

FIAT Lux

Rocío Quiñones Rodríguez

Departamento de Expresión Gráfica en la Edificación. EUAT de Sevilla

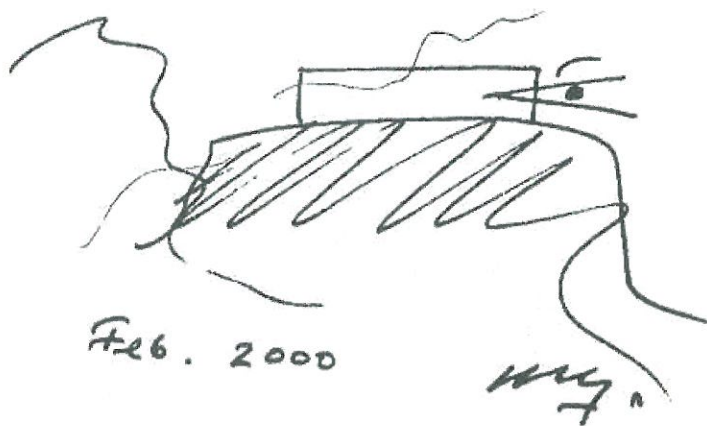
El espacio es incomprendible sin luz. Sin ella la arquitectura simplemente no existe. La arquitectura dispone elementos en el espacio para captar, tamizar, reflejar o emitir luz. La luz no sólo describe el espacio, definiendo de manera formal los límites del mismo, sino también el tiempo. Patios, porches, contraventanas, nos recrean en un juego ilusionista de colores y sombras cambiantes. Con su carga significativa aprovecha sus intrínsecas posibilidades de sugestión para transmitir mensajes o estados de ánimo. Es un factor capaz de crear escenografías, de modificar la visión de la arquitectura, y la arquitectura, de llevar a cabo correcciones y efectos ópticos.

La luz es la primera forma corpórea que multiplicándose hacia todas partes a partir de un sólo punto, forma una esfera y de ésta surge la materia. Toda la creación material es sólo luz condensada. Robert Grosseteste Obispo de Lincoln, Inglaterra, autor de "De Luce", 1229.

"La arquitectura es el encuentro de la luz con la forma". Le Cobusier.

El concepto de luz se ha abordado desde distintas doctrinas, corrientes y disciplinas -mítico, metafísico, científico, teológico, artístico. La idea de luz como fuente o como medio de conocimiento, ha ejercido gran influencia en la teología cristiana. Platón usó la noción, y la metáfora de la luz en diversos pasajes de su obra. El filósofo Werner Beierwaltes menciona las referencias a la luz como medio que hace posible la **percepción**, tal luz no es sólo física, la luz procede tanto de una fuente exterior, el Sol, como de una fuente interior, **el ojo**.

En los dibujos de Campo Baeza encontramos que la arquitectura se dota de ese ojo que mira al paisaje.



Dibujo Alberto Campo Baeza.

Para Hegel, por ejemplo, el concepto de luz puede determinarse a priori como la idealidad de la materia, a diferencia de la gravedad (Newton), la cual representa la realidad de la materia. La luz es como el cimiento del mundo material: "es el poder de ocupación espacial".

Las teorías modernas sobre la luz la consideran por lo general como una forma de energía con una doble naturaleza: corpuscular y ondulatoria.

Arthur Zajonc, famoso físico teórico, dice en su libro titulado: Atrapando la luz. Historia de la luz y de la mente (1995), que: "Tal vez para la luz, al menos, el rasgo más fundamental no se encuentre en la pequeñez de su composición, sino en la totalidad, en la incorregible capacidad de ser una y muchas cosas, partícula y onda, una cosa individual que lleva el universo en su interior".

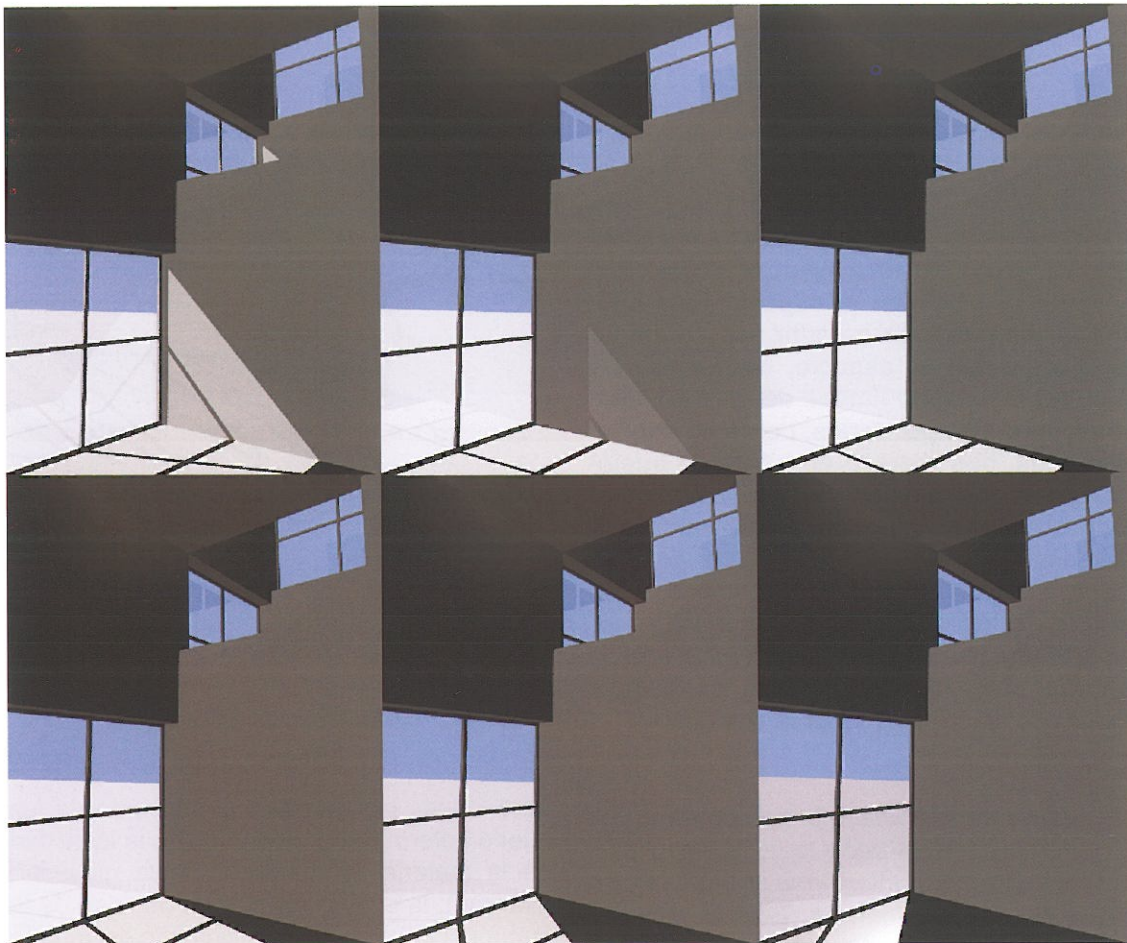
Goethe había concluido lo mismo respecto a las peculiares características de eso que lla-



mamos "luz". El filósofo Schopenhauer registró una vez una notable conversación que entabló con Goethe acerca de la luz. Schopenhauer sugería que la luz es un fenómeno puramente subjetivo y psicológico, y que sin la vista no podía decirse que la luz existiera. Goethe respondió con vehemencia, según lo consigna su interlocutor: "¿Qué?, exclamó, ¿Qué la luz sólo existe en la medida en que se ve? ¡No! ¡Tú no existirías si la luz no te viera!".

luego están aquellos que no permiten el paso de la luz, son materiales *opacos*;

Recordemos también los fenómenos que tienen lugar cuando la luz que, en un ejercicio de abstracción, vamos a considerar como una partícula o fotón, parte de su fuente, se propaga en línea recta y tropieza o alcanza la superficie de un objeto:



Imágenes recorrido luz-sombras, Casa Turégano.

Pero, ¿cómo es la luz en el *mundo virtual*?

Hagamos un alto y antes de continuar con esta línea argumental, repasemos nuestros conocimientos sobre el comportamiento físico de la luz para luego poder aplicarlos a los entornos tridimensionales virtuales.

Los materiales presentan distintos comportamientos ante la luz: unos, generosos, permiten su paso a través de ellos, dejando al descubierto lo que hay detrás, son materiales *transparentes*; otros en cambio, más discretos, dejan pasar la luz a través sin dejar ver lo que hay detrás, son materiales *translúcidos*; y

- **Reflexión:** el rayo de luz alcanza la superficie de un objeto y es proyectado en otra dirección. Dependiendo de las características del material pueden darse distintos tipos de reflexión:

- **Difusa,** cuando el rayo incidente es devuelto en un amplio abanico de direcciones con intensidades equivalentes debido a la rugosidad del material. Figura 1.

- **Especular:** cuando el rayo incidente es devuelto con el mismo ángulo con el que incide en el objeto. Figura 2.

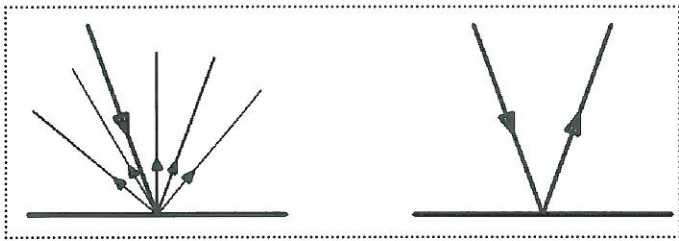


Figura 1 y Figura 2.

En la naturaleza no existen reflexiones difusas o especulares puras, sí combinaciones de ambas.

- Refracción: un rayo de luz al pasar de un medio, por ejemplo aire, a otro medio, por ejemplo agua, experimenta un cambio entre el ángulo con el que incide y el ángulo con el que continúa, dependiendo este último de las características de las sustancias en que se propaga.
- Absorción: una parte del rayo de luz, al reflejarse sobre un objeto, es absorbida produciendo la sensación de color -la luz están formados por un amplio espectro de colores si un objeto absorbe todos los colores de la luz menos el verde, que se refleja, percibimos ese objeto de color verde, al llegar a una nueva superficie este haz de luz no es puro sino que está teñido del color del objeto anterior, y por tanto también impregnará al siguiente objeto que visite e irá disminuyendo su intensidad -decimos que el medio lo absorbe.

Estos fenómenos no se producen de manera aislada, por ejemplo, toda refracción irá acompañada de reflexión y de absorción.

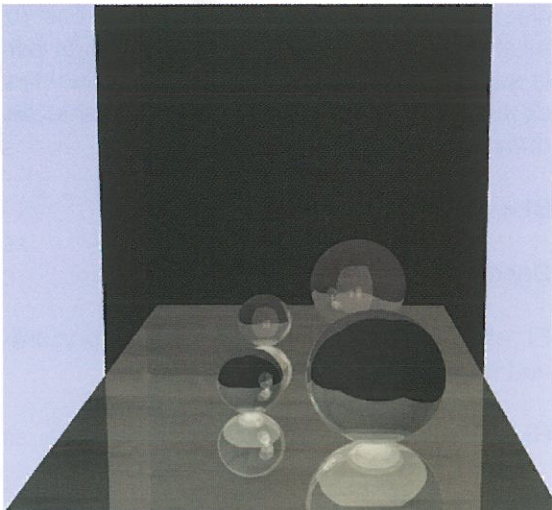


Imagen reflexiones especulares. Método trazado de rayos. (Allplan).

Retomando el tema de la realidad virtual hemos de saber que el objetivo principal es la búsqueda de mecanismos sencillos que den como resultado una aproximación de la realidad suficientemente buena en relación con los medios computacionales empleados.

Tengamos presente en todo momento que las escenas tridimensionales están constituidas por miles de polígonos y las máquinas encargadas de realizar los cálculos tienen unos recursos limitados.

Dentro del *fotorrealismo* podemos encontrar dos *modelos de iluminación: local y global*.

Los *motores de render tradicionales* que se han venido utilizando tenían en cuenta las fuentes de luz como las únicas entidades emisoras de energía, *modelo de iluminación local*. Esta aproximación elimina la interacción lumínica entre objetos que se da en la realidad. Calculan las sombras que proyecta cada fuente de luz y a partir de este cálculo se interpolan los mapas de sombras obtenidos por cada fuente. El resultado son elementos u objetos (vértices, planos o caras...) iluminados en mayor o menor grado dependiendo del número de fuentes que incidan en él, sombras duras y elementos que no reciben iluminación directa alguna y que son considerados en penumbra.

Para dar solución a este inconveniente los programas de cálculo añaden a la escena un valor constante de iluminación, *la luz ambiente*. Se trata de una luz que se aplica homogéneamente a todos los elementos que constituyen la escena independientemente de su posición.

Los resultados con este nuevo componente son mejores pero no definitivos.

El modelo de *iluminación global* se caracteriza por:

- Contemplar dos procedencias como causas de la intensidad luminosa observada en un punto: fuentes de luz y objetos; Y cuatro mecanismos de transporte:
 - Reflexiva: especular y difusa.
 - Refractiva: especular y difusa.
- Calcular las interacciones lumínicas entre objetos de forma precisa, obteniendo resultados más realistas.

- Considerar el efecto que tiene la presencia de otros objetos en la escena y su contribución al cálculo de la intensidad observada en un punto de un objeto.
- La luz cambia sus características espectrales (color e intensidad) y direccionales al encontrarse con la superficie divisoria entre dos medios.
- Los métodos más conocidos y que trataremos a continuación son:
 - Trazado de rayos, (Ray-tracing).
 - Radiosidad, (Radiosity).

El método **Trazado de rayos** es el primer algoritmo de iluminación global desarrollado. Modela interacciones especulares perfectas entre objetos, sin producir reflexiones difusas. Esto tiene como resultado que toda la energía que llega a un objeto es reflejada en una única dirección desde un teórico centro de reflexión, salvo aquella que es absorbida por el material del objeto.

Esta aproximación permite simular, de forma extremadamente realista, efectos ópticos tales como luces cáusticas (refracción arco iris) o reflexiones especulares entre objetos (espejos). Como gran inconveniente encontramos que este método no es adecuado para escenas que no son puramente especulares ya que no soporta reflexiones difusas. En entornos complejos o interactivos el proceso computacional es lento y costoso.

La iluminación indirecta se consigue empleando luz ambiente, esto produce resultados que no responden a los fenómenos físicos. En la escenografía arquitectónica las imágenes resultantes con este procedimiento parecen

planas y poco reales.

El uso de este tipo de algoritmo será aplicado en partes concretas de la escena en el que interese un cálculo especular preciso, aplicando otros modelos de iluminación global al resto de la escena (por ejemplo *Radiosidad*).

El método **Radiosidad** se suele emplear de forma complementaria al *método Trazado de rayos*. Maneja reflexiones difusas ideales,

supone materiales mate, de modo que no permite modelar efectos ópticos de ningún tipo. No se producen reflexiones especulares. Sin embargo mediante este método se consiguen representaciones muy reales de la iluminación general de una escena.

Toda la energía recibida es reflejada por igual en toda la superficie del objeto a tratar, salvo aquella que se absorbe. Para ello se dividen las superficies en mallas más pequeñas.

Los resultados obtenidos son de mucha calidad y no requiere recalcularse la iluminación si decidimos cambiar la posición de la cámara, cosa que sí ha de hacerse con el *método Trazado de rayos*.

Su campo de aplicación son los proyectos de arquitectura e interiorismo, estudios de iluminación, efectos especiales en cine, etc.

Su gran inconveniente es la gran cantidad de recursos que demanda y es muy sensible a los cambios de posición o de características de los objetos.

El algoritmo o ecuación que representa la *Radiosidad* se define como la energía por unidad de área que emite una superficie por unidad de tiempo, o lo que es lo mismo, es la suma de la energía emitida por la superficie (luz directa de la fuente o fuentes de luz) y la energía reflejada procedente de otras superficies.

$$B_i = E_i + R_i \int B_j F_{ij}$$

Donde:

E_i , es la energía por unidad de área por unidad de tiempo de un *corrector*.

R_i , reflectividad del *corrector*.

$B_j F_{ij} A_j$: energía transmitida del *corrector* j al *corrector* i .

F_{ij} , factor de forma que depende de la geo-

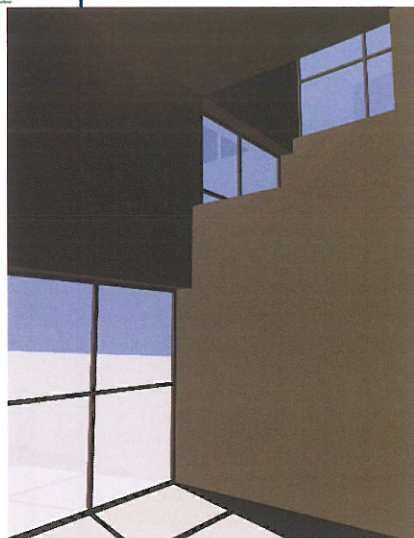


Imagen interior Casa Turégano. Método Trazado de rayos (Allplan).



Imagen interior Casa Turégano. Método Radiosidad (Cinema 4D).



metría de los correctores i y j , y mide la cantidad de energía que emitida por j llega a i .

Como podemos ver esta ecuación contiene una integral, esto implica una realidad continua que no podemos abordar desde nuestros limitados recursos. Por ello la fórmula pasa a transformarse en una sumatoria:

$$B_i = E_i + R_i \sum B_j F_{ij}$$

El cálculo de la ecuación de Radiosidad implica a su vez calcular variables distintas de forma independiente R_i es un factor multiplicativo de reflexión que depende del material tratado, luego es un valor conocido. Sin embargo F_{ij} , o factor de forma, es una variable que requiere cálculos muy complejos. Establece la relación espacial entre dos objetos en términos de distancia y ángulo entre sus normales. Así tenemos un parámetro indicativo de la cantidad de luz reflejada por un corrector j que alcanza un corrector i que está siendo analizado.

Los métodos de **Radiosidad clásica** consisten en ir comprobando iterativamente, corrector a corrector qué cantidad de energía procedente del resto de correctores de la escena llega al

corrector que está siendo analizado. La forma analítica de este algoritmo es sencilla, calcula en cada iteración una fila de la ecuación matricial de *Radiosidad*, que equivale a recolectar (*gathering*, en inglés) la energía que recibe el corrector pésimo desde los $n-1$ correctores restantes. El inconveniente de este procedimiento es que no produce resultados hasta que no se han completado todas las iteraciones.

La **Radiosidad progresiva o de Refinamiento** es una aproximación al cálculo de la solución de Radiosidad inversa a la clásica. En este algoritmo se recorren los n correctores de una escena, emitiendo la energía contenida en los mismos hacia el resto de la escena. En cada iteración se actualiza la cantidad de energía recibida por todos los correctores de la escena, esto es equivalente a calcular una columna de la ecuación matricial de Radiosidad en cada pasada del algoritmo.

Las ventajas de este método es que permite obtener resultados intermedios en cada iteración. Gracias a un componente ambiental inicial, que se va reduciendo en cada pasada hasta hacerse nulo al terminar, podemos obtener previzualizaciones cada vez más fiables.

Resumiendo y a modo de conclusión tenemos el siguiente cuadro comparativo:

	Ventajas	Inconvenientes
Método <i>Trazado de Rayos</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Renderiza con precisión la iluminación directa, las sombras, los reflejos especulares y los efectos de transparencia. - Uso eficiente de los recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> - El tiempo de renderizado depende del n^2 de fuentes luminosas. - No soporta reflexiones difusas ni transparencias. - Cálculo dependiente de la vista.
Método <i>Radiosidad</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Calcula reflexiones entre superficies. - Ofrece resultados visuales inmediatos. - Proporciona resultados independientemente de la vista. 	<ul style="list-style-type: none"> - La malla 3D requiere más memoria que las superficies originales. - No soporta reflejos especulares. - Técnica costosa.

Existen otros algoritmos de cálculo basados en modelos teóricos y estadísticos que simulan los diferentes fenómenos ópticos, por ejemplo el de Monte Carlo que mezcla características de los dos métodos tratados aquí.

En definitiva, todos ellos intentan acercarse a la realidad de la luz bajo la premisa ya referida de mayor calidad al menor coste computacional posible.

