

La iluminación

Llogari Casas
Álvaro Ulldemolins

PID_00196991



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundació para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

Índice

1. Conceptos básicos.....	5
1.1. Espectro visible	5
1.2. Mezcla de colores	6
1.3. Nuestra percepción de la luz	7
1.4. Temperatura de color	8
2. Las luces y el <i>render</i>.....	10
3. El comportamiento de la luz.....	11
3.1. Ley del cuadrado inverso	11
3.2. Reflexión	12
3.3. Refracción	14
4. La calidad de la luz.....	16
4.1. Intensidad	16
4.2. Color	17
4.3. Suavidad	18
4.4. Patrón	19
4.5. Animación	20
4.6. Sombras	20
5. Tipos de luces.....	23
5.1. Luces estándar	24
5.1.1. Luz Omni	24
5.1.2. Luz Spot	26
5.1.3. Luz Direct	28
5.1.4. Luz Sky Ligth	30
5.1.5. Luz de área	32
5.2. Luces fotométricas	34
6. Las sombras.....	36
6.1. La importancia de las sombras	36
6.2. Tecnología de las sombras	37
6.2.1. Iluminación directa	38
6.2.2. Iluminación global	38
6.2.3. Utilización de las sombras	39
7. Técnicas de iluminación básicas.....	46
7.1. Iluminación en tres puntos	46
7.1.1. Luz principal	49
7.1.2. Luz de relleno primaria	51
7.1.3. Luz trasera	55

7.1.4. Relación luz principal-luz de relleno	57
7.1.5. Iluminacion en <i>array</i>	59
8. Técnicas de iluminación avanzadas	63
8.1. Distribución de la luz	63
8.2. <i>Raytracing</i>	65
8.3. Radiosidad	67
8.4. <i>Photon mapping</i>	69
8.5. <i>Final gathering</i>	70

1. Conceptos básicos

Estamos tan acostumbrados a la luz que a menudo no nos paramos a pensar que es fundamental para la existencia humana. La luz dicta nuestras actividades, influye en nuestra manera de pensar y afecta a nuestra percepción de todas las cosas.

Vamos a ver unos cuantos conceptos referentes a la luz y cómo se interrelacionan a la hora de crear una composición en 3D.

1.1. Espectro visible

En nuestra vida diaria, estamos rodeados por diferentes ondas, desde rayos x hasta ondas de radio. La principal diferencia entre ellas radica en la **longitud de onda**, que forma parte del espectro electromagnético, el cual va desde las cortísimas ondas de rayos x hasta las largas longitudes de onda de las señales radioeléctricas. Entre estos dos extremos existe una **pequeña banda que resulta visible** para nosotros, la **luz**.



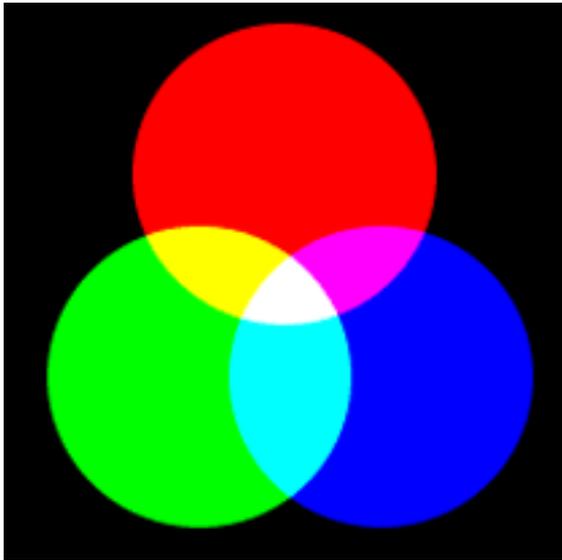
La luz visible está cerca de la banda de los rayos x, ya que su longitud de onda es baja, aproximadamente de los 400 nanómetros¹ a los 800 nanómetros. A esta subsección se le denomina el **espectro visible**. Subiendo por dicho espectro, nos encontramos con una infinita gama de colores, desde el violeta, azul, verde amarillo, naranja y rojo, hasta salirnos del espectro visible donde encontramos la radiación infrarroja, la cual experimentamos como calor.

⁽¹⁾Billonésima parte de un metro.

En un entorno digital, la banda que podemos representar viene marcada, normalmente, por las limitaciones de la pantalla de visualización y de los formatos del fichero en el que se exporta la imagen final, pudiendo representar cientos, miles o millones de colores.

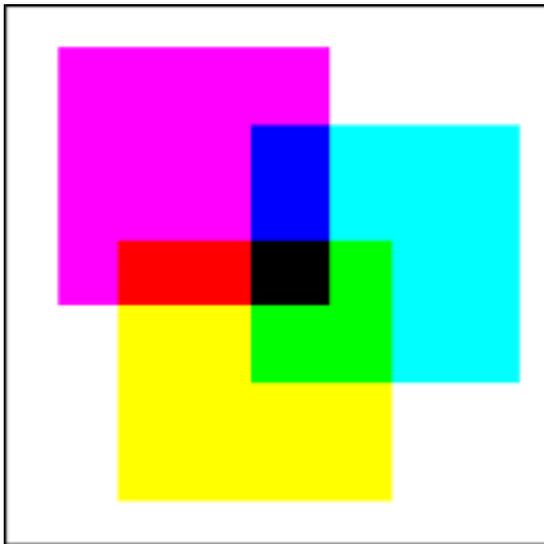
1.2. Mezcla de colores

Este espectro de colores está representado en nuestro monitor usando **tres colores: rojo, verde y azul (RGB, red, green y blue)**. Estos son los **tres colores primarios de la luz**. La mezcla aditiva de estos tres colores nos da la luz blanca que conocemos. Esto podemos demostrarlo en 3D si solapamos tres luces RGB: donde se solapan, veríamos el color blanco.



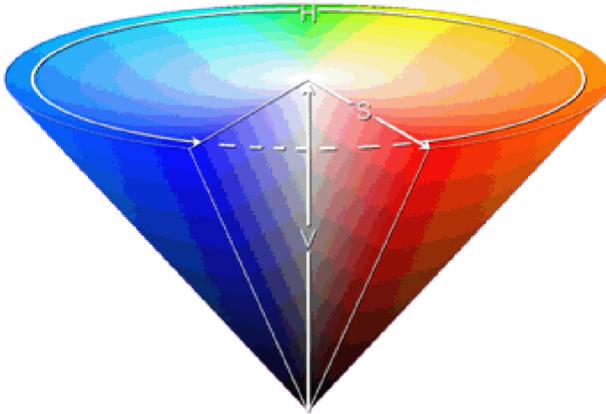
Rojo, verde, azul. Espacio de colores aditivo

La **mezcla sustractiva** funciona a la inversa, empieza con un fondo blanco y mezcla los tres colores primarios para conseguir el **negro**. Esta mezcla se utiliza, por ejemplo, en las impresoras, pero en lugar de utilizar los colores primarios, utiliza los complementarios, cian, magenta y amarillo. Las máquinas profesionales añaden también el negro, dando así lugar a la famosa combinación CMYK, utilizada ampliamente en impresión.



Cyan, magenta, amarillo. Espacio de colores sustractivo

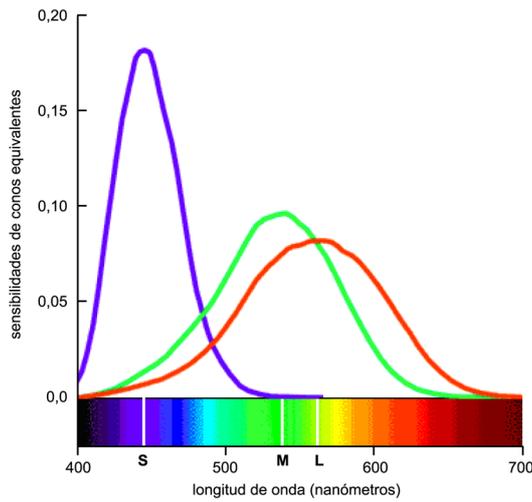
Normalmente, en los paquetes de modelado 3D se utiliza la mezcla aditiva RGB, aunque también existe otro modelo llamado **HSV** (*hue, saturation, value*) que está compuesto por otro patrón de modificación de la luz a través de los parámetros de tono, saturación y brillo. Dicho modelo se define como un cono, en el cual, tal como se sube o se baja y se acerca o se aleja de su centro, se va modificando el valor del color obtenido.



1.3. Nuestra percepción de la luz

Cuando trabajamos con el ordenador, nuestra tarjeta gráfica nos hace creer que estamos viendo un "color verdadero", pero en realidad estamos viendo una interpretación muy restringida del espectro visible. De hecho, solamente estamos viendo la combinación de tres *leds* de la pantalla, rojo, verde y azul, conformando un píxel, que debe representar colores de otras longitudes de onda.

La razón por la que nosotros podemos percibir el espectro entero sin restricciones es la manera de operar que tiene el ojo humano. Nuestros ojos solo responden a tres partes del espectro visible, gracias al muestreo de unos receptores fotosensibles llamados **conos**; hay tres tipos de conos localizados en nuestra retina, cada uno de los cuales responde a la luz de diferentes longitudes de onda. Estos tres tipos se corresponden mayoritariamente con el rojo, el verde y el azul, pero no están limitados a estos colores.



1.4. Temperatura de color

La manera de medir la temperatura de color radica en la escala centígrada, pero en los paquetes 3D se usa ampliamente la escala con grados Kelvin.

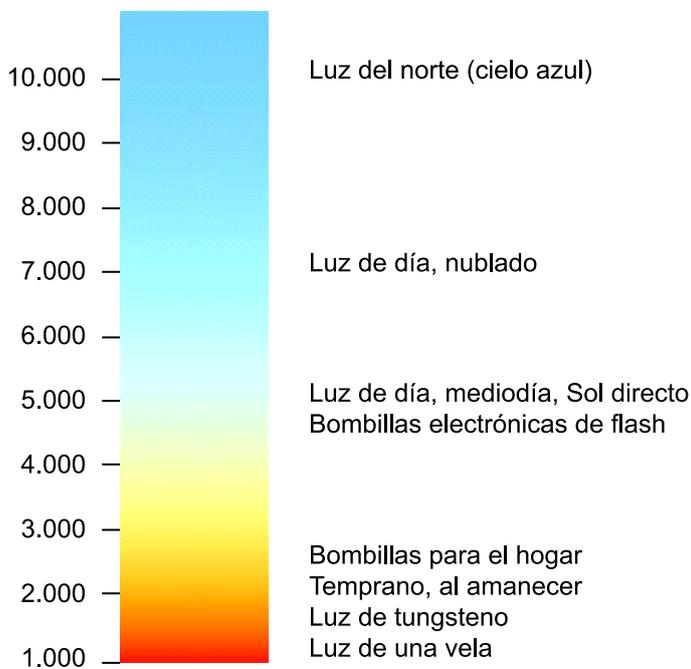
$$K = C - 273$$

Restando 273 a la temperatura centígrada obtenemos la temperatura en grados Kelvin.

Los grados Kelvin

La razón de dicho cambio proviene de que la temperatura Kelvin empieza en el cero absoluto, punto de congelación del agua. Así que el cero absoluto son -273 grados centígrados.

Temperaturas en color en la escala Kelvin



Normalmente, en la mayoría de paquetes 3D se utilizan grados Kelvin para medir la temperatura de los diferentes tipos de luces que componen el paquete, de ahí la importancia de conocer bien los valores más generales que se utilizan a la hora de crear una escena en 3D.

Temperaturas de color comunes	Kelvin
Vela	1.900
Luz del sol: amanecer o crepúsculo	2.000
Bombilla 100W	2.865
Lámpara tungsteno 500W-1K	3.200
Fluorescente	3.200-7.500
Lámpara tungsteno 2000W-10K	3.275-3.400
Luz del sol: muy pronto/muy tarde	4.300
Luz del sol: tarde	5.000
Luz de día	5.600
Cielo	6.000-7.000
Luz del sol de verano con cielo azul	6.500
Luz del cielo	12.000 – 20.000

Basado en su investigación, se estableció la escala de temperatura de color, que es la más utilizada en el mundo físico de diseño de iluminación. Una lámpara de tungsteno de 2K tiene una temperatura de color de 3.275 Kelvin, por lo que su rango emite una luz cercana al final del color amarillo en el espectro visible; este punto se considera luz blanca, ya que contiene suficientes longitudes de onda de las otras componentes de color.

Hay que recalcar que el color de la temperatura es el color visible que vemos, y no la temperatura a la que se pone el filamento.

2. Las luces y el *render*

Existe una relación entre los diferentes tipos de luces que se utilizan para iluminar una escena en un programa de animación 3D y el motor de cálculo que utiliza nuestro software para obtener (render) una imagen.

Efectivamente, el *render* de una escena es el proceso por el cual se genera una imagen 2D a partir de una escena 3D, en la que se calculan y aplican las diferentes luces, efectos y materiales, con el fin de obtener una imagen fotorrealista.

En la mayoría de paquetes 3D existe, al menos, un **motor de *render*** o, como también se suele llamar, **motor de cálculo**, para generar esta imagen final. En muchos de ellos se puede incorporar un software externo o ya incluido en la misma aplicación como otro motor de *render* secundario, con el fin de aumentar las posibilidades del software y la calidad de la imagen resultante. Muchas veces, este segundo motor lleva implícito una serie de mejoras con las que son compatibles las características del programa 3D, pero a veces no todas las herramientas del software son compatibles y se añaden otras herramientas parecidas en funcionamiento, las cuales sí que soportan el nuevo motor.

En nuestro caso, muchas de las luces que vienen con el software son compatibles, pero para aprovechar al máximo todos los beneficios del motor asiduamente es mejor utilizar las luces específicas que suministra el propio motor. El uso es exactamente el mismo, pero el motor diferencia el tipo de luz y aplica otro cálculo con el que se obtienen mejores resultados.

3. El comportamiento de la luz

La luz obedece a un grupo de reglas determinadas, algunas relevantes y que nos harán falta para trabajar en animación por ordenador: la ley del cuadrado inverso, la reflexión y la refracción.

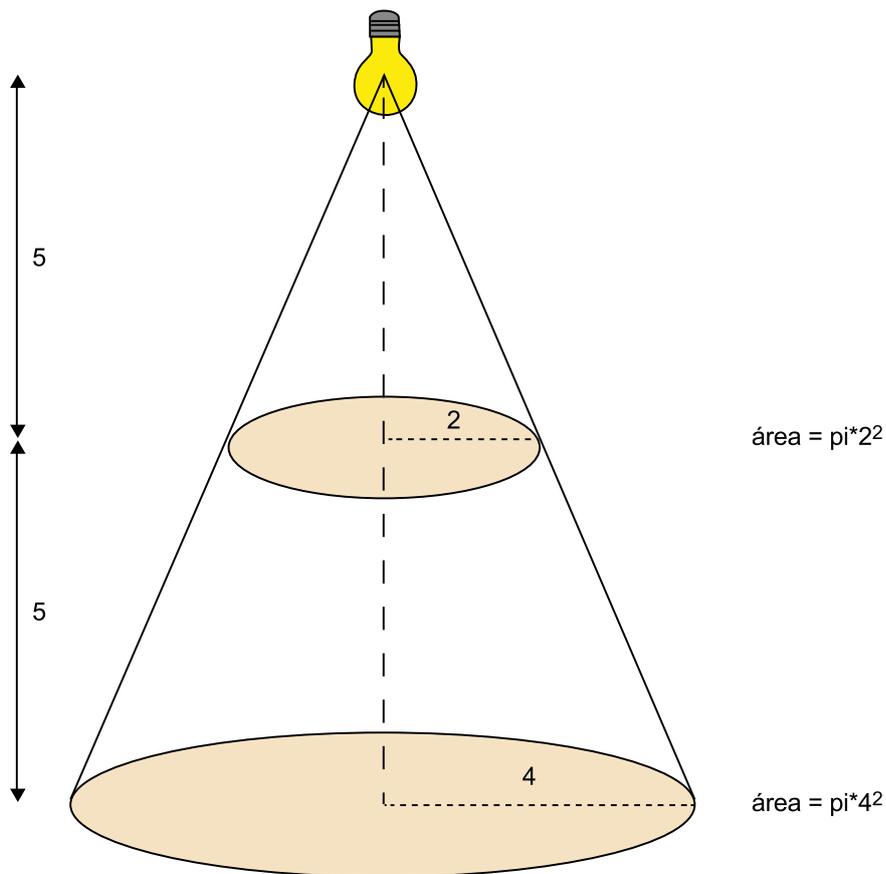
A continuación veremos con más detalle cada una de estas reglas.

3.1. Ley del cuadrado inverso

Esta regla explica cómo se atenúa la luz según la distancia a la que esté, y es aplicable a todos los tipos de radiación.

$$I = 1/d$$

Veamos un ejemplo. Imaginemos un fuego, cuanto más cerca estemos más nos quemamos, pero no es lo mismo estar a 50 centímetros que a 2 metros, el calor desprendido no se decrementa uniformemente. En este efecto vemos la ley del cuadrado inverso en acción.



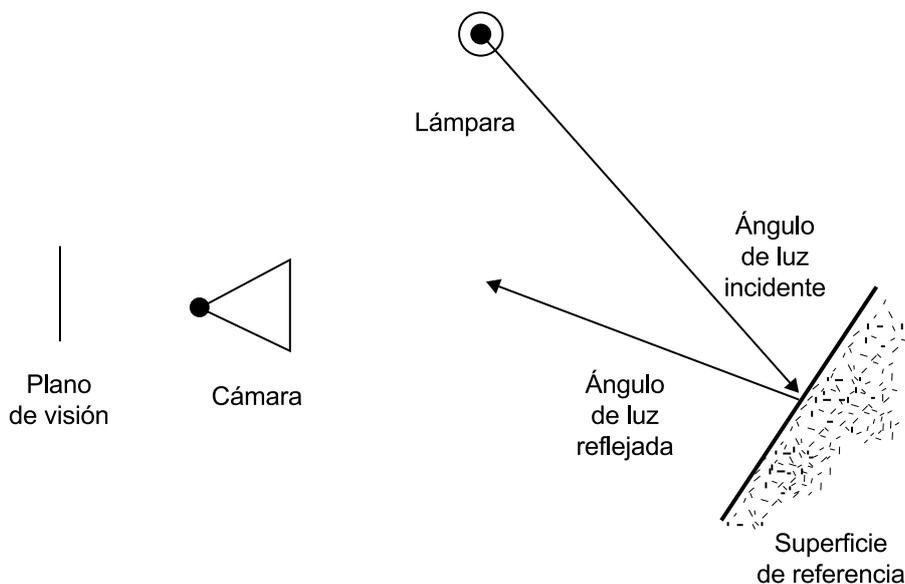
Esta ley también es aplicable a la luminosidad de la luz (energía de emisión por segundo), la cual altera el brillo percibido por el visionador. Vemos que una luz brilla más cuanto más cerca estamos de ella.

Normalmente, en la mayoría de paquetes 3D podemos configurar este parámetro (caída de la luz) para que tenga un comportamiento irreal y que la luz se atenúe de forma lineal (valor por defecto en muchos softwares) o, al contrario, para que siga las reglas físicas del mundo real y tenga una atenuación cuadrática.

3.2. Reflexión

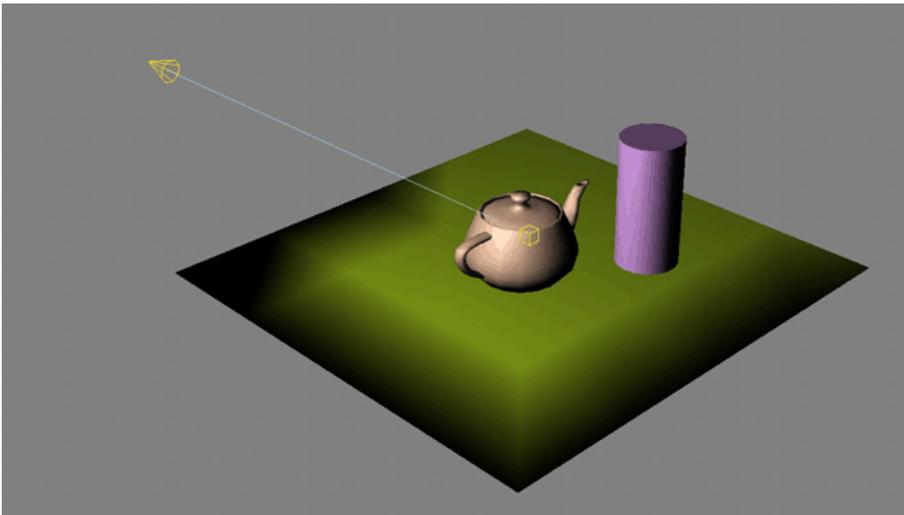
La luz también obedece a la **regla de la reflexión** que explica **cómo se refleja la luz sobre una superficie**.

Esta ley nos dice que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia, el cual se calcula en referencia a la superficie normal del punto de incidencia. O sea, la luz se refleja en el mismo ángulo en el que se proyecta.

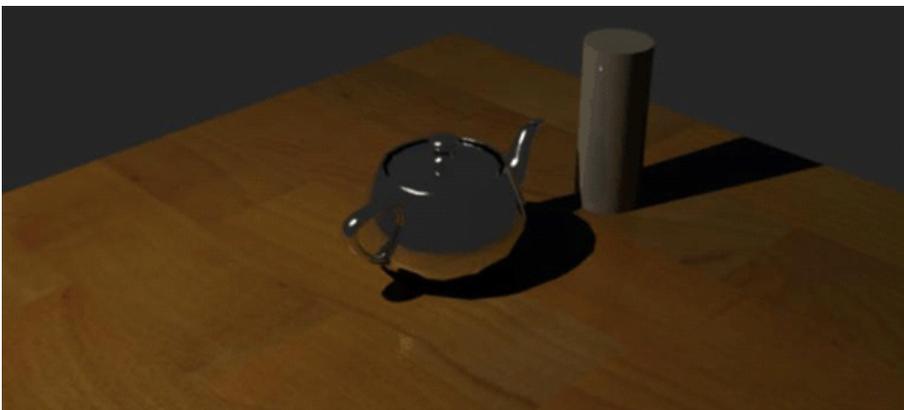


Esta característica luz rebotada no podemos visualizarla en el visor de trabajo del programa 3D hasta que no realizamos el proceso de *render*², puesto que es necesario un proceso bastante costoso a nivel computacional y, de momento, la tecnología no lo permite hacer en tiempo real. Actualmente solo vemos la luz proyectada.

⁽²⁾Cálculo de la integración de todos los elementos de una escena, junto con la luz y los materiales para la obtención de una imagen.



Otro aspecto destacado de la reflexión de la luz es el **tipo de material sobre el que se refleja**; se ha de tener en cuenta que no se reflejará del mismo modo sobre una superficie de un material como podría ser un cristal, que refleja muchísimo la luz, a una superficie como madera, que absorbe mucha luz y casi no la refleja. Por lo tanto, tenemos que **valorar el tipo de material que estará asignado al objeto que deseamos iluminar**, para obtener los mejores resultados.

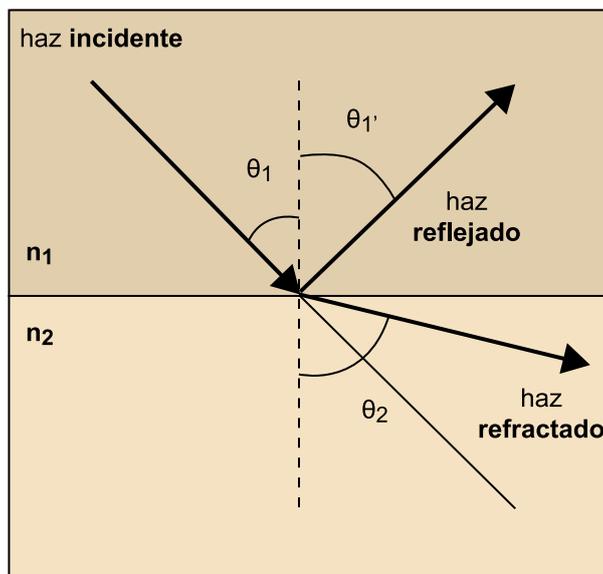


La mayoría de los paquetes 3D disponen de una extensa gama de materiales con propiedades configurables para el reflejo y la absorción de la luz que hacen que el objeto que estamos iluminando sea más realista.

3.3. Refracción

La refracción describe cómo se deforma la luz cuando atraviesa un objeto, obedeciendo a la ley de Snell, que concierne a materiales transparentes y semitransparentes. Básicamente, nos dice el **índice de refracción** cuando la luz pasa por el material.

Este índice se calcula tomando la velocidad de la luz en un vacío y dividiéndolo por la velocidad de la luz en el material. Ya que la luz nunca viaja más rápido que en el vacío, este valor nunca será menor que 1.0.



Índices de refracción

Material	IOR
Aire	1,003
Alcohol	1,329
Agua	1,330
Hielo	1,500
Esmeralda	1,570
Rubí	1,770
Cristal	2,000
Diamante	2,149

Al igual que en la propiedad de reflexión, también disponemos de parámetros en los materiales de los paquetes 3D para modificar esta característica.

En el ejemplo siguiente vemos un mismo objeto con distintos niveles de refracción: la base del cilindro se deforma al observarlo a través de la tetera.

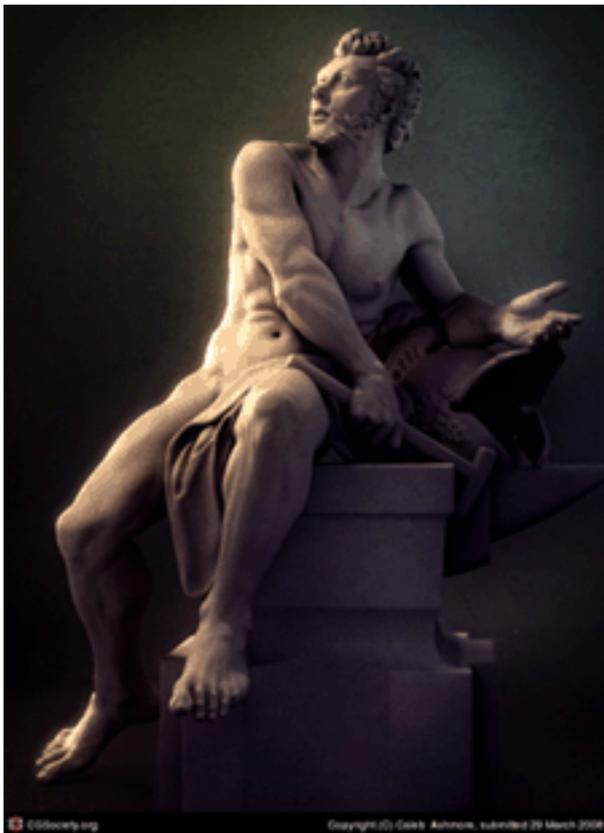


De izquierda a derecha, IOR = 1.0, IOR = 1.02 e IOR = 1.04.

4. La calidad de la luz

Cuando nos referimos a la **calidad de la luz** intervienen muchos factores, y a menudo de un modo bastante subjetivo. Si preguntamos a diferentes directores de fotografía, cada uno nos dará una versión bastante individualizada de lo que a él le sugiere o cree que es la calidad de la luz; sus descripciones, a menudo relativas a intensidad, color, patrón y movimiento de las sombras, nos darán una idea de cómo podemos ajustar una luz, pero a menudo también aparecerán conceptos, como la motivación que queremos representar o el ambiente al cual queremos llegar.

Por este motivo, definimos una serie de conceptos que deben ser tratados y estudiados con el fin de entender de una manera precisa el concepto de la luz.



4.1. Intensidad

Obviamente, la **intensidad** es la **primera y más remarcable característica de la luz**. La luz con una intensidad elevada es lo que llamamos en la escena **luz dominante**, que creará en la composición las sombras más marcadas.

En el mundo real, cuando se realiza la grabación de una escena, se utilizan los controles de exposición para que se capture la luz que nos interese de la escena. En el mundo 3D, en cambio, no tenemos este control, ya que no existe nada, por lo que la intensidad del punto de luz afecta directamente al brillo y contraste de la imagen generada.

En el software 3D, la intensidad de una luz normalmente está controlada por su color y su factor de multiplicación o brillo. Aparte, también existe un **control de atenuación** (*decay*) de dicha intensidad que nos permite controlar cómo va desapareciendo la luz.

En el mundo real todas las luces tienen una atenuación proporcional a la regla del cuadrado inverso, explicada en el apartado anterior, que establece que la intensidad disminuye de manera cuadrática en proporción a la distancia de la que se encuentra la fuente.

En gráficos por ordenador, la atenuación puede representarse como la regla del cuadrado inverso o con otros modelos. A menudo, esta regla es demasiado restrictiva y gracias al software podemos especificar el punto inicial de caída de la luz para obtener unos resultados más realistas. Se puede hacer, por ejemplo, que la caída tenga un comportamiento lineal, lo que nos daría una predicción más cercana de lo que tendríamos que ver.



De izquierda a derecha, sin atenuación, atenuación lineal y atenuación cuadrado inverso.

4.2. Color

Las similitudes y las diferencias de los colores de iluminación de una escena pueden ayudarnos a determinar su atmósfera.

Por ejemplo, con colores más neutros damos un tono más oscuro.

Los colores también tienen propiedades emocionales y la gente reacciona de diferente manera ante ellos dependiendo de la asociación que tengan con cada color. Sin embargo, hay colores que evocan respuestas similares en la gente. El uso de colores fríos frente a colores calientes por parte de los artistas ha sido constante durante siglos.



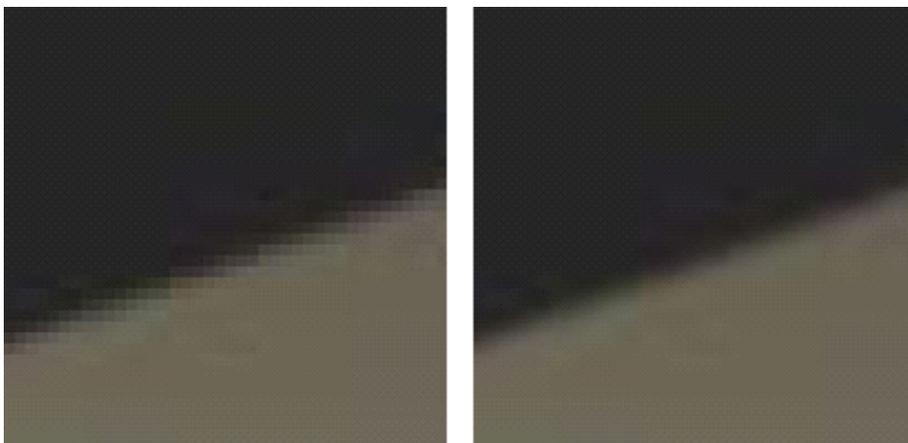
El color es extremadamente útil para reforzar el tipo de fuente de luz que representa. Una luz azul puede ayudarnos a representar una escena triste o una calma serena, mientras que una luz roja se utiliza normalmente para la guerra o la pasión.



4.3. Suavidad

La suavidad de la luz está muy difundida en el mundo real, y se utiliza ampliamente en el mundo del cine. En gráficos por ordenador, no aparece tanto como debería.

Pensemos que con un *software* 3D no es tan difícil hacer aparecer rangos de luz fuertes a suaves; normalmente con las configuraciones preestablecidas que ofrece este software obtenemos unas sombras muy marcadas con contornos sin *aliasing* (efecto visual tipo "dientes de sierra" o "escalón"), pero en el mundo real, casi nunca observamos este fenómeno, casi siempre la luz es suave.



A la izquierda, sin *aliasing* y a la derecha, con *aliasing*.

Para resolver este problema podemos utilizar una serie de características como mapas de sombras e iluminación global.

4.4. Patrón

Las aproximaciones para recrear este aspecto de la luz en 3D varían desde el modelado de un objeto enfrente de la luz, que produce un **efecto de patrón**, hasta el uso de imágenes de texturas para provocar que la luz actúe como si fuera un proyector. En 3D podemos utilizar esta técnica como imágenes de escala de grises aplicadas a las luces, en las que el negro puro bloquea toda la luz, y el blanco puro permite pasar la luz a modo de plantilla. Tanto se pueden utilizar imágenes fijas (jpg, tiff, tga...), como archivos animados (.avi...), para obtener un patrón en movimiento cíclico.

Ved también

Veremos estos conceptos en el apartado "Las sombras".



Físicamente, colocando objetos enfrente de las luces, se trabaja del mismo modo que con la utilización de patrones. Sin embargo, si la ventana no actúa bien en el proceso de *render*, es mejor utilizar una imagen que actúe como patrón proyectada desde la luz.

4.5. Animación

La animación no es una característica que normalmente se asocie a la luz, especialmente si pensamos en fotografías o pinturas, pero es una cualidad que es muy común en, por ejemplo, indicadores de coches, parpadeo de luces de neón o el ocaso del sol. En todos estos ejemplos, podemos encontrarnos la animación del movimiento de la luz, de su potencia o de su caída.

En la mayoría de los paquetes 3D, **todos los parámetros que corresponden a una luz son animables**: color, intensidad, sombras, dirección, efectos..., y se controlan fácilmente mediante interruptores de encendido/apagado o a través de curvas de animación.

4.6. Sombras

Las sombras nos dan realismo a la escena, consistencia y unión en la composición.

No hay que pensar en las sombras como algo donde las cosas están escondidas (aunque son muy útiles para ocultar imperfecciones), sino que las sombras nos enseñan cosas que de otra manera sería imposible de ver.

Ved también

Las sombras son un factor clave a la hora de definir una luz, por ello lo trataremos más adelante, en el apartado "Las sombras".

El **diseño de las sombras** es una tarea tan importante como el **diseño de la luz**. Solo hace falta fijarnos en el tiempo que se requiere para el cálculo de las sombras cuando hacemos el procesado (*render*) de una escena; según el tipo de sombras utilizado, se utilizará uno u otro **algoritmo** que nos dará las diferentes calidades y tiempos.

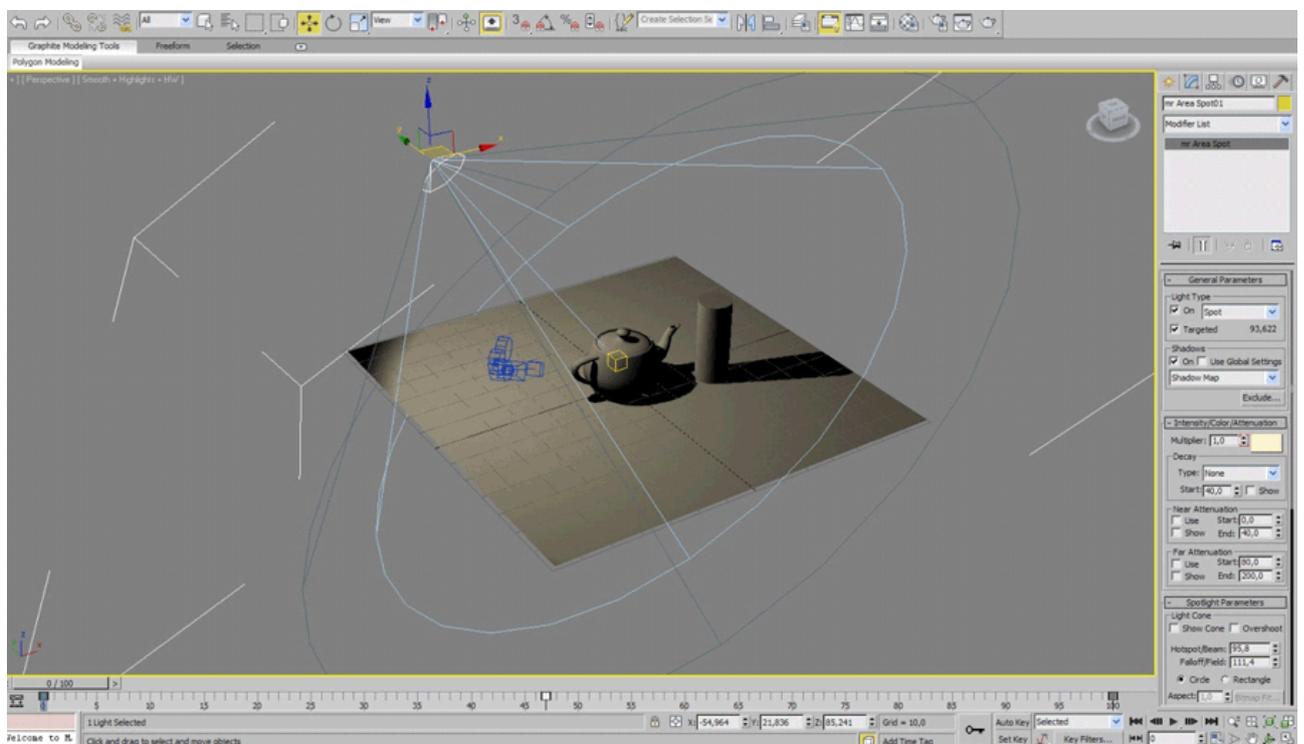


Estos diferentes **algoritmos** han evolucionado mucho a lo largo del tiempo y los podemos clasificar en diversos tipos:

- Integración de polígonos de sombra con el algoritmo *scan line* (el cálculo de la imagen se realiza línea a línea). Las sombras se calculan al mismo tiempo que la imagen en el proceso de *render*.
- Generación de sombras basada en transformaciones y recorte. Las sombras son almacenadas y precalculadas en una base de datos.
- Volúmenes de sombra. Un proceso de dos pasos en los que se crea el volumen de sombra considerando cada fuente de luz y determinando si algún objeto poligonal está en la sombra.
- Cálculo de sombra usando el **Z buffer**. Se obtiene la sombra realizando operaciones en un contenedor de profundidad de los objetos de la escena.

- Cálculo de la sombra en un trazador de rayos recursivo. Se obtiene la sombra trazando rayos desde la luz emisora hasta los objetos de la escena y calculando las interacciones con los mismos.
- Cálculo de la sombra por el método de radiosidad. Se calcula la luz que emite cada objeto de la escena según las propiedades de su superficie y se calcula la sombra a partir de esa intensidad.

En 3D se utilizan todos estos tipos dependiendo del tipo de luz y del tipo de generación de sombras que se seleccione. Además, actualmente la tecnología nos permite ver un previo de dónde y cómo quedará la sombra en la ventana de trabajo, según la posición de la luz emisora, antes de realizar el proceso de *render*.



5. Tipos de luces

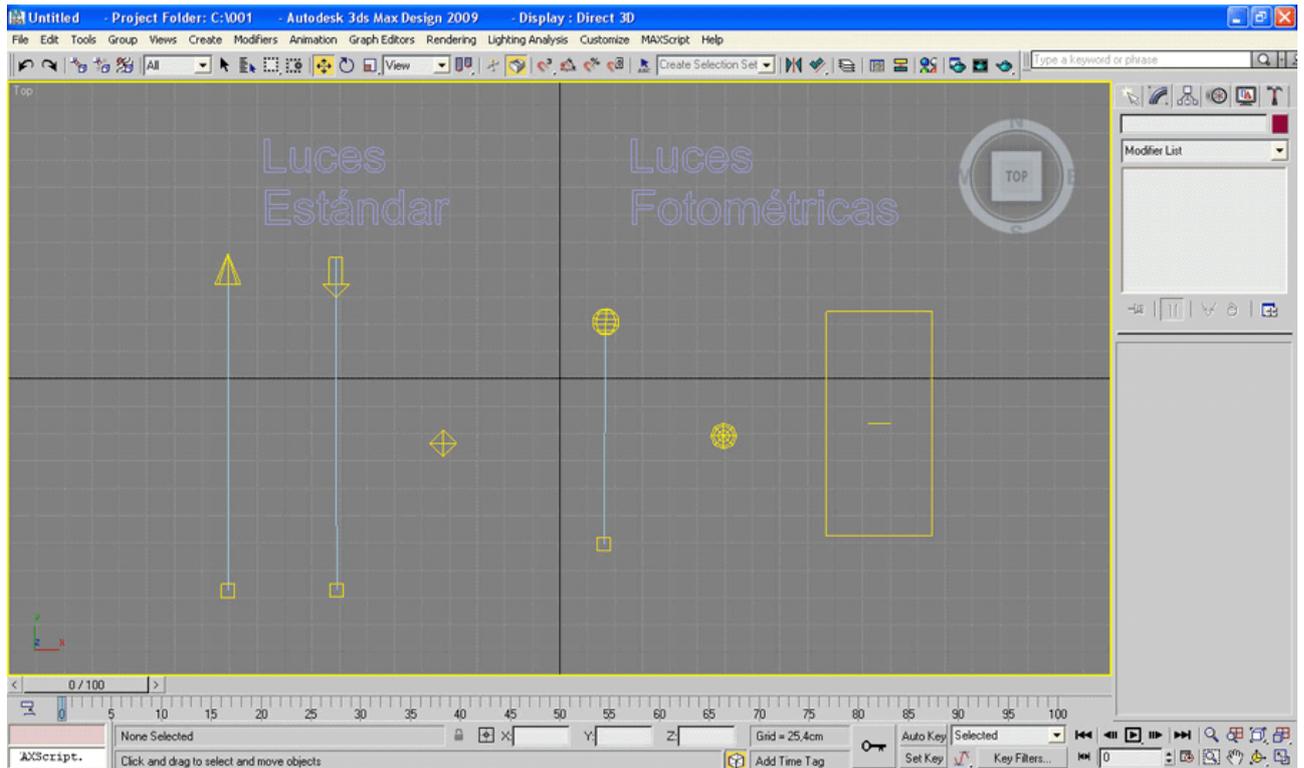
La diferencia entre iluminar bien una escena y, simplemente, iluminar una escena es una tarea ardua. Podemos crear una escena poniendo una sola luz, y la escena estaría iluminada. Y podemos iluminar una escena, ajustando las luces y posicionándolas para crear un correcto esquema de iluminación, para lo cual debemos conocer los diferentes tipos de luces de que dispone el software y cuáles son sus características, entendiendo sus diferencias y para qué se puede utilizar cada una de ellas.

En algunos paquetes de software existe una luz por defecto que ilumina la escena que se está creando. En el momento en que se añade algún otro tipo de luz, esta luz por defecto desaparece para que no afecte al proceso creativo que estamos desarrollando.

En muchos softwares de animación 3D existen **dos grandes grupos de luces**:

- Luces estándar
- Luces fotométricas

Tal como veremos a continuación, las **luces estándar** son muy versátiles y pueden utilizarse para simular cualquier tipo de iluminación, desde el sol hasta una bombilla. El color de la luz, la intensidad y la caída son solo algunos de los parámetros que podemos controlar para obtener los mejores resultados. También tienen un proceso de *render* corto, algo a considerar cuando trabajamos en una producción. El único defecto, por poner alguno, es que **no están basadas en la iluminación física**, por lo que los valores con que controlamos los parámetros de este tipo de luces no se corresponden con el mundo real. Por tanto, los resultados que obtenemos son ficticios, ya que en el mundo real una luz nunca tendría este tipo de comportamiento.



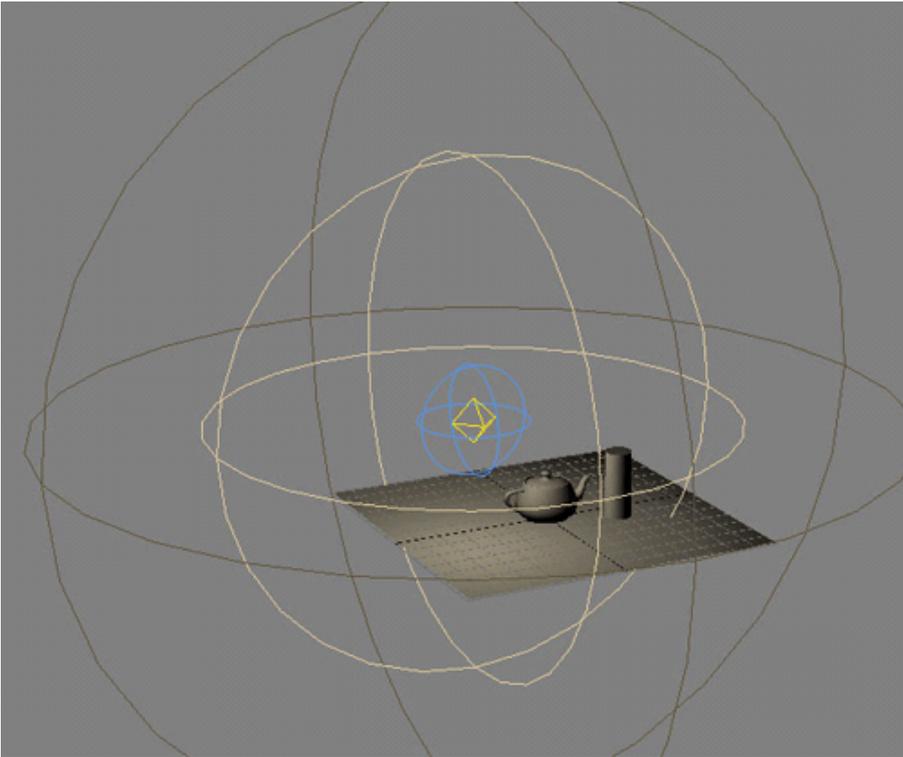
Por otro lado, las **luces fotométricas** no son tan flexibles. Podemos pensar que es una desventaja, pero ahí radica su potencia. Al contrario de las luces estándar, las luces fotométricas **están basadas en la iluminación física del mundo real** y están construidas alrededor de los parámetros de energía de la luz como la distribución, la intensidad y la temperatura de color. Esto hace que sean muy atractivas a la hora de generar una imagen real con el fin de obtener una muy buena aproximación a nivel físico en el proceso del *render*.

5.1. Luces estándar

5.1.1. Luz Omni

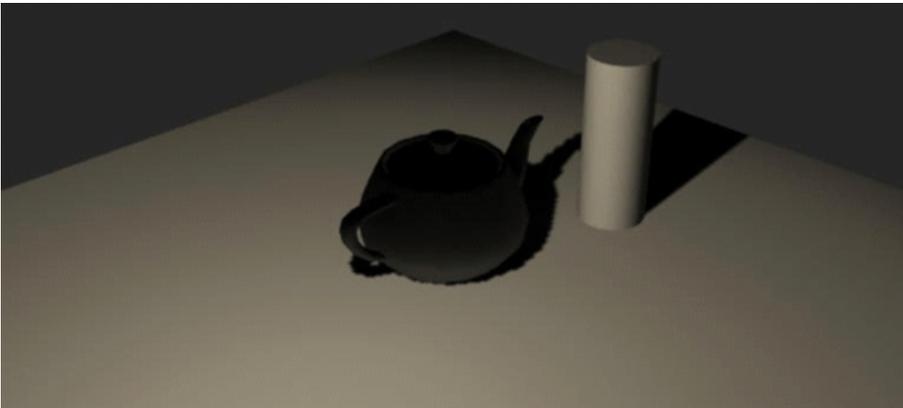
La **luz Omni** tiene una iluminación en que su punto de origen dispara la luz de forma radial, desde un punto central infinitamente pequeño. Se le denomina **Omni** porque distribuye la luz de manera omnidireccional a través de las tres dimensiones.

Son fáciles de utilizar, aunque en el mundo real no encontraremos luces que actúen de este modo, ya que la mayoría de las luces no emiten la luz en todas direcciones, especialmente las luces eléctricas, que tienen patrones de distribución definidos.



Con este tipo de luces, que normalmente se utilizan como luces de relleno⁽³⁾, una práctica habitual es, si el software lo permite, restringir los objetos que están iluminados por estas luces para tener una iluminación local controlada.

⁽³⁾Luz secundaria que complementa la luz principal.



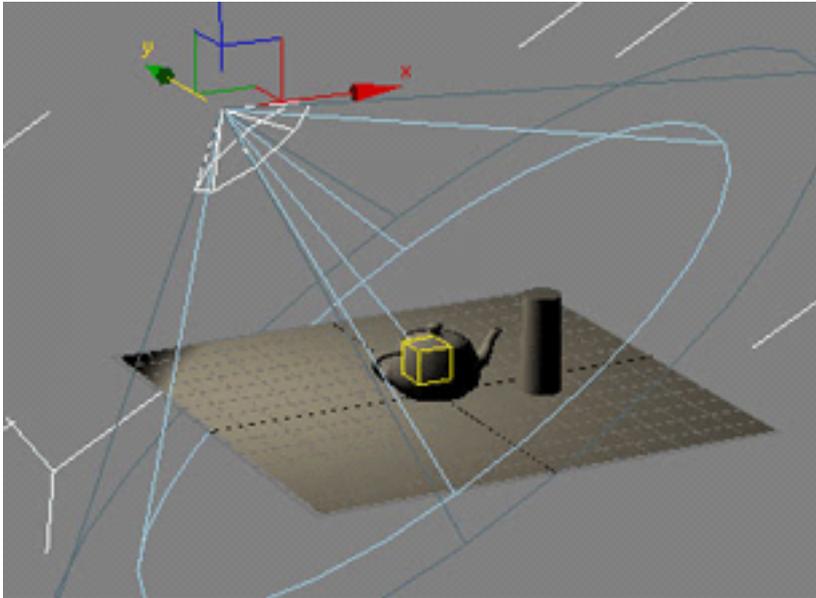
La luz solo afecta al suelo y al cilindro.

Esto quiere decir que desde el software, a través de los parámetros de las luces, podemos hacer que una determinada luz afecte a un determinado objeto o no. Esta característica se da en todos los tipos de luces.

Cuando estemos iluminando una escena, es muy fácil añadir este tipo de luz más veces del que lo necesita la escena. Hemos de tener en cuenta que una luz Omni equivale a seis luces Spot, por lo que el tiempo de *render* se *verá* aumentado por el hecho de utilizar este tipo de luces. Por este motivo, podemos utilizarla, pero siempre hay que tener en cuenta que si el objeto a iluminar solo necesita una luz Spot en lugar de una Omni, es mejor no añadir luces de más.

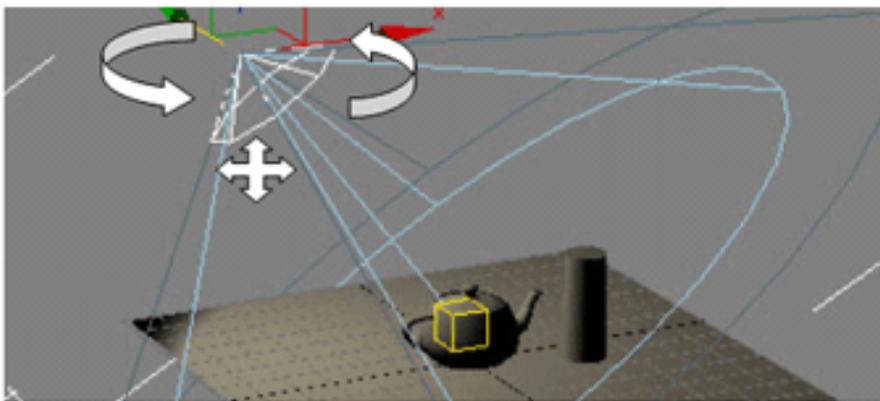
5.1.2. Luz Spot

La principal característica de este tipo de luces es su facilidad de control en términos de dirección. Al igual que las luces Omni, las luces Spot emiten su luz desde un punto infinitamente pequeño, pero a diferencia de estas, su iluminación está confinada dentro de un cono.

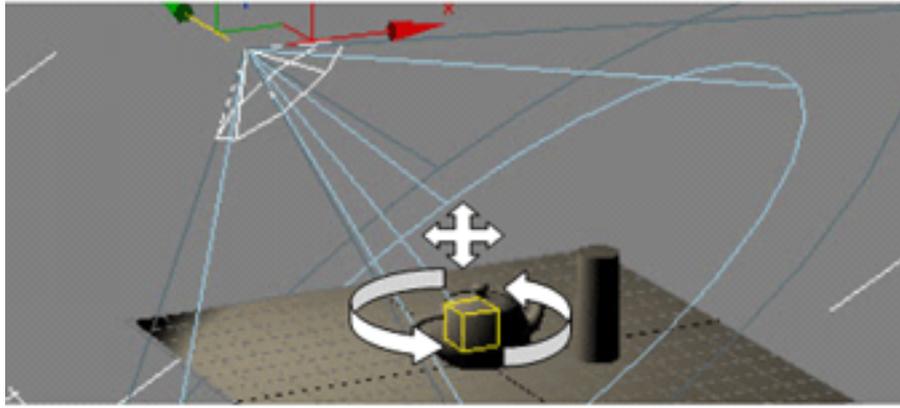


Este tipo de luces necesitan colocarse en la escena de una manera específica que se puede realizar de distintos modos:

- **Método A:** Colocar la luz libremente y rotarla hasta que ilumine el objeto correctamente. No es el método más simple, pero quizás es el que más se acerca al comportamiento de una luz real.



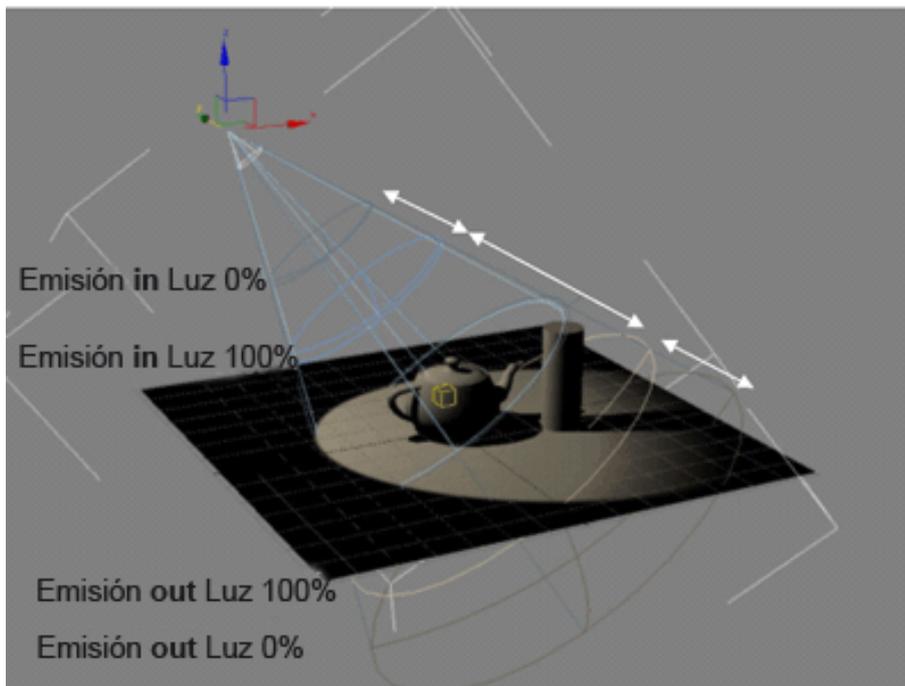
- **Método B:** A menudo da más buenos resultados darle a la luz un objetivo, con el cual, una vez puesta la luz en su origen, podemos apuntar hacia el objeto que hay que iluminar. Alternativamente, también podemos vincular la luz al objeto 3D, para que, si movemos la luz, no perdamos el objeto que estamos iluminando; y a la inversa, si el objeto se mueve, también se mueva la luz.



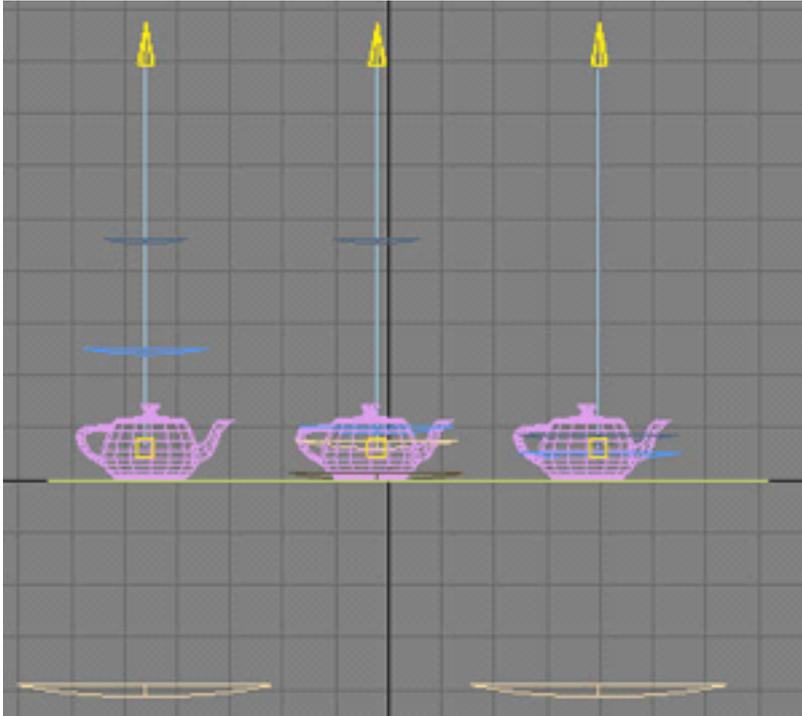
Al igual que manipulamos la orientación de la luz Spot, también podemos controlar su cono, definido en dos valores angulares:

- Uno define el punto de iluminación máximo.
- El otro define la caída.

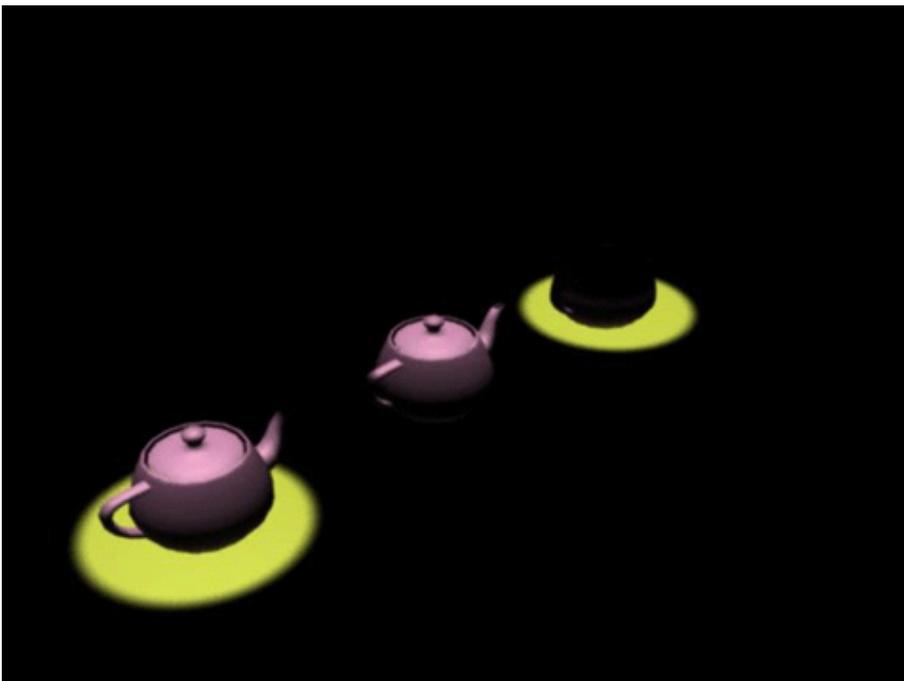
La intensidad de la luz cae gradualmente del 100% (en el punto iluminación máximo) al 0% en el ángulo de caída.



Variando estos dos valores, controlamos la suavidad de la luz en los límites del cono. Con una pequeña diferencia de valores, la luz aparece definida duramente como un círculo o se va difuminando suavemente. Esta es una técnica muy efectiva para definir una iluminación tenue en regiones muy específicas.



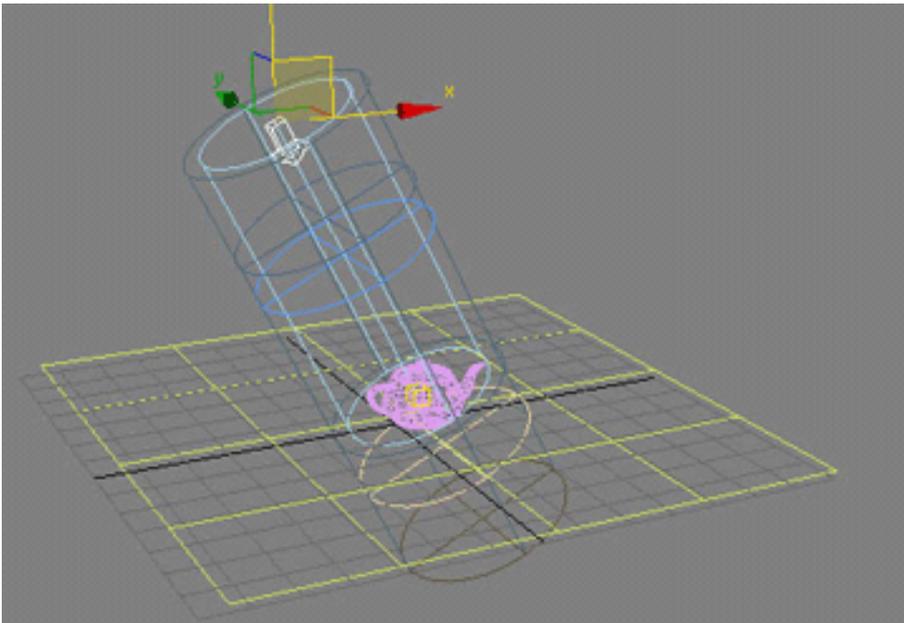
Vista visor con diferentes atenuaciones.



Resultado.

5.1.3. Luz Direct

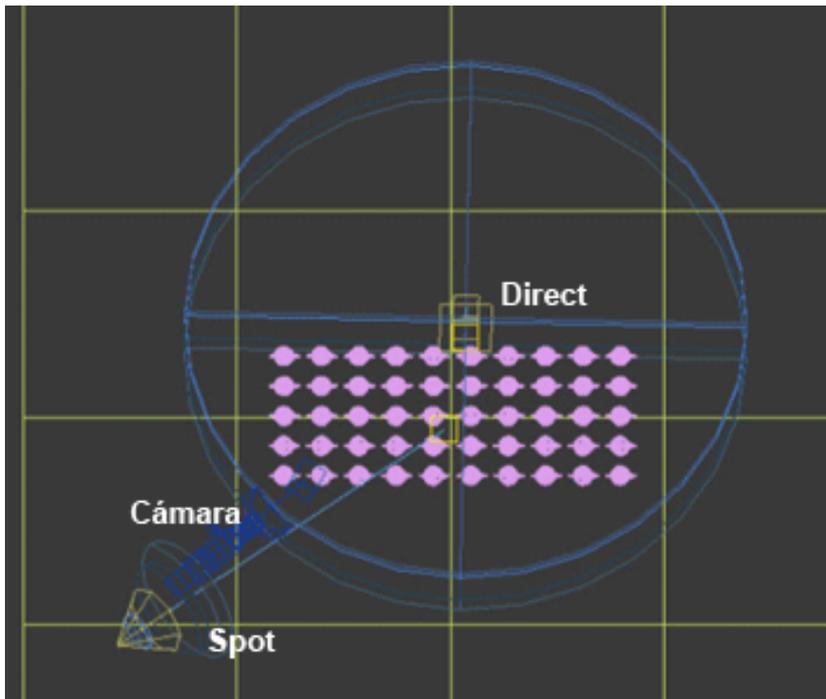
Las **luces Direct** son muy parecidas a las luces Spot, pero con la diferencia de que la luz se proyecta como rayos paralelos en una única dirección. Estas luces se utilizan normalmente para simular la luz del sol.



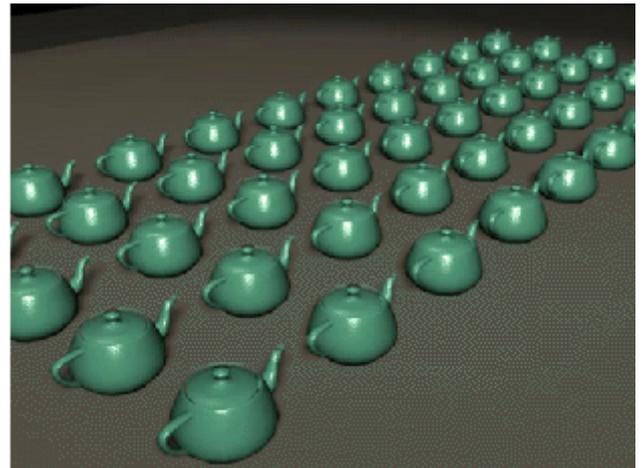
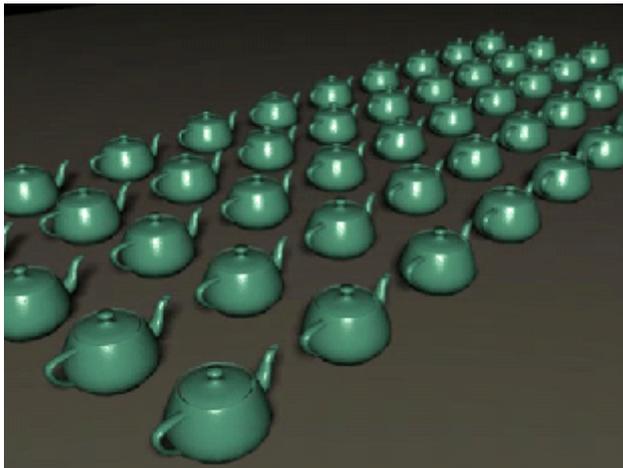
La forma de controlarlas es también similar al caso de las luces Spot, es decir, o bien rotando la luz por ella misma o bien moviendo el objetivo hacia el objeto a iluminar.

Estas luces normalmente se utilizan para simular la luz del sol. Pero no solo se utilizan para eso, ya que a menudo también se usan como luces de relleno. También se utiliza para completar la luz ambiental, de manera que se pueden iluminar grandes áreas, la cual produce una distribución de la reflexión de la luz de manera uniforme.

Veamos un ejemplo: Aquí tenemos una escena con un número de objetos puestos en fila y con dos luces, una Spot de luz principal, en el mismo ángulo que la cámara, y otra luz Direct puesta detrás de los objetos en vertical y con poco ángulo para completar la iluminación.



Vista top (cenital).

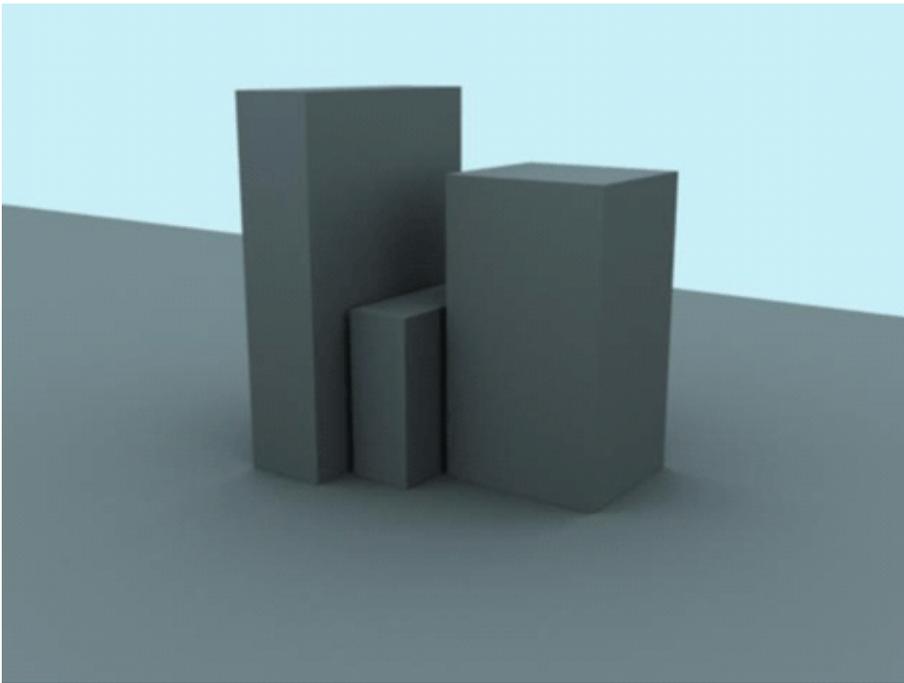


A la izquierda, sin luz Direct y a la derecha, con luz Direct.

5.1.4. Luz Sky Ligth

La luz **Sky Light** se utiliza normalmente para iluminar escenas exteriores de día. Su luz actúa como si toda la escena tuviera una cúpula por encima del escenario que iluminara todos los objetos.

Este tipo no tiene controles de sombra, las sombras que aparecen se calculan automáticamente en el proceso del *render*.



Sky Ligth sin *light tracer*: 1 minuto 40 segundos.

Cabe mencionar que para obtener los mejores resultados en el mejor tiempo posible, es recomendable utilizarla conjuntamente con uno de los módulos de simulación de iluminación global llamado **Light Tracer**, que a través de sus parámetros nos permite obtener una imagen con una alta calidad, aunque no con un cálculo físicamente real.

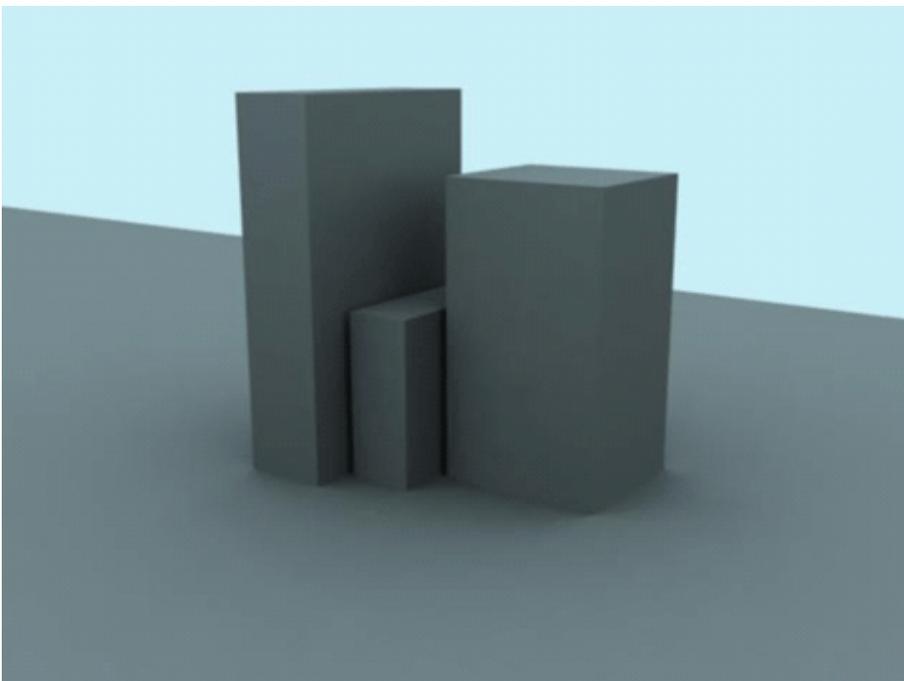


Imagen con *light tracer* (valores por defecto): 8 segundos.

La luz Sky Ligth tiene algunos controles de color e intensidad, aunque podemos asignar una imagen al parámetro de color y así, en lugar de proyectar un único color, proyecta los colores de la imagen.

Cabe destacar que las **imágenes HDR** (*high dynamic range imaging*) funcionan particularmente bien en estos casos. Con las imágenes HDR se consigue iluminar correctamente todas las zonas de una imagen, aunque estas contengan diferentes luminosidades; lo que se llega a conseguir es que, a pesar de los diferentes niveles de luminosidad de la escena, se obtenga un gran detalle en toda la imagen. Esta técnica se utiliza normalmente para hacer que un objeto refleje el entorno sobre el que está ubicado.

Por ejemplo, si tenemos que integrar un objeto 3D en una escena de una película, podemos tener el escenario grabado en una imagen HDR, que tiene toda la luz tal y como se grabó el día de la grabación; al utilizar este escenario en el software 3D, vemos cómo su luz se integra perfectamente en el objeto, aunque el escenario sea una imagen y el objeto sea un polígono 3D.



Imagen con teteras en 3D y entorno imagen HDR.

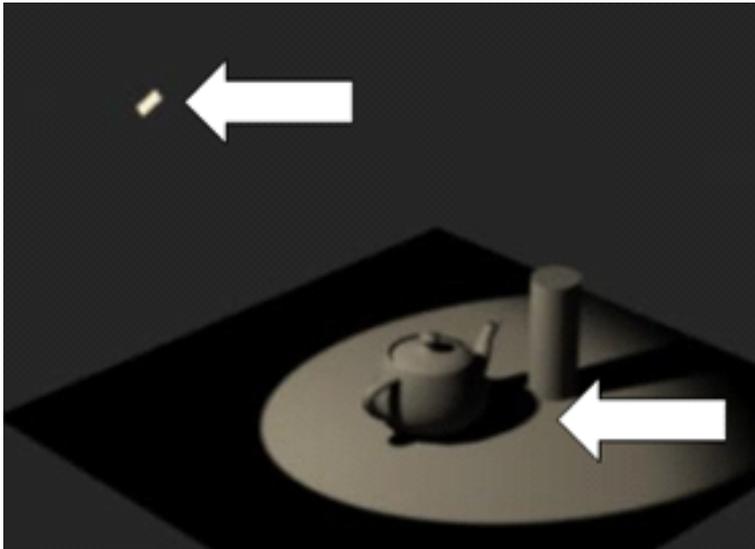
5.1.5. Luz de área

A diferencia de las luces Omni, Spot y Direct, que emiten su luz desde un punto infinitamente pequeño, las **luces de área** nos proveen de una luz con un tamaño físico determinado, pudiendo iniciarlo a través de un círculo o de un rectángulo. Este hecho repercute directamente en la calidad de la generación de las sombras.

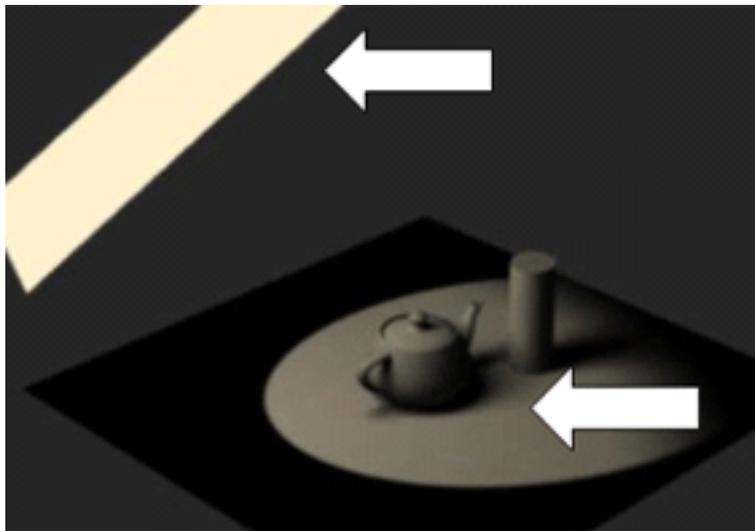
Fijémonos en el ejemplo. Hemos generado el mismo *render* pero con tamaños diferentes de la luz de área utilizando, en este caso, un rectángulo; además, hemos hecho que nos "rendee" la luz para ver la diferencia de tamaño. Observemos la diferencia de calidad en las sombras.

Ejemplo

Es como si pusiéramos papel de cebolla delante de un foco para dispersar la luz.



Tamaño: 5 x 5.



Tamaño: 90 x 45.

Como se puede ver en el ejemplo, cuanto mayor sea la luz de área, más suave serán las sombras, aunque tendremos menor dominio de la iluminación. La luz empezará a rodear los objetos que son mayores.

Al contrario, si la misma luz se va haciendo cada vez más pequeña, sus sombras cada vez serán menos suaves, llegarán a tener las aristas duras y podrán llegar a ver el efecto de *aliasing* (diente de sierra).

Con las luces de área obtenemos unos buenos resultados. El único problema es que necesitan de una carga computacional bastante elevada y esto nos lleva a tiempos de cálculo muy largos. Por este motivo, normalmente se utilizan en el *render* final de producción o para generar imágenes fijas.

5.2. Luces fotométricas

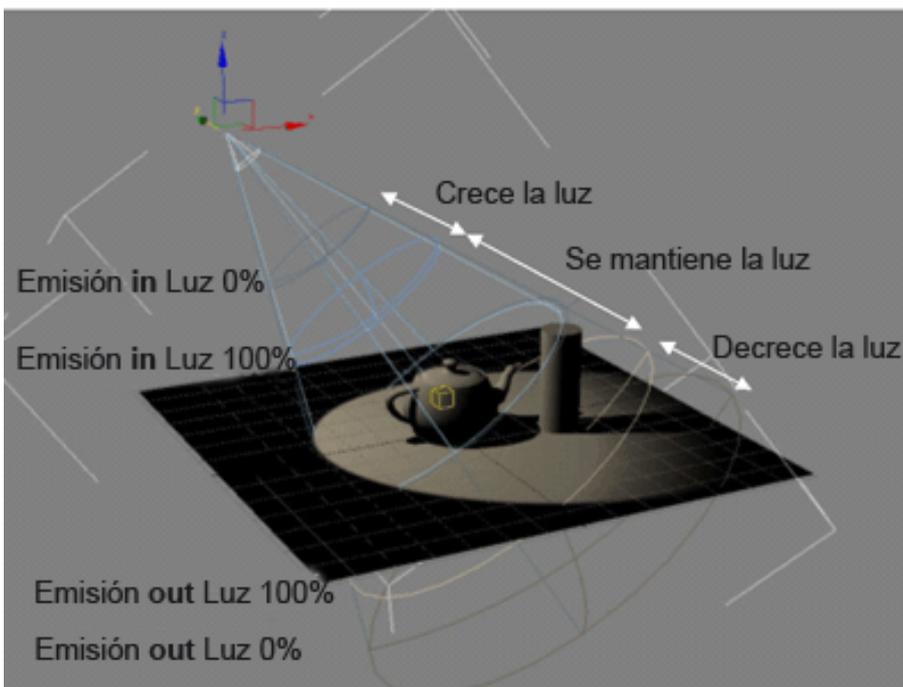
Antes de empezar este apartado cabe decir que **no todos el software 3D ofrece la posibilidad de trabajar mediante luces fotométricas.**

La **fotometría** es una medida de las propiedades de la luz. Cuando utilizamos **luces fotométricas**, el programa nos da una simulación basada en la propagación de las características de la luz seleccionada a través de su entorno real.

El resultado no es solo una luz muy realista, sino que además es **físicamente exacta**, por lo que las escenas obtenidas con este tipo de luces necesitan de medidas correctas si lo que se quiere es obtener un *render* con un *look* realista.

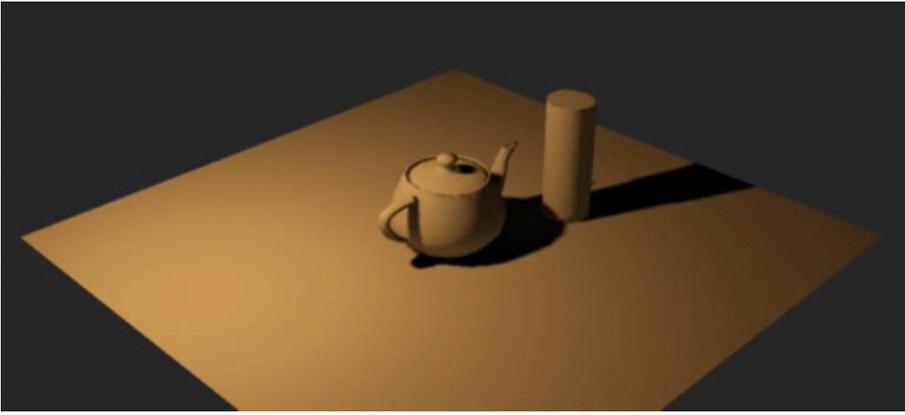
Ejemplo

Por ejemplo: una bombilla de 40 W, una halógena de 50 W.



Rangos de atenuación de luz.

Podemos imaginarnos una bombilla de 40 W que ilumina una habitación, y la misma bombilla que ilumina un estadio de fútbol; obviamente, en el segundo caso no se verá nada. Es por eso por lo que es tan importante utilizar unas buenas medidas para el tipo de luz que queramos usar.



Escena iluminada con una bombilla de 40 W.

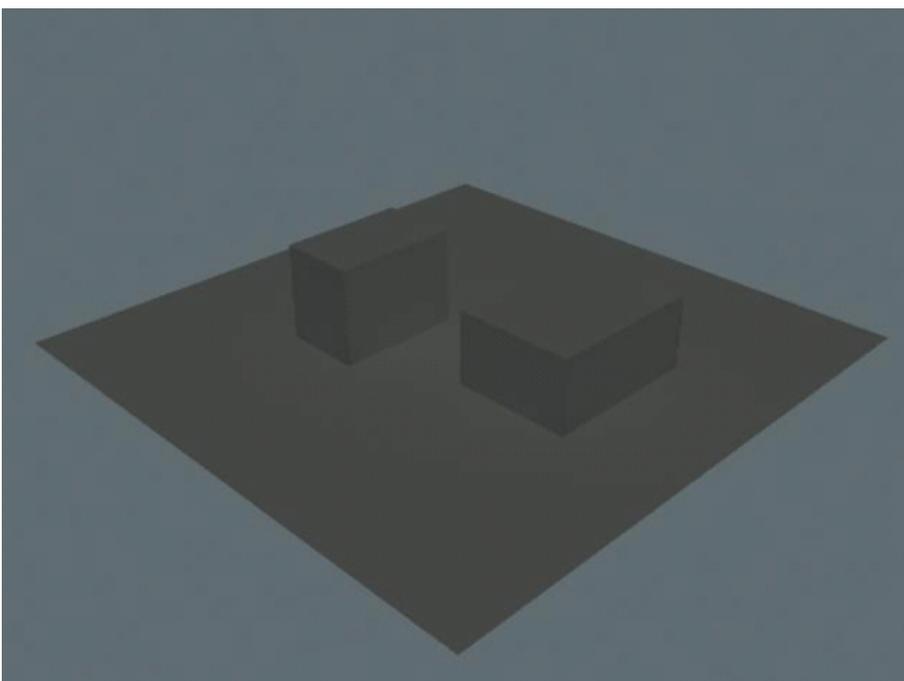
6. Las sombras

6.1. La importancia de las sombras

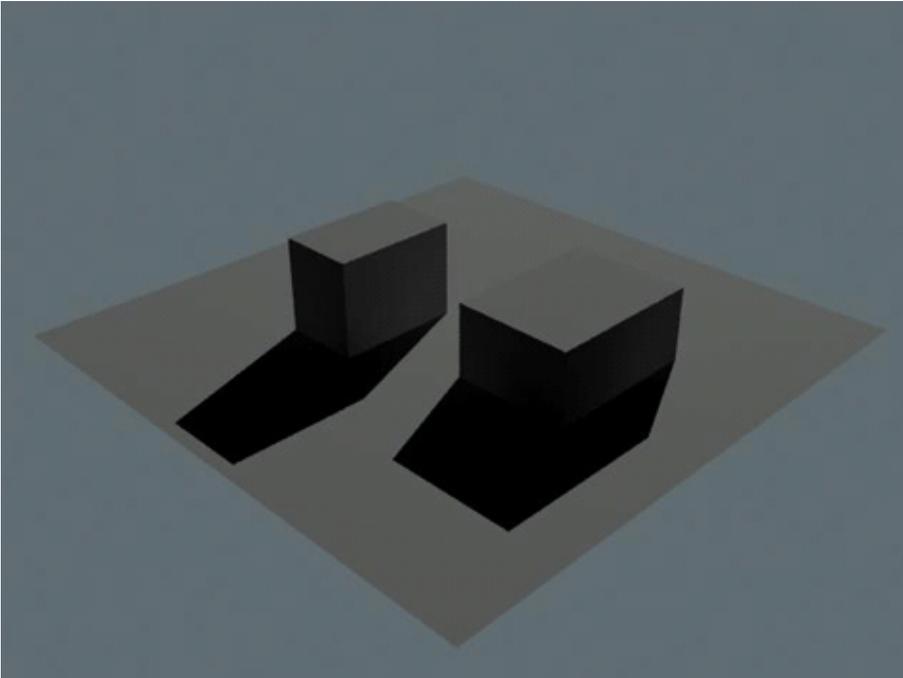
Las sombras se podrían considerar como algo donde las cosas se ocultan o se pierden, pero constituyen un elemento de iluminación que actualmente es vital para la composición y definición de las relaciones espaciales. Es por eso por lo que no podemos obviar el concepto de sombra.

El ojo humano toma mucha información de las sombras, no solo para saber dónde está colocado el emisor de luz, sino también para saber de qué está hecho el objeto, cuán lejos está y cómo se relaciona espacialmente con su entorno; de ahí la importancia de generar unas buenas sombras cuando estemos iluminando una escena. Las sombras varían muchísimo en su calidad y forma según sea el entorno de iluminación. La habilidad para reproducir estas características de una forma correcta es uno de los puntos fuertes para obtener imágenes fotorrealísticas.

La **función más obvia de una sombra** radica en darnos una idea visual en cuanto a **profundidad** y **posición**. Sin sombras, tal como vemos en la siguiente figura, es difícil juzgar donde están localizados los elementos con relación a su entorno. El tamaño relativo de los cubos nos da una idea sobre su profundidad en la imagen, pero sin saber si todos los cubos tienen el mismo tamaño no podemos asegurarlo.



Sin embargo, si están las sombras, es fácil intuir la posición de los cubos. El tamaño de los diferentes objetos es aparente y podemos ver cuáles están suspendidos en el espacio y cuáles están en el suelo.



En esta última imagen también podemos ver que las sombras ayudan a mejorar el rango tonal del *render*, es decir, a discriminar los objetos que aparecen en la escena aunque sus colores sean muy parecidos; fijémonos en que la base y las dos cajas tienen el mismo color y sin sombras es bastante difícil diferenciarlos.

Si queremos que la audiencia acepte una escena que es imposible, las sombras son una gran herramienta que nos ayudan a convencer de que lo que está viendo es lo que está ocurriendo. Sin la sutil aplicación de las sombras, la escena más fotorrealista será poco creíble: el ojo humano está tan acostumbrado a ver sombras que percibe enseguida un objeto que no las tiene.

6.2. Tecnología de las sombras

Para conocer cómo funcionan las sombras y qué tecnología se utiliza para generarlas, antes tenemos que estudiar qué métodos las generan.

Obviamente, podemos suponer que para que en una escena haya una sombra, previamente tiene que existir una luz y un objeto que se interponga ante dicha luz para generar la sombra.

En el mundo 3D, la manera en la que se reparte la luz desde el foco hasta el objeto iluminado y que genera la sombra se puede dividir en **dos tipos de algoritmos**:

- Algoritmos de **iluminación directa**.

- Algoritmos de **iluminación global** (GI).

Cada uno de estos algoritmos recrea la luz y las sombras de una manera diferente, por lo que es importante conocer cómo funciona cada tipo.

6.2.1. Iluminación directa

Este primer método se compone de una escena con luces y objetos. Las luces reparten la luz directamente sobre los objetos, a menos que haya algún objeto en el camino, en cuyo caso se calculan las sombras.

La **iluminación directa** solo calcula la luz que es recibida sobre un objeto por una fuente de luz. La luz que rebota en el suelo o en otras superficies y vuelve al entorno no se calcula con este método.

Normalmente, al utilizar esta técnica es más fácil tener control sobre las luces, puesto que es el operador quien decide qué se ilumina y con qué luz. El problema con el que nos podemos encontrar es que acabemos por tener muchísimas más luces en la escena de lo que habíamos planeado en un principio.

Por otro lado, si utilizamos la iluminación directa para calcular una escena con pocas luces y con el reparto de sombras por defecto, normalmente obtendremos unas sombras negras puras (fijémonos en la imagen anterior); de ahí la necesidad, en determinados casos, de utilizar **iluminación global**.

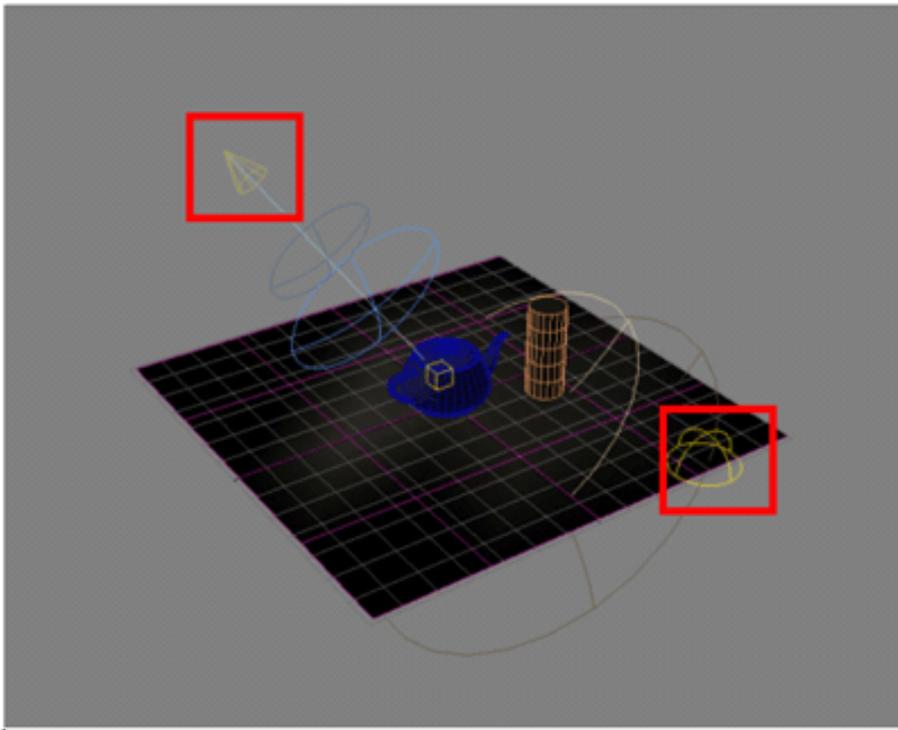
6.2.2. Iluminación global

La **iluminación global** (GI) intenta modelar no solo la componente de luz directa, sino también la luz indirecta que se introduce cuando un rayo de luz golpea una superficie y rebota volviendo a la escena o hacia otro objeto.

En la vida real, los objetos que no están directamente iluminados son menos visibles pero no invisibles; en el mundo 3D no, puesto que si no está dentro de un entorno iluminado, el objeto no aparece en el *render*. Para intentar solucionar este defecto podríamos intentar añadir un poco de luz ambiente a la escena, pero como ya hemos visto en el capítulo anterior, esto nos teñiría la escena completamente. Esta componente de luz ambiente no nos permite cambiar parámetros de intensidad y color en el mundo real, por lo que tenemos que recurrir a lo que denominamos iluminación global.

Podríamos pensar que necesitaríamos colocar cientos de luces para que la iluminación fuera perfecta, que las sombras fueran suaves, y que la luz tuviera ese efecto fotorrealístico, pero la verdad es que los mejores resultados normalmente los obtenemos utilizando pocas fuentes de luz.

Así, en lugar de utilizar muchas luces para iluminar cada objeto de una escena y un motor de *render* normal, utilizamos una única luz para generar la iluminación global y un motor de *render* que soporte iluminación global. De esta manera, aprovechamos las propiedades de los materiales de los objetos de la escena para hacer que un único emisor emita luz y que esta se propague a través de los rebotes entre los objetos dispersos en la escena.



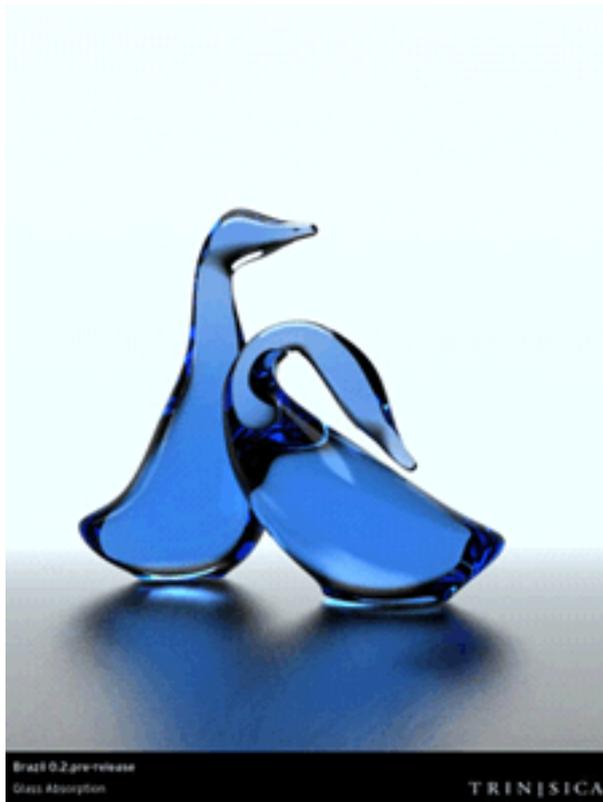
Sin embargo, esta técnica tiene un problema y es el tiempo de proceso que necesita, puesto que realizar semejante cálculo conlleva una carga computacional bastante elevada. Además, perdemos cualquier control que pudiéramos tener sobre la iluminación de los objetos, como en la iluminación directa.

6.2.3. Utilización de las sombras

El hecho de que la generación del sombreado de una escena sea uno de los puntos más costosos a la hora de calcular una escena, no es el único punto a tener en cuenta a la hora de iluminar una escena. Las consideraciones visuales, a veces, pueden dictar que simplemente una o dos luces son las necesarias para proyectar sombras. Por este motivo debemos hacernos una serie de preguntas.

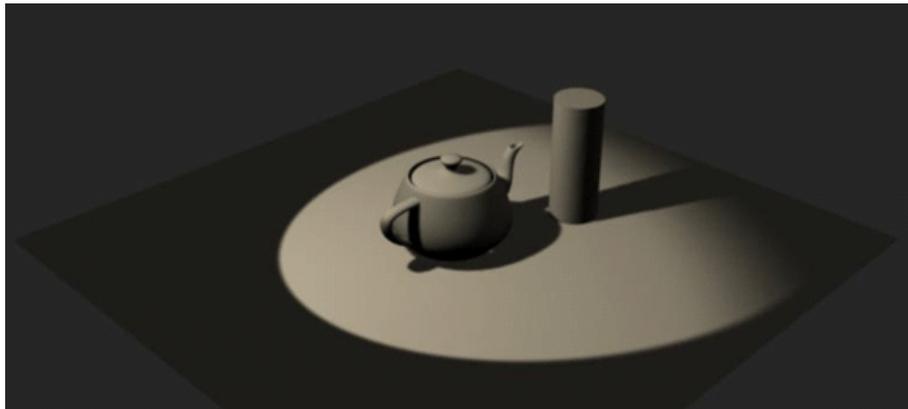
- ¿Es necesaria una sombra para dar realidad a la escena?
- ¿Con un solo sombreado podemos iluminar correctamente toda la escena?

- ¿Qué sombra necesito utilizar para generar determinado tipo de efecto?



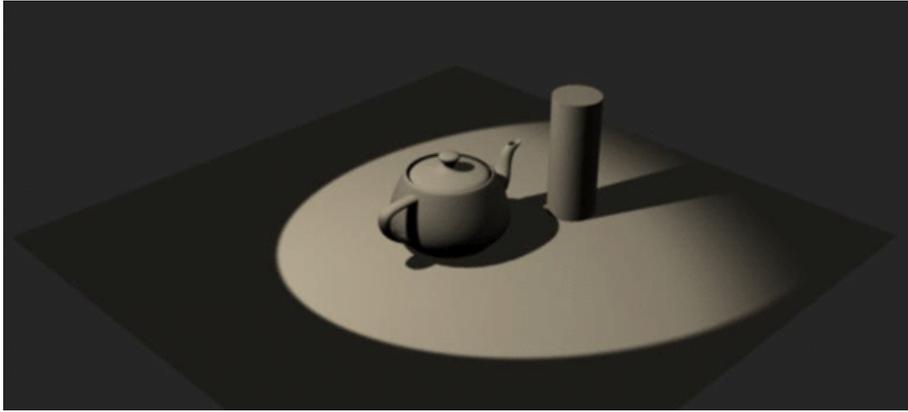
Para contestar a estas preguntas, necesitamos conocer qué tipos de sombras disponemos en un mundo 3D y cuáles son las características que nos ofrece cada tipología:

- Generación por **mapa de sombras** (*shadow map*).



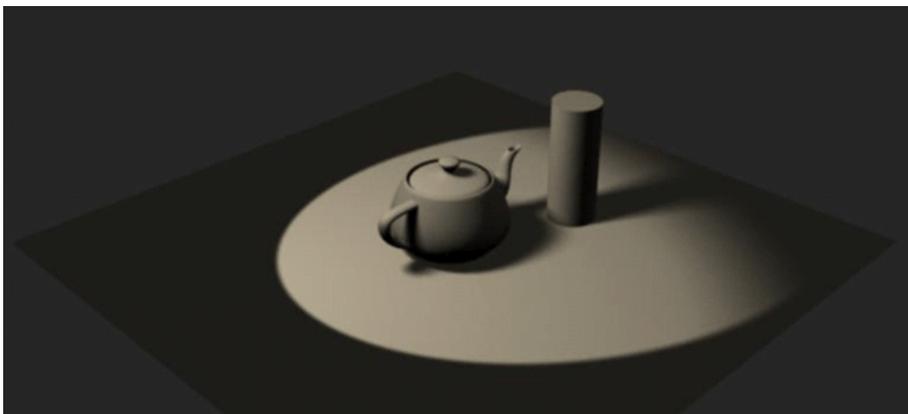
Shadow maps.

- Generación por **traza de rayos** (*raytraced shadow*).



Raytraced shadows.

- Generación por áreas de sombras (*area shadows*)



Area shadows.

Podríamos pensar que con solo tres tipos de sombras no hay mucho donde escoger, pero la gama de variedades que podemos producir a nivel de suavidad, forma, calidad, color y, lo más importante, tiempos de *render*, es altísima.

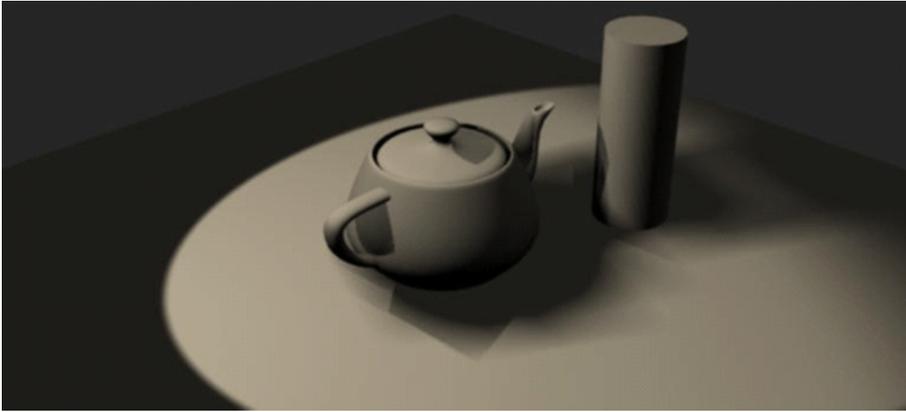
Shadow maps

Este tipo de algoritmo utiliza una imagen (*bitmap*) que genera el proceso de *render* durante la etapa de cálculo de la escena.

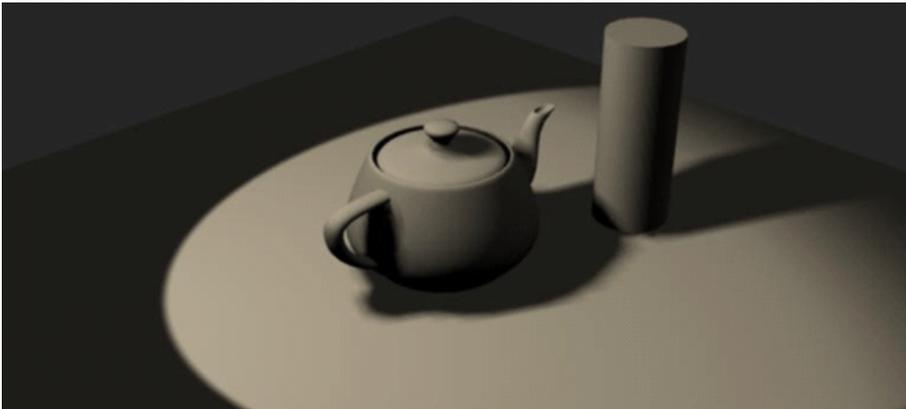
Esta imagen, llamada *shadow map* (o *depth map* en algunas aplicaciones), recrea lo que se denomina un **mapeado de profundidades**, en el cual realiza un cálculo donde intervienen números que representan las diferentes distancias desde la luz hasta los objetos en los que se generan las sombras. Con esta información precalculada, el proceso de *render* no reparte la luz más allá de las distancias especificadas en este mapa, haciendo aparecer las sombras que han sido calculadas.

Este algoritmo genera sombras suaves, pero consume mucha memoria si se desean obtener buenos resultados.

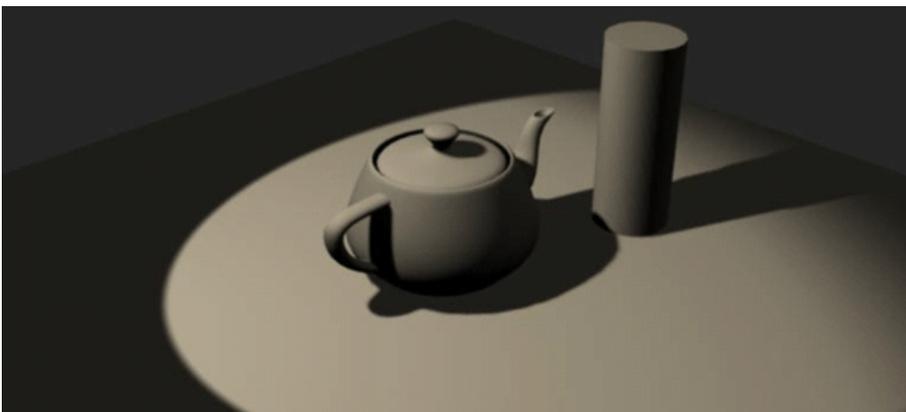
Por otro lado, las *shadow maps* tienen más características y funciones, y normalmente son un poco justas en su configuración inicial, por lo que requieren de un ajuste preciso para la obtención de unas buenas sombras. La razón de este ajuste es que las *shadow maps*, tal como se ha comentando, son realmente imágenes, por lo que necesitamos tener en mente su dimensión con relación a la distancia de la sombra y el detalle requerido por esta misma.



Shadow map con un tamaño de 16.



Shadow map con un tamaño de 64.



Shadow map con un tamaño de 256.

Si la resolución es demasiado pequeña, la sombra puede dar la sensación de que se vea mucho un efecto bloque, la sombra aparece muy basta y pixelizada cuando "rendeamos" y será necesario aumentar el tamaño y el valor de rango de muestra (*simple range*) del mapa. Sin embargo, cuanto mayor es el tamaño, más memoria requerirá y más tiempo consumirá a la hora de hacer el *render*.

Una de las ventajas de esta técnica es que si tenemos suficiente RAM para mantener la escena entera (incluyendo las *shadow maps*) en memoria, las sombras no afectaran al rendimiento. Pero si el *render* necesita del fichero de intercambio de memoria de Windows (memoria ubicada en el disco duro, acceso más lento que la memoria RAM), el tiempo de *render* cae estrepitosamente.

La llave para controlar los tiempos de render y la memoria con las *Shadow Maps* depende de varios factores. Como podemos ver en la siguiente tabla, ocho luces con un mapa de sombras de 512 requieren 8 MB de memoria de *render*. Esto, comparándolo con una luz con una resolución de 4096 (8×512), la cual requiere 64 MB, 8 veces la cantidad inicial. Por lo tanto, es mejor utilizar más luces que iluminen menos objetos con mapas más pequeños que pocas que iluminen muchos objetos con mapas más grandes.

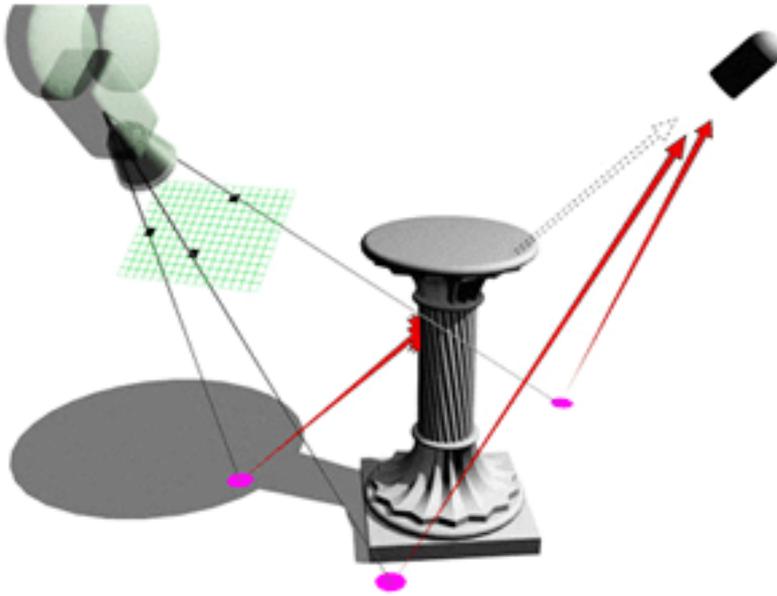
Requerimientos de memoria en mapas de sombras (*shadow maps*)

Resolución mapa sombras 2×4 = Requerimiento de memoria	
512	1 MB
1024	4 MB
2048	16 MB
4096	64 MB

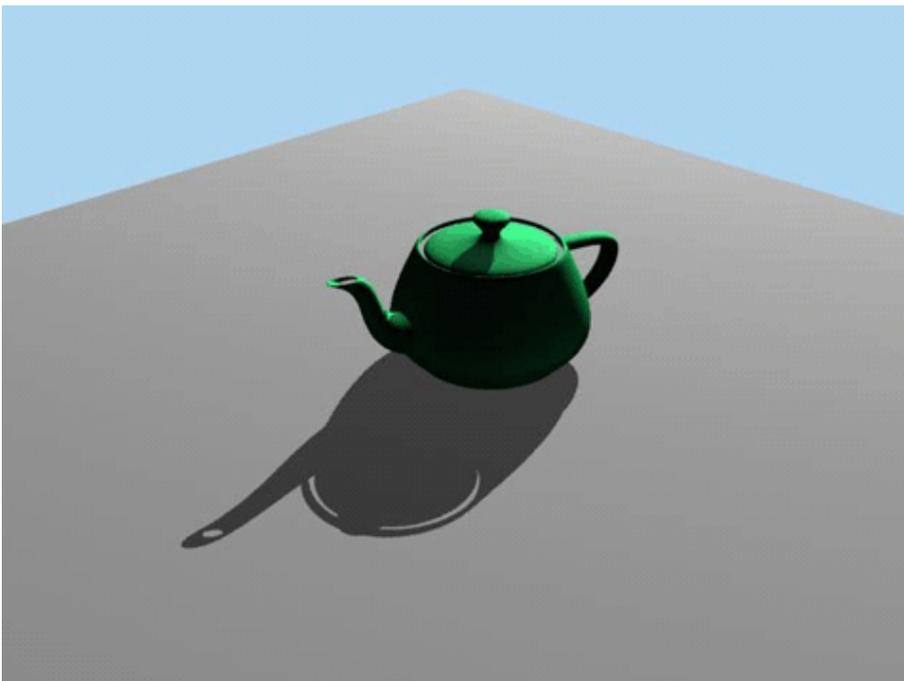
Alternativamente, una luz con las sombras apagadas pueden iluminar un área entera, y entonces podemos colocar luces con sombras selectivamente, en las zonas donde son necesarias para ahorrar memoria.

Raytraced shadows

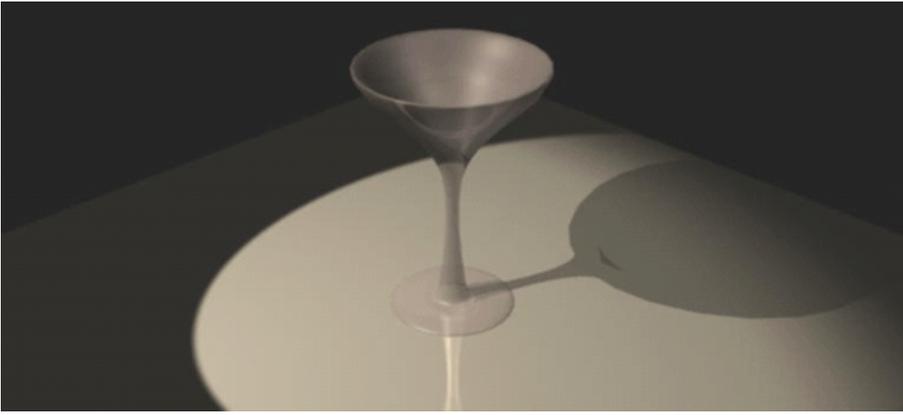
En este segundo método, las sombras se generan trazando rayos emitidos desde una fuente de luz. Este proceso, que se denomina *raytracing*, se realiza siguiendo los rayos desde la fuente con un software que es capaz de calcular con gran precisión qué objetos están en la zona de iluminación y, por lo tanto, cuáles son los que generan sombras.



La característica principal de este tipo de algoritmo es que genera unas sombras muy duras y definidas.



Es importante destacar de este método que consume muchos recursos y tiempos de *render* largos. A pesar de ello, es conveniente usarlo en determinados casos como, por ejemplo, en el de las sombras de un objeto de cristal, ya que permite obtener muy buenos resultados.



Area shadows

Este tercer método persigue lograr recrear el efecto de sombrear un área específica donde se proyectaría la sombra de un foco. No simplemente sombrear los píxeles exactos que se generarían con el cálculo del algoritmo, sino también el área circúndate alrededor de estos píxeles.

Con el fin de recrear esta área, existen unos parámetros en los que se debe especificar las dimensiones de una "luz virtual" con la que se falseará dicha área. Cabe destacar que existen diversos modos de creación: rectángulo, disco, caja... Cada uno de ellos repercutirá en el resultado obtenido.

7. Técnicas de iluminación básicas

En el proceso de aprender a iluminar, es importante conocer las técnicas básicas más utilizadas en el mundo del cine y la televisión. Conociendo estas técnicas y sus particularidades, podremos iluminar casi cualquier escenario que se nos presente.

7.1. Iluminación en tres puntos

Una de las técnicas más frecuentes a la hora de iluminar una escena es la **iluminación en tres puntos**, la cual, a partir de tres luces, consigue iluminar una escena con unos resultados bastante satisfactorios. La convención de iluminación en tres puntos es una de las más firmemente establecidas en cinematografía y una de las más utilizadas en el mundo 3D.

Una de las principales razones para utilizar esta técnica es que ayuda a enfatizar las formas tridimensionales de una escena.

La experimentación con este método simple puede llevarnos a todo tipo de variaciones en cualquier esquema de iluminación por ordenador, por lo que aprender cómo obtener el máximo rendimiento de este método nos puede dar un valor añadido para todo tipo de situaciones.

En una escena en 3D tenemos que asegurarnos de que las formas del objeto tridimensional están bien iluminadas desde todos los ángulos con el fin de realzar la sensación tridimensional de la composición. La última cosa que queremos para nuestra composición es que tenga un aspecto plano en la pantalla, y este método de iluminación nos permite corregir este defecto, casi como si estuviéramos modelando la luz.

Veamos un ejemplo.

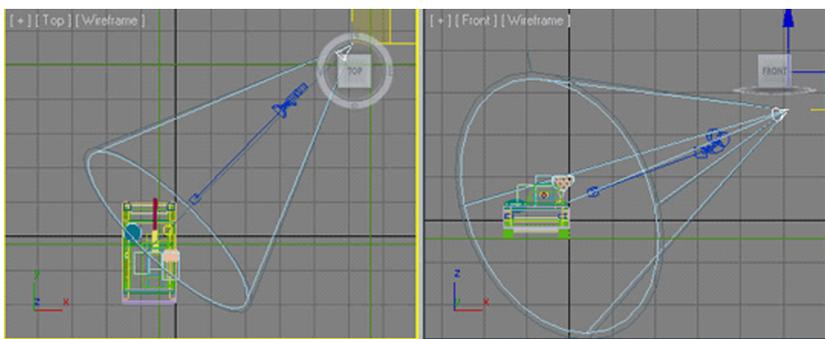


Escena sin iluminación.

Tenemos una escena en que se ha modelado un tanque y tenemos que iluminarlo. La primera imagen está realizada solo con un punto de luz; vemos que es bastante plana y no conseguimos diferenciar bien las formas del objeto.

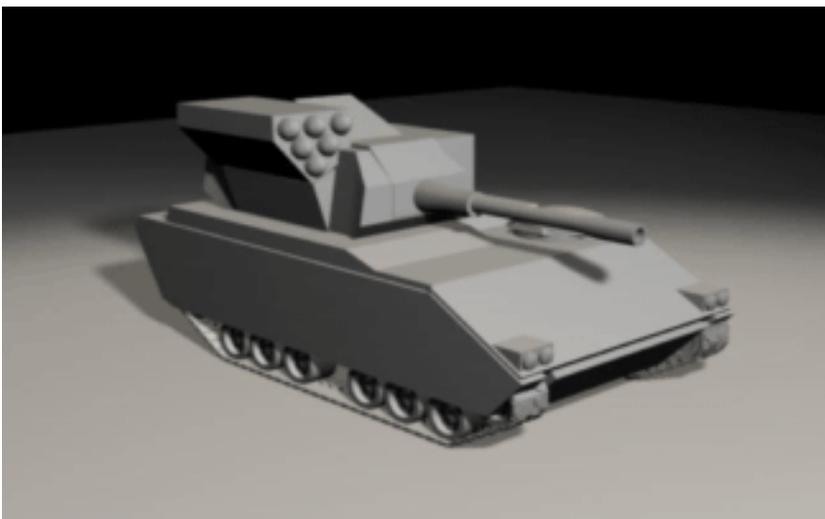


Iluminación con un punto de luz en el mismo ángulo que la toma de cámara.



Vemos que al estar la luz colocada a la misma altura que la cámara, casi no se generan sombras visibles.

Mientras que al utilizar la técnica de tres puntos, diferenciamos los volúmenes y tenemos la sensación de profundidad.



Este método de iluminación involucra tres puntos de luz, cada uno con su función específica. La **luz principal** es la luz dominante y provee a la escena de la iluminación principal, además de repartir las sombras más obvias. Esta luz se puede representar por luces interiores para escenas nocturnas, luz solar

para exteriores o luz solar para escenas en las que entra la luz por una persiana de una ventana. Esta luz define la iluminación dominante, dando una idea clara de la localización del punto de luz.

La función de las dos luces restantes, las denominadas luces de relleno primaria y secundaria, es modelar la iluminación indirecta que se produce por el rebote de los rayos de la luz principal en las superficies del entorno.

La **luz de relleno primaria** se coloca normalmente en el lado opuesto del sujeto, en referencia a la luz principal, y su función es abrir la iluminación en el lado del sujeto que está en sombra y reducir la densidad de sombras.

Para ayudarnos a separar al sujeto del fondo, entra en escena la **luz de relleno secundaria** (o **luz trasera**), que nos da profundidad a la escena. Esta luz nos permite iluminar la parte trasera del sujeto y crea un sutil efecto de resplandor en los bordes del sujeto que nos ayuda a dar definición a la escena.

Con relación a las sombras ya hemos comentado que una de las ventajas de estar en un mundo 3D es que podemos apagar o encender las sombras cuando queramos. Una configuración común en escenas sencillas suele ser activar las sombras en la luz principal y desactivarlas en las luces de relleno. Sin embargo, si necesitamos sombrear una escena más compleja, seguramente necesitaremos activar las sombras en todas las luces; en este caso, seremos nosotros mismos quienes juzgaremos si son o no necesarias sombras extra.



Escena iluminada con todas las sombras de los focos activadas.

Tener luces de relleno con sombras es particularmente necesario si la luz principal se ve obstruida en algún punto de la animación, en la que se ve la imagen plana y uniforme. Estas sombras secundarias añaden profundidad y variación a la imagen, dos aspectos que proporcionan un sentido de vida.

Cabe destacar que hay que tener cuidado a la hora de tener diferentes fuentes de luz con sombras, especialmente si las sombras vienen de distintas direcciones porque eso producirá resultados que a nivel visual pueden distraer al es-

pectador. Además, si nos fijamos en el mundo real, la mayoría de sombras que vemos son con bordes suaves y sutiles, de modo que con un par de sombras a menudo ofrecemos un *look* lo suficientemente convincente.

7.1.1. Luz principal

La **luz principal** es el foco de iluminación que más influye de las tres luces involucradas y su intensidad es mayor que la de cualquier otro foco.

Esto significa que esta luz creará la iluminación más remarcable y las sombras más definidas, cuyo ángulo, densidad y suavidad, nos darán una idea del tipo y la localización de su fuente, al igual que nos servirán para estimar la hora del día, si por ejemplo esta luz representa el sol. Por esta razón, escoger un buen ángulo de la luz principal con relación a la cámara es de vital importancia.

Cuando trabajamos con iluminación en tres puntos, la cámara normalmente se coloca primero, con la luz principal siguiéndola de cerca por detrás. Si realizamos cambios en el ángulo de cámara debido a las diferentes tomas de la escena, se requerirá de cambios sutiles en la configuración de iluminación.

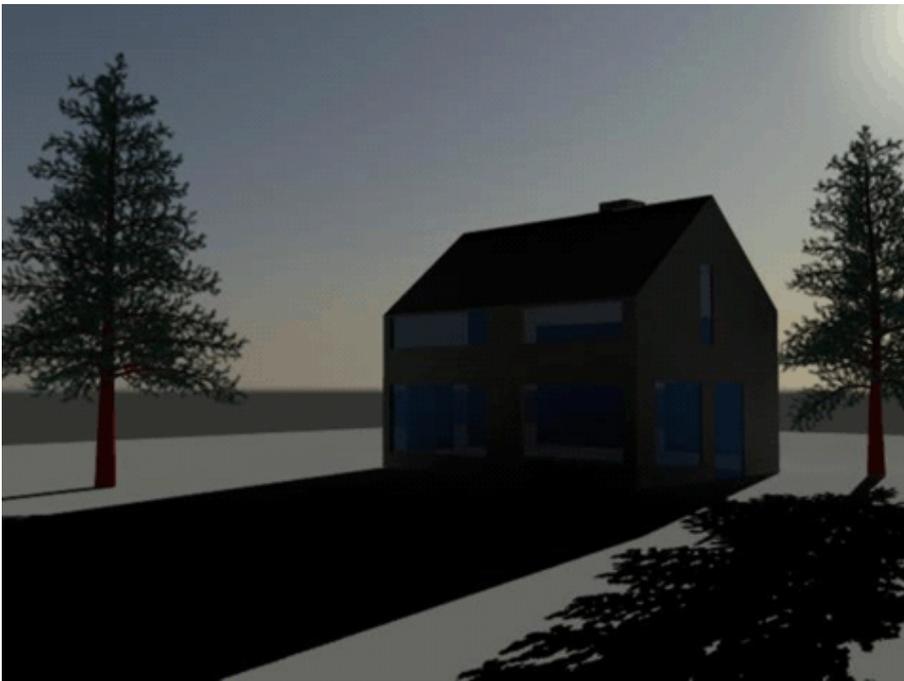
La luz principal normalmente se coloca por encima del sujeto en algún grado, en las que las sombras apuntan hacia abajo, para ver las cosas iluminadas. Sin embargo, si se coloca la luz demasiado alta, el resultado puede ser obtener sombras oscuras y que la escena parezca muy plana, sin volumen. La mejor guía para colocar una luz principal es fijarnos en su reparto de sombras. Para configuraciones normales, el ángulo formado por la luz, el personaje y la cámara debería ser aproximadamente de entre 10 y 50 grados desde el lado de la cámara.



Render con una luz principal.

Cuando estemos trabajando con una secuencia en movimiento, tenemos que tener en cuenta que la configuración de iluminación también debe funcionar y debemos testarla realizando el recorrido de la animación con una restricción de posición de alrededor de unos 90 grados de giro, para ver que realmente funciona. Lo lejos o cerca que hemos de poner la luz a un lado del objeto dependerá del punto de origen que estamos intentando mimetizar, teniendo en cuenta que si la movemos demasiado lejos hacia un lado pueden aparecer sombras que distraigan al espectador.

Si trabajamos en una escena exterior, el tiempo y la estación pueden dictar la posición de la luz principal. Una luz cálida colocada baja formará unas sombras largas y el resultado será una escena que podría ser al amanecer o al atardecer.



La luz principal no siempre se localiza en frente del sujeto; aunque su rol sea la representación del origen de luz dominante en la escena, puede estar detrás del objeto o al lado del mismo si la escena consiste, por ejemplo, en iluminar desde fuera de una ventana hacia dentro.



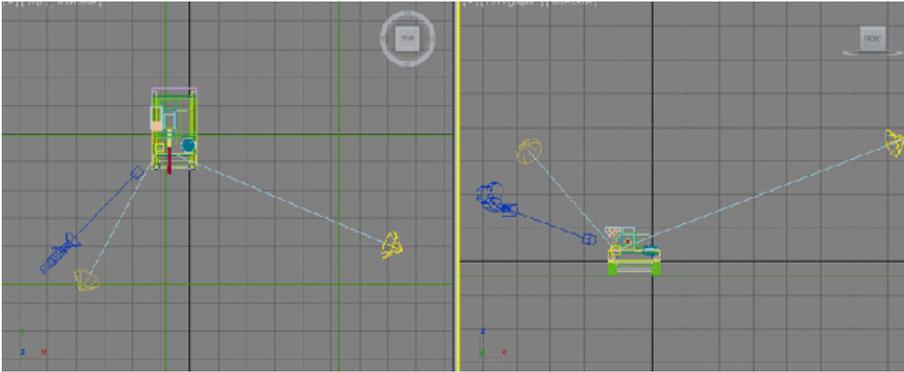
Este tipo de escenario podría presentar una tipo de silueta dramática del sujeto/objeto frente a la cámara; en este caso se dice que la luz principal esta sobrepresentada o demasiado saturada y que las sombras se marcan demasiado. La sobreexposición de estas sombras se puede reducir incrementando el uso de las luces de relleno. La ratio de intensidad de la luz principal respecto a las luces de relleno nos va a establecer la atmósfera de la escena tal como veremos a continuación.

7.1.2. Luz de relleno primaria

La **luz de relleno primaria** está localizada en el lado opuesto al del sujeto desde la luz principal.

En el cine, las luces de relleno primarias se colocan normalmente a la altura de los ojos para no tener que crear sombras en la cara de los personajes. En el mundo 3D la luz de relleno primaria está colocada normalmente un poco más alta que los ojos; además, poder desactivar la generación de sombras nos permite iluminar correctamente el objeto desde arriba y no desde abajo, lo que provocaría un efecto en la iluminación de un personaje con sensación de cara hundida.

Se sugiere ubicar la luz de relleno en perpendicular a la luz principal, formando un ángulo de 90 grados, y entre unos 0 y 15 grados por encima o por debajo de esta.



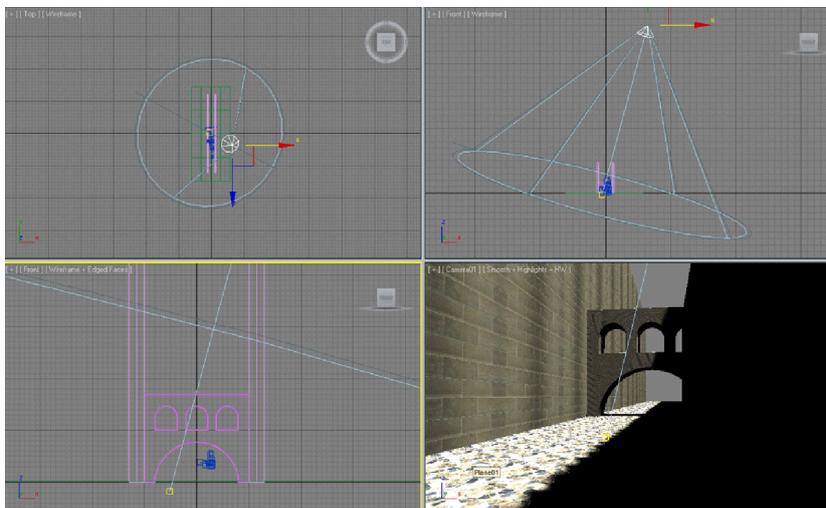
De esta forma, obtenemos que la luz principal y la de relleno se solapan, y nos aseguramos de que no aparece ningún parche o mancha en el patrón de iluminación.

Tanto en cinematografía como en gráficos por ordenador, el rol de la luz de relleno primaria involucra a dos aspectos:

- Abrir o suavizar las sombras de la luz principal.
- Proveer de una iluminación sutil a las zonas del objeto que están en sombra por la luz principal.

En el cine se utilizan paneles para que la luz rebote en la superficie de los objetos y estos se iluminen. En gráficos por ordenador, las luces de relleno representan este papel de luz rebotada, a menos que utilicemos técnicas de iluminación global, en la que se calcula automáticamente. Obviamente, con una luz de relleno no podemos iluminar toda la luz secundaria de rebote que se produce en la escena, sobre todo en escenas grandes, por eso es normal tener docenas de luces de relleno que nos ayudan a dar ese toque a la escena.

Fijémonos en el ejemplo, queremos iluminar esta escena en la que tenemos lo que podría ser un puente de un castillo; la escena está iluminada solo con una luz que representa el sol.



El *render* obtenido con esta configuración nos permite ver que no tenemos luz ambiente rebotada y una parte de la escena nos queda muy oscura, por lo que es necesario añadir luces de relleno para mejorar la iluminación.



Lo primero que haremos será estudiar la escena, y ver qué nos hace falta.

Las principales fuentes de luz son:

- El sol: Es una luz paralela de color amarillento que ya tenemos en la escena.
- La luz rebotada del sol y del cielo: Es el resultado principalmente de la luz del sol rebotando en la geometría (aunque el cielo también produce luz de rebote en todas direcciones).
- La luz del cielo: Es luz azul rodeando toda la escena.

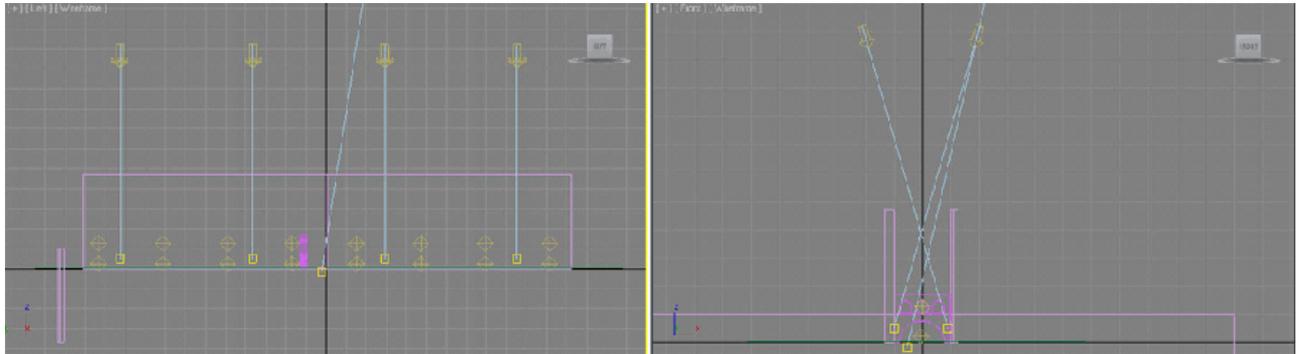
Para simular la luz de rebote, lo que haremos será poner dos filas de luces a dos alturas a lo largo del pasillo. La primera línea de luz está colocada cerca del suelo y la segunda línea, aproximadamente en el centro de la máxima altura de la escena. Estas líneas de luz rellenan la zona suavemente y con una luz bastante uniforme.



Podemos ver que la iluminación mejora bastante, ya no hay objetos en la oscuridad y la escena entera ha adquirido una atmósfera más real, aunque podemos ver que las paredes

todavía quedan un poco oscuras por lo que necesitamos simular la luz rebotada que viene del cielo.

Para ello colocaremos siete copias de una luz Direct apuntando desde arriba a las paredes y al suelo lo que da un total de ocho luces.



Podemos ver que, aunque los detalles son muy sutiles, la zona en sombra de la pared y el suelo queda con una iluminación más levantada, lo que se adecua más a una atmósfera real. Por otra parte, el puente todavía nos queda un poco oscuro, sobre todo la parte de abajo, por lo que vamos a añadir dos luces Omni más delante del puente a la altura de suelo y a la altura máxima de puente; con esto resaltaremos la iluminación de debajo del puente y sus contornos. Además, añadiremos otra luz Direct desde el punto de vista de la cámara para ganar un poco de iluminación general en el puente, ya que en comparación con las paredes queda un poco oscuro, y finalmente una luz Spot sin sombras desde abajo, desde el suelo, lo que nos añadirá un poco más de claridad por la parte de debajo del puente. Obtendremos la siguiente imagen.



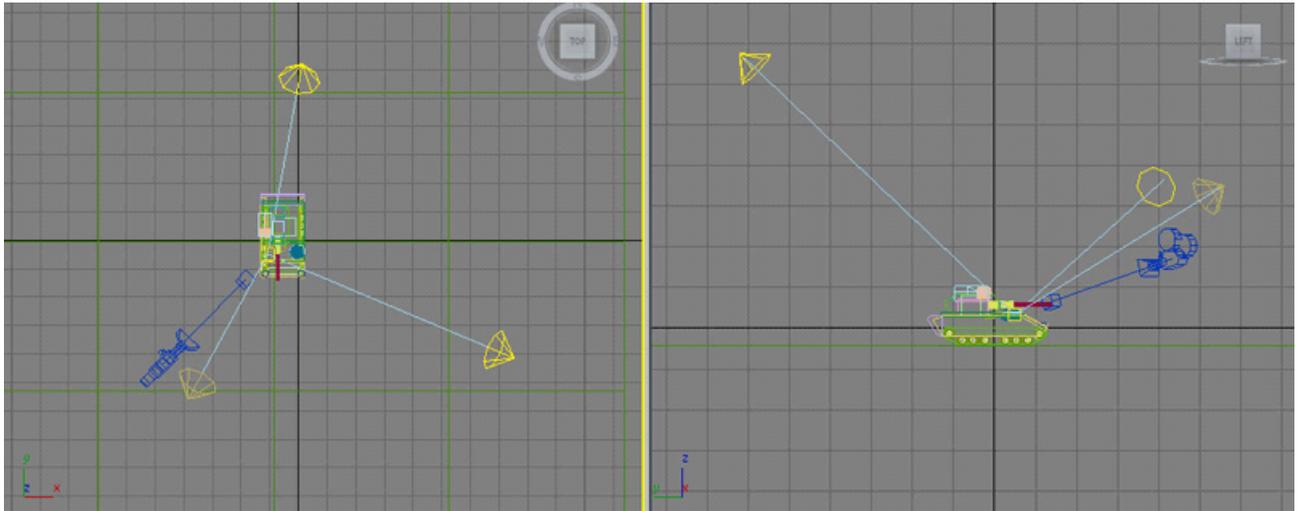
7.1.3. Luz trasera

La habilidad de la **luz trasera** (o **luz de relleno secundaria**) de separar los objetos del fondo hace que sea más importante en 3D que en el mundo del cine, donde se utiliza mucho menos desde que las películas dejaron de ser en blanco y negro.

Trabajar sin color incrementa la necesidad de separar los elementos del fondo con tonos similares. Aunque a veces esta técnica se utiliza en 3D, cuando la sensación de profundidad es una consideración importante, no siempre es necesaria, ya que con el color ya se obtiene una separación visual suficiente.

En fotografía y cine, la luz trasera generalmente se coloca directamente detrás y encima del sujeto, creando un ángulo de unos 45 grados. Cuanto mayor sea el ángulo de iluminación, peor será el efecto, ya que puede producir brillos en la frente y la nariz del sujeto. Con un ángulo menor, en cambio, corremos el riesgo de que aparezcan destellos de luz (*lens flares*).

En 3D, las luces traseras tienden a estar al fondo de la escena en posición opuesta a la cámara, en algún lugar entre los 10 y los 50 grados, por encima o por debajo de la cámara.



El principal problema que tenemos con la luz trasera es que actualmente es difícil de simular debido a que en el mundo virtual no existen los objetos orgánicos (definidos por su piel, su pelo, su suciedad, sus fibras...) que existen en el mundo real. Cuando iluminamos con este tipo de luz en el mundo real, aparece en el objeto un sutil efecto de resplandor (*glow*) a su alrededor debido a que la luz es un poco difusa.

En 3D, al no tener esta capa de manipulación, no podemos obtener este efecto, por lo que si intentamos iluminar un objeto por detrás, no será todo lo efectivo que necesitaríamos. Aunque no es la prioridad de esta lectura, existen algunos materiales (*shaders*) que nos pueden ayudar a dar ese efecto de resplandor alrededor del objeto, por lo que es importante experimentar con ellos para obtener un buen resultado.

Veamos un ejemplo. Utilizamos la misma escena anterior, pero simplemente le añadimos un material al objeto. Podemos ver que los contornos tienen como un sutil efecto de aura de luz.



Render con iluminación tres puntos y material con *shader falloff* aplicado.

El material que hemos utilizado en la escena es el *shader falloff*, que asignado a los canales de opacidad y reflexión nos permite hacer que los contornos del objeto respecto a la cámara sean un poco transparentes, y así poder filtrar un poco más de luz, con el fin de obtener una especie de resplandor alrededor del objeto que hace que resalte del fondo.

7.1.4. Relación luz principal-luz de relleno

La relación que existe entre la luz principal y la luz de relleno es muy importante, en cuanto se refiere al contraste del esquema de iluminación, que tiene bastante efecto en la atmósfera del *render*.

- Una **ratio baja** tiene **mucha luz de relleno**, por lo que en términos de luz se obtiene menos contraste y una iluminación más alegre.
- Una **ratio alta** tiene **poca luz de relleno**, con lo cual obtenemos unas imágenes más oscuras y contrastadas.

1) Ratio bajo luz principal-luz de relleno

Las ratios entre 2:1 y 4:1 están clasificadas como ratios bajas, producen *renders* con iluminaciones fuertes y con poco contraste en la escena. El brillo resultante y la manera como las sombras están repartidas evocan una sensación de alegría a la escena.

Esta ratio se modela en el software 3D con el parámetro del multiplicador.

Por ejemplo, una ratio 2:1 sería una luz principal con multiplicador a 1, y una luz de relleno a 0,5. La ratio 4:1 sería la luz principal a 1 y la de relleno a 0,25.



Ratio 2:1 con iluminación de tres puntos; luz principal 1, luces relleno 0,5.

Normalmente, las escenas interiores producen más ratios bajas que las escenas exteriores. Aquí la potencia de las luces para reflejarse en las superficies y paredes es muy alta.

En el tipo de interiores, donde la luz colorea las superficies, rebota suficiente luz en la escena para producir una ratio baja. Al final puede que acabemos teniendo una ratio casi de 1:1, y en este punto es cuando la luz principal em-

pieza a igualarse con las luces de relleno, con el resultado de que corremos el peligro de la que escena quede plana y uniforme y pierda toda la sensación de volumen que deseamos.

2) Ratio alta luz principal-luz de relleno

Cuando nuestra ratio se aproxima a 10:1 o más, nuestra iluminación tendrá una ratio alta con el resultado de unas sombras muy negras que contrastan fuertemente con las áreas iluminadas. Para hacernos una idea de la falta de luz reflejada, este tipo de iluminación ocurre normalmente por la noche en el mundo real, en el cual no hay luz de relleno que viene desde el cielo, lo cual explica lo dramático de la escena que se crea.

Veamos la misma escena anterior con una ratio 10:1.



Ratio 10:1 con iluminación de tres puntos; luz principal 1, luces relleno 0,1.

La clave para usar este tipo de ratio correctamente radica en regular cuidadosamente nuestra luz para iluminar los detalles importantes correctamente, además de usar todo el rango tonal del que disponemos para tener una buena iluminación en las áreas oscuras de la imagen.

Solo porque una escena esté en condiciones oscuras no quiere decir que estas áreas tienen que quedar escondidas, no debemos tener miedo de que el público se pierda algunos detalles.

Las ratios altas se utilizan normalmente en escenas nocturnas, en las que la luz principal está representada por la luna o alguna luz artificial. Estéticamente, este *look* se empezó a usar sobre los años cuarenta y aún ahora se utiliza en películas de terror para construir la escena de suspense.

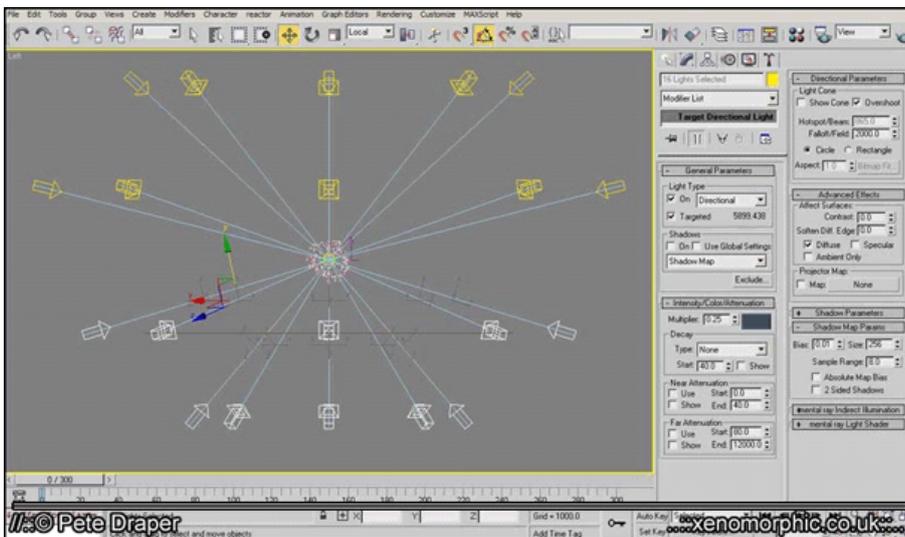
7.1.5. Iluminación en *array*

Cuando una luz necesita envolver un objeto, una sola luz normalmente no es suficiente, puesto que siempre queda alguna zona en sombra. Es aquí cuando los *arrays* de luz son útiles.

Los *arrays* son simples grupos de luces que representan una luz de área, una cúpula de luz parecida a la iluminación del cielo; cualquier parte en la que se fija la luz es demasiado grande, por lo que se requiere más de una luz.

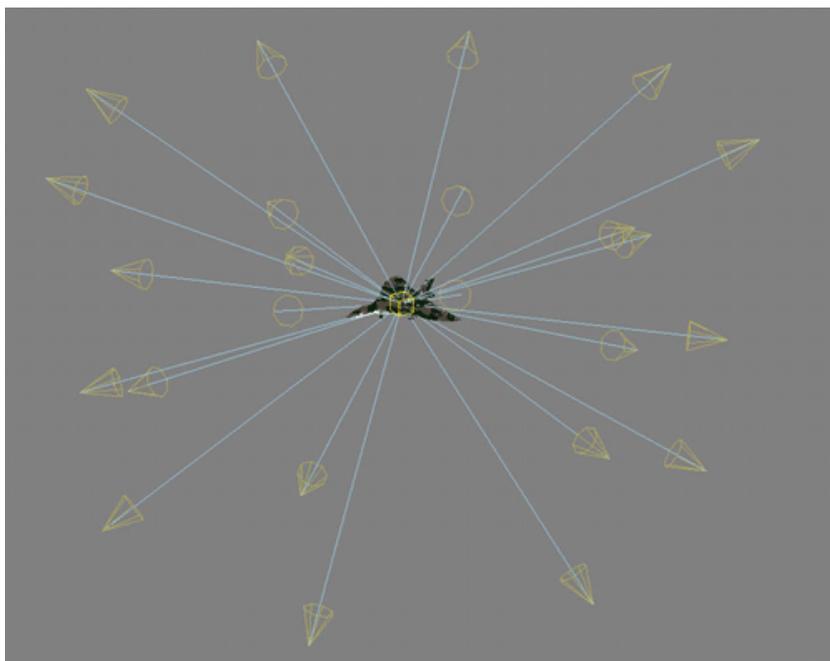
Ved también

Hemos explicado la luz de área en el apartado "Tipos de luces".



Los *arrays* de luz están pensados como alternativa a las luces de área. El problema con las luces de área es que son un poco más difíciles de controlar. El color de la luz de área no es tan controlable como el de la luz individual, por no mencionar la carga computacional que conlleva utilizar este tipo de luces. Cuando utilizamos luces de área, normalmente no sabemos cuántas luces individuales están iluminando un objeto de la escena y es por este motivo por lo que en algunos momentos nos vendrá muy bien conocer el tipo de técnica en el que se utilizan los *arrays* de luz, que nos permiten mayor control y flexibilidad y un tiempo de cálculo más reducido.

Veamos un ejemplo de utilización de este tipo de técnica. Iluminaremos un avión que va volando por el cielo; para ello crearemos un *array* de luces Spot apuntando directamente al avión.



Veamos cómo queda la iluminación sin el *array* y con el *array*.



Sin *array*.



Con *array*.

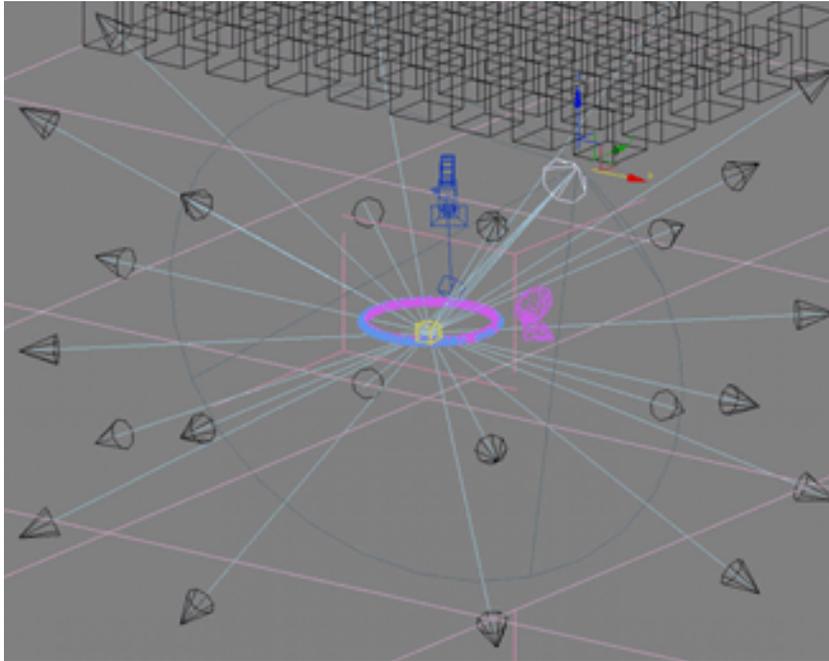


Hay muchísimos efectos que podemos crear gracias a los *arrays* contruidos en diferentes formas: en anillo, caja, tubo... Dependiendo de los colores que demos a sus luces individuales, la iluminación variará; además, podemos especificar cuáles tendrán las sombras activadas o no.

Esta técnica trabaja fantásticamente bien como luces de relleno, produciendo sutiles alteraciones en el color y la intensidad alrededor del objeto, cuya luz primaria generalmente es una luz fuera del *array*.

Veamos el ejemplo siguiente. Tenemos un anillo y dos diamantes en una típica escena en la que tenemos que iluminar el producto. Utilizamos una luz directa de tipo Spot para

iluminar la escena, con color blanco, con un multiplicador alrededor de 0,7 y el cono bastante abierto para que quede toda la composición iluminada. Y para las luces de relleno, utilizamos un *array* en el anillo, puesto que es el objeto principal de la composición, con multiplicador a 0,05 y diferentes colores para ver distintos resultados.



Anillo sin *array*.



Anillo con *array* con luces color blanco.



Anillo con *array* con luces color anaranjado.

Esto no significa que sea un método infalible y que no tengamos que añadir más luz de relleno extra. Debemos cuestionarnos siempre si son necesarias más luces para enfatizar la naturaleza 3D del objeto que estamos iluminando.

8. Técnicas de iluminación avanzadas

En este apartado veremos cómo iluminar espacios exteriores e interiores con pocas luces gracias al uso de técnicas y algoritmos basados en **iluminación global**.

Hay cierta confusión acerca del término *iluminación global*, ya que, tal como comentamos anteriormente, se refiere a la manera como un objeto está iluminado por un componente de luz directa más la luz rebotada de su entorno cercano.



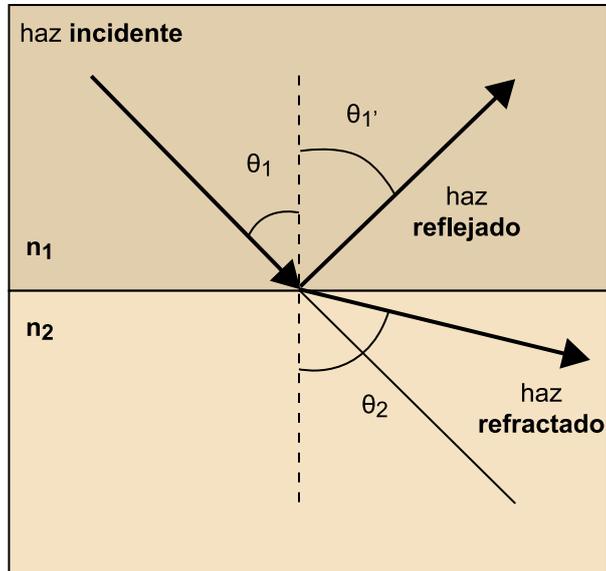
En el intento de reproducir imágenes basadas en obtener una simulación fotométrica físicamente correcta, no nos sorprende que se haya hecho un uso intensivo de estas técnicas en el área de la visualización arquitectónica.

Para entender bien este tipo de técnicas es preciso conocer una serie de conceptos que se utilizan en sus algoritmos de cálculo, como son la distribución de la luz, el *raytracing*, la radiosidad, el *photon mapping* y el *final gathering*

8.1. Distribución de la luz

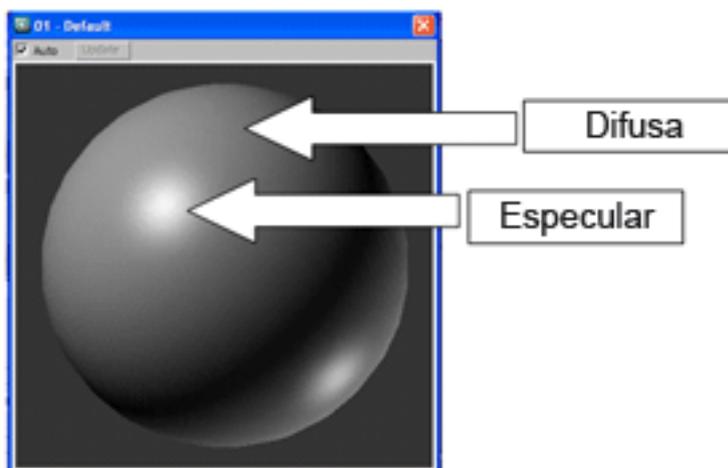
Imaginemos una escena de una habitación interior iluminada por el sol a través de una ventana. La luz es emitida por unas cuantas partículas (fotones). Estos fotones viajan desde el origen hasta que golpean alguna superficie de la escena según sea su ángulo de incidencia.

Dependiendo del material de la superficie, algunos de estos fotones son absorbidos y otros son devueltos a la escena, por lo que la manera como estos fotones se reflejan desde una superficie depende de las características propias del material.



Las **superficies que son muy suaves** reflejan los fotones en una dirección, en el mismo ángulo al que llegan a la superficie (el ángulo de incidencia). Estas superficies son conocidas como superficies especulares, y su reflexión obviamente es la **reflexión especular**.

Las **superficies ásperas** tienden a reflejar los fotones en todas las direcciones. Provocan las conocidas como **reflexiones difusas**.



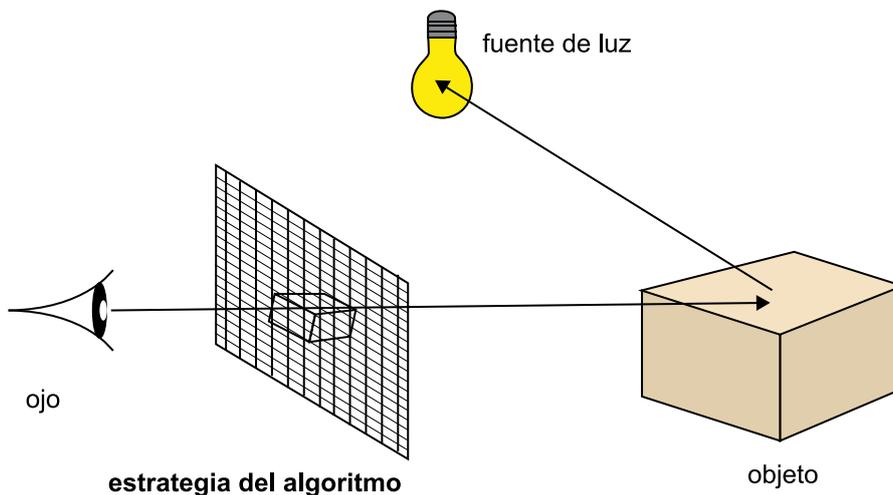
Un espejo es un ejemplo perfecto de superficie especular, mientras que una pared pintada (con pintura mate) es un buen ejemplo de superficie difusa.

La iluminación final de una escena está determinada por la interacción entre las superficies y los billones de fotones que han llegado directamente desde el origen de luz (iluminación directa) o indirectamente desde algún rebote de otra superficie (iluminación indirecta).

8.2. Raytracing

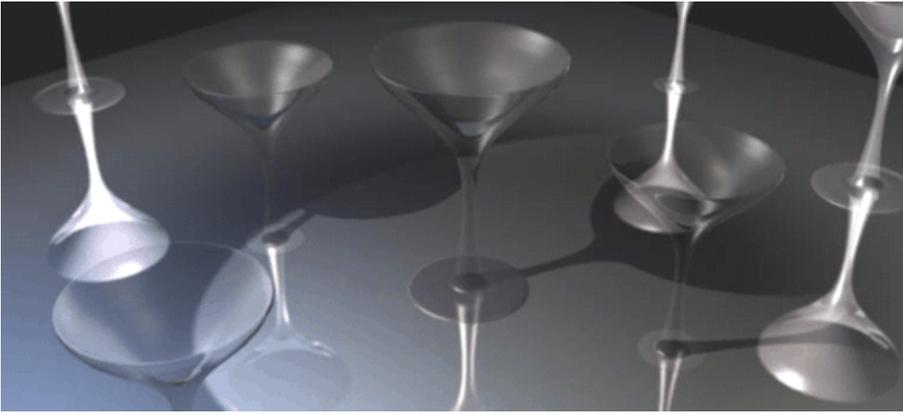
La técnica de *raytracing* fue uno de los primeros algoritmos de iluminación global que fue desarrollado. Este algoritmo reconoce que aunque billones de fotones deberían emitirse, son solamente los primeros los que llegan al ojo y con los que formamos la imagen resultante.

El algoritmo trabaja trazando rayos hacia atrás, desde cada píxel de la pantalla dentro de la escena. De esta manera es más eficiente, porque así solo se calcula la información que nos hace falta para construir la imagen. Para crear una imagen de esta manera, se realiza el siguiente procedimiento:



Para cada píxel de la pantalla:

- **Paso 1.** Se traza un rayo hacia atrás, desde la posición del ojo, a través del píxel del monitor, hasta que interseca con una superficie. La reflexión de la superficie es conocida gracias a la descripción del material, pero la cantidad de luz que refleja la superficie todavía nos es desconocida.



Aunque su velocidad es una desventaja, hay una característica todavía más importante de iluminación global con la que no contamos: la reflexión entre superficies difusas. La técnica tradicional de *raytracing* solo nos permite tomar la luz que llega directamente de los puntos de luz que hay en la escena. Sin embargo, tal como hemos visto, no solo nos llega la luz de las fuentes de luz, también puede llegar la luz indirectamente de otras superficies que hay que tener en cuenta a la hora de recrear correctamente la iluminación de una escena, como hacen otros algoritmos que veremos a continuación.

8.3. Radiosidad

A principios de los años sesenta, la investigación térmica desarrolló métodos para simular transferencia de calor radiado entre superficies. Alrededor de 20 años más tarde, los investigadores en gráficos empezaron a emplear estas técnicas para modelar la propagación de la luz, llegando a nuestros días en lo que conocemos como **radiosidad**.

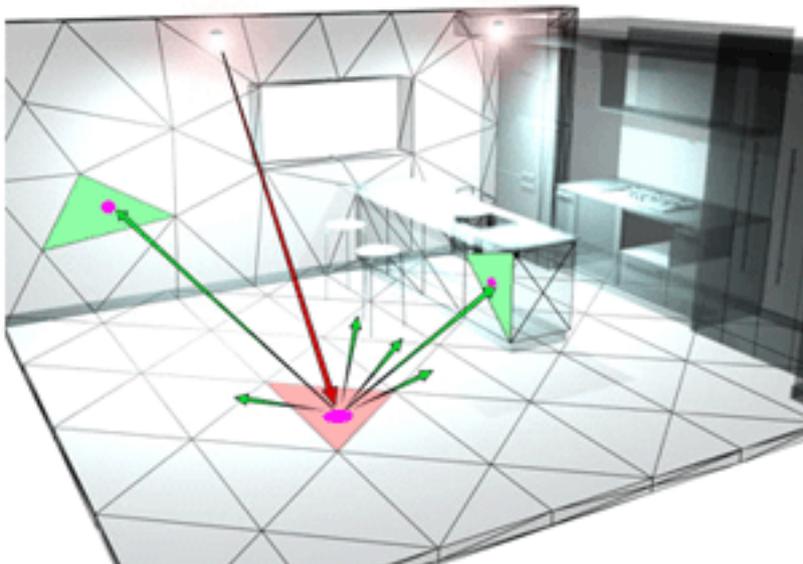
Esta técnica se diferencia de la técnica de *raytracing* en la que fundamentalmente calcula la intensidad de todas las superficies del entorno, en lugar de calcular solo las que han sido trazadas desde la pantalla.

La idea en que se basa esta técnica es buscar el equilibrio de la energía que es emitida por los objetos emisores de luz y la energía que es absorbida por los objetos en el ambiente. Para llevar a cabo este cálculo de iluminación, es necesario considerar que cuando la superficie de un objeto que no emite luz por sí mismo es iluminada por otro objeto, esta superficie absorbe una cierta cantidad de la energía, pero refleja otra parte, por lo que puede ser considerada como una emisora de luz por reflexión. De forma que todas las superficies en el ambiente son de una u otra forma emisoras de energía y, por lo tanto, cada una afecta a la iluminación de las demás superficies.

Cabe decir que aunque la luz se refleja entre todos los objetos de la escena, el cálculo que se realiza no es sobre las propiedades físicas reales, por lo que la representación que obtenemos normalmente no es físicamente real, sino una interpretación respecto a un algoritmo para generar la iluminación.



Para calcular la iluminación con este algoritmo se divide la superficie original en una malla de pequeñas superficies, tal como vemos en la siguiente imagen. El algoritmo de radiosidad calcula la cantidad de luz distribuida desde el foco de luz a cada elemento y desde cada uno de estos elementos a los diferentes elementos de la malla, donde el valor de radiosidad final generado se guarda como la suma de las aportaciones para cada elemento de la malla.



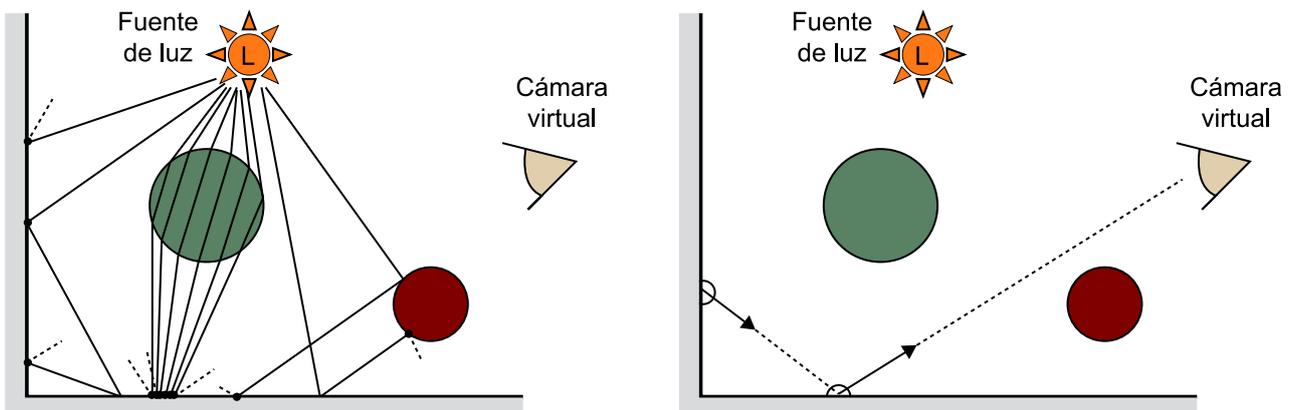
Esta técnica ha evolucionado mucho en los últimos años. En 1988 se inventó una técnica llamada **técnica del refinamiento progresivo** que mostraba los resultados de la radiosidad de manera visual inmediatamente y que permitía ir refinando progresivamente el cálculo para obtener una calidad mejor. Una década después, se inventó la llamada **técnica de la radiosidad por relajación estocástica (SRR)**, que construye una serie de posibles soluciones e intenta convergir hacia ellas (esta técnica es la base del algoritmo de radiosidad de 3dsmax).

A pesar de todos estos avances, cabe mencionar que al igual que el *raytracing*, la radiosidad no produce todos los efectos de iluminación global y tiene también sus propias aristas (por ejemplo, no podemos crear cáusticas). Sin embargo, estas dos técnicas se complementan y trabajan bien juntas. La radiosidad es excelente para "render" reflexiones entre superficies difusas, mientras que la técnica de *raytracing* es excelente para calcular reflexiones especulares.

8.4. Photon mapping

El *photon mapping* es un algoritmo de iluminación global en dos pasos desarrollado por Henrik Wann Jensen. Su desarrollo está basado en desacoplar la representación de la iluminación de la geometría de la escena realizando dos pasos independientes:

- Primero se construye la estructura del mapa de fotones (trazado de fotones), desde las fuentes de luz al modelo (imagen de la izquierda).
- En una segunda etapa de *render* se utiliza la información del mapa de fotones para realizar el renderizado de manera más eficiente (imagen de la derecha).



Representación del mapa de fotones y su uso.

Cuando se emite un fotón, este es trazado a través de la escena de igual forma que se lanzan los rayos en *raytracing*, excepto por el hecho de que los fotones propagan *flux*⁴ en lugar de radiancia.

⁽⁴⁾Conjunto de vectores sobre una superficie.

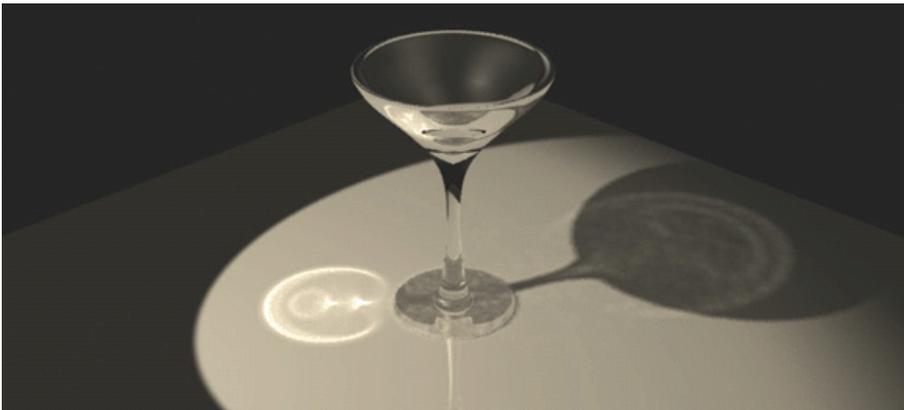
Cuando un fotón choca con un objeto puede ser reflejado, transmitido o absorbido (según las propiedades del material y un factor aleatorio dentro del dominio del material). En realidad, el mapa de fotones está formado por dos estructuras:

- Una para guardar los impactos de fotones debido a las caústicas⁵.
- Otro para representar la iluminación global.

⁽⁵⁾Efectos de concentración de luz cuando pasan a través de lentes, objetos de cristal...

En la segunda etapa se "renderiza" la imagen con varias muestras por píxel, empleando una técnica denominada *pathtracing*, en la que primero se calcula de forma precisa la iluminación directa de forma similar a como se realizó en *raytracing*.

Finalmente, la iluminación indirecta se calcula empleando el mapa de fotones global. Gracias a esta información, el método llega antes a la solución correcta y se suaviza enormemente el ruido que se generaría en el cálculo de la iluminación por otro tipo de métodos.



Render con mapeo de fotones con valores bajos para ver la dispersión de los fotones en la escena.

En general, el uso de mapas de fotones ayuda en escenas de difícil iluminación, como pueden ser los interiores con la fuente de luz que incide desde una ventana o en la simulación de caústicas.

8.5. *Final gathering*

En la técnica de *final gathering* los rayos se generan desde la superficie iluminada hacia la fuente de luz. Al contrario que en la técnica de *photon mapping*, en la que los rayos van desde la fuente de luz hacia el objetivo a iluminar.

Final gathering es una técnica de estimación de iluminación global en la que, para un determinado punto de un objeto de la escena, se calculan una serie de direcciones de los vectores a lo largo de un hemisferio de ese punto (a este

conjunto de muestras se le denomina *final gather point*) o, si es demasiado costoso calcular cada punto de cada objeto de la escena, se realiza un promedio de dichos puntos.

Sin la utilización de *final gathering*, la iluminación global en una superficie se calcularía estimando la densidad de fotones cerca del punto a iluminar. Añadiendo *final gathering* se generan nuevos rayos que son enviados para generar el hemisferio sobre el que se determinará la iluminación del punto.

Esta técnica normalmente es utilizada en escenas con poca variación de la iluminación indirecta, como por ejemplo en interiores. Además, elimina efectos no deseados que a veces aparecen con otro tipo de técnicas como esquinas muy oscuras o ruido.



