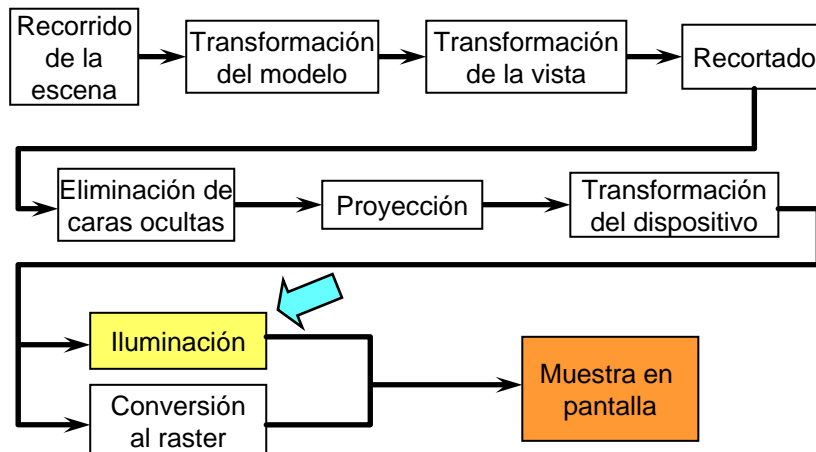


Tema 9

Tema 9. Iluminación y sombreado

- 9.1 Introducción
- 9.2 Modelo de iluminación simple
- 9.3 Color en luces y superficies
- 9.4 Múltiples fuentes de luz
- 9.5 Sombreado de polígonos



9.1 Introducción

OBJETIVOS

- Conocer los efectos visuales de la luz sobre los objetos y los problemas que plantea su incorporación a la imagen representada.
- Aprender la manera de modelar estos efectos en una función matemática sencilla.
- Entender la relación entre la fuente de luz, la superficie del objeto y el observador.
- Comprender el significado de la parametrización matemática del modelo de iluminación y las consecuencias de la variación de los parámetros en la imagen representada.
- Estar en disposición de abordar modelos de iluminación más complejos.

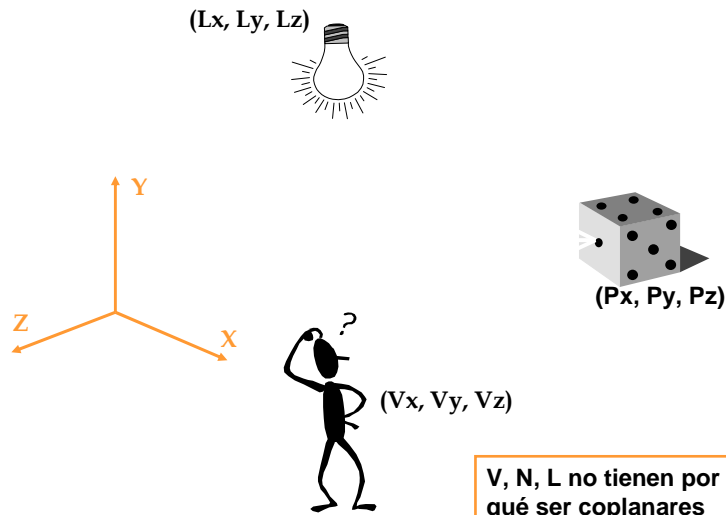


9.1 Introducción

- Modelización de la geometría de los objetos.
 - La escena a representar se compone de objetos geoméricamente bien definidos.
 - Existe un modelo geométrico al que se le puede interrogar acerca de las características de posición y orientación de los objetos.
 - En todo punto de la superficie del objeto está definida la normal exterior.
 - La superficie de los objetos es lisa.
- Modelización de los atributos visuales de los objetos.
 - Es conocido el color del objeto.
- Modelización del observador.
 - Se conoce la posición del observador o la dirección de proyección en el espacio de los objetos.
 - Se conocen qué partes de los objetos son visibles desde esa posición.



9.1 Introducción



9.1 Introducción

- Fuentes de luz:
 - Posición: localizada o infinitamente alejada.
 - Intensidad: color de la fuente.
 - Cantidad: integración de efectos.
 - Distribución lumínica: uniforme, focalizada, direccional, etc.
 - Geometría: puntual, esférica, lineal, etc.
- Objetos:
 - Distancias: al observador y a la fuente de luz.
 - Material: pulido, metálico, rugoso, etc.
 - Propiedades ópticas: transparencia, refracción, etc.
 - Cromaticidad: Color superficial propio.
 - Interacción lumínica con otros objetos de la escena.
- Observador:
 - Dirección de observación: cálculo de la intensidad.



9.2 Modelo de iluminación simple

- Definimos un modelo de iluminación como:

$$I = f(p, PV, \{O\}, \{F\})$$

- p: punto de cálculo de la iluminación.
 - PV: posición del punto de vista.
 - {O}: modelo geométrico y material de los objetos.
 - {F}: modelo geométrico e intensidad de las fuentes de luz.
 - I: intensidad luminosa observada en p.
- Los modelos de iluminación que se mostrarán son [empíricos](#), es decir, no están basados en la física sino en la observación de su comportamiento.
- Simplificaciones aplicadas:
 - Fuentes puntuales.
 - Objetos opacos.
 - Modelo de iluminación local.



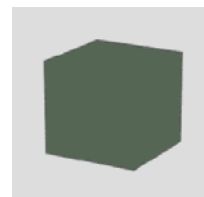
9.2 Modelo de iluminación simple. La iluminación ambiente

- El modelo más simple de iluminación es aquél en el que cada objeto es mostrado usando una intensidad propia
- La ecuación de iluminación que expresa este modelo es:

$$I = k_i$$

en donde

- I es la intensidad resultante
- k_i es la intensidad intrínseca [0..1]



- [luz ambiente](#): se considera que hay una fuente de luz no direccional, producto de múltiples reflexiones de luz desde muchas fuentes presentes en el entorno.
- La luz ambiente incide igualmente en todas las superficies en todas las direcciones y su ecuación de iluminación es:

$$I = I_a \cdot k_a$$

en donde

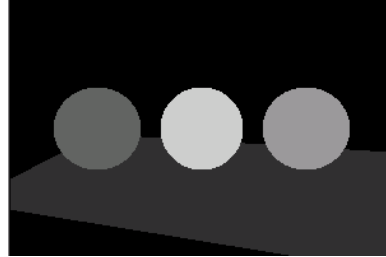
- I_a es la intensidad de la luz ambiente
- k_a el coeficiente de reflexión ambiente



9.2 Modelo de iluminación simple. La iluminación ambiente

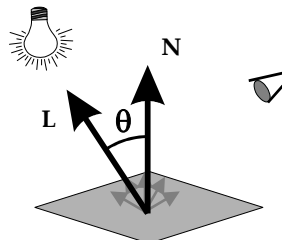
- Características de la luz:
 - $I_a = 1$
- Características del material:

	K_a
Izquierda	0.4
Centro	0.8
Derecha	0.6



9.2 Modelo de iluminación simple. La reflexión difusa

- **Reflexión difusa:** parte de la luz reflejada por la superficie de un objeto de manera adireccional (igual intensidad en cualquier dirección)
- La intensidad de luz reflejada en un punto es independiente de la posición del observador.
- **Ley de Lambert:** “la componente difusa de la luz reflejada por una superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia”
- Es característico de las superficies mate: (tiza, paredes, telas,...).



9.2 Modelo de iluminación simple. La reflexión difusa

- El brillo depende únicamente del ángulo θ entre la dirección de L y de N (ángulo de incidencia).

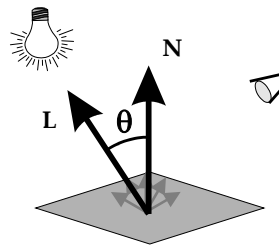
$$I = I_L \cdot k_d \cdot \cos(\theta)$$

- La ecuación de reflexión difusa:

$$I = I_a \cdot k_a + I_L \cdot k_d \cdot \cos(\theta) = I_a \cdot k_a + I_L \cdot k_d \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L})$$

en donde:

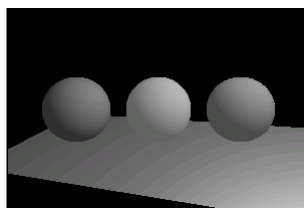
- I_L : Intensidad fuente
- θ : Ángulo incidencia [0..90]
- k_d : Coeficiente reflexión difusa [0..1]
- N: Normal superficie (unitario)
- L: Vector iluminación (unitario)



9.2 Modelo de iluminación simple. La reflexión difusa

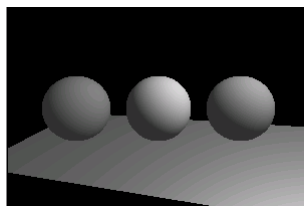
- Características de la luz:

- $I_a = 0.5$
- $I_L = 0.8$
- Pos = (2, 2, 2)



- Características del material:

	Color	Ka	Kd
Izq.	1	0.4	0.4
Cent.	1	0.8	0.4
Der.	1	0.6	0.4



- Características del material:

	Color	Ka	Kd
Izq.	1	0.4	0.4
Cent.	1	0.4	0.8
Der.	1	0.4	0.6



9.2 Modelo de iluminación simple. Atenuación del foco

- PROBLEMA:
 - *Dos superficies a distinta distancia del foco son irradiadas con diferente intensidad*
- Esta diferenciación se introduce mediante un factor de atenuación, f_{at} , quedando la ecuación de la siguiente forma:

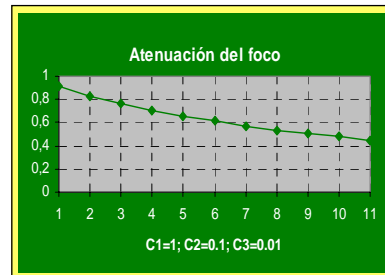
$$I = I_a \cdot k_a + f_{at} \cdot I_L \cdot k_d \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L})$$

en donde f_{at} tendrá la forma:

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

en donde:

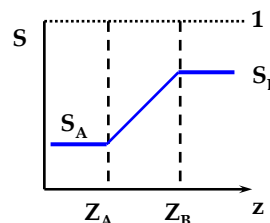
- c_1 , c_2 y c_3 son constantes empíricas.
- d_L : es la distancia desde el punto a iluminar hasta el foco de luz.



9.2 Modelo de iluminación simple. Atenuación atmosférica

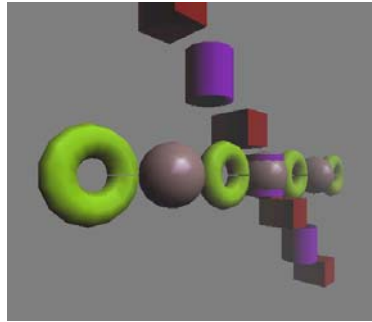
- Debemos tener en cuenta la distancia de los objetos al observador.
- Como el observador se encuentra en proyección ortográfica simple consideraremos la distancia como la coordenada z .
- Se pueden conseguir efectos de atmósfera tomando una intensidad de fondo I_F e interpolando con la I obtenida.
- $z < z_A$
 - La atmósfera siempre ofrece la misma atenuación mínima: $S = S_A$
- $z_A < z < z_B$
 - Atenuación lineal con la distancia: $S = S_A + (z - z_A) \cdot (S_B - S_A) / (z_B - z_A)$
- $z > z_B$
 - Atenuación máxima constante: $S = S_B$
- Modelo con atenuación:

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

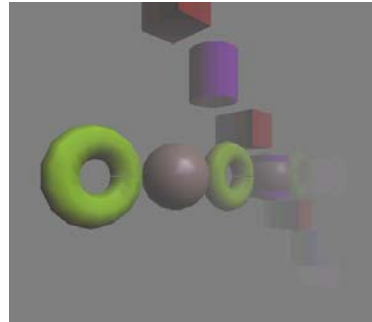


9.2 Modelo de iluminación simple. Atenuación atmosférica

SIN ATENUACIÓN

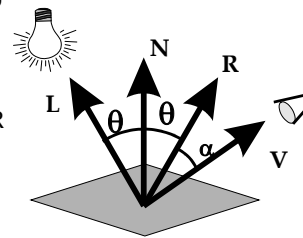
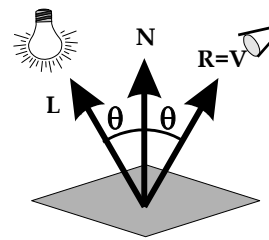


CON ATENUACIÓN



9.2 Modelo de iluminación simple. Reflexión especular

- La reflexión especular es la componente de la luz reflejada sobre una superficie brillante o pulida en una dirección preferente formando un brillo.
- La reflexión especular depende de la posición del observador.
- En un espejo perfecto la dirección desde la que se observa el reflejo es la dirección de reflexión perfecta R .
- En las superficies normales, el brillo decae cuando el observador se aleja de la dirección de reflexión perfecta. Se podría modelar este efecto teniendo en cuenta el ángulo entre R y V .
- También observamos que dependiendo de la superficie (grado de pulido) el brillo está más o menos concentrado alrededor del punto donde R y V coinciden.



L, N y R son coplanares, pero V no.



9.2 Modelo de iluminación simple. Reflexión especular

El modelo de iluminación de Phong

- El modelo asume que la máxima reflectancia especular ocurre cuando α es cero y decae rápidamente conforme α se incrementa.
- Esta disminución puede aproximarse mediante $\cos^n(\alpha)$. De este modo, la intensidad especular reflejada por la superficie quedaría como:

$$I_s = I_L \cdot k_s \cdot \cos^n(\alpha) = I_L \cdot k_s \cdot (\vec{R} \cdot \vec{V})^n$$

en donde:

- k_s : coeficiente de reflexión especular.
- α : ángulo entre R y V.
- n: coeficiente de especularidad.
- La ecuación de cálculo de intensidad en un punto:

$$I = I_a \cdot k_a + f_{at} \cdot I_L \cdot (k_d \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L}) + k_s \cdot (\vec{R} \cdot \vec{V})^n)$$



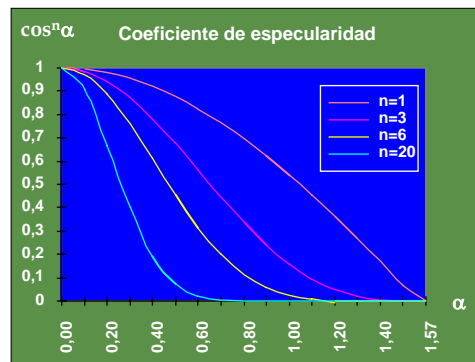
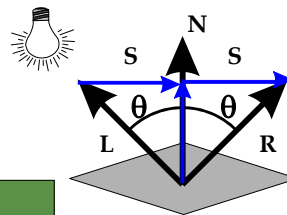
9.2 Modelo de iluminación simple. Reflexión especular

Cálculo del vector R

$$\vec{R} = \vec{N} \cdot \cos(\theta) + \vec{S}$$

$$\vec{S} = \vec{N} \cdot \cos(\theta) - \vec{L}$$

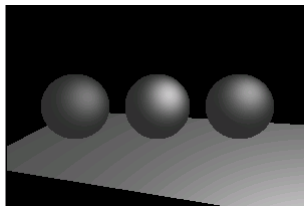
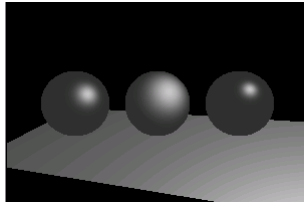
$$\vec{R} = 2 \cdot \vec{N} \cdot \cos(\theta) - \vec{L} = 2 \cdot \vec{N} \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L}) - \vec{L}$$



9.2 Modelo de iluminación simple. Reflexión especular

- Características de la luz:

- $I_a = 0.5$
- $I_l = 0.8$
- Pos = (2, 2, 2)



- Características del material:

	Color	Ka	Ks	n
Izq.	1	0.4	0.8	20
Cent.	1	0.4	0.8	5
Der.	1	0.4	0.8	40

- Características del material:

	Color	Ka	Ks	n
Izq.	1	0.4	0.4	5
Cent.	1	0.4	0.8	5
Der.	1	0.4	0.6	5



9.3 Color en luces y superficies

- Hemos de tener en cuenta la dependencia de los parámetros del modelo de iluminación con la **longitud de onda** de la luz (color).
- Parámetros dependientes:
 - Intensidades: Color espectral de las fuentes.

$$I(\lambda), I_L(\lambda), I_F(\lambda), I_a(\lambda)$$

- Coeficientes de reflexión: Reflectividad dependiente de las preferencias por la absorción de determinadas longitudes de onda por el material. Color del objeto.

$$K_a(\lambda), K_d(\lambda), K_s(\lambda), n(\lambda)$$

simplificaciones

$$O_d(\lambda)$$

Color del objeto

$$O_s(\lambda)$$

Color del brillo



9.3 Color en luces y superficies

- Modelo espectral:

$$I(\lambda) = I_{a\lambda} \cdot K_a \cdot O_{d\lambda} + f_{att} \cdot I_{L\lambda} \cdot \left[K_d \cdot O_{d\lambda} \cdot (\bar{N} \cdot \bar{L}) + K_s \cdot O_{s\lambda} \cdot (\bar{R} \cdot \bar{V})^n \right]$$

- Discretización en componentes R,G,B:

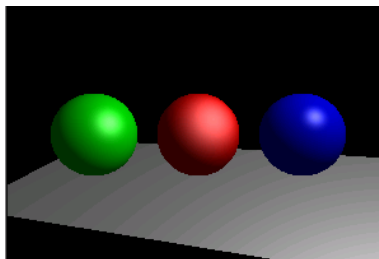
$$\begin{aligned} I_R &= I_{aR} \cdot K_a \cdot O_{dR} + f_{att} \cdot I_{LR} \cdot \left[K_d \cdot O_{dR} \cdot (\bar{N} \cdot \bar{L}) + K_s \cdot O_{sR} \cdot (\bar{R} \cdot \bar{V})^n \right] \\ I_G &= I_{aG} \cdot K_a \cdot O_{dG} + f_{att} \cdot I_{LG} \cdot \left[K_d \cdot O_{dG} \cdot (\bar{N} \cdot \bar{L}) + K_s \cdot O_{sG} \cdot (\bar{R} \cdot \bar{V})^n \right] \\ I_B &= I_{aB} \cdot K_a \cdot O_{dB} + f_{att} \cdot I_{LB} \cdot \left[K_d \cdot O_{dB} \cdot (\bar{N} \cdot \bar{L}) + K_s \cdot O_{sB} \cdot (\bar{R} \cdot \bar{V})^n \right] \end{aligned}$$



9.3 Color en luces y superficies

- Características de la luz:

- $I_a = (0.5, 0.5, 0.5)$
- $I_l = (0.8, 0.8, 0.8)$
- Pos = (2, 2, 2)



- Características del material:

	Od	Os	Ka	Kd	Ks	n
Izq.	0,1,0	1,1,1	0.4	0.8	0.7	20
Cent.	1,0,0	1,1,1	0.4	0.8	0.7	5
Der.	0,0,1	1,1,1	0.4	0.8	0.7	40



9.4 Múltiples fuentes de luz

- Si hay m fuentes de luz, entonces los términos de cada fuente de luz se suman:

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} \cdot k_a \cdot O_{d\lambda} + \sum_{i=1}^m f_{at_i} \cdot I_{L_i\lambda} \cdot (k_d \cdot O_{d\lambda} \cdot (\vec{N} \cdot \vec{L}_i) + k_s \cdot O_{s\lambda} \cdot (\vec{R}_i \cdot \vec{V})^n)$$

$\lambda = R, G, B$

PROBLEMA: Puede suceder que alguna de las componentes R,G,B saturate por encima de 1 (valor máximo del dispositivo).

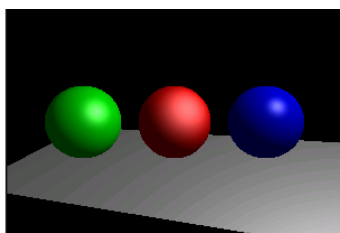
SOLUCIONES:

- Truncar el valor de I respecto a su máximo valor.
- Calcular la imagen en su totalidad y normalizar las intensidades tal que queden comprendidas en el intervalo[0..1].



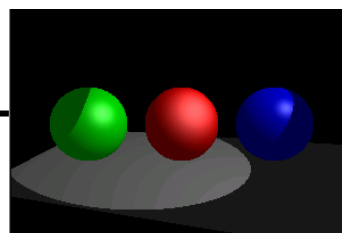
9.4 Múltiples fuentes de luz

LUZ PUNTUAL

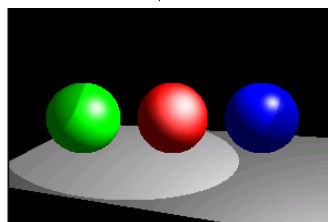


+

LUZ FOCAL



↓



LUZ PUNTUAL

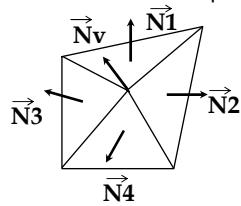
+

LUZ FOCAL

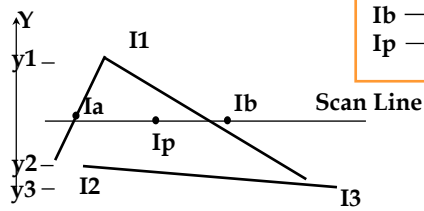


9.5 Sombreado de polígonos

- Sombreado constante
 - Una única intensidad para todo el polígono
 - Fuente de luz en el infinito ($\vec{N} \cdot \vec{L} = \text{cte}$)
 - P. de Vista en el infinito ($\vec{R} \cdot \vec{V} = \text{cte}$)
 - Si alguna de las dos no se cumple: mediar \vec{L} y \vec{V}
- Interpolación de Gouraud
 - Calcular las normales para cada polígono
 - Calcular las normales para vértice
 - Calcular la intensidad para cada vértice
 - Sombreado del polígono \rightarrow Scan-Line



$$\vec{N}_v = (\vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{N}_3 + \vec{N}_4) / 4$$



$I_a \rightarrow I_1, I_2$
 $I_b \rightarrow I_1, I_3$
 $I_p \rightarrow I_a, I_b$



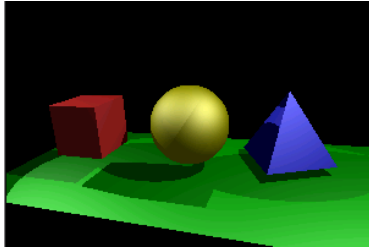
9.5 Sombreado de polígonos

- Interpolación de Phong
 - Calcular \vec{N} para cada polígono
 - Calcular N para cada vértice
 - Sombrear el polígono \rightarrow Scan-Line
 - Características
 - Interpola normales
 - Recalcula I para cada pixel
 - Apropiado para reflexión especular



Modelos avanzados

SOMBRA ARROJADAS



INTERREFLEXIÓN

