

Computación Gráfica

Clase 8 - Iluminación Global, Path tracing y alternativas, Oren Nayar, Cook-Torrance, Anisotropic



Illuminación Global

Hasta ahora, consideramos como luz incidente sólo las entidades que denominamos como tales (luces puntuales, de área, etc)

Esto se denomina **iluminación directa**.

Illuminación Global

Repasemos:

- Rasterizer vs Raycasting vs Raytracing?
- Estructuras de aceleración.
- Luces y sombras.
- Reflejos, refracciones.
- Fresnel.
- Diffuse y Phong shading.
- Muestreo uniforme y fenómenos difusos.
- Distributed Ray Tracing.

Illuminación Global

Hasta ahora, consideramos como luz incidente sólo las entidades que denominamos como tales (luces puntuales, de área, etc)

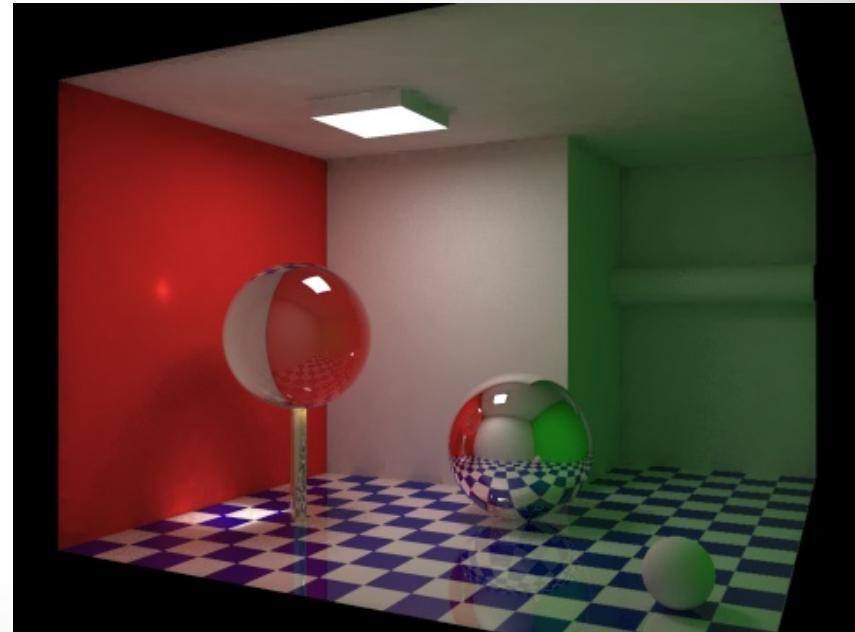
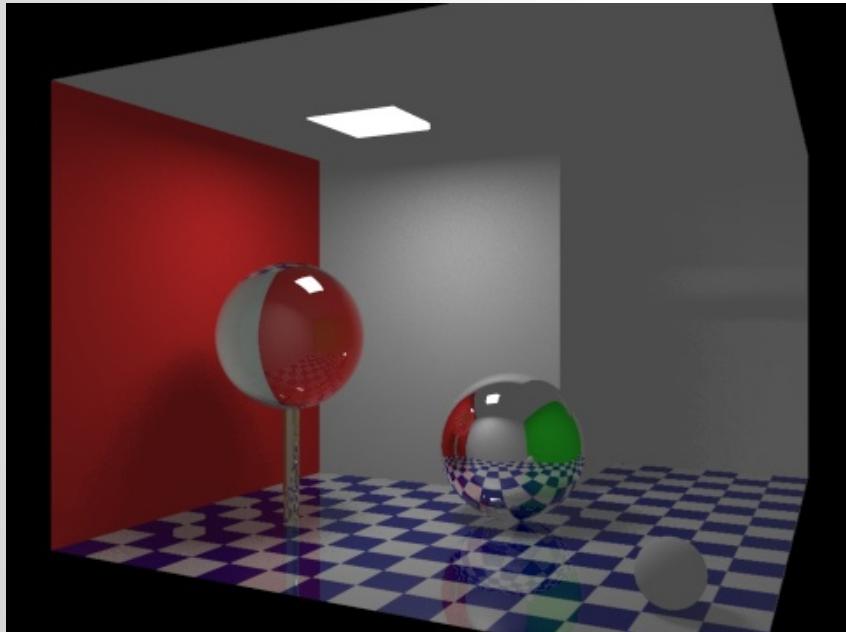
El siguiente paso es considerar **toda** la luz entrante en un punto determinado de la escena.

Illuminación Global

Es un conjunto de algoritmos diseñados para poder calcular la ecuación de rendering con mayor precisión, incluyendo la **iluminación indirecta**.

$$L_o(\mathbf{x}, \omega_o, \lambda, t) = L_e(\mathbf{x}, \omega_o, \lambda, t) + \int_{\Omega} f_r(\mathbf{x}, \omega_i, \omega_o, \lambda, t) L_i(\mathbf{x}, \omega_i, \lambda, t) (\omega_i \cdot \mathbf{n}) d\omega_i$$

Illuminación Global



Illuminación Global

El problema es complejo computacionalmente, por lo que existen muchos enfoques distintos que reducen realismo por velocidad de render.

Vamos a analizar visualmente cuáles son las características más notables de un sistema de iluminación global.

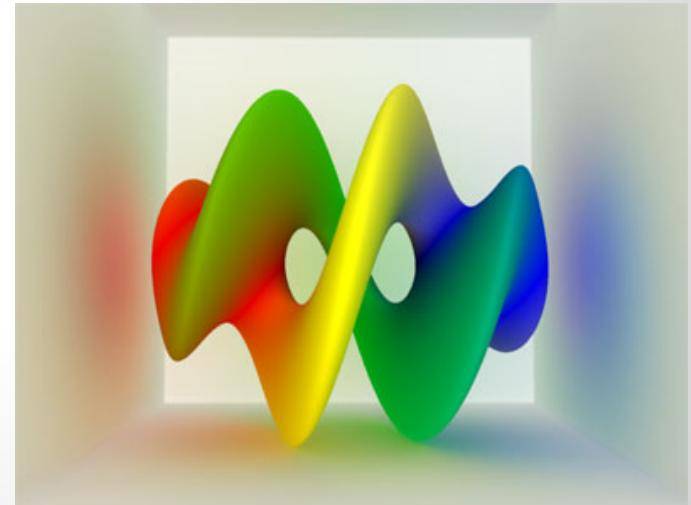
Illuminación Global

En líneas generales, la iluminación indirecta se caracteriza por tener los siguientes fenómenos visuales:

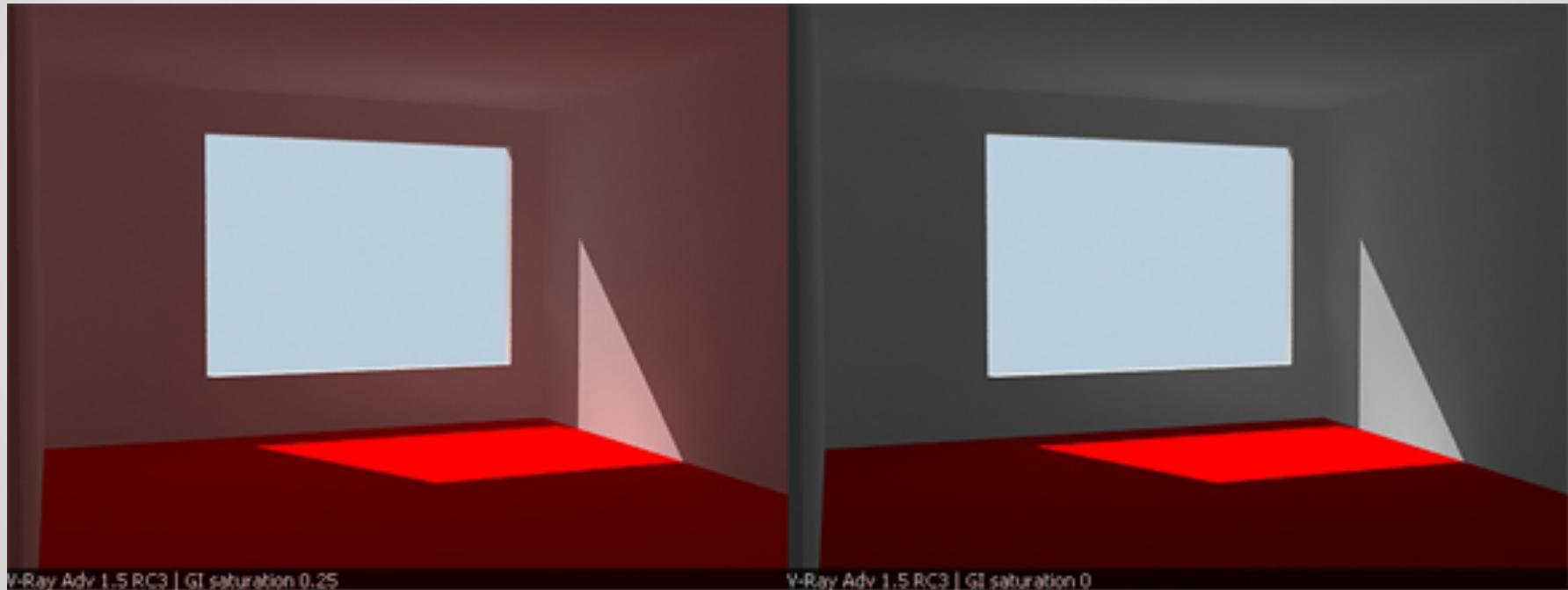
- Color bleeding
- Cáusticas
- Oclusión

Color bleeding

Es la “difusión” de los colores, resultado de los reflejos difusos indirectos.



Color bleeding



Color bleeding



V-Ray for Maya 3.05.03 | render time: 0h 0m 8.1s



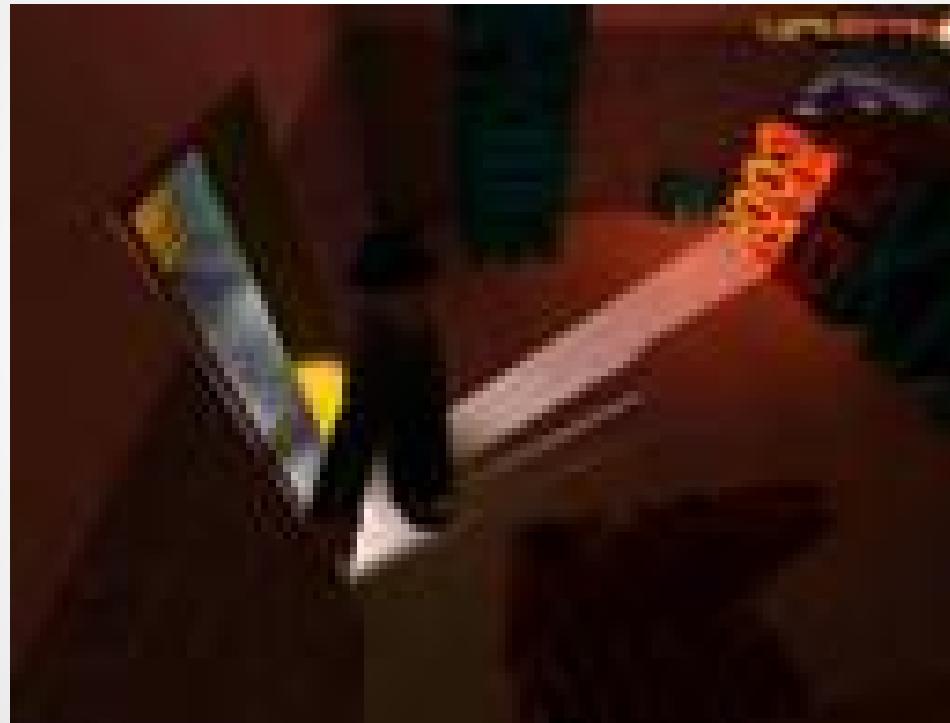
V-Ray for Maya 3.05.03 | render time: 0h 7m 58.0s

Color bleeding

En escenas exteriores,
las sombras suelen
tintarse de azul por el
reflejo difuso del cielo!



Color bleeding



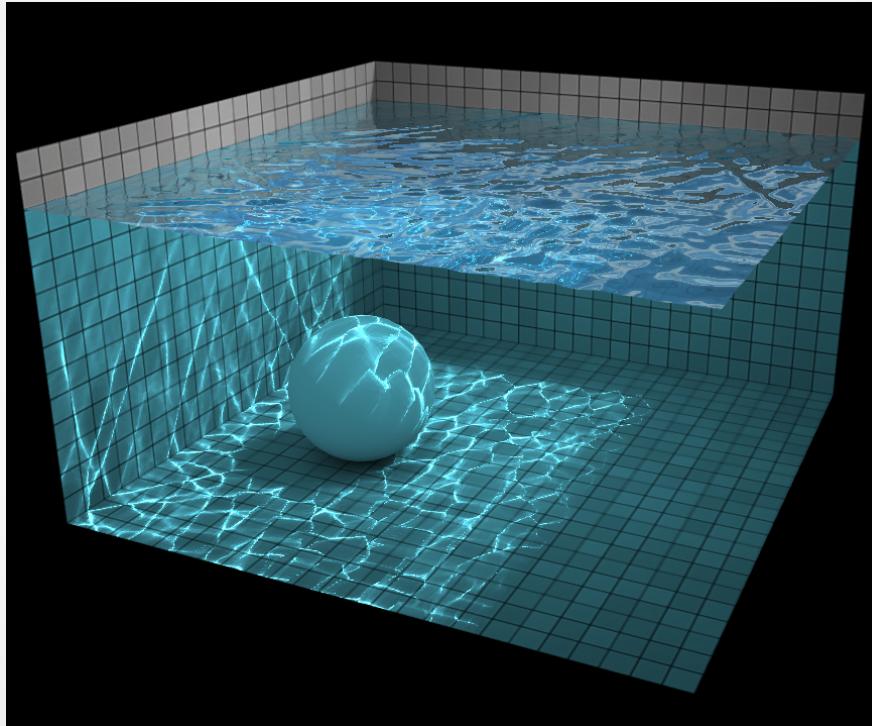
https://www.youtube.com/watch?v=IB5_x2BVRH0

Cáusticas

Es la concentración de iluminación, resultado de reflejos o refracciones en superficies irregulares.

Es el mismo concepto de color bleeding, solo que aplicado a objetos reflectivos y refractantes.

Cáusticas por refracción



<http://madebyevan.com/webgl-water/>

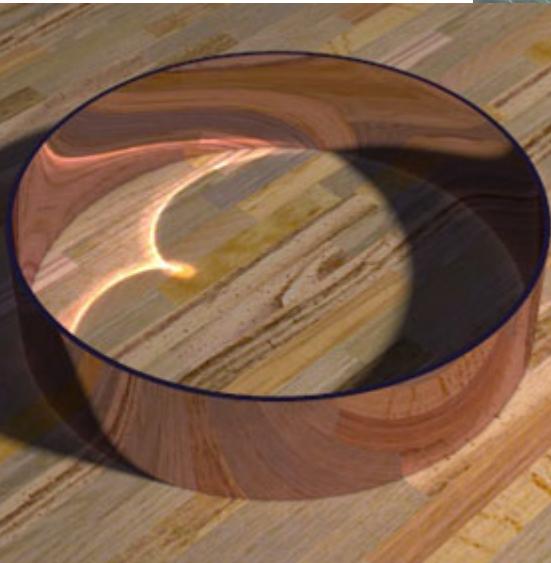
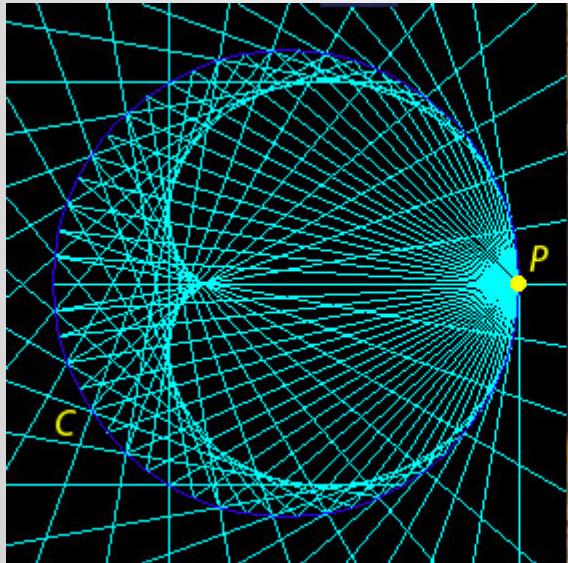
https://www.youtube.com/watch?v=R0O_9bp3EKQ

Cáusticas por refracción



<https://www.youtube.com/watch?v=R00lvqcl9jU>

Cáusticas por reflexión



<http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-09-03/london-walkie-talkie-owners-probe-tower-s-car-melting-light-ray>

Oclusión

Si bien lo que se denomina oclusión ambiental es una aproximación físicamente incompleta, es un fenómeno que se percibe como resultado de usar iluminación indirecta.

La luz no llega a toda la escena por igual, por lo que la intersección entre objetos suele oscurecerse.

Oclusión

En este ejemplo,
los bordes entre
la pared y la ventana
se oscurecen.



Illuminación Global

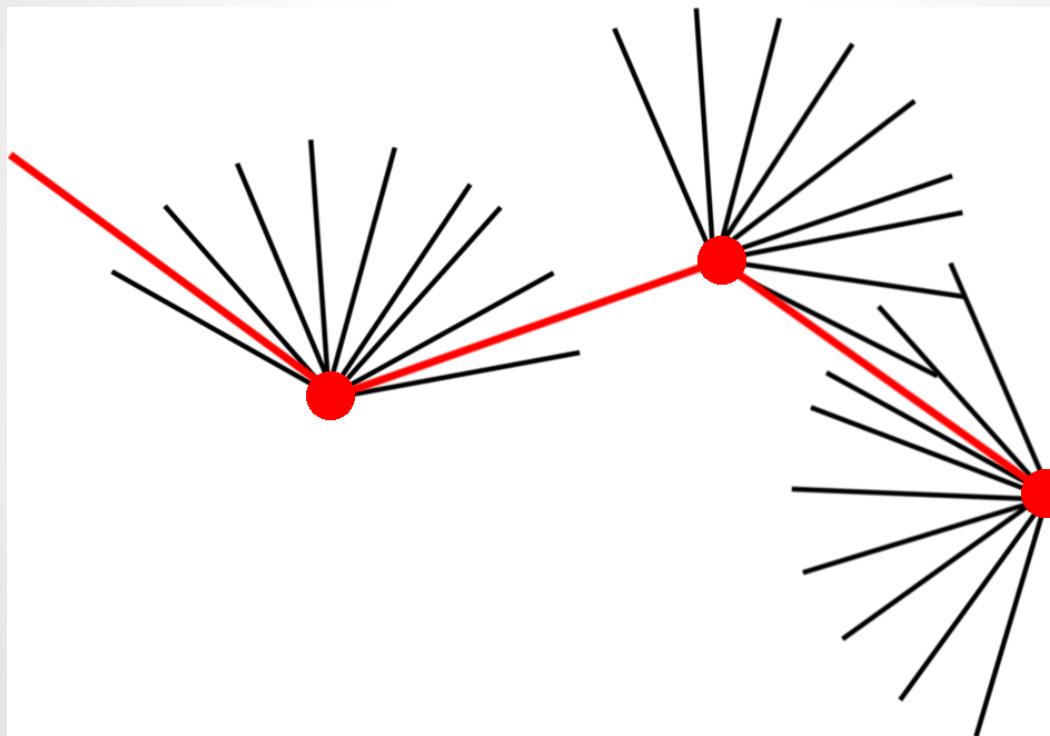
- Distributed Ray Tracing
- Fuerza bruta: path tracing
- Bi-directional path tracing
- Metropolis light transport

Distributed Ray Tracing

También llamado Stochastic RT.

Es el primer intento por fuerza bruta de aproximar la iluminación indirecta, pero es incorrecta porque no muestrea uniformemente la escena, introduciendo errores sistemáticos.

Stochastic Ray Tracing

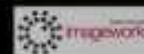
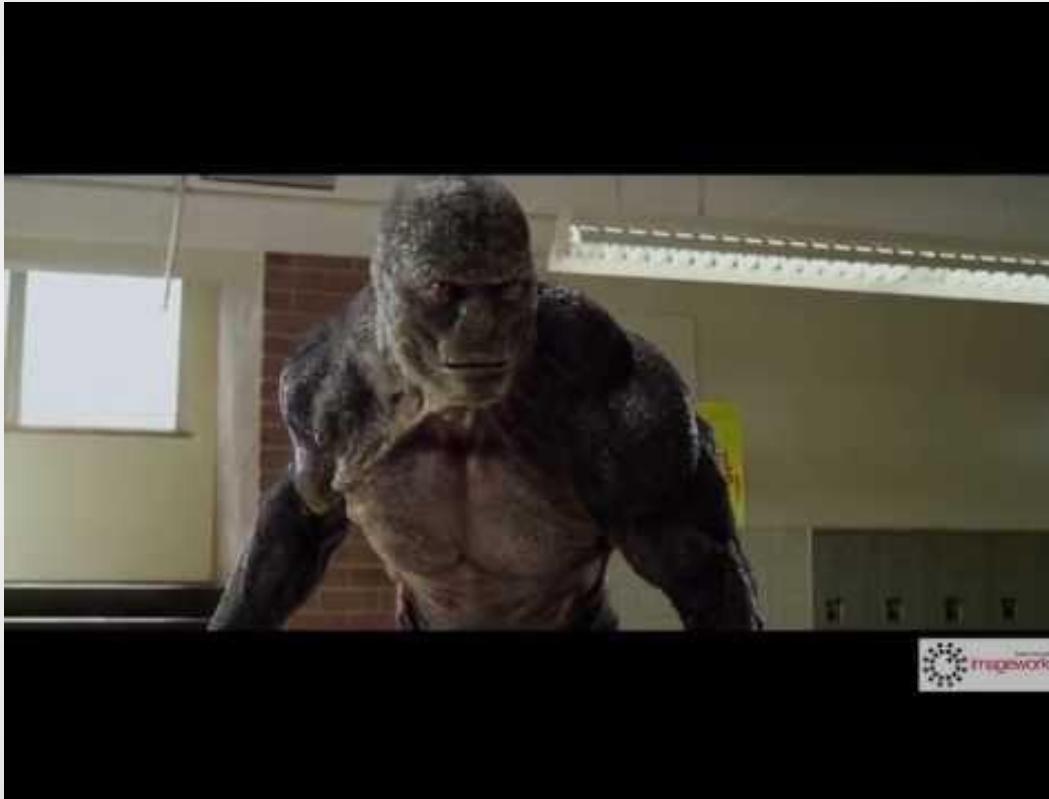


Path Tracing



Solid Angle Arnold

Path Tracing



<https://www.youtube.com/watch?v=0MJ9lbKF2-U>

Path Tracing

El algoritmo se caracteriza por recorrer iterativamente todos los caminos alcanzables por la cámara. Es unbiased, es decir, no introduce error sistemático.

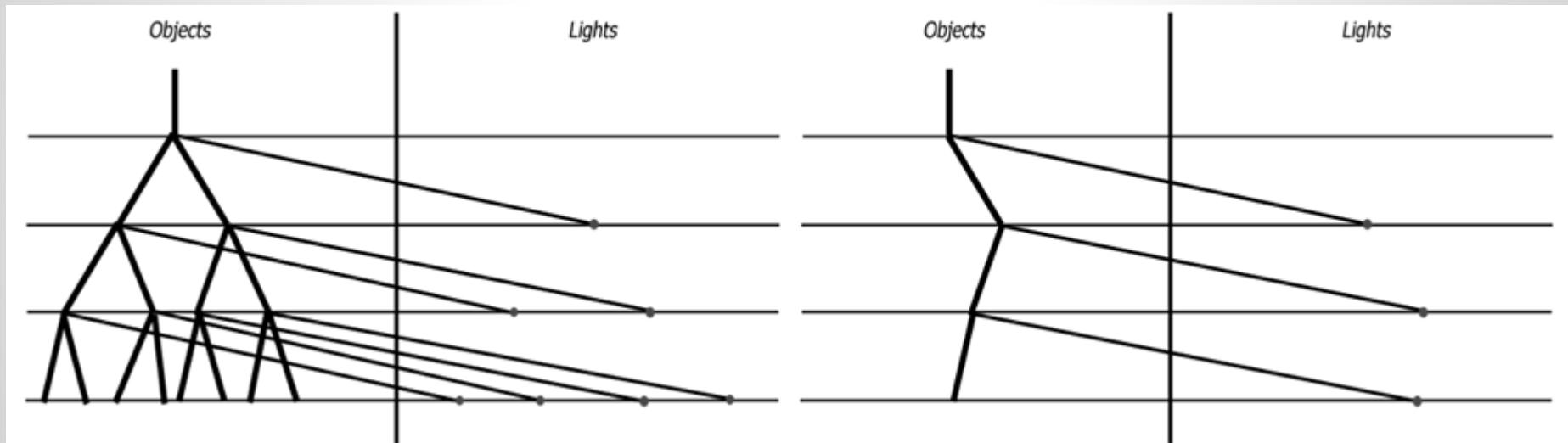
Suele usarse como renderer de referencia.

Path Tracing

Contrario a distributed ray tracing, path tracing solo utiliza una muestra indirecta por punto sampleado, construyendo recursivamente lo que se denomina un camino.

Se itera n veces, obteniendo n caminos, y luego se promedian para calcular el resultado final.

Path Tracing



Path Tracing

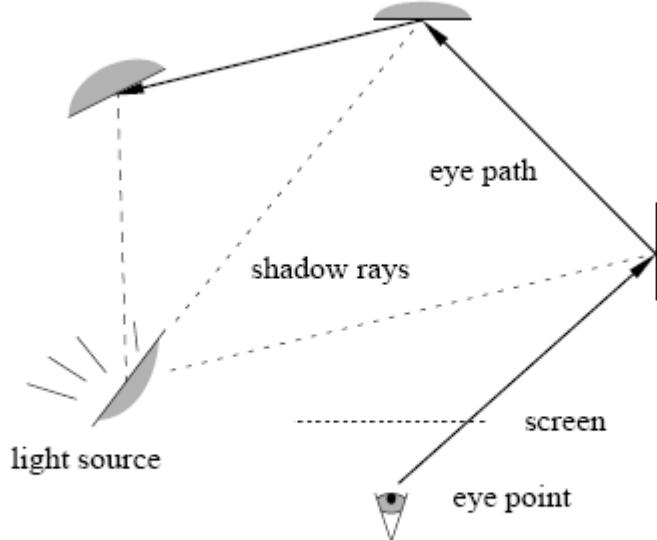
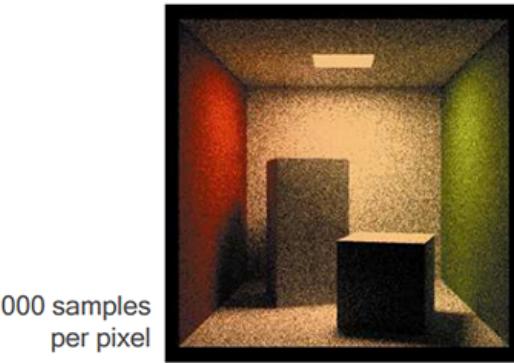
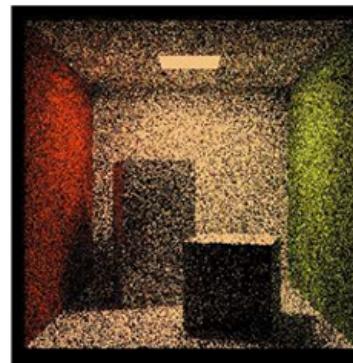
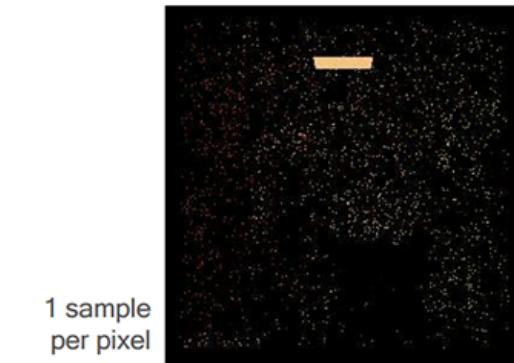


Figure 4.7: Schematic overview of the path tracing algorithm with next event estimation. Direct illumination is now computed explicitly at each point on the random walk by sampling the light sources.

Path Tracing



Path Tracing

No sólo es más correcto, sino que además converge mejor que un distributed ray tracer, ya que recorre mayor cantidad de caminos distintos en menor iteraciones.

Ruleta Rusa

El algoritmo deja de muestrear un camino en un punto P si suceden algunas de las siguientes condiciones:

- Según una probabilidad p arbitraria. En caso de no superar p , se escala el resultado para generar una mayor contribución de las muestras finales.
- La profundidad del camino supera una constante.

Ruleta Rusa

El valor de la probabilidad debe ser cuidadosamente seleccionado.

Si tomamos, por ejemplo, $p = .01$, solo dejaríamos pasar 1% de los rayos de la cámara, escalándolos por $1/.01 = 100$.

El resultado sería una pantalla casi negra con puntos blancos.

Path Tracing

Ventajas:

- Es **muy** paralelizable, al igual que ray tracing.
- Es físicamente correcto y unbiased.
- Es sencillo de implementar con respecto a otros algoritmos.
- Se puede mantener el concepto de ray depth, pero generalizado.

Path Tracing

Desventajas:

- Tiene **mucho** ruido, por lo que para obtener un buen resultado se requieren muchas muestras.
- Es muy dependiente de los BSDFs de los materiales para que el resultado sea aceptable.
- Al igual que raytracing, los accesos a la memoria son incoherentes.

Path Tracing

Dado que en cada punto muestreado considera la luz directa e indirecta, converge “rápidamente” a una solución visualmente aceptable.

Sin embargo, tiene casos problemáticos...

Path Tracing

¿Qué sucede si es muy difícil alcanzar una fuente de luz?

Es decir, si gran parte de la iluminación de la escena es indirecta...

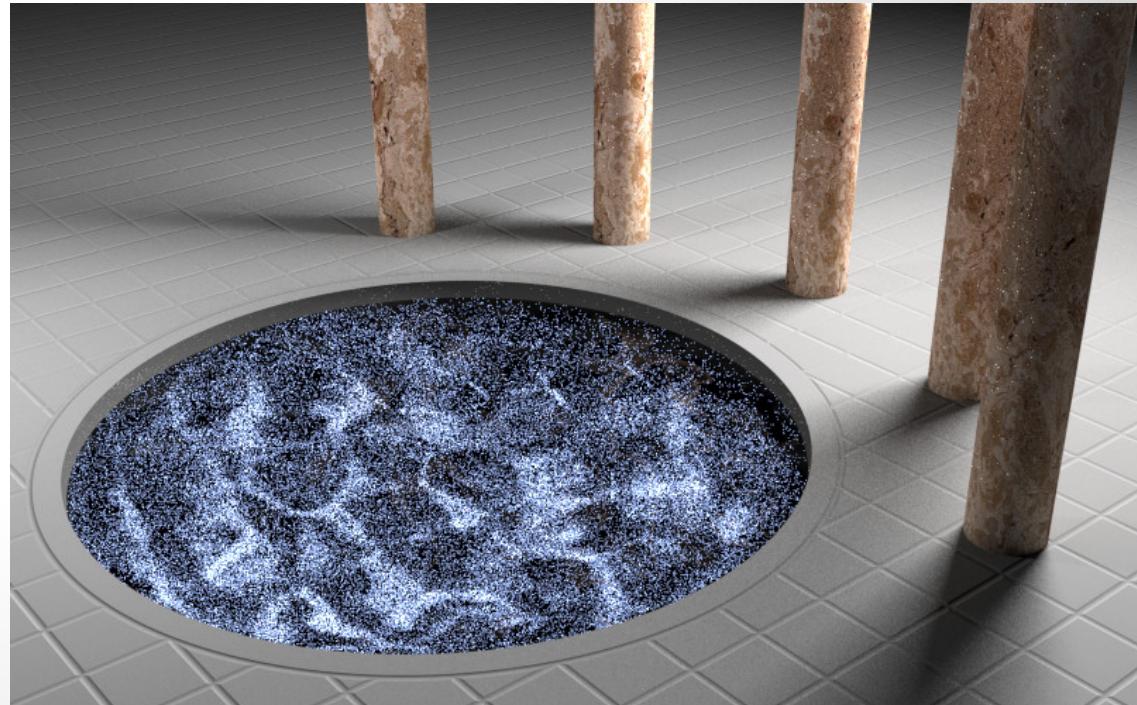
Path Tracing

Hay mucho ruido!



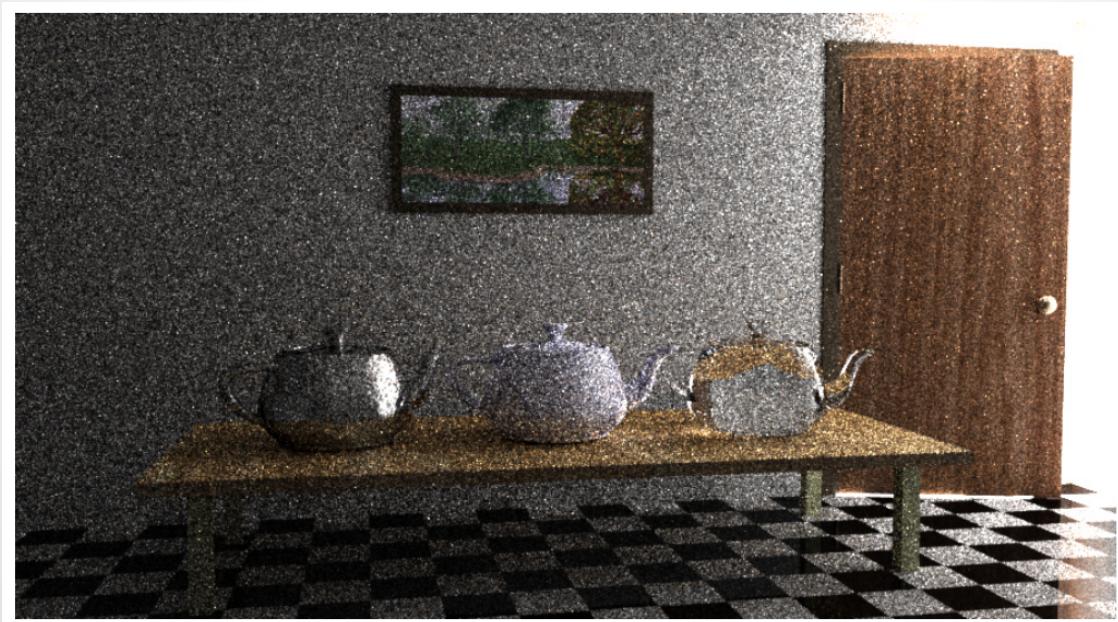
Path Tracing

Hay mucho ruido!



Path Tracing

Hay mucho ruido!



Path Tracing

¿Cómo resolveríamos esto?

Bidirectional Path Tracing

Un primer intento de mejorar el algoritmo de path tracing básico es generar caminos a partir de las luces!

Luego, unir los caminos y ajustar según las distribuciones de los materiales.

<https://graphics.stanford.edu/courses/cs348b-03/papers/veach-chapter10.pdf>

Bidirectional Path Tracing

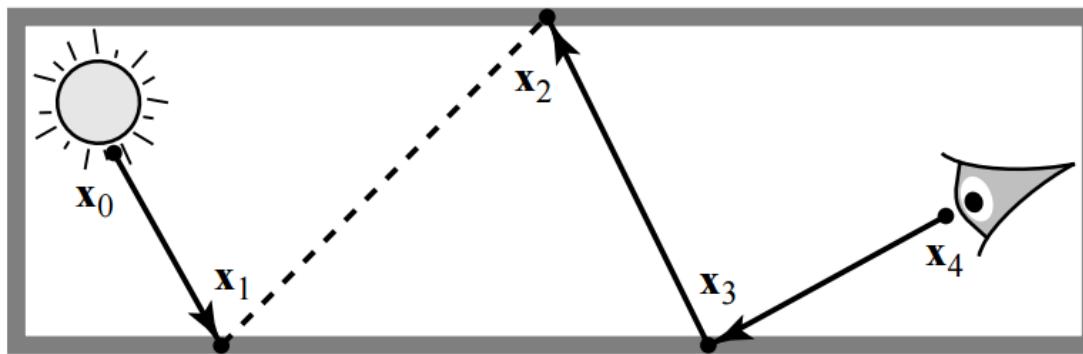


Figure 10.1: A transport path from a light source to the camera lens, created by concatenating two separately generated pieces.

Bidirectional Path Tracing



(a) Bidirectional path tracing with 25 samples per pixel



(b) Standard path tracing with 56 samples per pixel (the same computation time as (a))

Bidirectional Path Tracing

Sin embargo, sigue siendo ruidoso, en particular cuando se trata de cáusticas...

Metropolis Light Transport

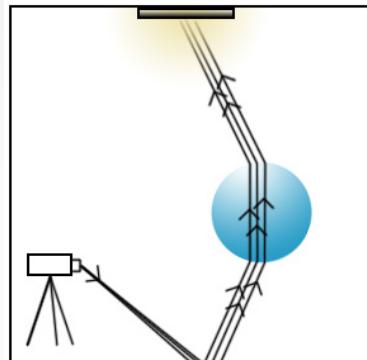
Parte de un bidirectional path tracer, pero muta levemente cada camino en vez de construir nuevos, utilizando el algoritmo de Metropolis-Hastings.

<http://graphics.stanford.edu/papers/metro/metro.pdf>

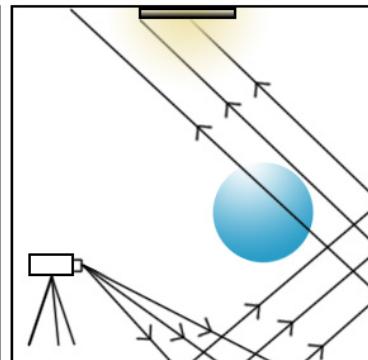
Metropolis Light Transport

Esto permite explorar caminos locales a partir de caminos existentes que pueden ser difíciles de obtener.

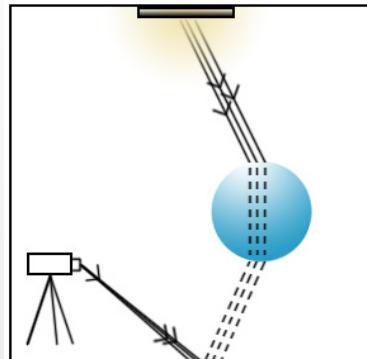
Metropolis Light Transport



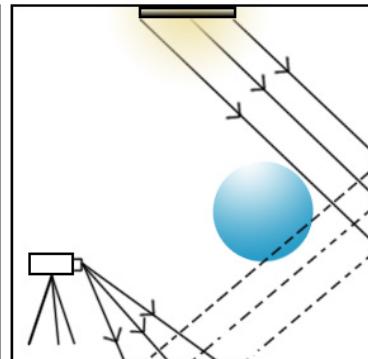
MLT pathtracing



Normal Pathtracing



MLT Bidirectional pathtracing



Bidirectional pathtracing

Metropolis Light Transport



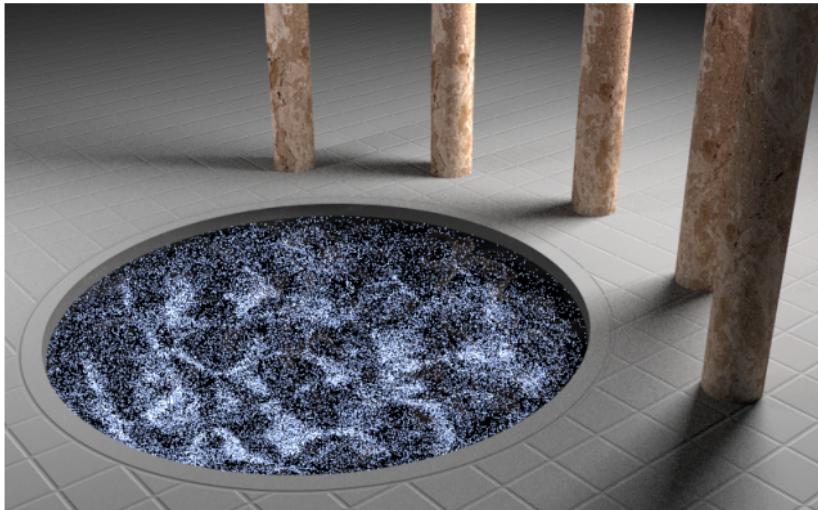
(a) Bidirectional path tracing with 40 samples per pixel.



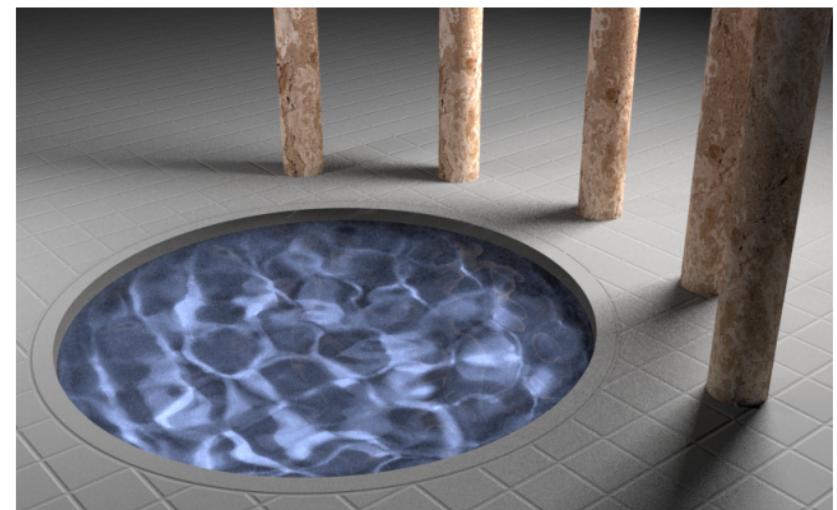
(b) Metropolis light transport with an average of 250 mutations per pixel [the same computation time as (a)].

Metropolis Light Transport

Es un excelente método para mejorar escenas con cáusticas.



(a) Path tracing with 210 samples per pixel.



(b) Metropolis light transport with an average of 100 mutations per pixel [the same computation time as (a)].

Arquitectura Path Tracing

Cómo organizamos el código?

Luces: public Sample<Vector3> getLightSample(ShadingContext data);

Material: protected abstract Sample<Color> getRadiance(ShadingContext data);

Sample: public class Sample<T> { T value, double evaluatedPDF; }

Renderer: acumular caminos y promediar! Considerar Russian Roulette.

Illuminación Global

Se podrían hacer aproximaciones mucho más crudas para replicar los fenómenos deseados, sin tener que recurrir a la solución correcta y lenta.

Vamos a ver algunos métodos que simplifican el problema y aproximan la solución.

Illuminación Global

Conociendo la luz directa (con lo que vimos de raytracing) podemos enfocarnos en calcular la iluminación indirecta y luego sumarla, dado que

Luz final = luz directa + luz indirecta

Illuminación Global



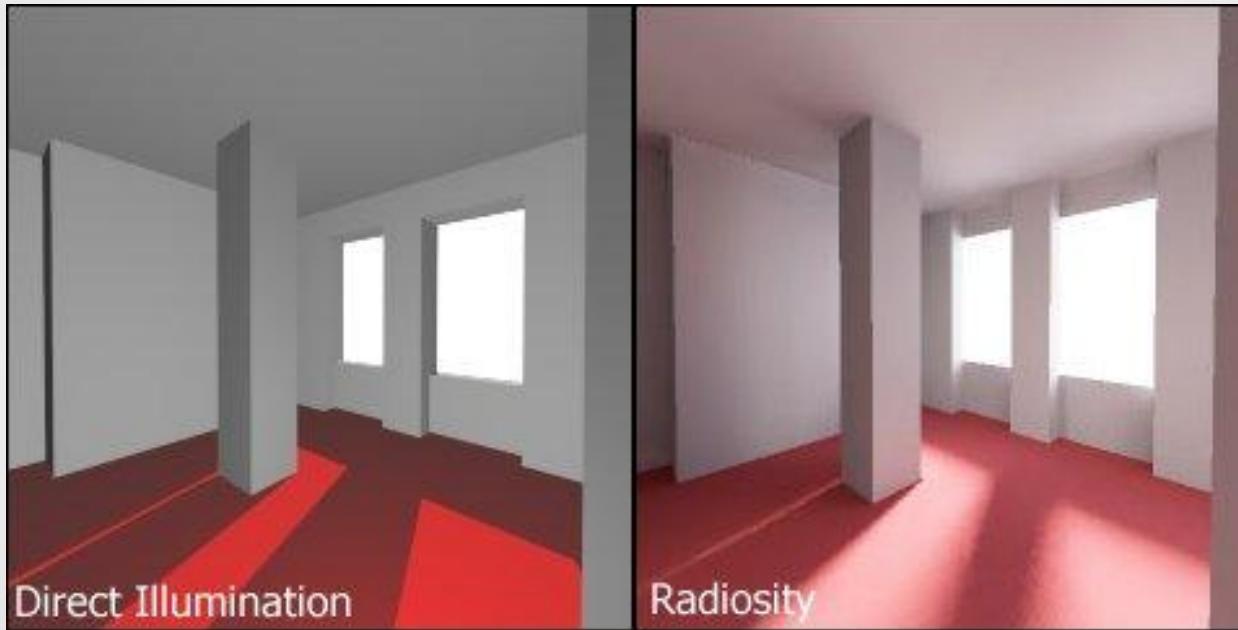
+



Illuminación Global

- Radiosity

Radiosity



Radiosity

Se aplica iluminación directa.

Luego, por cada par de superficies (idealmente polígonos), se determina el “factor de visibilidad”

Se transmite luz de cada parche a todos los demás, según estos factores.

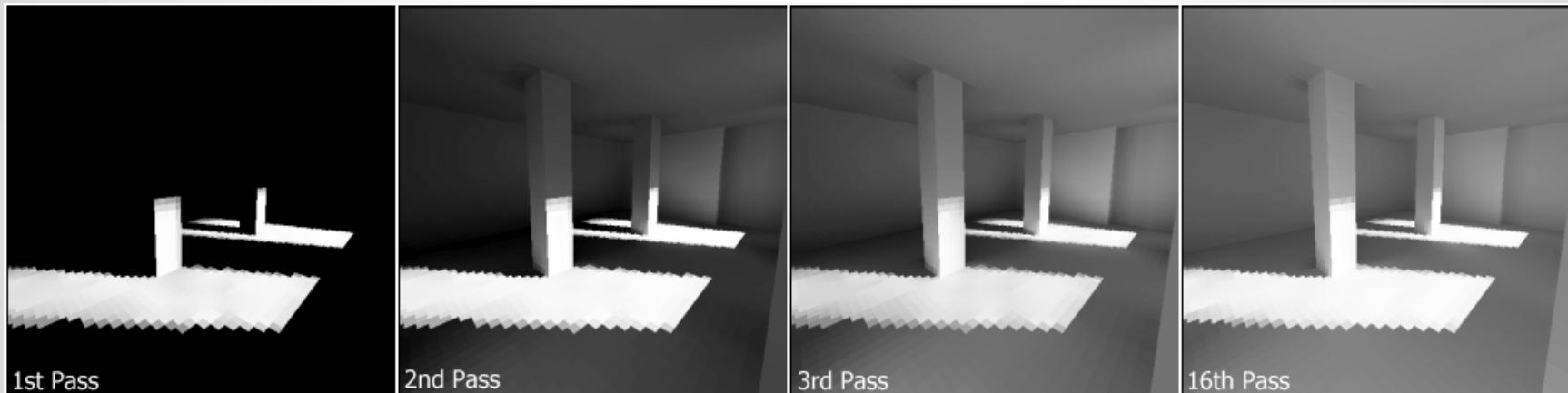
Radiosity

Esto converge a una solución.

Es una aproximación, no es necesario resolver el sistema completo.

No hacen falta luces ambiente. Soft shadows y color bleeding se dan naturalmente.

Radiosity



Illuminación Global

- Radiosity
- Photon mapping

Photon Mapping



Photon Mapping

Es un algoritmo de render en dos pasadas.

- 1 - se crea el photon map
- 2 - rendering

Photon Mapping

Se disparan fotones de cada luz en todas direcciones. En cada impacto se guarda en cache el punto y dirección del fotón.

Aleatoriamente (con ruleta rusa) se decide si este fotón se refleja, absorbe o refracta. Los fotones no absorbidos generan nuevas entradas en cache.

Photon Mapping

El rendering se hace usando raytracing para iluminación directa, y sumando luego la iluminación indirecta en base al ángulo de incidencia en el punto y los valores en el photon map más cercanos al punto analizado.

Photon Mapping

Genera correctamente:

- Color bleeding
- Causticas
- Subsurface Scattering

Illuminación Global

- Radiosity
- Photon mapping
- Irradiance caching

Irradiance Caching

Similar a radiosity, intenta determinar el valor de la iluminación indirecta en cada punto.

Tomando ventaja de que la luz difusa cambia suavemente, no computa todos los puntos, sino sólo algunos a interpola.

Irradiance Caching

Para saber si un punto sirve para computar otro se tiene en cuenta:

- distancia
- normales
- posición

Irradiance Caching

Al contrario de Radiosity o Photon Mapping, sólo analiza las áreas que son visibles por la cámara.

La iridiscencia se computa usando hemisphere raytracing desde el punto, usando monte carlo. Se ignoran luces, sólo iluminación indirecta.

El futuro...



<https://www.youtube.com/watch?v=BpT6MkCeP7Y>

BRDF

$$f_r(\omega_i, \omega_r) = \frac{dL_r(\omega_r)}{dE_i(\omega_i)} = \frac{dL_r(\omega_r)}{L_i(\omega_i) \cos\theta_i d\omega_i}$$

L es radiancia, es decir, la cantidad de luz (flujo) que refleja o emite.

E es irradiancia, o la cantidad de luz (flujo) que recibe la superficie.

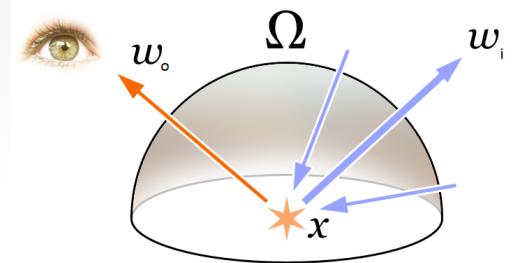
Para que sea físicamente correcto, debe tener las siguientes propiedades:

Positividad: $f_r(\omega_i, \omega_r) \geq 0$

Reciprocidad: $f_r(\omega_i, \omega_r) = f_r(\omega_r, \omega_i)$

Conservación de energía: $\forall \omega_r, \int_{\Omega} f_r(\omega_i, \omega_r) \cos\theta_i d\omega_i \leq 1$

BRDF



$$L_o = L_e + \int_{\Omega} L_i \cdot f_r \cdot \cos \theta \cdot d\omega$$

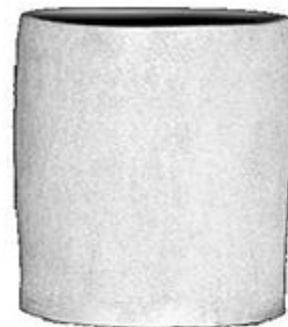
El BRDF de una superficie difusa, entonces, es constante!

Modelos avanzados de materiales

- Oren-Nayar
- Cook-Torrance
- Ward Anisotropic

Oren-Nayar

Es un modelo aproximado de superficies difusas con mucha rugosidad (roughness)



Real Image



Lambertian Model

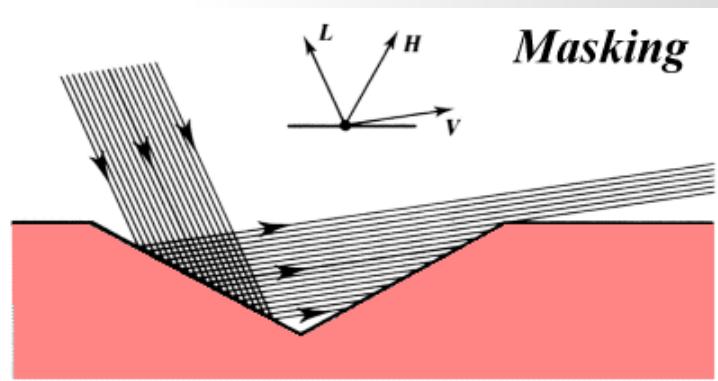


Oren-Nayar Model

Oren-Nayar

Extiende el modelo Lambertiano, considerando:

- Masking
- Shadowing
- Interreflections



Utiliza el concepto de microfacetas.

Oren-Nayar

Es definido por

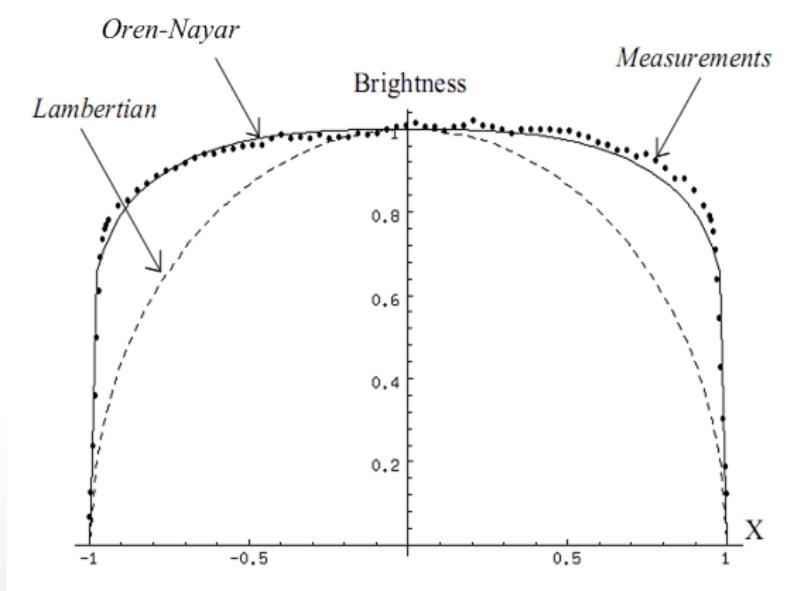
$$L_r = \frac{\rho}{\pi} \cdot \cos \theta_i \cdot (A + (B \cdot \max[0, \cos(\phi_i - \phi_r)] \cdot \sin \alpha \cdot \tan \beta)) \cdot E_0$$

donde $A = 1 - 0.5 \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + 0.57}$ $B = 0.45 \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + 0.09}$ $\beta = \min(\theta_i, \theta_r)$ $\alpha = \max(\theta_i, \theta_r)$

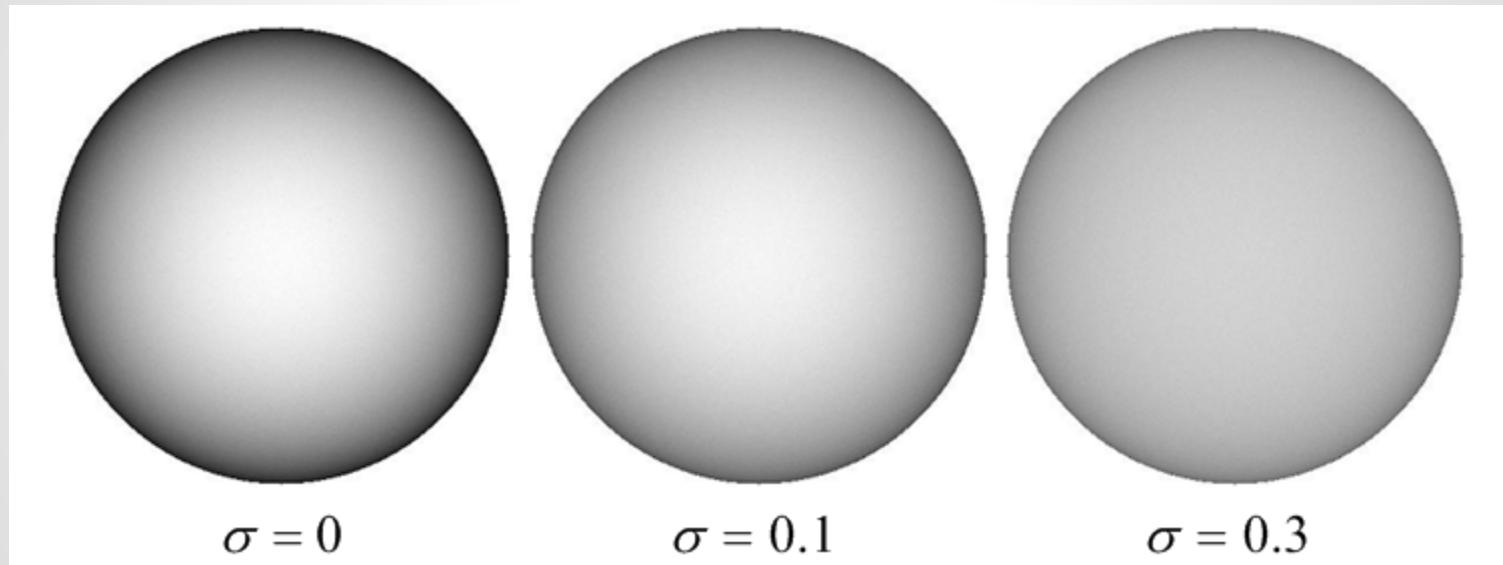
y sigma es la constante de *roughness* del material.

Oren-Nayar

Aproxima mejor ciertos materiales que vemos en la naturaleza.



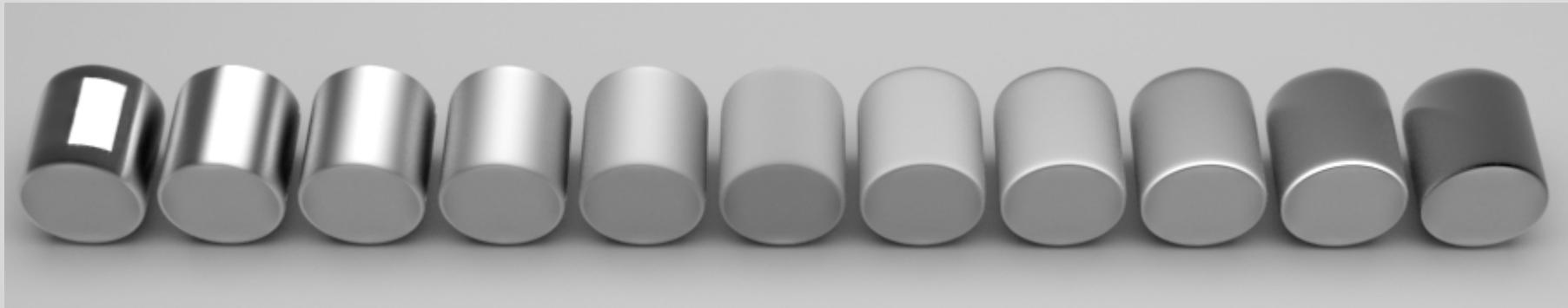
Oren-Nayar



$$L_r = \frac{\rho}{\pi} \cdot \cos \theta_i \cdot E_0$$

Con una constante de roughness nula, es idéntico a Lambert

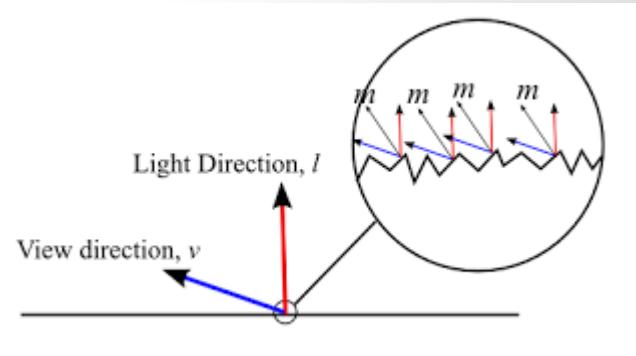
Cook-Torrance



Cook-Torrance

Es un modelo aproximado de superficies especulares, basándose en la distribución de las microfacetas de una superficie para simularlo.

También tiene una constante de *roughness*.



Cook-Torrance

$$f_r = k_d f_{lambert} + k_s f_{cook-torrance}$$

$$f_r = k_d \frac{c}{\pi} + k_s \frac{DFG}{4(\omega_o \cdot n)(\omega_i \cdot n)}$$

D es la función de distribución de orientación.

F es la función de Fresnel.

G es la función geométrica.

Cook-Torrance

La función de distribución define estadísticamente la orientación de las microfacetas.

Existen varias funciones utilizables:

- Gaussiano
- Phong
- Beckman

Cook-Torrance

La función de Fresnel ya la vimos!

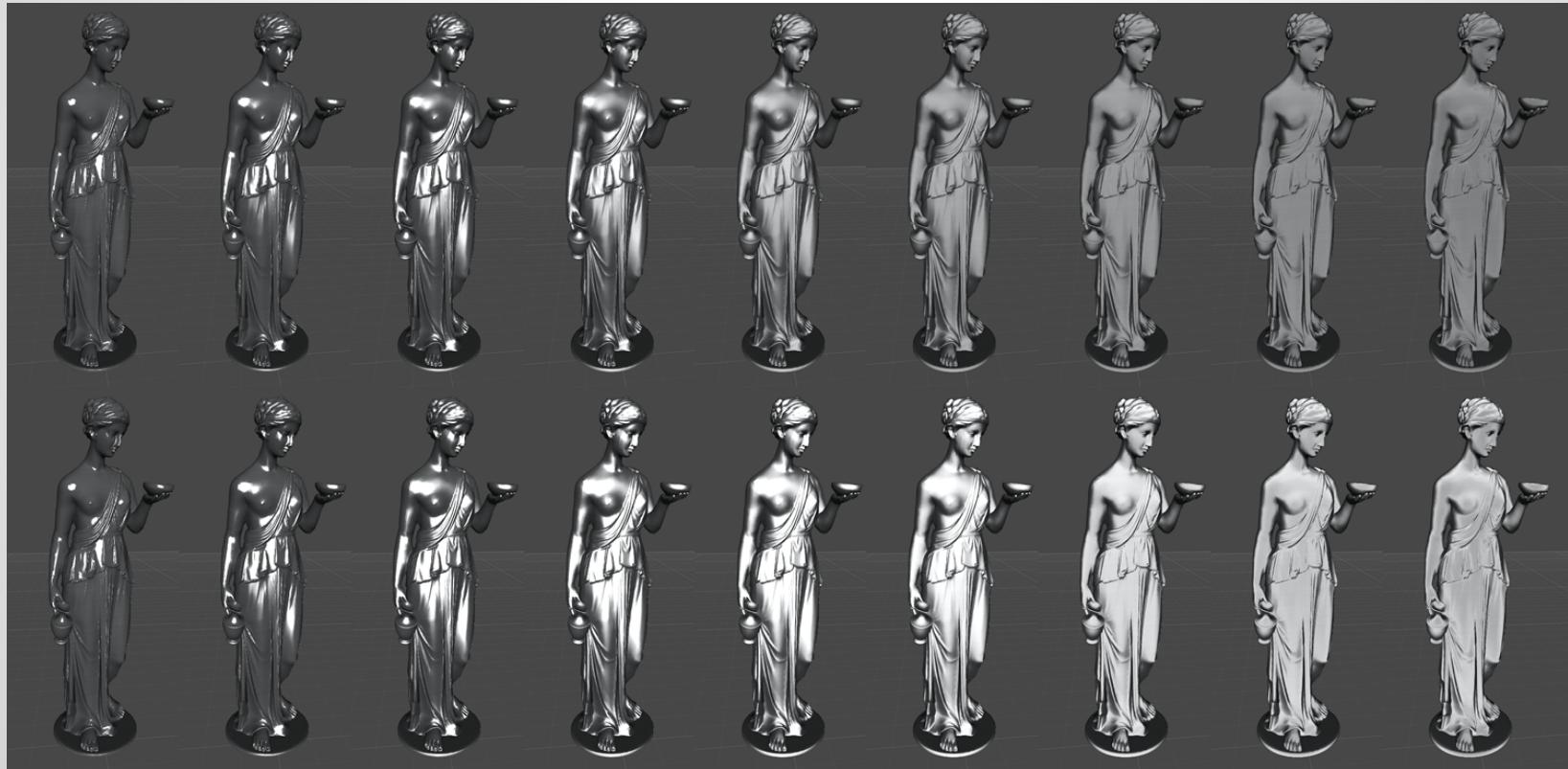
Sin embargo, puede utilizarse la aproximación de Schlick para reducir costo temporal.

Cook-Torrance

La función de geometría define cuánto se atenúa la luz debido a la oclusión entre microfacetas.

$$G = \min \left(1, \frac{2(H \cdot N)(V \cdot N)}{V \cdot H}, \frac{2(H \cdot N)(L \cdot N)}{V \cdot H} \right)$$

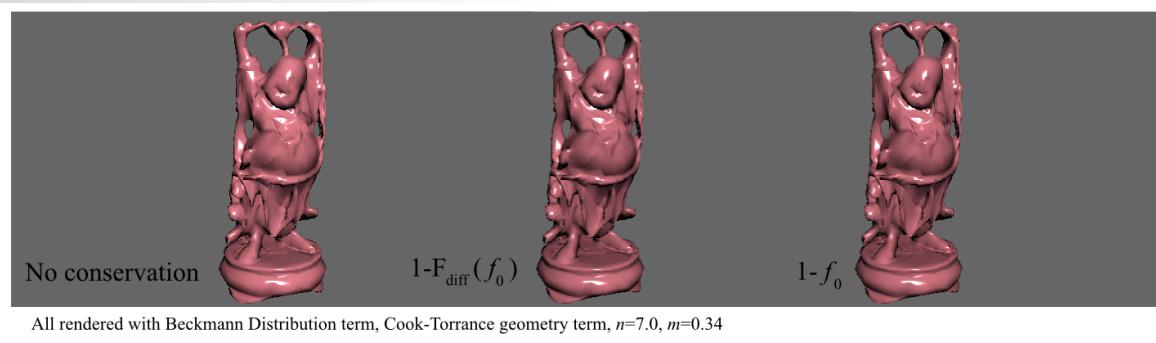
Cook-Torrance



Cook-Torrance

Conservación de energía difusa y especular!

Se multiplica la reflectancia difusa por $(1-f_0)$



$$f_0 = \left(\frac{1-n}{1+n} \right)^2$$

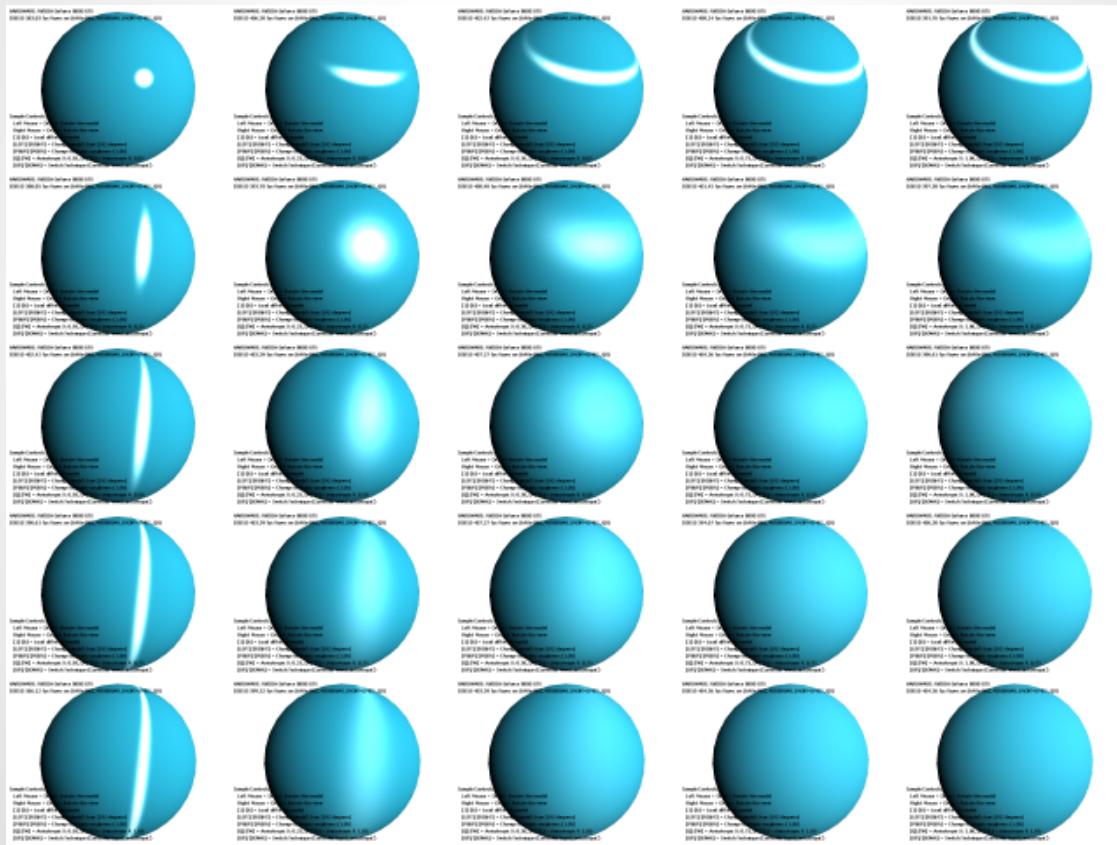
, where f_0 is reflectance at normal incident
 n is the refractive index

Ward Anisotropic

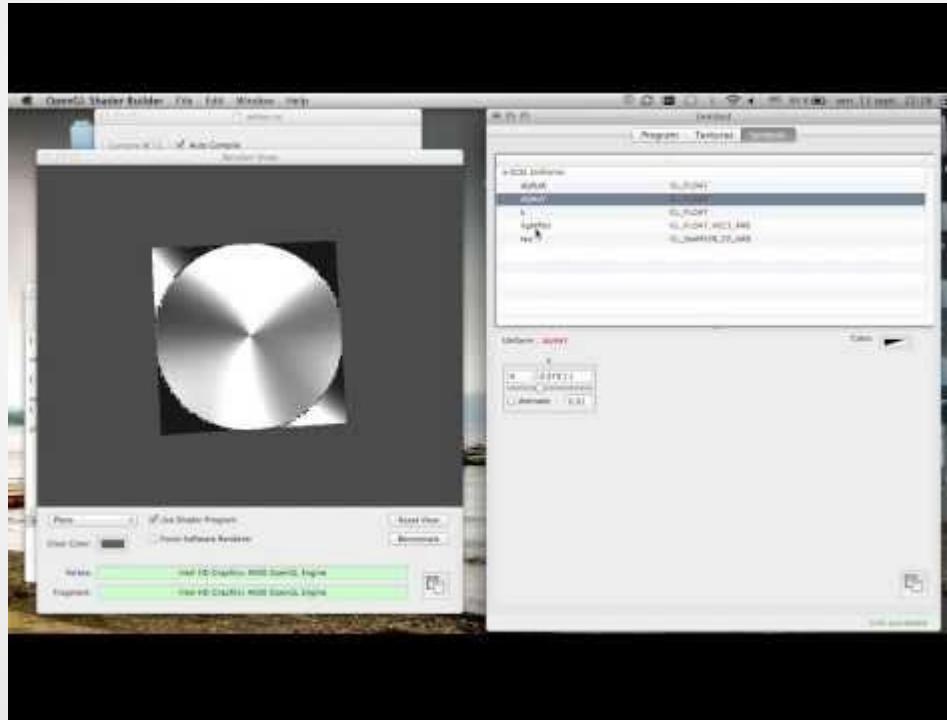
Utiliza dos constantes, α_x y α_y que definen la anisotropía del término especular. Si son iguales, el reflejo especular será isotrópico (como los anteriores)

$$k_{\text{spec}} = \frac{1}{\sqrt{(N \cdot L)(N \cdot R)}} \frac{N \cdot L}{4\pi\alpha_x\alpha_y} \exp \left[-2 \frac{\left(\frac{H \cdot X}{\alpha_x} \right)^2 + \left(\frac{H \cdot Y}{\alpha_y} \right)^2}{1 + (H \cdot N)} \right]$$

Ward Anisotropic

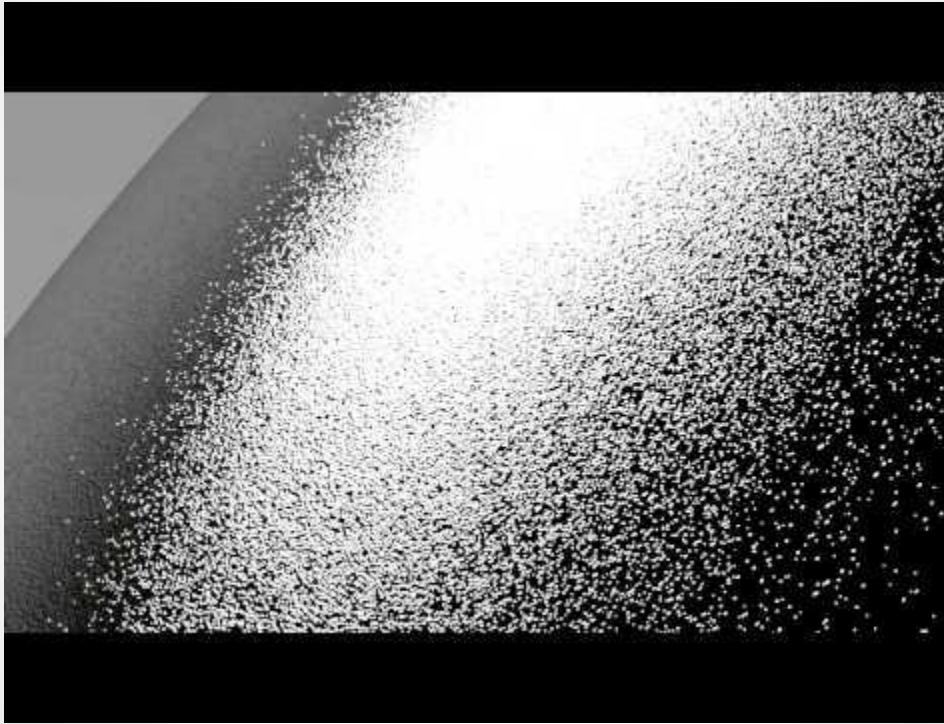


Ward Anisotropic



https://www.youtube.com/watch?v=vfYq18x_nuk

Flakes!



<https://www.youtube.com/watch?v=KHT82-KYhRw>

Uber material

Se puede desarrollar un material que contenga varios aspectos de distintos modelos de reflectancia.

La única consideración que debe tomarse es en ajustar las distribuciones de sampleo y sus PDFs asociadas.