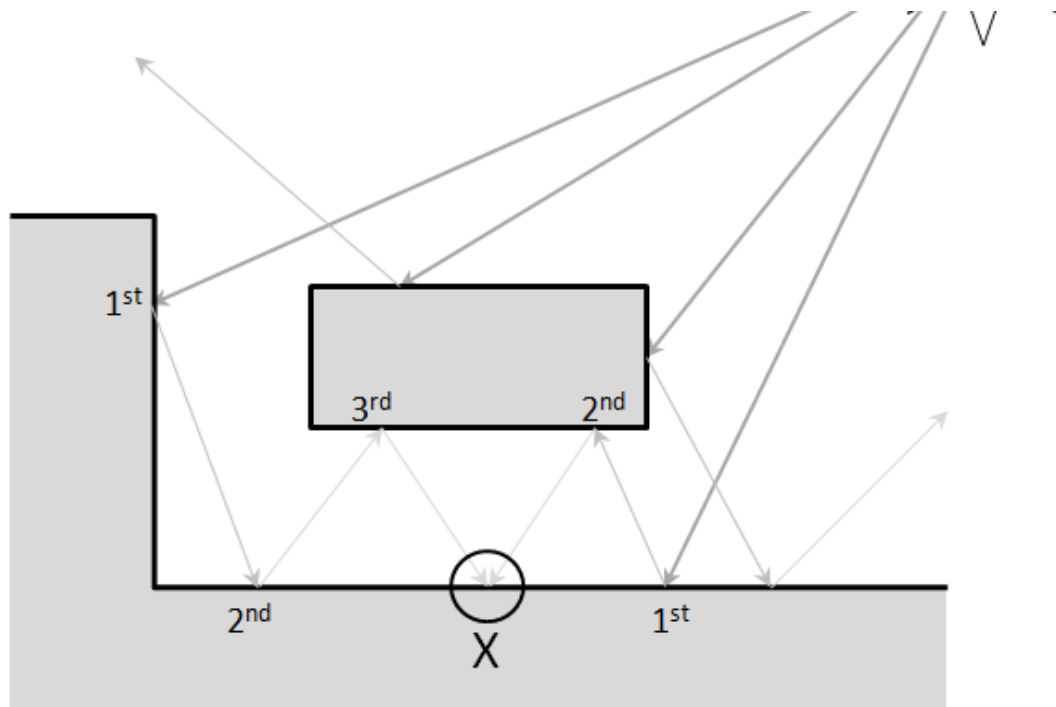
Radiosity

Photon Mapping

Caja de Cornell

Prueba que determina la precisión de un software para render, comparando las escenas que produce con fotografías del modelo real





Iluminación global y local

Global Illumination



Local Illumination



<https://youtu.be/MJV55-Buw6o>

Componentes de la iluminación

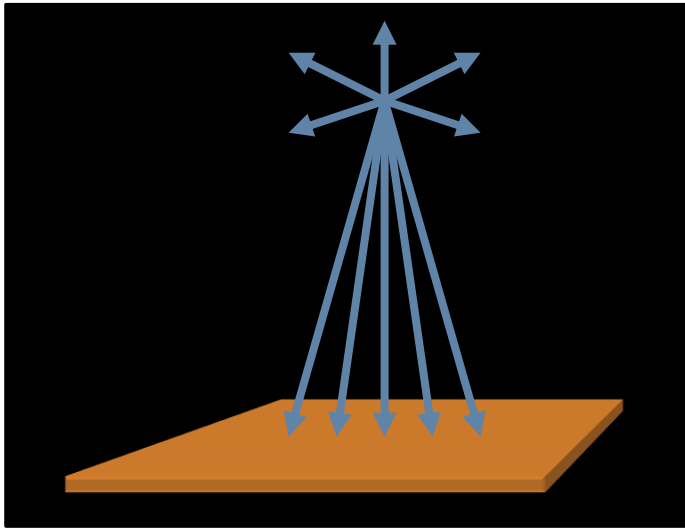
Fuentes de Luz

- Espectro de emisión (color de la luz).
- Atributos geométricos:
 - Posición.
 - Dirección.
 - Forma.
- Atenuación direccional.

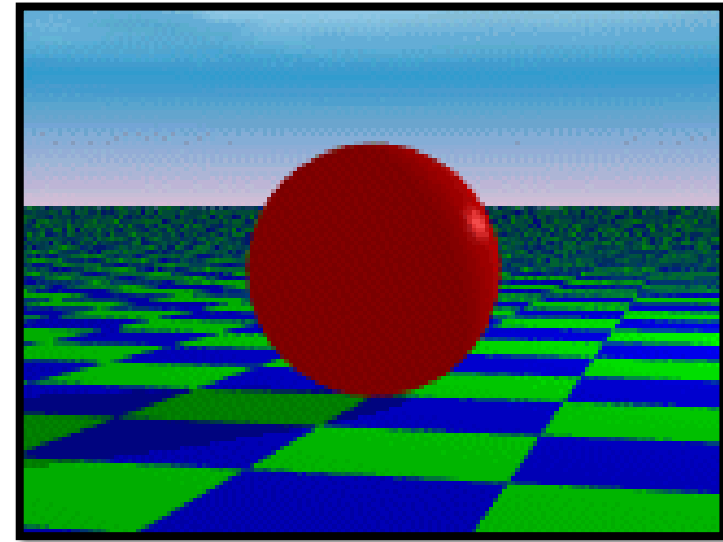
Propiedades de la superficie

- Espectro de reflejo (color de la superficie).
- Atributos geométricos:
 - Posición
 - Orientación
 - Micro estructura

Fuente de luz puntual



Emite luz igualmente en todas direcciones a partir de un solo punto.



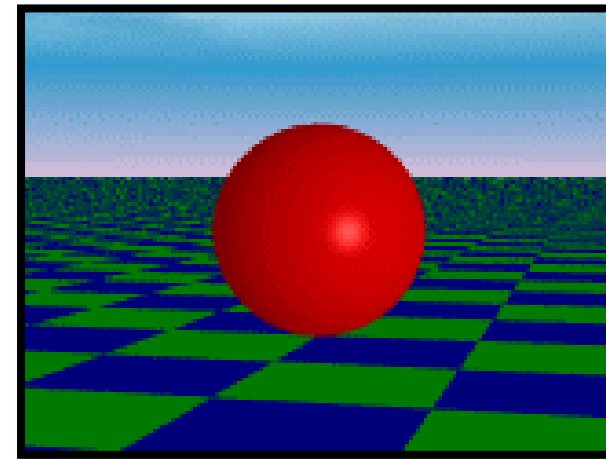
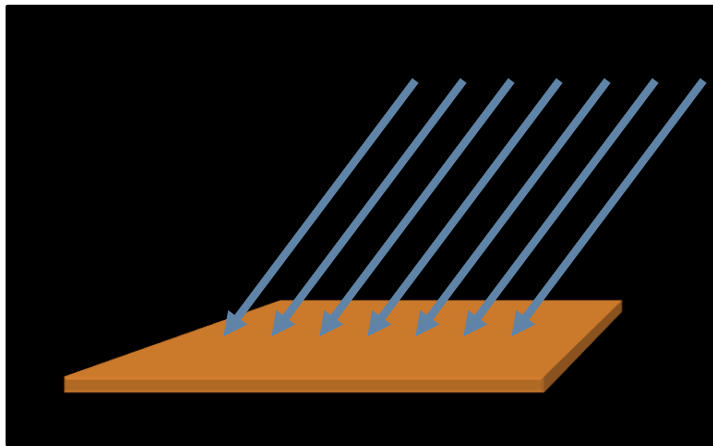
La dirección hacia la luz varía desde cada punto de la superficie.

Fuente de luz direccional

Suponemos que todos los rayos de luz de una fuente direccional son paralelos, como si la fuente estuviera infinitamente lejos (como el sol).

La dirección de la superficie a la fuente de luz es importante para iluminarla.

Con una luz direccional, la dirección es constante para todas las superficies en la escena.





Modelo de iluminación básico

\hat{l}	Luz entrante (vector unitario).
\hat{r}	Luz reflejada (vector unitario).
\hat{n}	Normal a la superficie (vector unitario).
\hat{v}	Dirección de la cámara (vector unitario).
I	Intensidad de la luz (escalar).
I_a	Intensidad ambiental (escalar).
I_d	Intensidad difusa (escalar).
I_s	Intensidad especular (escalar).
I_l	Intensidad de la luz (escalar).
k_a	Constante ambiental (escalar).
k_d	Constante difusa (escalar).
k_s	Constante especular (escalar).
θ	Ángulo de incidencia (escalar).
ϕ	Ángulo entre \hat{v} y \hat{r} .
α	Coeficiente especular.

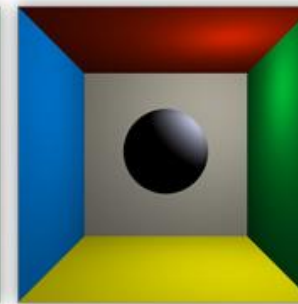
Modelo de iluminación básico

El modelo de iluminación básico está compuesto por tres parámetros: luz **ambiental**, reflexión **difusa** y reflexión **especular**.

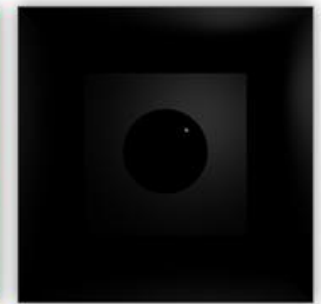
$$I = I_a + I_d + I_s$$



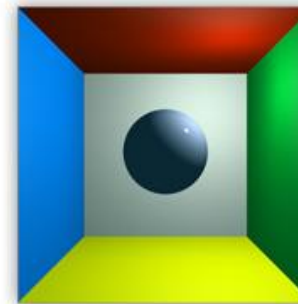
Ambient



Diffuse



Specular



Ambient + Diffuse
+ Specular

Luz ambiental

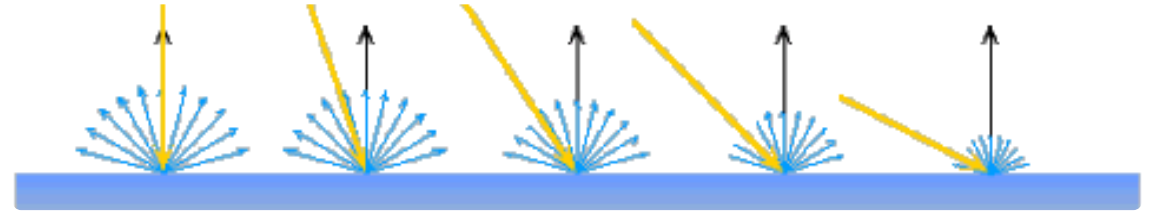
Aproxima trivialmente la iluminación indirecta, iluminando por igual a todas las superficies, dependiendo sólo de las propiedades de los materiales.

Objetos no iluminados directamente deben verse.

$$I_a = k_a I_l$$

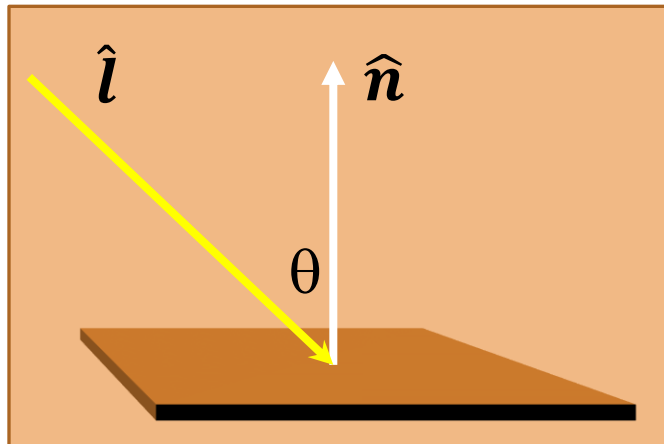


Reflexión difusa



Es luz reflejada en todas direcciones:

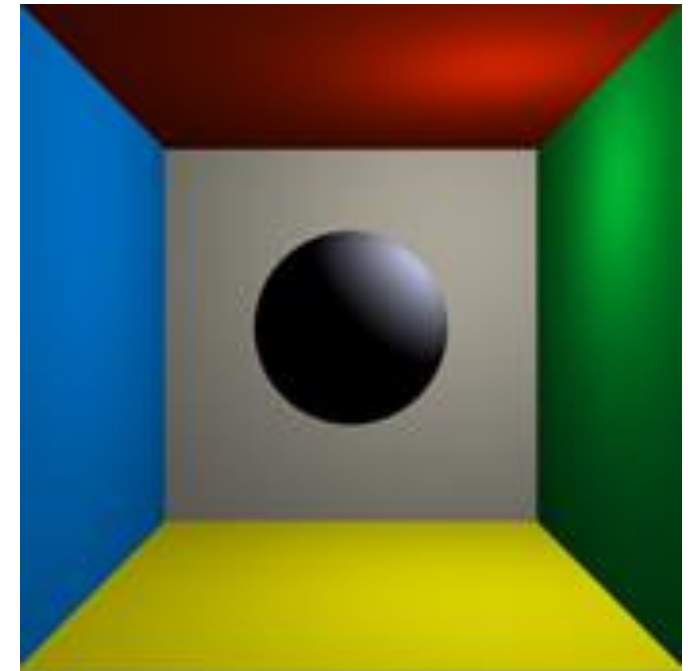
- Aparte de los espejos, que son puramente especulares, casi todos los objetos tienen reflexión difusa.
- ¿Qué determina la intensidad de la reflexión difusa?
 - Obedece la ley de cosenos de Lambert



\hat{l} : Luz entrante.

\hat{n} : Normal a la superficie.

Θ : Ángulo de incidencia.

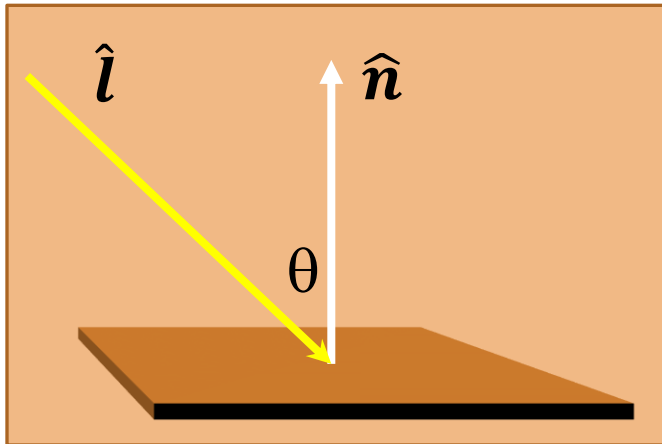


Diffuse

Reflexión difusa

En la práctica se usa aritmética vectorial:

$$I_d = k_d I_l (\hat{n} \cdot \hat{l})$$



$$I_d = k_d I_l \cos \theta$$

$$\hat{n} \cdot \hat{l} = |\hat{n}| |\hat{l}| \cos \theta$$



Reflexión especular

Superficies brillosas exhiben reflexión especular:

- Metal pulido.
- Terminado automotriz.

La luz que incide en una superficie especular forma un punto brillante, que se llama **brillo especular**.

El área donde aparecen esos brillos es función de la posición del ojo, o sea, la reflexión especular es **dependiente de la vista**.



Specular

speculum: latín para espejo.

Reflexión especular

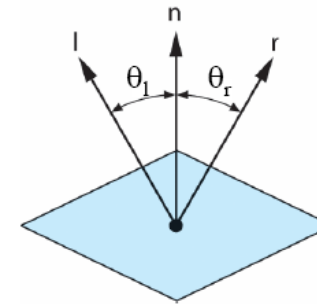
Hay usualmente algo de difusión.

Un objeto especular perfecto, sin difusión, es un espejo.

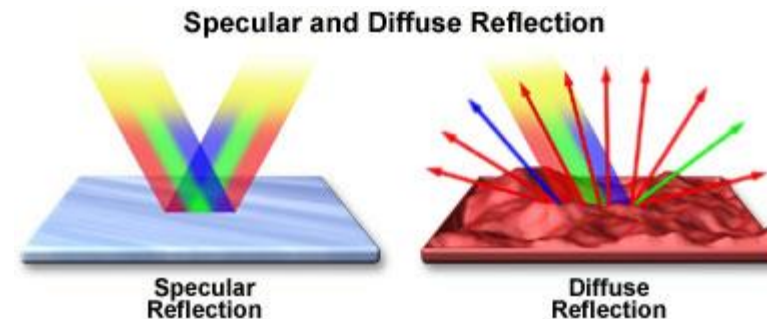
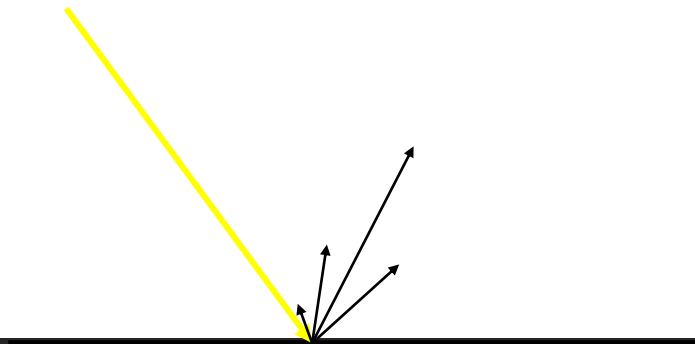
La mayoría de los objetos tienen algo de especular.

Sigue la **Ley de Snell** (caso ideal=espejo):

- El rayo de luz entrante y el reflejado están en el mismo plano con la normal a la superficie, y el ángulo que el rayo reflejado forma con la normal es igual al formado por el rayo entrante y la normal.

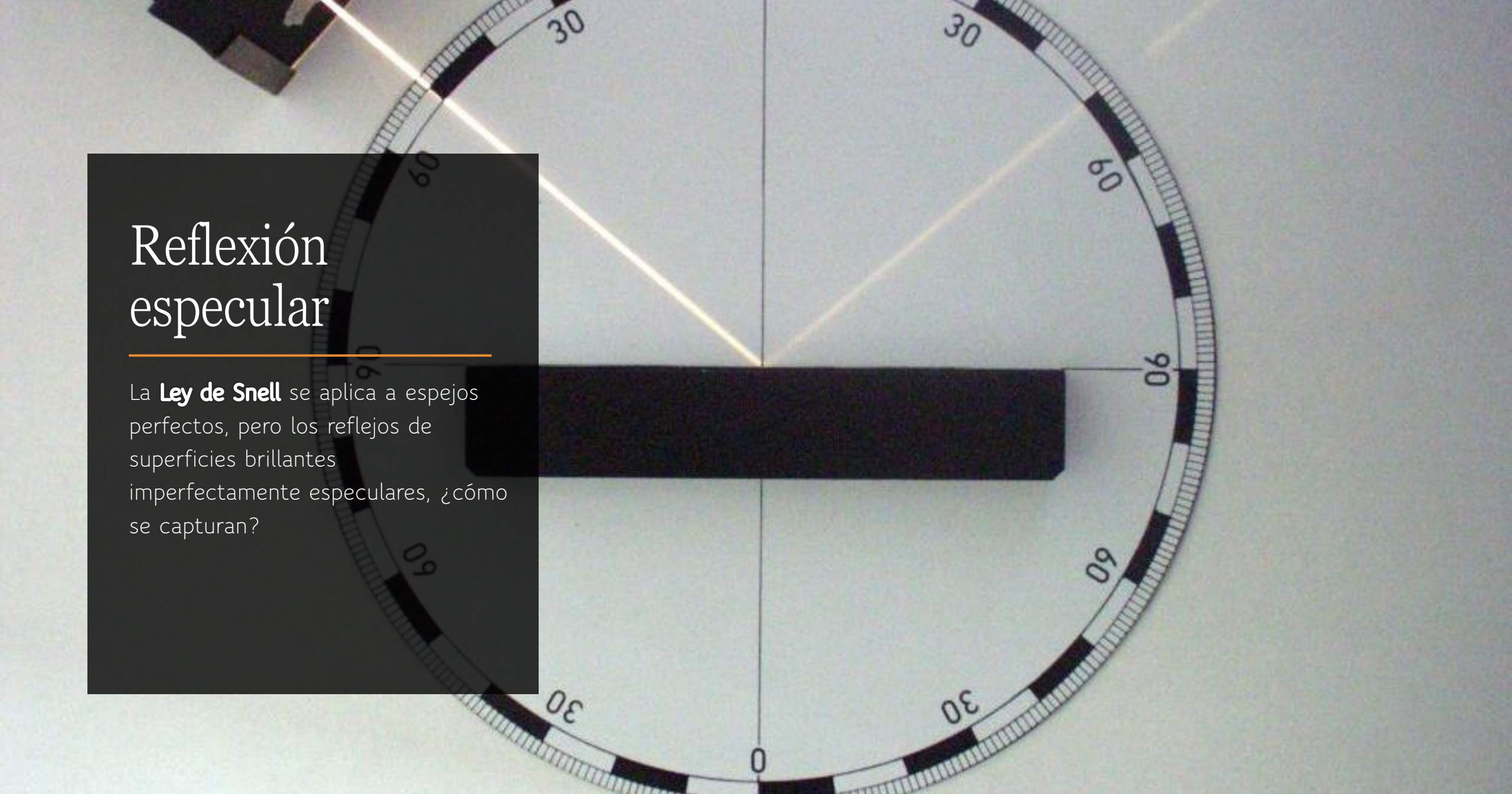


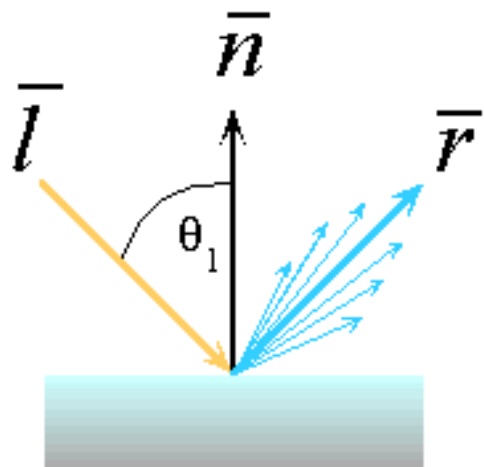
$$\theta_i = \theta_r$$



Reflexión especular

La **Ley de Snell** se aplica a espejos perfectos, pero los reflejos de superficies brillantes imperfectamente especulares, ¿cómo se capturan?

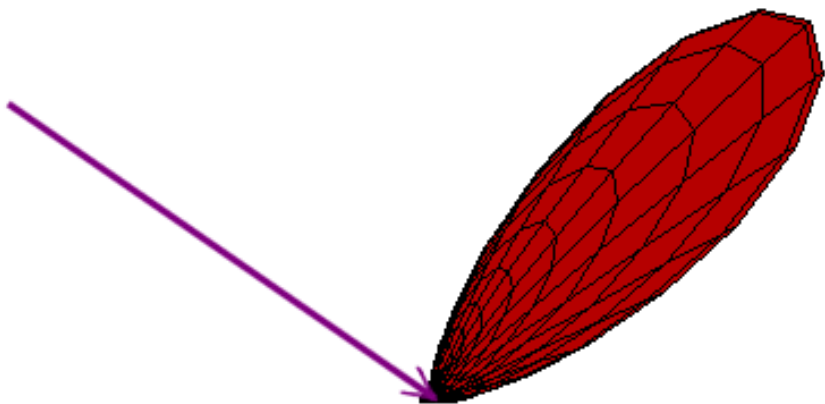




Reflexión especular

En otras palabras caída de reflexión según ángulo (no ideal):

¿Cómo modelamos esta caída?



Reflexión especular

“In trying to improve the quality of the synthetic images, we do not expect to be able to display the object exactly as it would appear in reality, with texture, overcast shadows, etc. We hope only to display an image that approximates the real object closely enough to provide a certain degree of realism.”



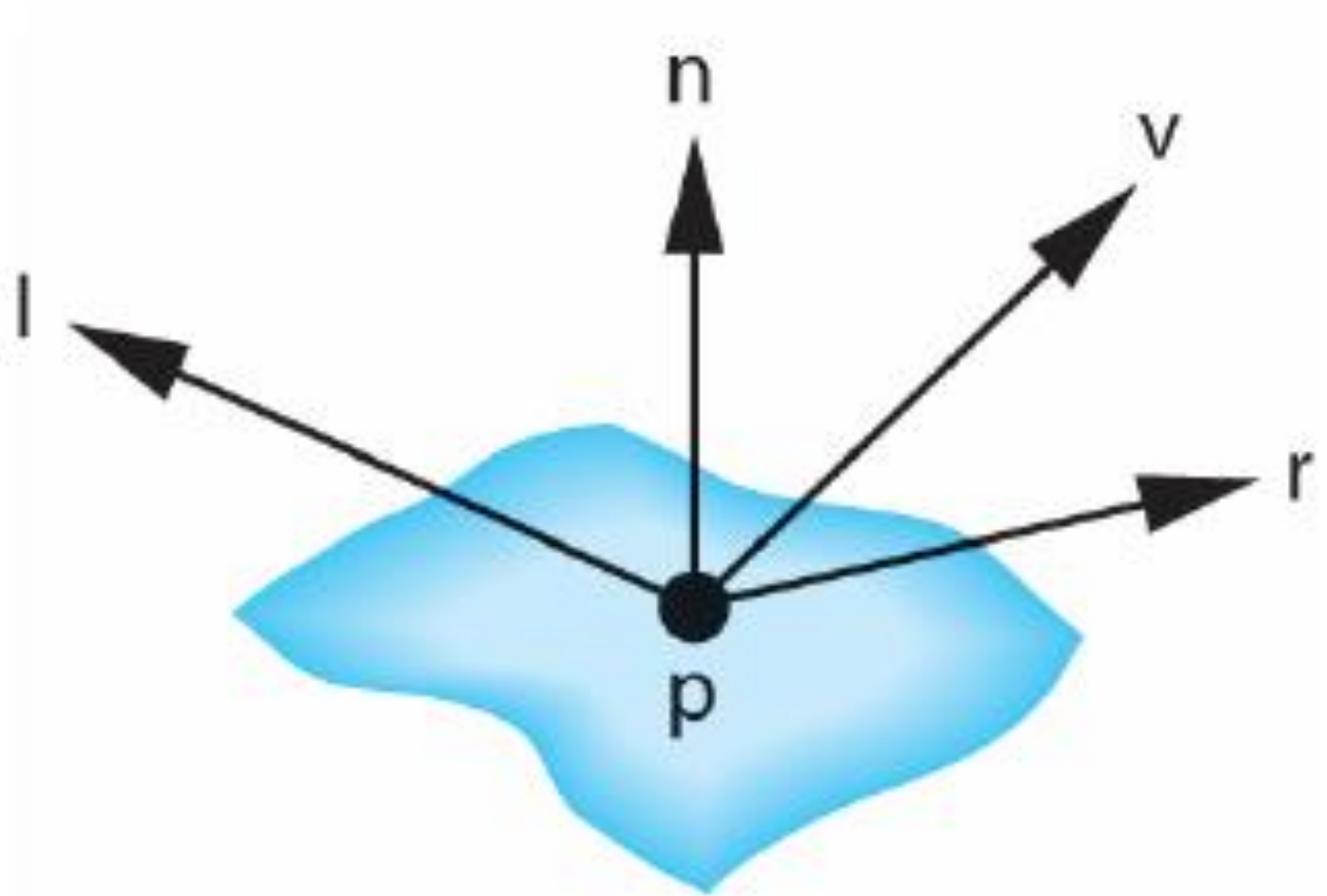
1942 (Hanoi, Vietnam)-1975

- Bui Tuong Phong, 1975.

Reflexión especular

Bui Tuong Phong propone
modelar la reflexión especular
usando 4 vectores:

- \hat{n} normal a la superficie.
- \hat{l} dirección de la fuente de luz.
- \hat{v} dirección de la cámara.
- \hat{r} rayo de luz reflejado.



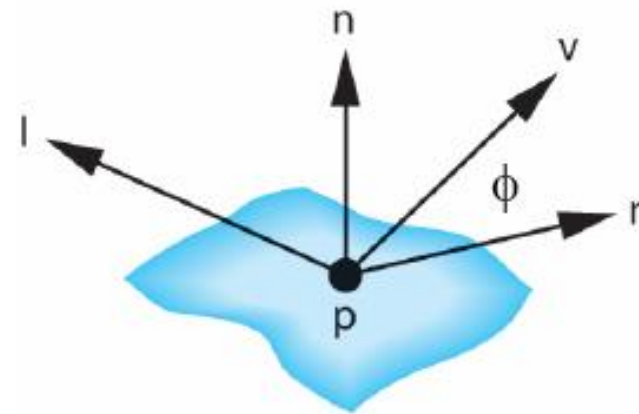
Reflexión especular

Además propuso utilizar un término, llamado **Coeficiente Especular**, que disminuye según el ángulo ϕ entre la cámara y la reflexión:

$$\cos^\alpha(\phi) = (\cos(\phi))^\alpha = (\hat{v} \cdot \hat{r})^\alpha$$

coeficiente
especular

$$I_s = k_s (\hat{r} \cdot \hat{v})^\alpha I_l$$

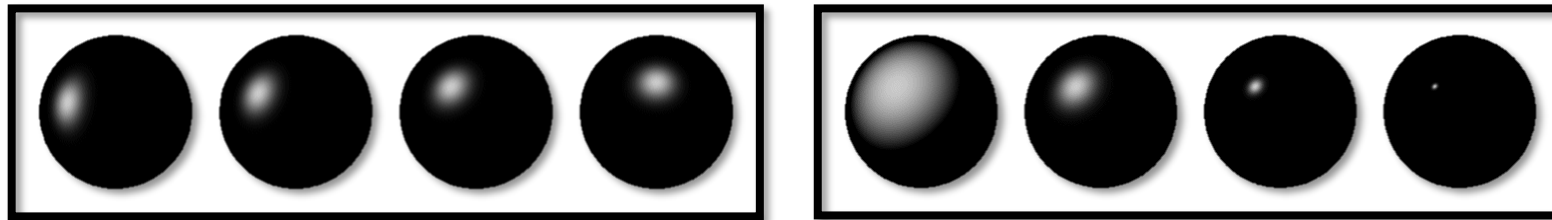


Reflexión especular de Phong

Empíricamente:

Valores de α entre **100.0** y **200.0** corresponden a metales.


Valores de α entre **5.0** y **10.0** corresponden a superficies plásticas





Suma de términos

Para cada fuente de luz el Modelo de Phong se expresa como:

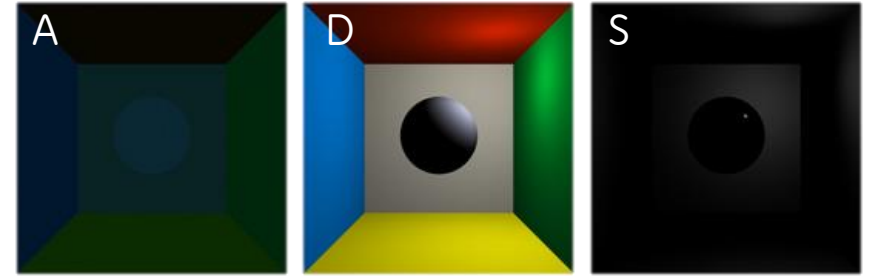
$$I = D + S + A$$
$$I = (k_d I_d (\hat{l} \cdot \hat{n})) + (k_s I_s (\hat{v} \cdot \hat{r})^\alpha) + (k_a I_a)$$


difuso


especular


ambiental

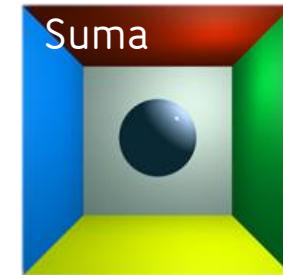
Suma de términos



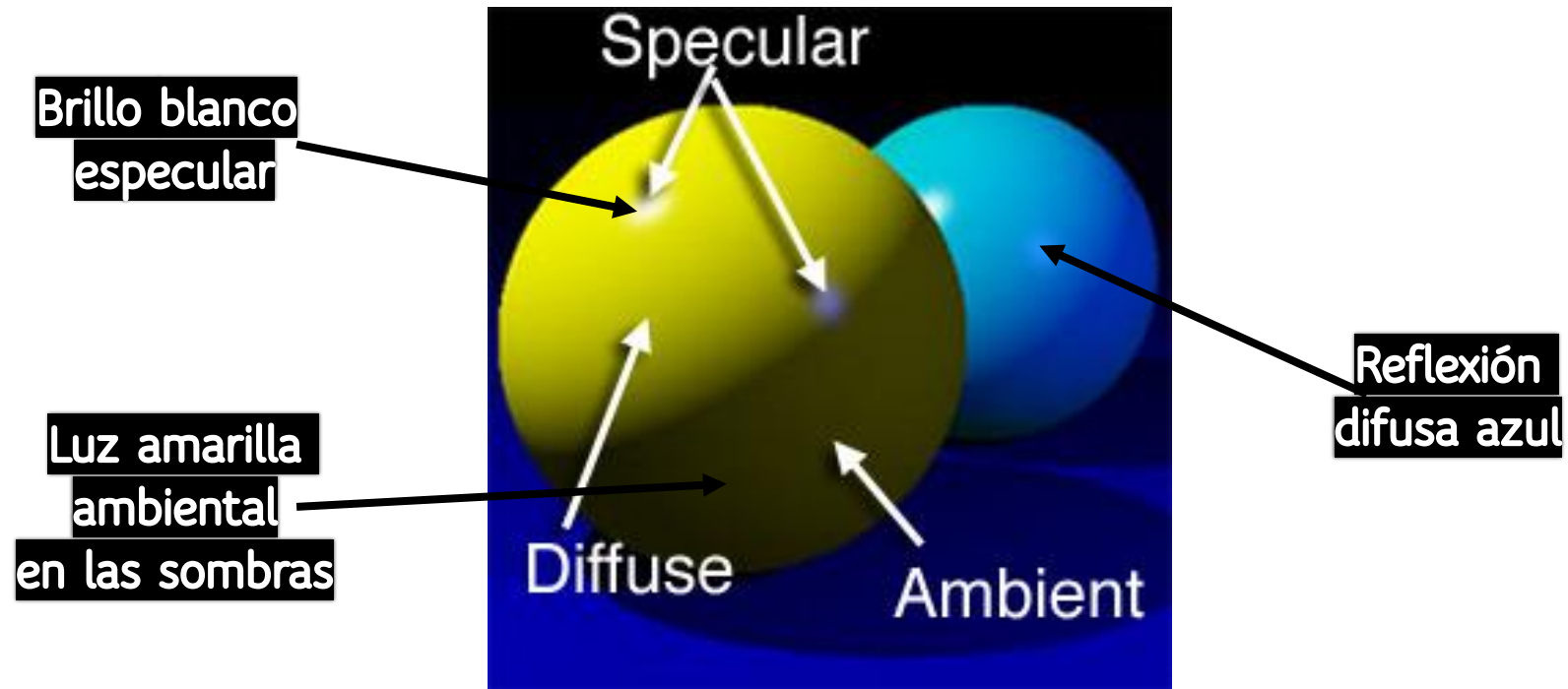
Se calcula cada componente de color por separado:

- $I = (k_{d\textcolor{red}{r}}I_{d\textcolor{red}{r}}(\hat{l} \cdot \hat{n})) + (k_{s\textcolor{red}{r}}I_{s\textcolor{red}{r}}(\hat{v} \cdot \hat{r})^\alpha) + (k_{a\textcolor{red}{r}}I_{a\textcolor{red}{r}})$
- $I = (k_{d\textcolor{green}{g}}I_{d\textcolor{green}{g}}(\hat{l} \cdot \hat{n})) + (k_{s\textcolor{green}{g}}I_{s\textcolor{green}{g}}(\hat{v} \cdot \hat{r})^\alpha) + (k_{a\textcolor{green}{g}}I_{a\textcolor{green}{g}})$
- $I = (k_{d\textcolor{blue}{b}}I_{d\textcolor{blue}{b}}(\hat{l} \cdot \hat{n})) + (k_{s\textcolor{blue}{b}}I_{s\textcolor{blue}{b}}(\hat{v} \cdot \hat{r})^\alpha) + (k_{a\textcolor{blue}{b}}I_{a\textcolor{blue}{b}})$

↑ ↑ ↑
difuso especular ambiental



Suma de términos



$$I = (k_d I_l (\hat{l} \cdot \hat{n})) + (k_s I_l (\hat{v} \cdot \hat{r})^\alpha) + (k_a I_l)$$

Propiedades de los materiales

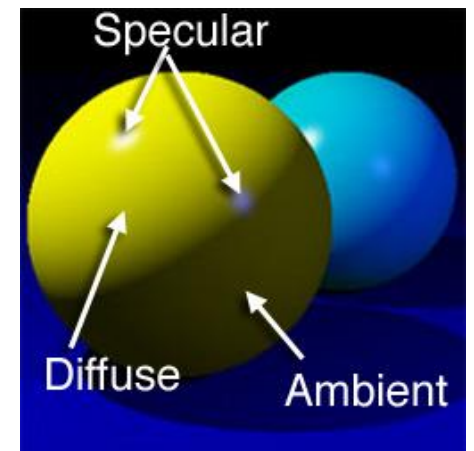
Cada material tiene términos difuso, especular y ambiental por separado para obtener el máximo de flexibilidad.

Cada uno de estos términos tiene un componente rojo, verde y azul por separado.

Cada superficie, por lo tanto, cuenta con 9 coeficientes:

- Difuso (k_{dr} , k_{dg} , k_{db})
- Especular (k_{sr} , k_{sg} , k_{sb})
- Ambiental (k_{ar} , k_{ag} , k_{ab})

Más el coeficiente α para el brillo.



Propiedades de las fuentes de luz

En el Modelo de Phong se suman los resultados de todas las fuentes de luz.







Cada fuente de luz tiene términos difuso, especular y ambiental por separado para obtener el máximo de flexibilidad.

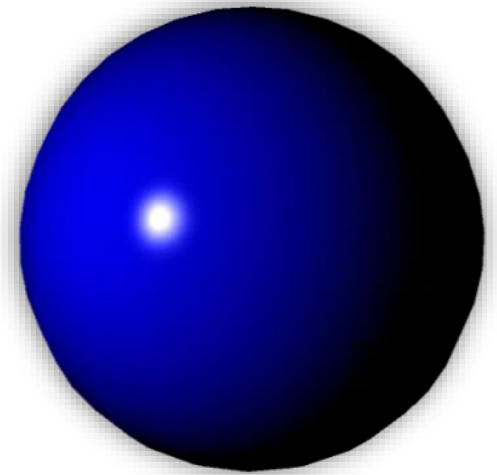
Cada uno de estos términos tiene un componente rojo, verde y azul por separado.

Cada fuente de luz, por lo tanto, cuenta con 9 coeficientes:

- Difuso (I_{dr} , I_{dg} , I_{db})
- Especular (I_{sr} , I_{sg} , I_{sb})
- Ambiental (I_{ar} , I_{ag} , I_{ab})

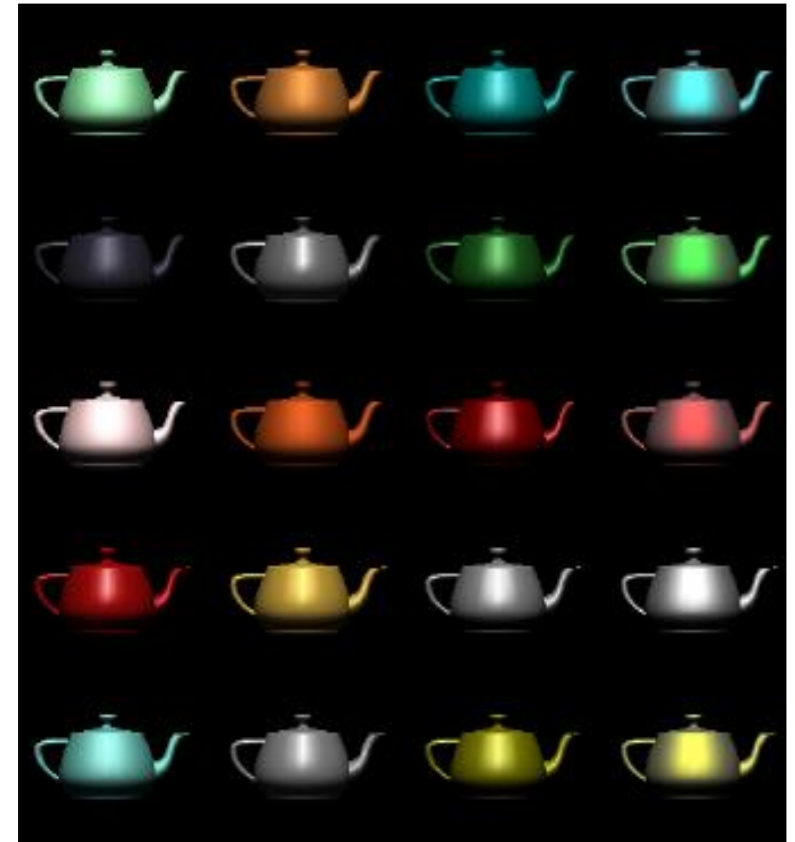
Ejemplo: Modelo de Iluminación de Phong

- El material de la esfera:
 - difuso (k_{dr} , k_{dg} , k_{db}) = (0.0, 0.0, 1.0) 
 - especular (k_{sr} , k_{sg} , k_{sb}) = (1.0, 1.0, 1.0) 
 - ambiental (k_{ar} , k_{ag} , k_{ab}) = (0.3, 0.0, 0.0) 
 - brillo (α) = 50.0
- La fuente de luz:
 - difuso (l_{dr} , l_{dg} , l_{db}) = (1.0, 1.0, 1.0) 
 - especular (l_{sr} , l_{sg} , l_{sb}) = (1.0, 1.0, 1.0) 
 - ambiental (l_{ar} , l_{ag} , l_{ab}) = (1.0, 1.0, 1.0) 



Ejemplos adicionales

La única diferencia entre las teteras son los parámetros utilizados en el Modelo de Phong:



Modelos de sombreado (shading)

Para:

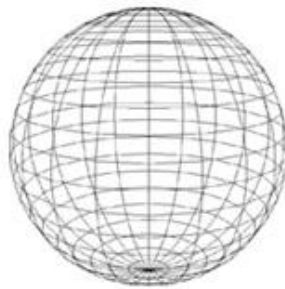
Simular superficies con
apariencia curva.

Sombreado plano:

- Flat shading (b).

Sombreado suave.

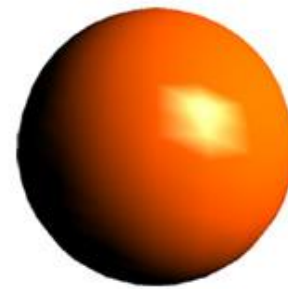
- Gouraud (c).
- Phong (d).



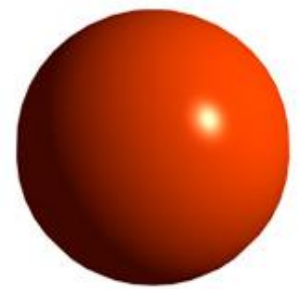
(a)



(b)



(c)



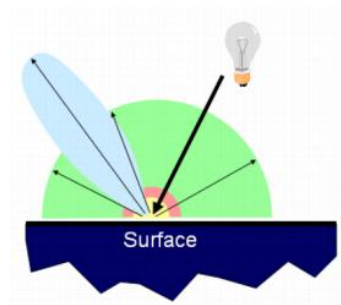
(d)

Iluminación es distinto a sombreado

ILUMINACIÓN

Física.

Es el transporte de energía (en particular el flujo luminoso de la luz visible) desde las fuentes de luz hasta las superficies y puntos, sea por vía directa o indirecta.



SOMBREADO

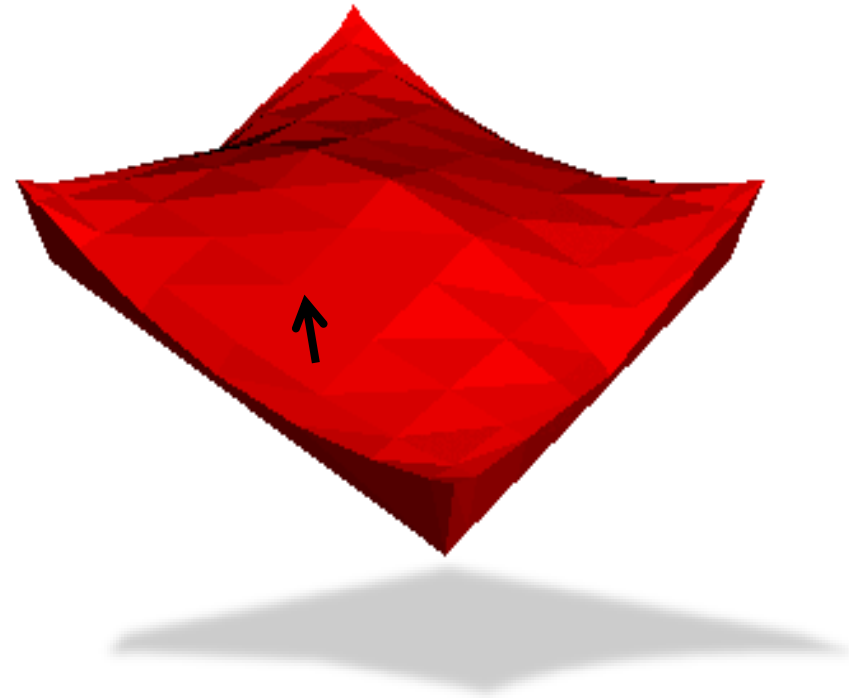
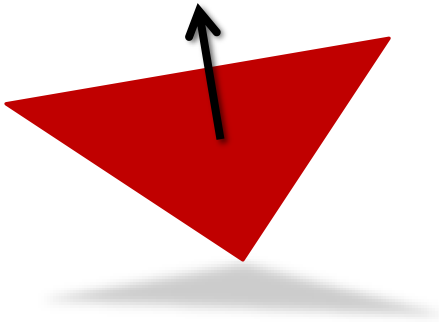
Gráficas Computacionales.

Es el proceso para determinar el color de un pixel.



Sombreado plano

El sombreado es constante y se genera por cara.



Sombreado interpolado

Calcula color en cada vértice.

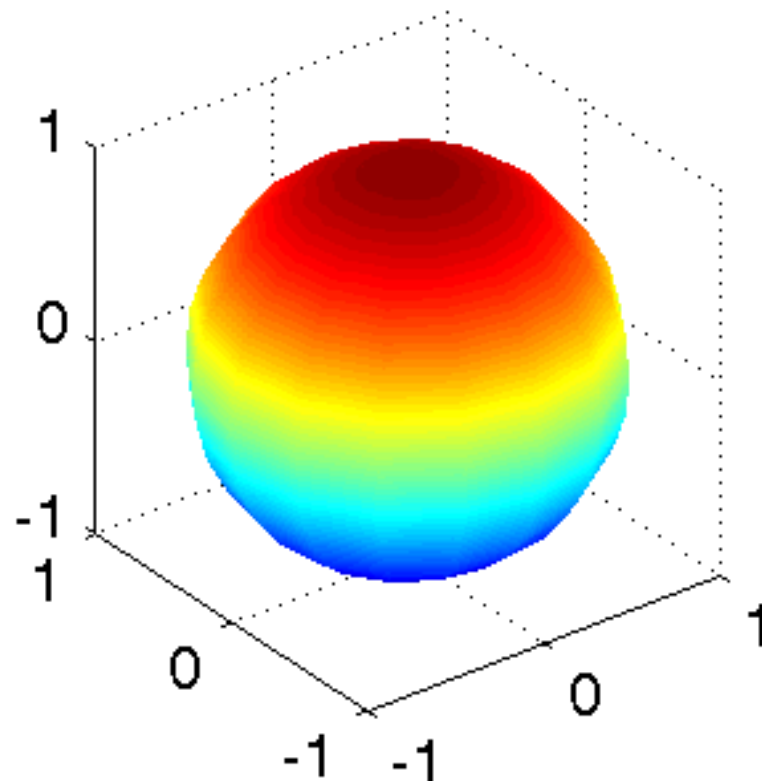
Interpola color en interior.

Se calcula durante la rasterización.

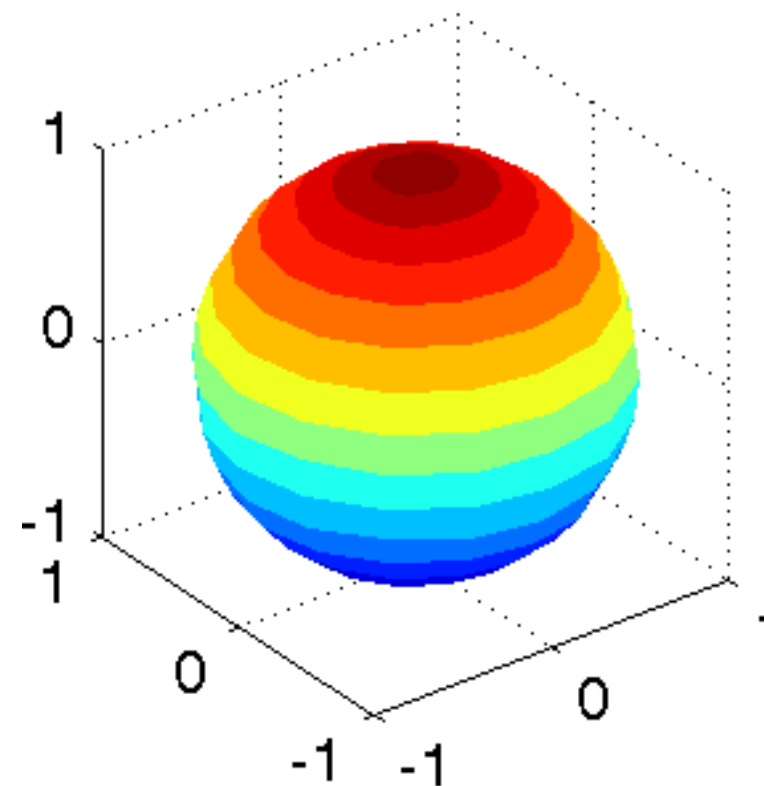
Mejor imagen.

Simula superficies suaves.

Interpolated Shading



Flat Shading



Modelo de sombreado de Gouraud

Calcula color (usando iluminación de Phong) en los vértices.

Interpola color por polígono o cara.

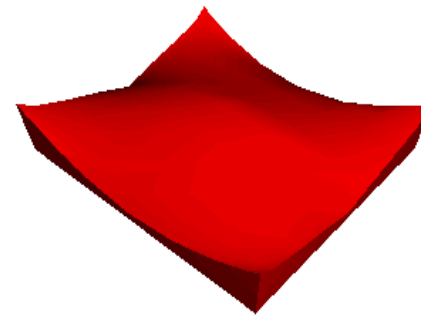
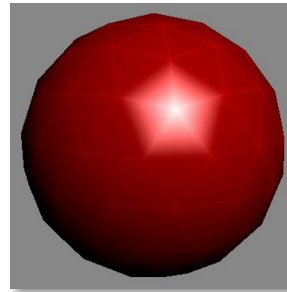
Sombreado por defecto en **OpenGL**.

Ventajas

- Cálculo de color sólo en vértices.

Desventajas

- No simula la geometría de las curvas, solamente interpola los colores.

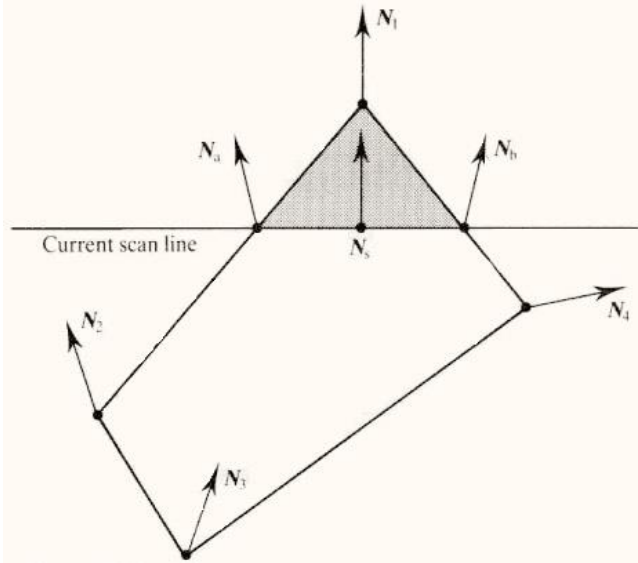


Henri Gouraud.

1944 (Francia).



Phong Shading Model



Modelo de sombreado de Phong

No confundir con **Modelo de Iluminación de Phong**.

Interpola linealmente la **normal**, aplicando el modelo de iluminación de Phong en cada pixel.

Misma entrada que Gouraud (una normal por vértice).

Resultados muy suaves.

Mucho más caro (computacionalmente).

Ventajas:

- Muy buena calidad.
- Brillos.
- Requiere menos polígonos.

Desventajas:

- Cálculo de iluminación en cada pixel.
- No soportado en OpenGL.
- Pero ¡ahora hay pixel shaders por hardware!



Sombreado de Phong y Gouraud

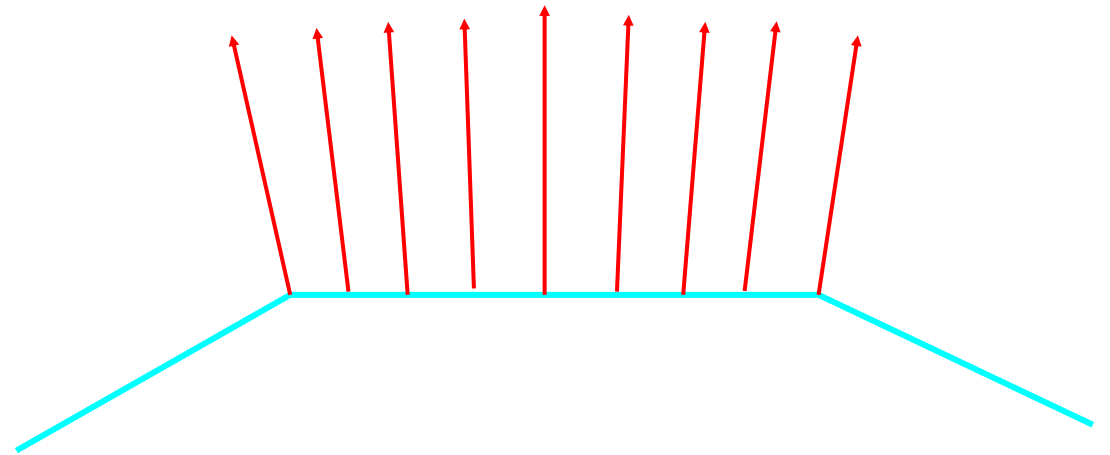
Gouraud

Interpola intensidades



Phong

Interpola vectores



Resumen de modelos

	Phong	Gouraud
Modelo de Iluminación	$I = D + S + A$	N/A
Modelo de Sombreado	Interpola vectores normales.	Interpola intensidades de color.