



FORMACIÓN FOTOMÉTRICA

Andrés Daniel Godoy Ortiz

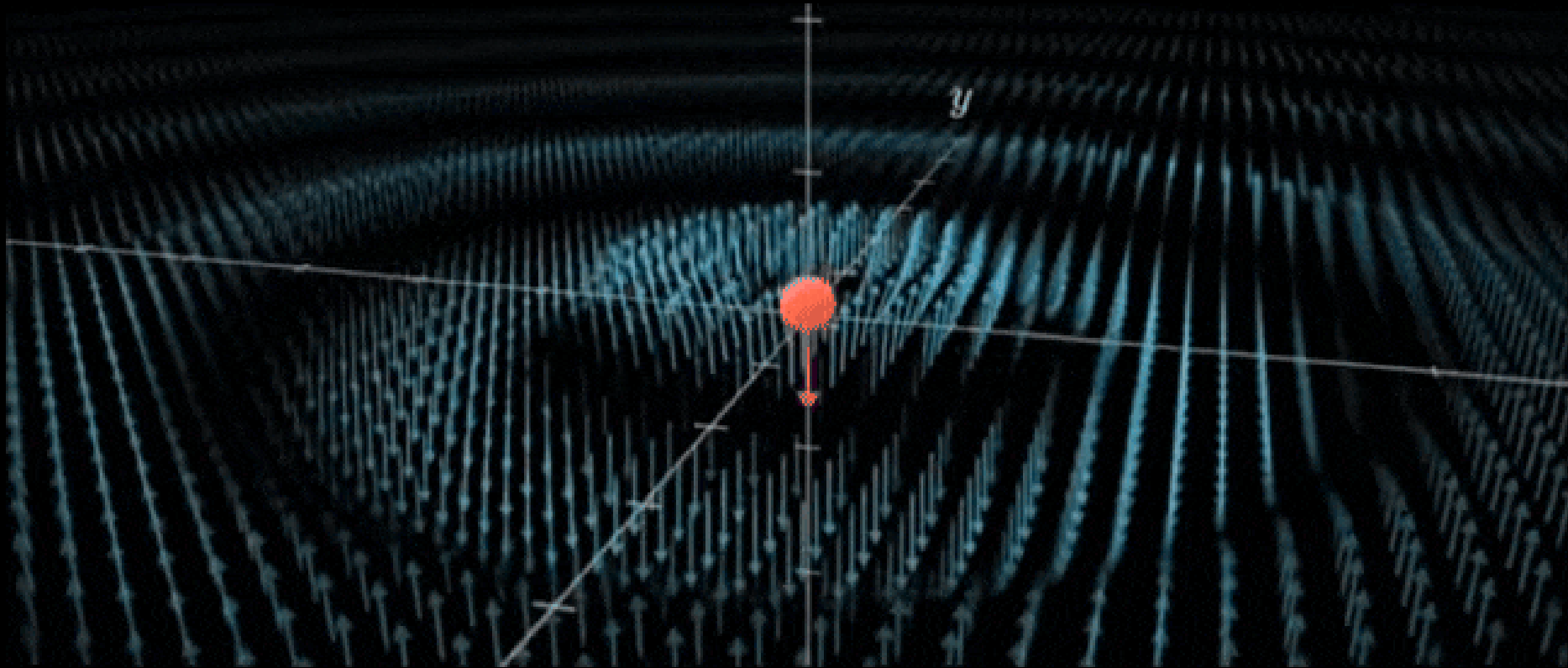


¿QUÉ ES LA LUZ?

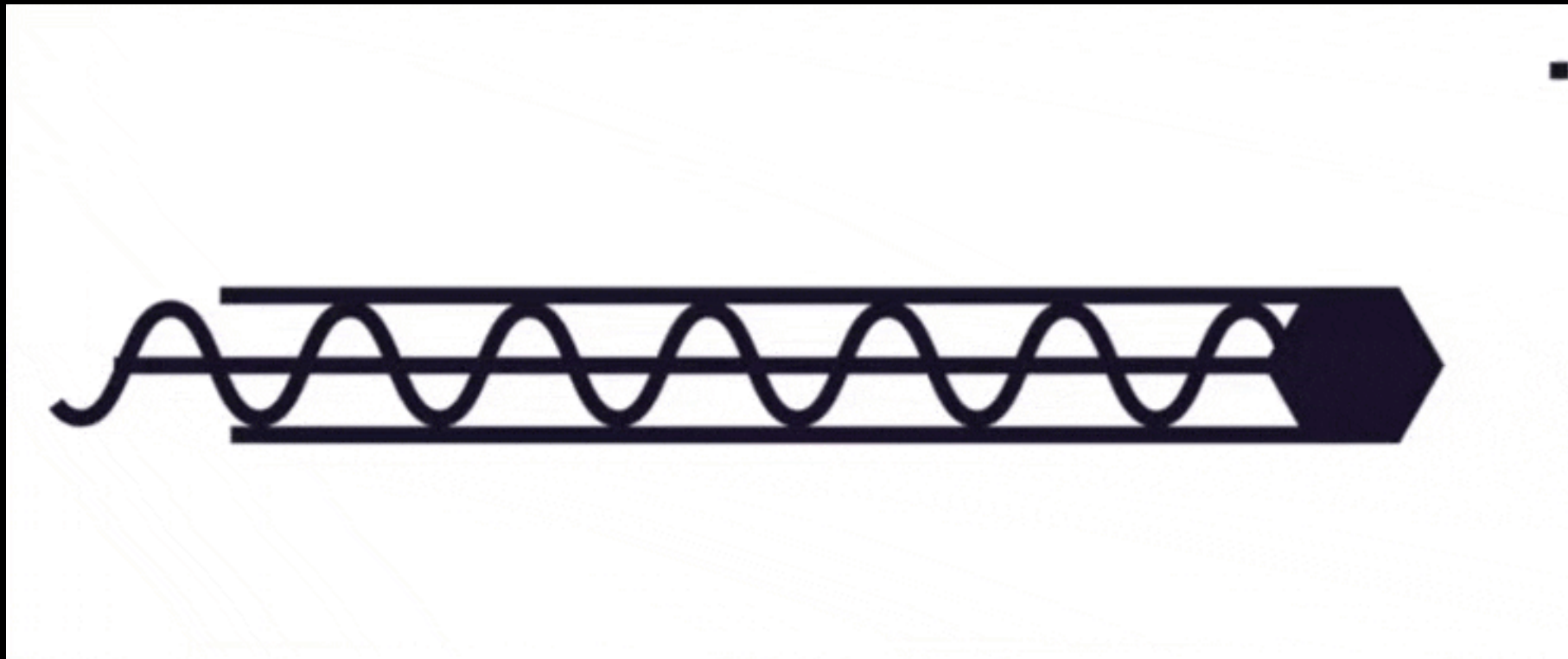
En términos generales..

LA LUZ ES UNA FORMA DE
RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

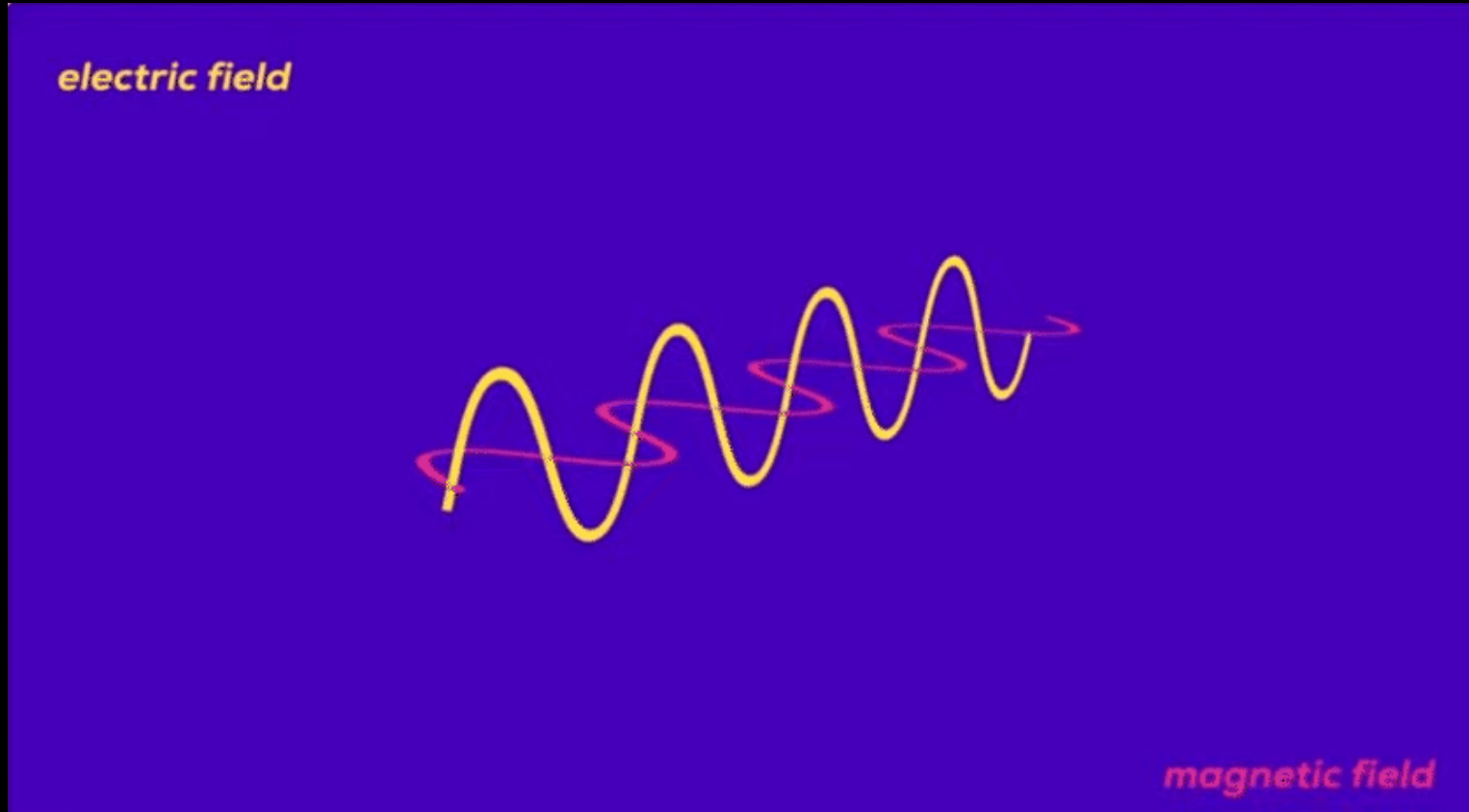
¿PERO QUÉ ES LO QUE RADIA?



DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA



ESTOS CAMPOS SE MUEVEN JUNTOS A LO LARGO DE ESPACIO, TRANSFIRIENDO ENERGÍA DE UN LADO A OTRO



ENTONCES PROPIEDADES COMO LA DIFRACCIÓN:

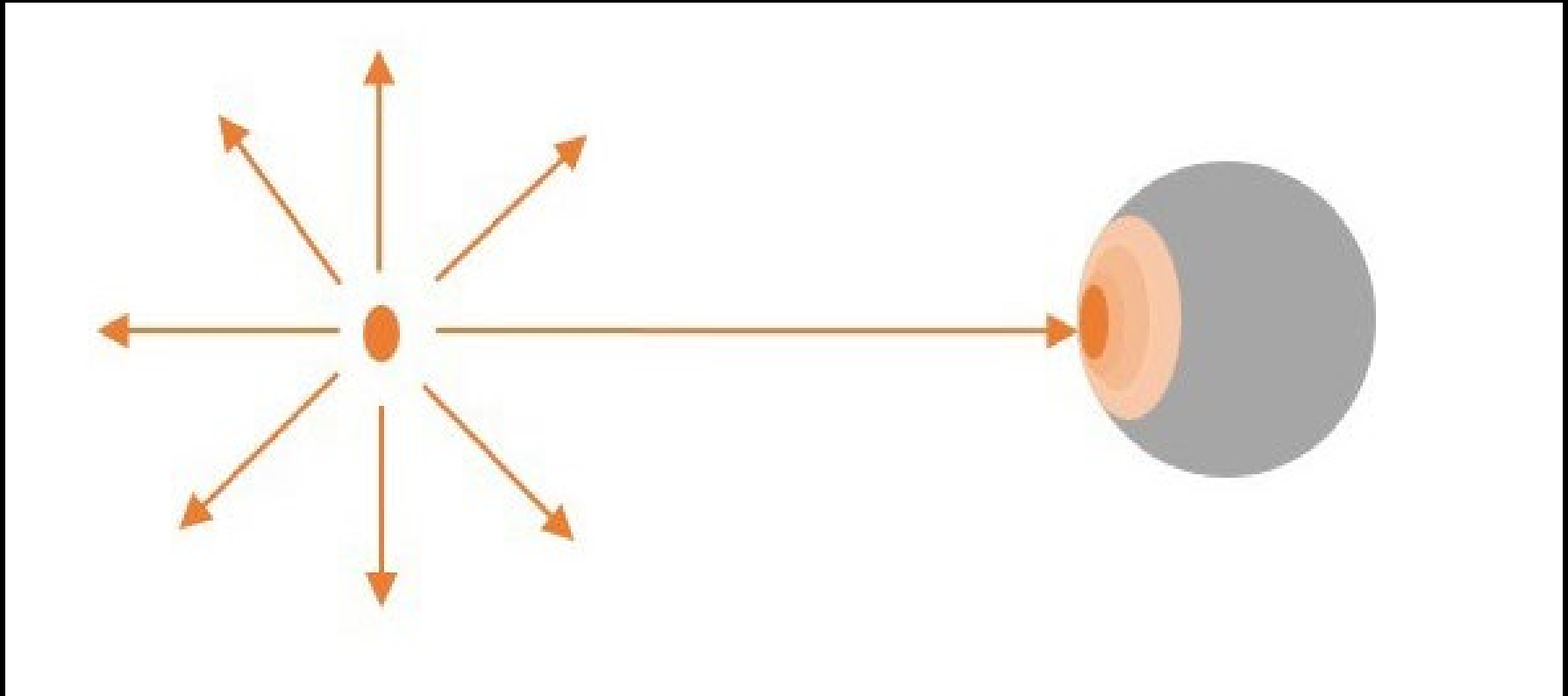




MODELOS DE ILUMINACIÓN

Luz Puntual, Luz Difusa, Luz Ambiente

LUZ PUNTUAL (POINT LIGHT SOURCE)



Intensidad de la luz

Sea I_p la intensidad de la luz emitida desde una fuente puntual en la posición P_s , y P un punto en la superficie donde llega la luz. La atenuación de la luz sigue la **Ley del Inverso del Cuadrado**:

$$I(P) = \frac{I_p}{\|P - P_s\|^2}$$

Para una representación más realista, se introduce un factor de atenuación empírico:

$$I(P) = \frac{I_p}{a + b\|P - P_s\| + c\|P - P_s\|^2}$$

donde:

- a, b, c son coeficientes de atenuación (ajustables para modelar el decaimiento de la luz).

Absorción, Reflexión y Transmisión en la Interacción de la Luz con Superficies

Cuando la luz incide sobre una superficie, puede dividirse en tres componentes principales:

1. **Absorción** (A) → La luz es absorbida por el material.

2. **Reflexión** (R) → La luz rebota en la superficie.

$$A + R + T = 1$$

3. **Transmisión** (T) → La luz atraviesa la superficie.

Estos efectos son fundamentales para entender cómo los objetos interactúan con la luz en visión computacional, gráficos por computadora y óptica.

Absorción

Ley de Beer-Lambert

$$I(d) = I_0 e^{-\alpha d}$$



Reflexión

Ley de Lambert

$$I_d = k_d I_p \max(0, \mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$$



Transmisión

Ley de Snell

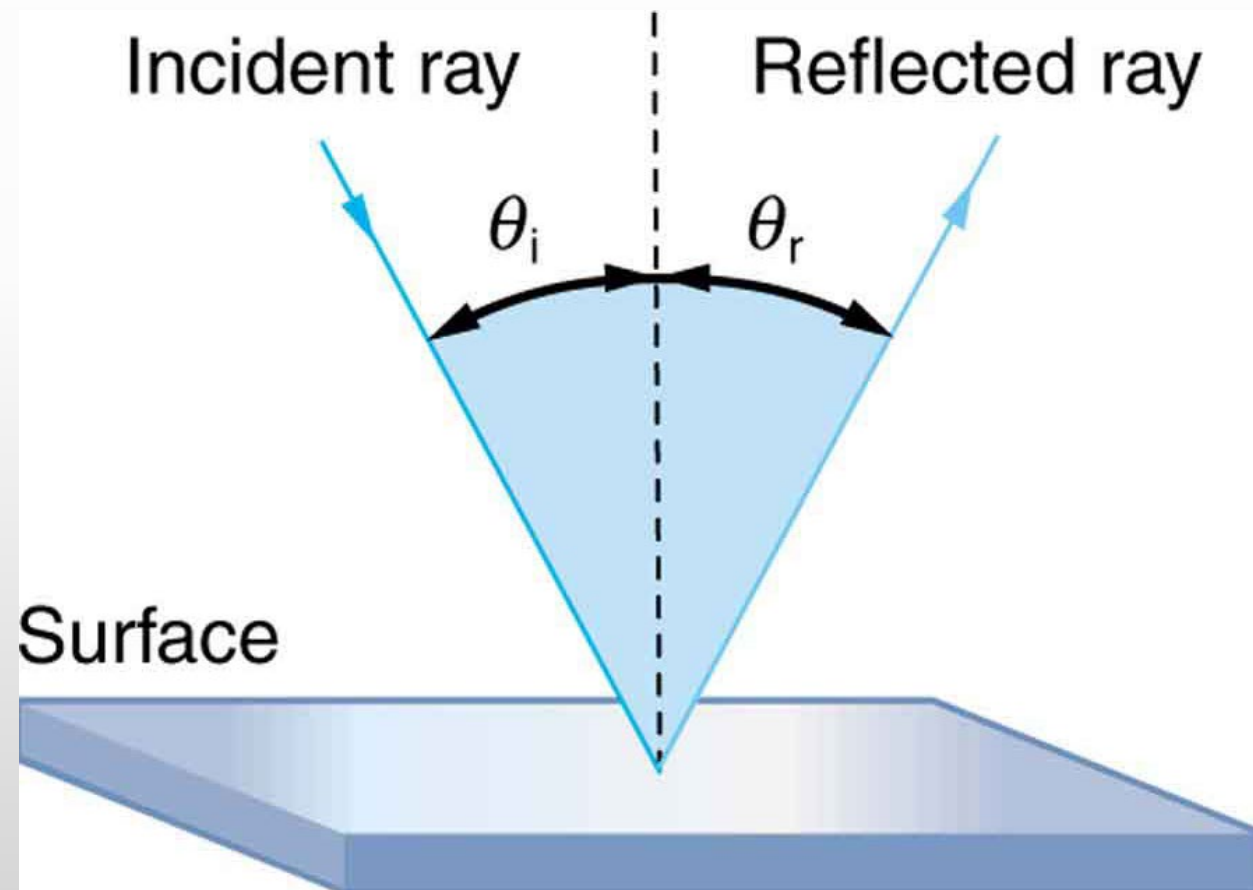
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

donde:

- n_1, n_2 son los índices de refracción de los materiales.
- θ_1 y θ_2 son los ángulos de incidencia y refracción.

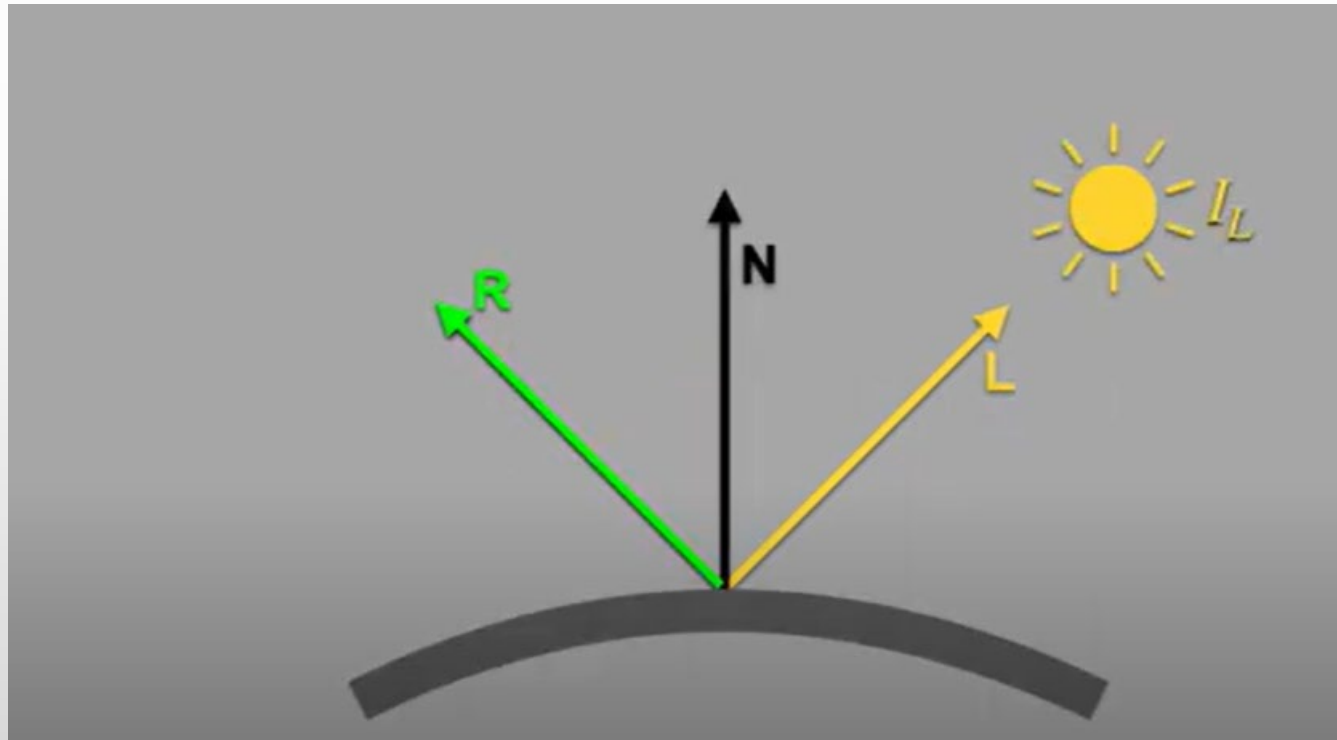


LEY DE REFLEXIÓN

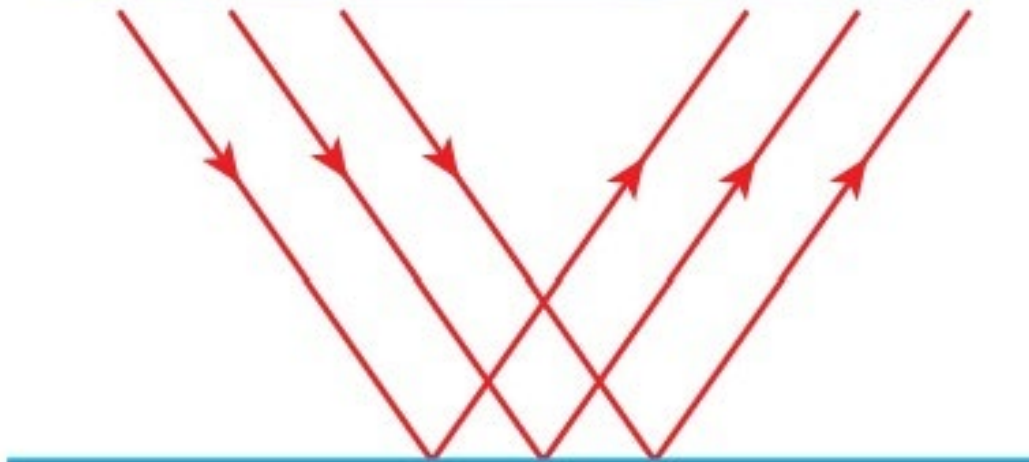


VECTOR ESPEJO

$$\mathbf{R} = \mathbf{L} - 2(\mathbf{L} \cdot \mathbf{N})\mathbf{N}$$









¿QUÉ PASA ACÁ?

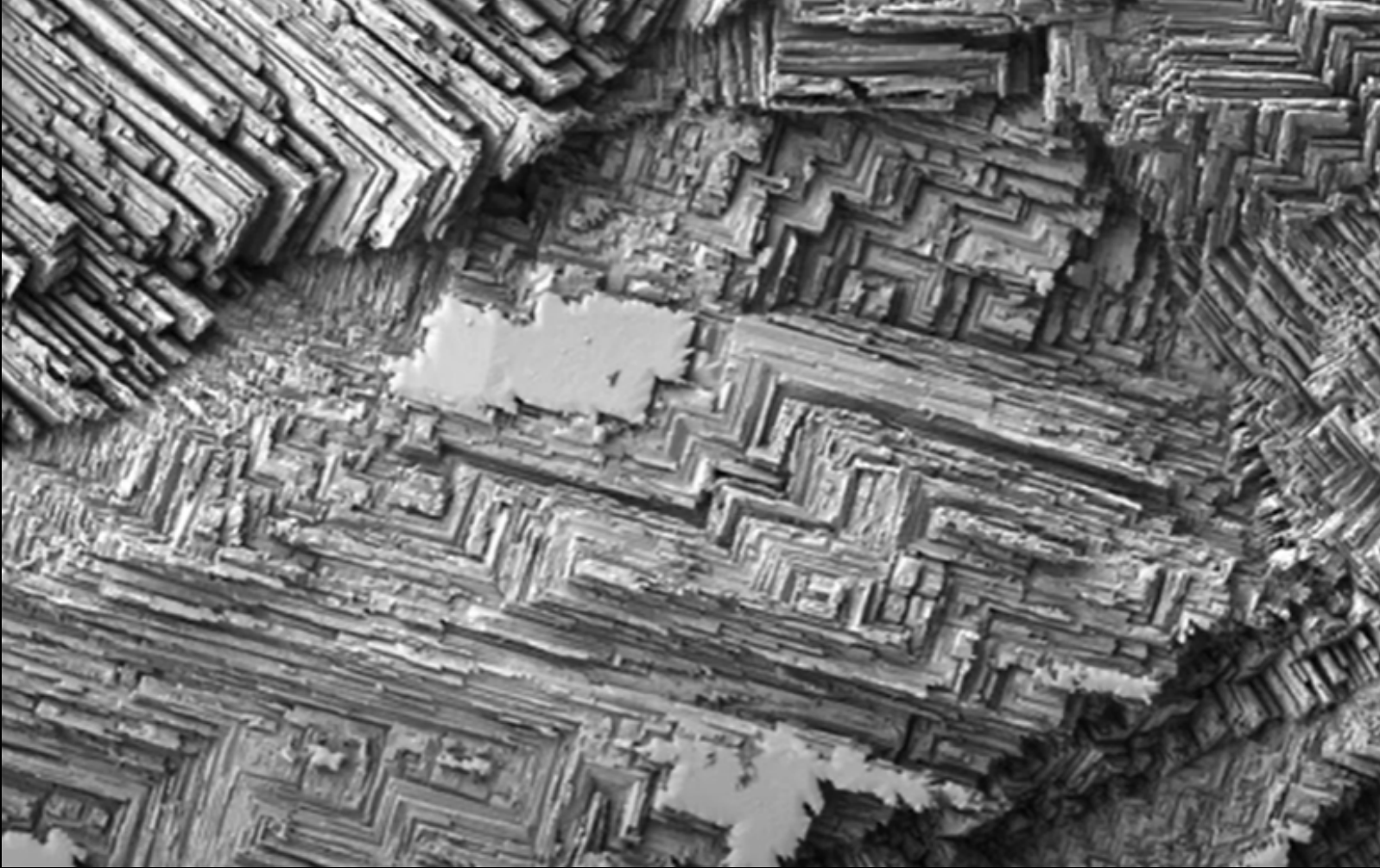


PERO:



FUENTE IMAGEN: GRAPHICS IN 5 MINUTES

LA MISMA MONEDA BAJO UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

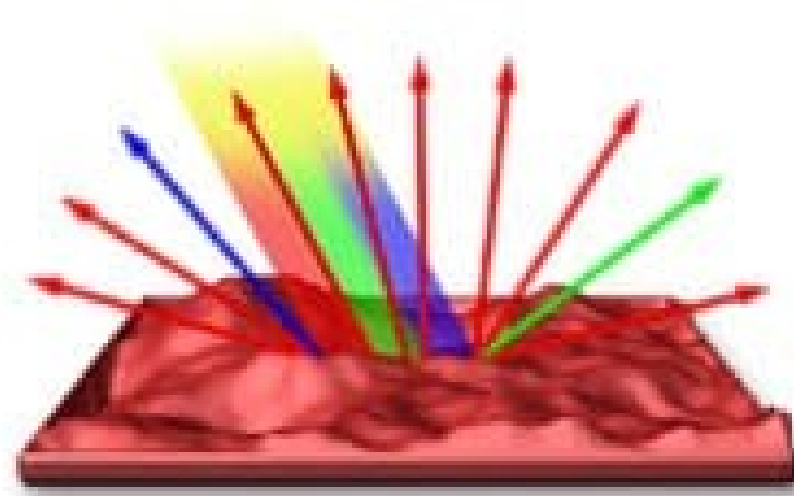


FUENTE IMAGEN: GRAPHICS IN 5 MINUTES

Specular and Diffuse Reflection



**Specular
Reflection**

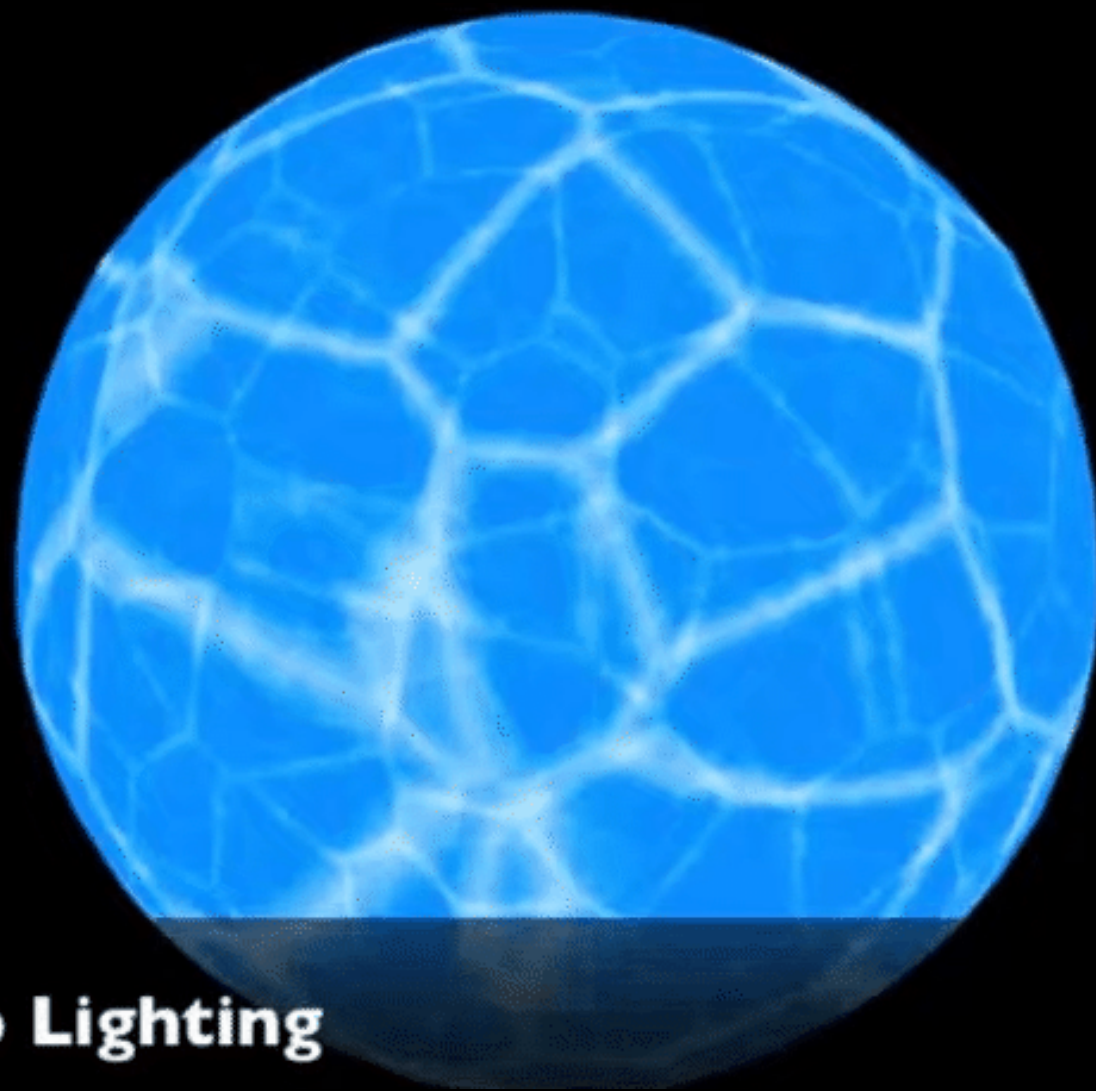


**Diffuse
Reflection**

Figure 1



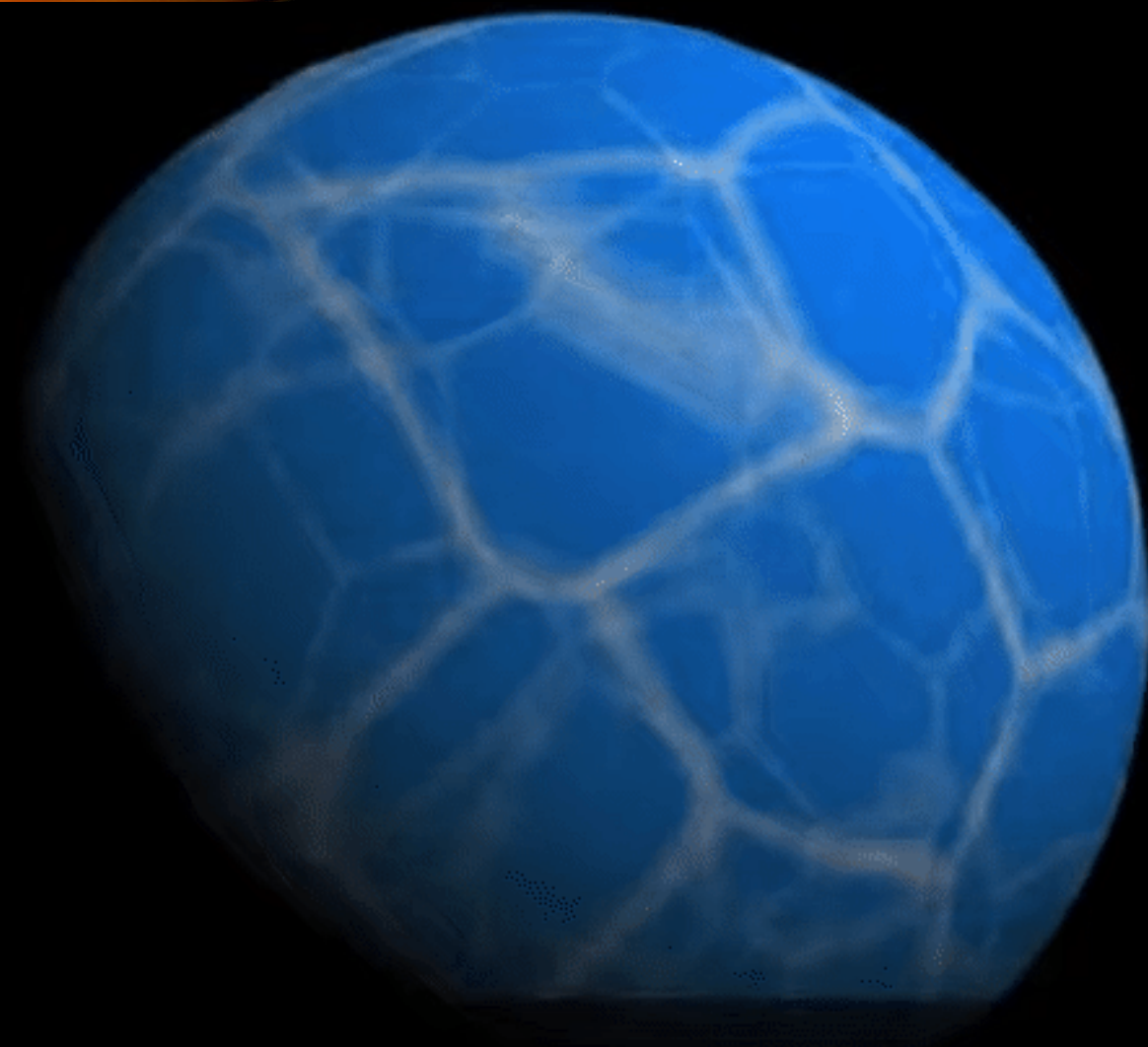
¿CÓMO SE VE ESTO
COMPUTACIONALMENTE?



No Lighting

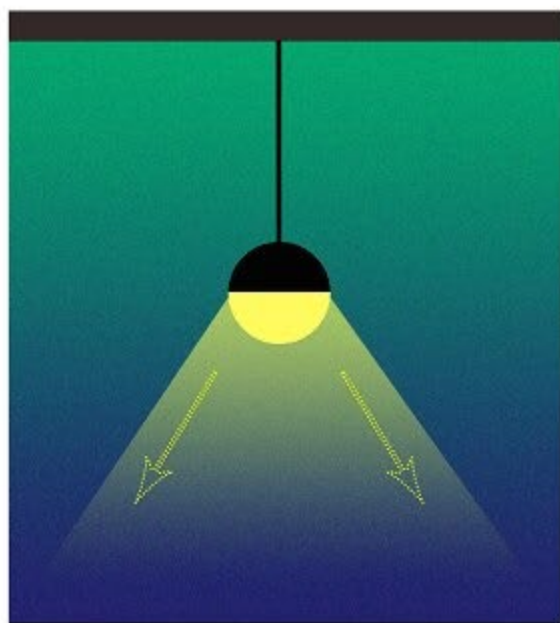


Specular Reflection

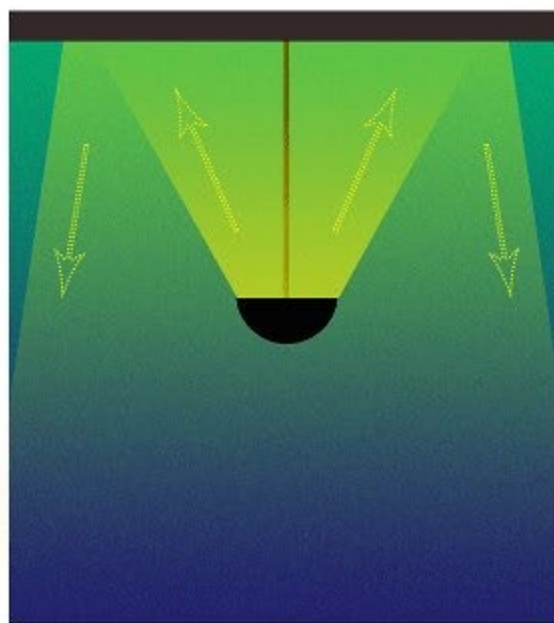


Diffuse Light

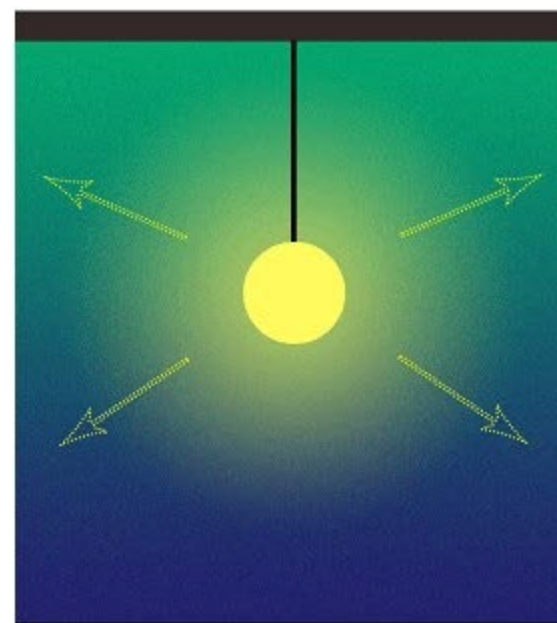
Direct



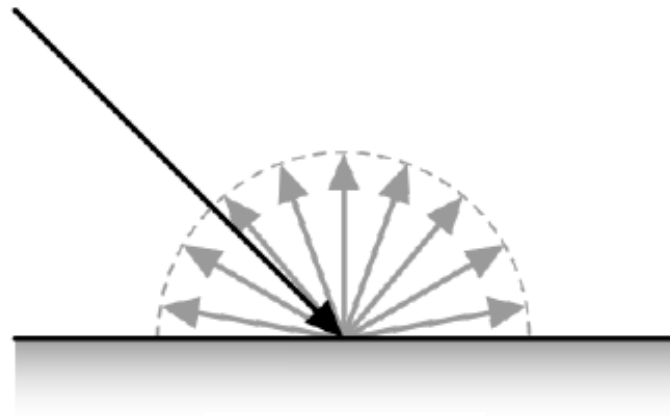
Indirect



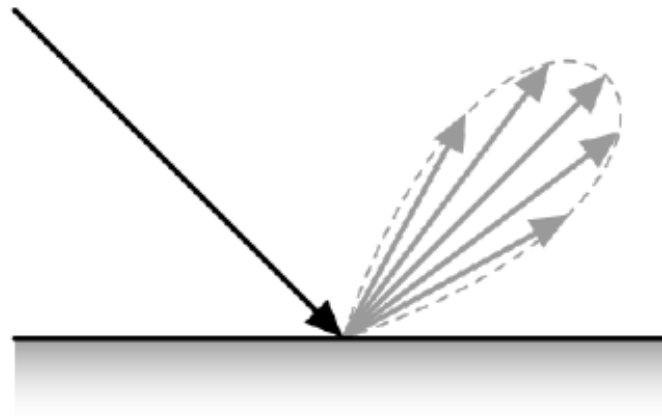
Diffuse



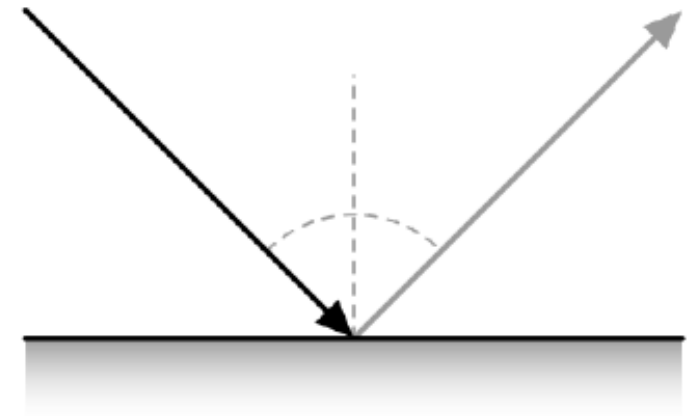
Aproximemos esto con una función... La Función de Distribución Bidireccional de Reflectancia (BRDF)



Difusa



Especular



Espejo

La **Función de Distribución Bidireccional de Reflectancia (BRDF)** determina **la fracción de la luz reflejada en una dirección específica (ω_o) cuando proviene de una dirección de iluminación dada (ω_i).**

La BRDF se denota como:

$$f_r(\omega_i, \omega_o)$$

donde:

- f_r es la función BRDF.
- ω_i es la dirección de la luz incidente (desde la fuente de luz a la superficie).
- ω_o es la dirección de observación (hacia el ojo o la cámara).

Matemáticamente, la BRDF se define como la razón entre la radiancia reflejada en la dirección ω_o y la irradiancia incidente desde ω_i :

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = \frac{dL_r(\omega_o)}{dE_i(\omega_i)}$$

Propiedades:

1. Conservación de la energía:

La BRDF **no puede reflejar más energía de la que recibe**. Se cumple que:

$$\int_{\Omega} f_r(\omega_i, \omega_o) \cos \theta_o d\omega_o \leq 1$$

2. Simetría de Helmholtz: si intercambiamos la dirección de incidencia y de observación, la reflectancia sigue siendo la misma

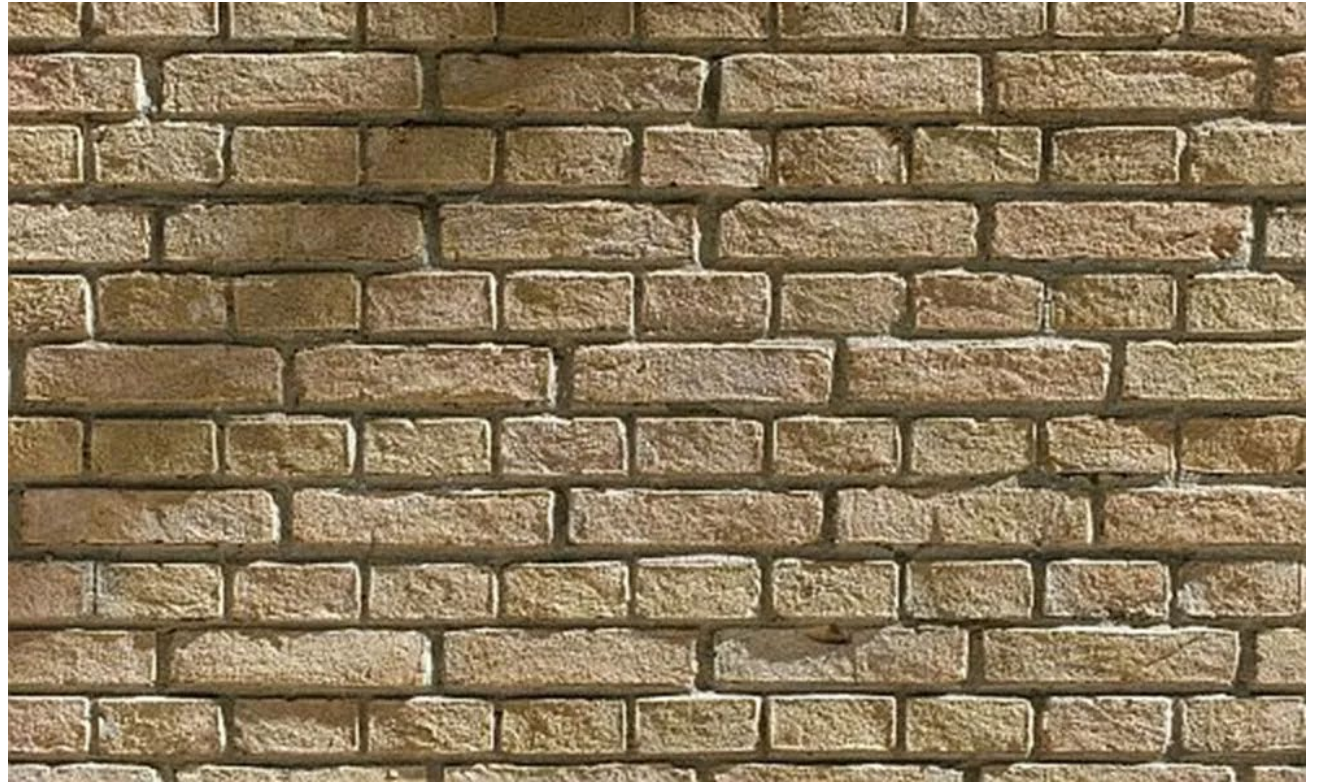
$$f_r(\omega_i, \omega_o) = f_r(\omega_o, \omega_i)$$

1 BRDF Lambertiana (Difusa)

la luz se refleja uniformemente en todas las direcciones

$$f_r = \frac{k_d}{\pi}$$

Kd es el coeficiente de difusión
dependen del material



2 BRDF Especular (Perfectamente Reflectante)

La luz se refleja en una sola dirección, siguiendo la ley **del espejo**

$$f_r = k_s \delta(\omega_o - \mathbf{R})$$

función delta de Dirac, $\delta(x)$

- Es 0 en todas partes excepto en $x = 0$.
- Su integral es 1.



3

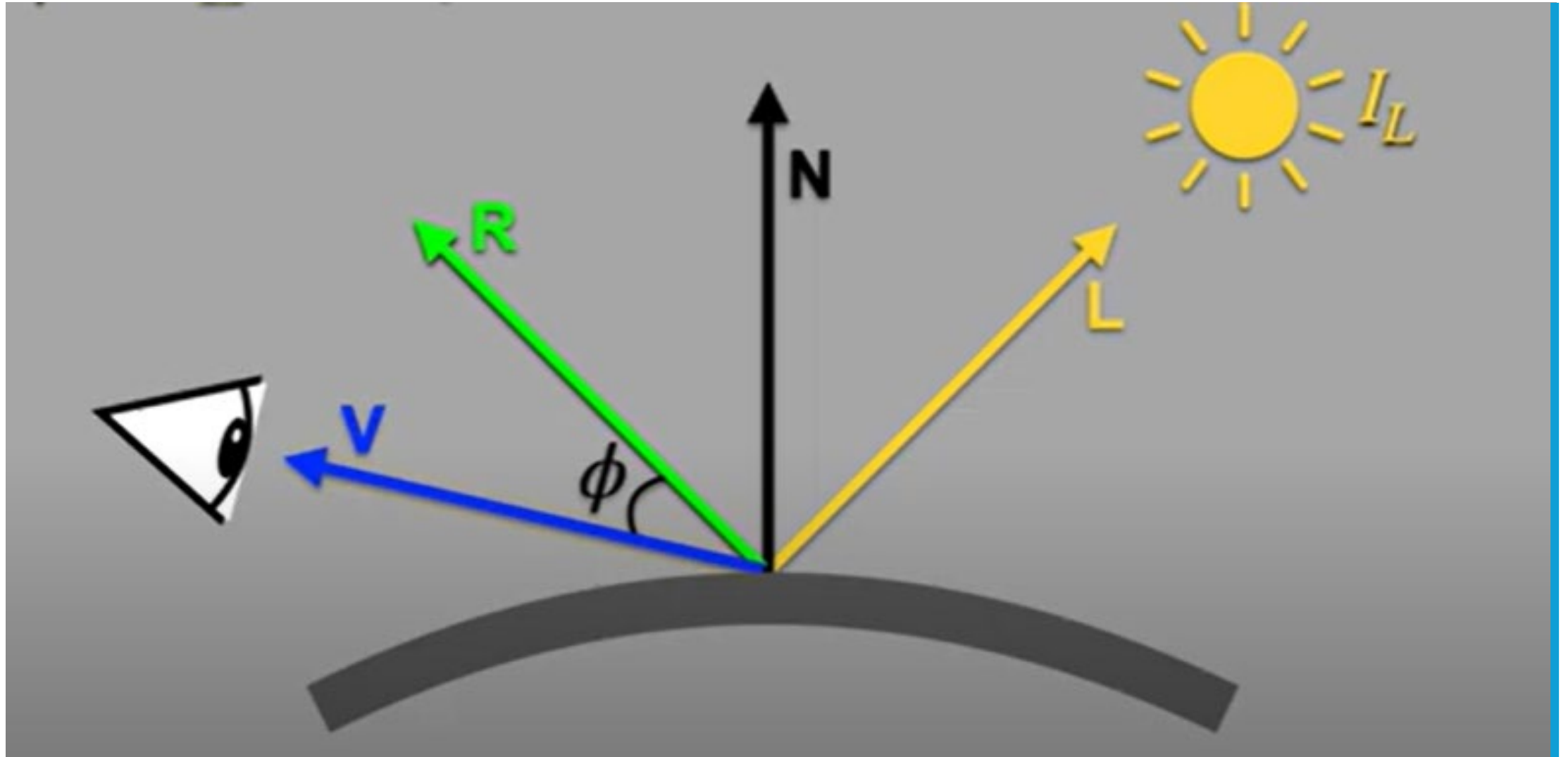
Modelo de Reflexión de Phong (Reflectancia Especular Suave)

$$f_r = k_s \max(0, \mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^n$$

- k_s = Coeficiente de reflexión especular del material (determina qué tan brillante es la superficie).
- \mathbf{V} = Vector hacia el observador (cámara u ojo humano).
- \mathbf{R} = Vector reflejado, que se calcula como:

$$\mathbf{R} = 2(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})\mathbf{N} - \mathbf{L}$$

- n = Exponente de brillo (determina qué tan concentrado es el reflejo; valores altos crean reflejos más nítidos).



FUENTE IMAGEN: GRAPHICS IN 5 MINUTES

4 BRDF de Cook-Torrance (Modelo Físicamente Basado)

$$f_r = \frac{D(\mathbf{H})G(\omega_i, \omega_o)F(\omega_i)}{4(\mathbf{N} \cdot \omega_i)(\mathbf{N} \cdot \omega_o)}$$

donde:

- $D(\mathbf{H})$ es la distribución de microfacetas.
- $G(\omega_i, \omega_o)$ es la atenuación geométrica.
- $F(\omega_i)$ es el efecto de Fresnel.
- **Microfacetas:** La superficie está compuesta por pequeñas facetas que reflejan luz en distintas direcciones.
- **Fresnel:** La reflectancia cambia según el ángulo de incidencia.
- **Atenuación geométrica:** Modela cómo las facetas bloquean la luz entre sí.

Modelo de Iluminación difusa de Lambert

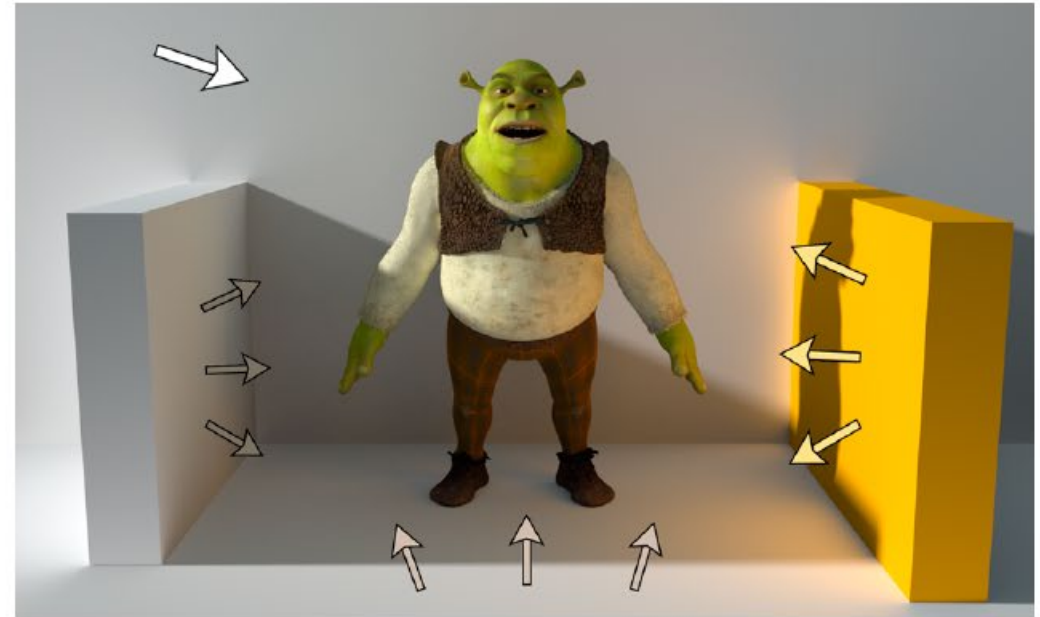
La intensidad de la luz reflejada en un punto depende del **coseno del ángulo** entre el vector normal de la superficie y el vector de dirección de la luz. Se modela mediante:

$$I_d = I_p \cdot k_d \cdot \max(0, \mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$$

donde:

- k_d es el coeficiente de reflectancia difusa del material (entre 0 y 1).
- \mathbf{N} es el vector normal a la superficie.
- \mathbf{L} es el vector unitario en dirección de la luz.
- I_p es la intensidad de la luz incidente.
- $\max(0, \mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$ asegura que la luz solo afecte la superficie cuando incide sobre ella (evita valores negativos).

Directo vrs ambiente

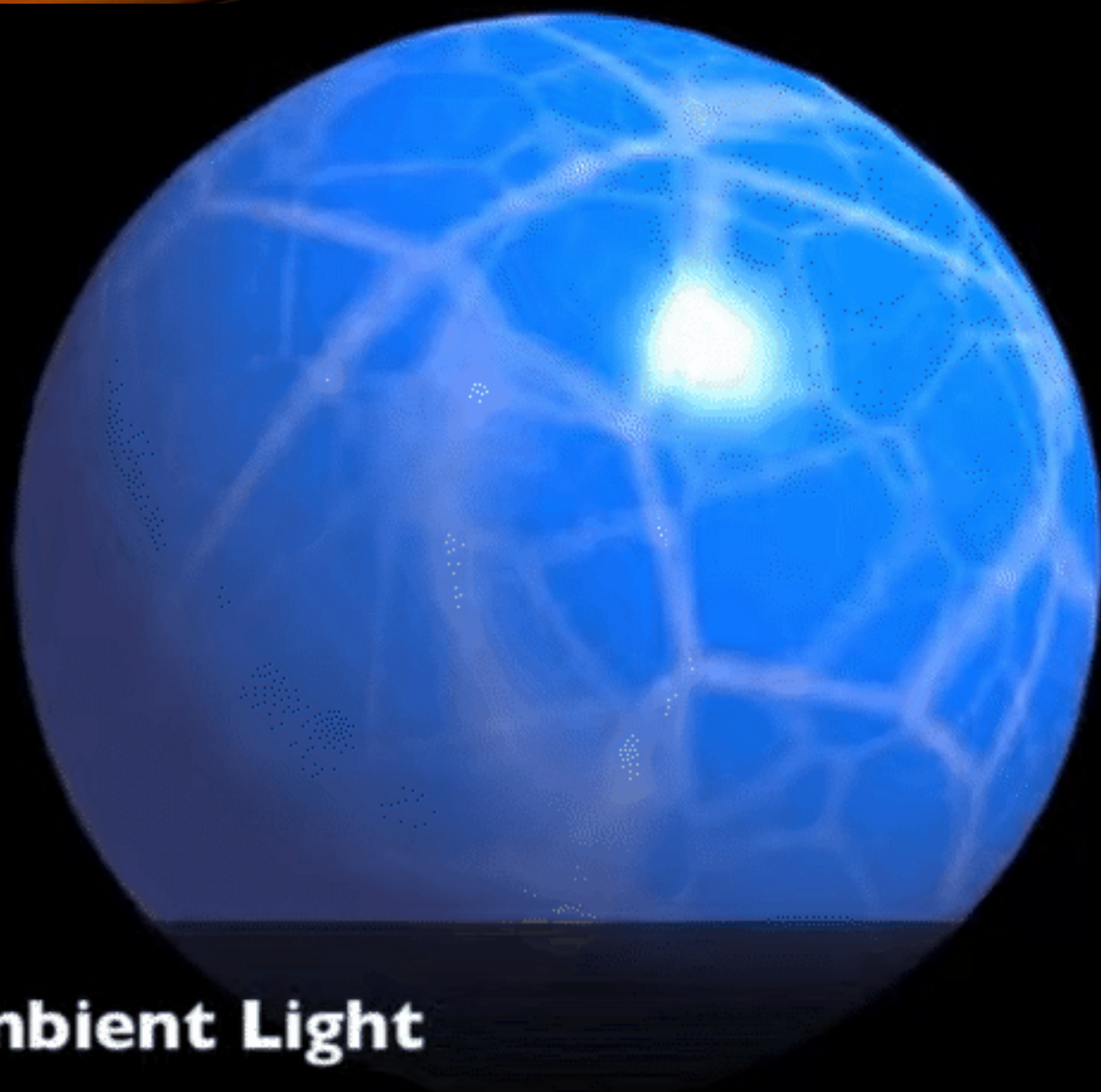


Ambient Light (Colores suaves y sombras débiles)

$$I_a = k_a \cdot I_{\text{amb}}$$

donde:

- I_a es la intensidad de la luz ambiente en el punto.
- k_a es el coeficiente de reflectancia ambiente del material.
- I_{amb} es la intensidad global de la luz ambiente en la escena.



Ambient Light

AMBIENT OCCLUSION LIGHT

Caso 1: Un punto en una superficie abierta (sin obstáculos) – máx luz

Caso 2: Un punto en una esquina o hueco – menor luz

Caso 3: Un punto debajo de un objeto – mínima luz



Ambient occlusion Light ¿cuánto del cielo puede ver un punto?

$$I_a(P) = k_a \cdot I_{\text{amb}} \cdot A(P)$$

donde:

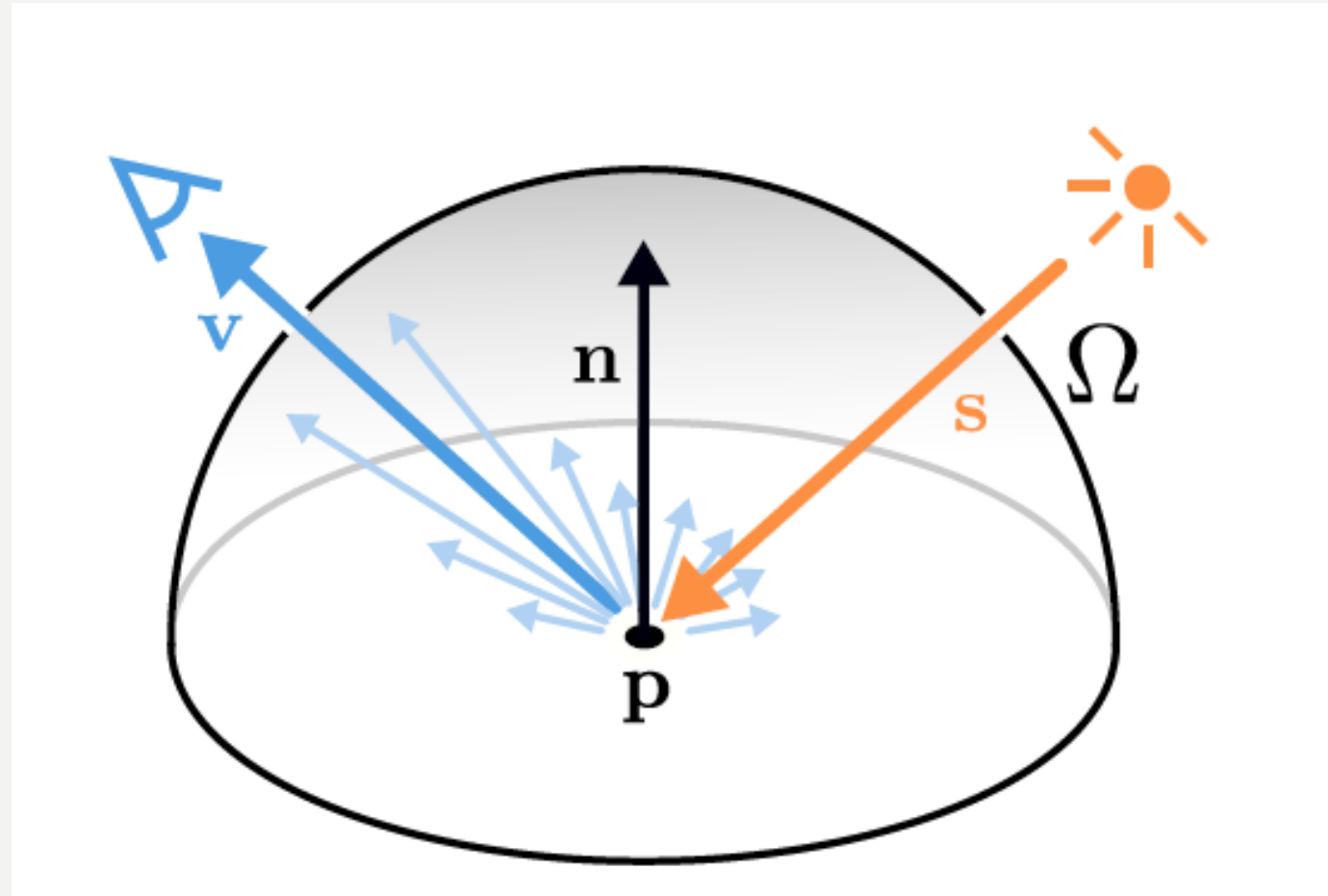
- $A(P)$ es el factor de oclusión, calculado como la fracción de direcciones en las que la luz ambiente no está bloqueada por la geometría circundante.
- k_a es el coeficiente de reflectancia ambiente del material.
- I_{amb} es la intensidad de la luz ambiente global.

En términos prácticos, $A(P)$ se obtiene integrando sobre un hemisferio alrededor del punto P :

$$A(P) = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} V(P, \omega) (\mathbf{N} \cdot \omega) d\omega$$

LA ECUACIÓN DE RENDERIZADO

**TODA LA LUZ QUE VEMOS EN UN PUNTO DE
UNA SUPERFICIE ES LA SUMA DE LA LUZ
EMITIDA POR LA PROPIA SUPERFICIE Y LA
LUZ REFLEJADA DESDE OTRAS
DIRECCIONES.**



$$L_o(P, \omega_o) = L_e(P, \omega_o) + \int_{\Omega} f_r(P, \omega_i, \omega_o) L_i(P, \omega_i) (\mathbf{N} \cdot \omega_i) d\omega_i$$

- $L_o(P, \omega_o)$: **Radiancia saliente** en el punto P en la dirección ω_o . Es la cantidad de luz que **sale** del punto P en la dirección del observador o la cámara.
- $L_e(P, \omega_o)$: **Luz emitida** por la superficie en P en la dirección ω_o . Si la superficie no es emisiva (como una pared), este término es **cero**.
- \int_{Ω} : **Integral sobre todas las direcciones ω_i del hemisferio** sobre el punto P . Calculamos la contribución de la luz incidente desde todas las direcciones.
- $f_r(P, \omega_i, \omega_o)$: **Función de Distribución Bidireccional de Reflectancia (BRDF)**, que modela **cómo la luz se refleja** en el punto P . Depende de la dirección de llegada (ω_i) y de salida (ω_o).
- $L_i(P, \omega_i)$: **Radiancia incidente** en el punto P desde la dirección ω_i . Es la luz que llega desde una fuente de luz o reflejada por otra superficie.
- $(\mathbf{N} \cdot \omega_i)$: **Factor de coseno** que ajusta la contribución de la luz incidente según el ángulo de incidencia. La luz que llega perpendicularmente a la superficie contribuye más que la luz que llega en ángulos rasantes.