

# Interpretación geométrica de la luz del cielo en el proyecto de arquitectura

**Benoit Beckers**, *AVENUES Research Team, GSU Department  
Compiègne University of Technology, France*  
[benoit.beckers@utc.fr](mailto:benoit.beckers@utc.fr)

## 1. Introducción

La luz natural proviene de una fuente principal, el sol, y de una fuente secundaria, el cielo, iluminado por el sol, pero que reemite una luz muy distinta: más suave, más fría (su espectro se desplaza hacia los azules) y difusa (no proyecta sombras).

Cuando el cielo se cubre, esta luz se vuelve hegemónica y, según el tipo de nubes, uniforme o llena de matices cambiantes. En el norte de Europa, el sol bajo y el cielo nublado son la norma, y la luz difusa ha sido un tema recurrente para los pintores – desde la escuela holandesa hasta los impresionistas – y un atractivo evidente para la arquitectura – la luz cenital de Alvar Aalto, por ejemplo.

Sin embargo, es en los países del Sur donde la luz del cielo debería ofrecer un criterio de diseño determinante para el proyecto de arquitectura. En el norte, en efecto, la radiación solar es siempre bienvenida, y unas simples cortinas pueden eliminar la molestia visual de los rayos solares más bajos y penetrantes. En el clima mediterráneo, en cambio, se hace necesario protegerse del calor veraniego y, en las regiones tropicales, la radiación solar se convierte en un enemigo de todo el año. Por lo tanto, una vez que se haya logrado negarle la entrada al sol, los edificios sólo disponen, para su iluminación, de eventuales reflexiones sobre el terreno, la vegetación u otros edificios, y, por encima de todo, de la luz del cielo.

Esta luz difusa ofrece varias ventajas con respecto a la luz artificial: es gratuita, su variación suele ser apreciada y, además, tiene una excelente eficacia luminosa (hasta 150 lúmenes por cada Vatio de energía solar), es decir que, a igual cantidad de luz, calienta mucho menos que las lámparas incandescentes, y dos veces menos incluso que los tubos fluorescentes (cuya eficacia ronda los 75 lm/W) [1].

Hablaremos pues del cielo azul, una vez enmascarado el sol, y de cómo asistir el diseño para abrirle el proyecto, mediante la geometría descriptiva, a través de su clara representación.

## 2. Representación y diseño

### *1ª imagen: Casa Turégano, exterior*

En esta primera imagen, que representa una casa del arquitecto Alberto Campo Baeza, vemos reunidos los cuatro componentes de la iluminación natural: la luz del sol, la luz del cielo, la reflexión especular y la reflexión difusa.

Es una fotografía, pero podría igualmente tratarse de una pintura hiperrealista o de un render. De hecho, actualmente, ya no es difícil alcanzar este nivel de “realismo fotográfico” con programas informáticos.

A diferencia de los pintores, que no están obligados a distinguir con tanto rigor los diferentes aspectos de la iluminación, los infógrafos “pintan con parámetros”, ajustando los distintos valores que regulan la posterior simulación. La luz directa y la reflexión especular pueden calcularse con un simple trazado de rayos [2], mientras que la luz difusa necesita algoritmos más sofisticados, basados en la *radiosidad* [3]. Debido a la complejidad de los métodos híbridos resultantes, y también al carácter comercial de la mayoría de los



programas de render, el usuario sabe cada vez menos acerca del cálculo, y se orienta solamente por los resultados, visualmente, y luego por los aspectos de la luz que ha debido previamente aprender a observar.

Este aspecto didáctico, muy positivo, no puede sin embargo ayudar directamente en el proyecto de arquitectura, porque, para figurar como herramientas de diseño, los programas de renderización son demasiado lentos (la interactividad no es aún imaginable) y sus cálculos carecen de la limpidez necesaria para una interpretación segura.

### **2ª imagen: Casa Turégano, interior.**

En esta segunda imagen, vemos cómo la entrada de los rayos solares completa el equilibrio de la escena deseada por el arquitecto. La iluminación no es solamente un problema de térmica o de confort visual, sino una parte fundamental de la composición.

Ahora bien, el sol se desplaza a lo largo del día y del año; una doble serie de imágenes renderizadas, o una serie de animaciones pueden mostrar tal variedad de trayectos, pero con una información tan poco densa que resultan impracticables en el proceso de diseño, cuando las formas y ubicaciones todavía se modifican: haría falta una representación mucho más sintética de los trayectos y de sus efectos, que los programas de render no ofrecen, porque su meta principal es solamente el realismo fotográfico [4].



### **3ª imagen: Casa Gaspar, patio.**



En esta tercera imagen, la luz es muy diferente: el sol, cercano a su ocaso, ya no proyecta sombras en el patio. Sin embargo, la iluminación presenta sutiles gradaciones, las mismas que observaríamos con un cielo nublado.

Se hace más oscuro donde se ve menos cielo: al pie de los muros, en las esquinas, en los recovecos. Por lo tanto, el nivel de iluminación por efecto del cielo en un punto cualquiera del espacio está manifiestamente relacionado con la cantidad de cielo que se ve desde este punto, es decir con el ángulo sólido que abarca el cielo desde este punto (el cual, normalizado como un porcentaje de la bóveda celeste completa se llama: *factor de cielo*). Es un modo de sombra muy distinta de la que proyecta el sol, pero no menos geométrica. Es más: el factor de cielo no depende de la hora ni del día, ni siquiera de la latitud o de la altitud: es un factor puramente geométrico.

¿Será posible diseñar con él?

Los programas enfocados hacia la térmica, que calculan la luz difusa, no nos podrán ayudar, pues suelen evaluar la luz del cielo como una fracción de la luz directa, prescindiendo de la geometría [5]. Además, al igual que los programas de render, no están dirigidos al diseño, sino al análisis.

## **3. Un programa para diseñar**

Un programa para ayudar al diseño debe ofrecer cálculos y representaciones rápidos (que permitan un manejo interactivo), sintéticos (que permitan visualizar toda la información útil) y límpidos (cuya interpretación sea inequívoca) [6].

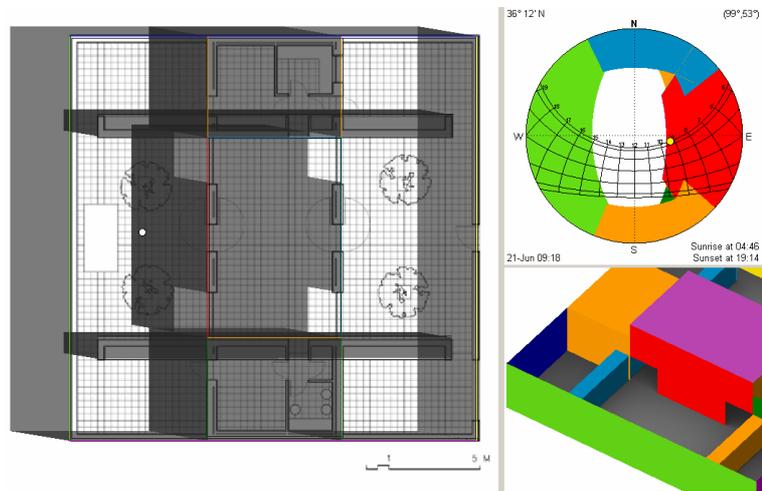
Desde el año 2003, hemos venido desarrollando el programa “Heliodon” con la intención de realizar una verdadera herramienta de ayuda al diseño con la luz natural [7]. Hemos empezado con la luz directa del sol, a partir de la clásica representación estereográfica.

La estereografía da toda la información de asoleo para todas las horas del año, pero sólo en un punto. Para interpretarla correctamente, resulta sumamente útil hacerla corresponder con una planta sombreada, que muestra todo el espacio, pero en un instantáneo (las sombras corresponden a un momento determinado del día y del año). Completando la información con una vista 3D, Heliodon presenta tres vistas simultáneas, de modo que cada cambio en una repercute instantáneamente en las otras dos: desplazando el Sol en la estereografía, las sombras se trasladan en las dos vistas espaciales, mientras que un movimiento del captor en la vista 2D modifica las máscaras en la estereografía.

Esta idea, original y sencilla, potencia mucho la herramienta, permitiendo al usuario controlar simultáneamente en el tiempo y en el espacio las consecuencias de sus modificaciones del modelo geométrico, supliendo, cada representación, las limitaciones de las otras dos.

En esta primera etapa, se cumplen los tres requisitos para una herramienta de ayuda al diseño: rapidez, síntesis y limpidez.

**4ª imagen:** Triple ventana de Heliodon: a la izquierda, planta sombreada de la casa Gaspar, con el captor (círculo blanco) ubicado en medio del patio, cerca de la piscina, en la sombra; arriba a la derecha, estereografía correspondiendo al captor, con el sol (círculo amarillo) situado en el solsticio de verano por la mañana, quedando enmascarado por la pared en rojo, la cual proyecta efectivamente su sombra sobre el captor de la planta, cuyo sombreado corresponde al día y a la hora así determinados. Abajo a la derecha, en la vista axonométrica, el suelo está coloreado por los factores de cielo, obteniéndose unas gradaciones similares a las de la figura 3.

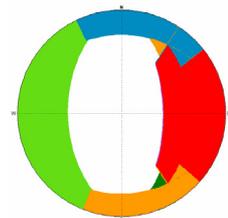


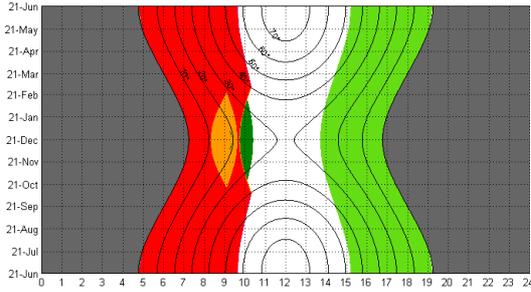
El usuario del programa descubre rápidamente que, viajando libremente en el tiempo y en el espacio, abarca y entiende fácilmente la totalidad del problema del asoleo y las consecuencias derivadas de sus opciones de diseño, pero comprueba también que resulta muy difícil trasladar este estudio a un documento impreso, una vez perdida la interactividad. Luego, necesitaría obtener una representación aún más sintética que la estereografía. Fijándose en el aspecto espacial de esta proyección, desearía comparar el espacio obstruido con el espacio que deja ver la bóveda celeste, pero eso no es posible, porque la estereografía no es equivalente (no respeta las proporciones entre superficies). Fijándose en su aspecto temporal, quisiera comparar la porción obstruida de los trayectos solares con la porción despejada, pero eso tampoco es posible, ya que ni las horas ni los meses son equidistantes.

Por lo tanto, se necesitan otras dos proyecciones con propiedades distintas.

#### **5ª imagen: proyección equivalente**

Para evaluar la *obstrucción del cielo*, basta una proyección equivalente: en ella, la relación entre el espacio libre (no coloreado) y el disco completo (la bóveda celeste) da directamente el factor de cielo. No se representan ya los trayectos solares, porque esta proyección es puramente espacial. El cálculo es inmediato; en este ejemplo, el factor de cielo es de 38%.





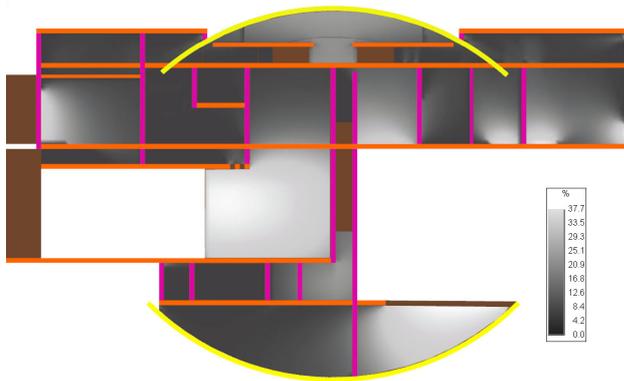
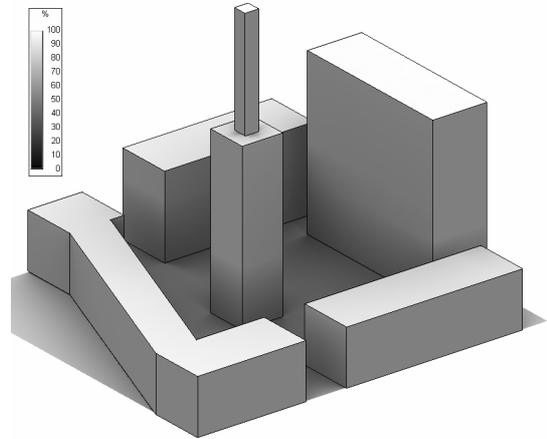
#### 6ª imagen: proyección isócrona

Para evaluar la duración diaria, anual o estacional del asoleo en un punto, hemos tenido que inventar una nueva proyección, que llamamos *isócrona*, porque tanto las horas (eje horizontal) como los meses (eje vertical) son equidistantes en ella, lo cual permite integrar el asoleo en períodos determinados por el usuario [8].

Estas dos proyecciones pueden evaluarse sobre cortes planos cualesquiera, obteniéndose mapas de factores de cielo o de asoleo. El caso del asoleo ha sido descrito ya en otro artículo [8]. Aquí, estudiaremos el problema planteado por los factores de cielo, y por la luz difusa del cielo. En cuanto al manejo del programa, observamos que el usuario, llegado aquí, ha aceptado sacrificar la interactividad a favor de unas representaciones más sintéticas, que le permitirán controlar y presentar las consecuencias de su diseño ya avanzado.

#### 4. Factores de cielo

Con los factores de cielo, podemos colorear enteramente las superficies de una escena, como en la siguiente imagen de una plaza imaginaria. Sorprende la calidad de las gradaciones obtenidas: parecen pertenecer a un render muy depurado, donde la sensación de relieve se ve reforzada en la axonometría. Sin embargo, se trata solamente de una información geométrica: los techos más altos son blancos (ven la totalidad del cielo), y los grises se oscurecen a medida que el cielo queda enmascarado, con ligeros efectos de punta en el suelo, cerca de las esquinas salientes.



De particular interés resultan las plantas así sombreadas, como en esta casa de Tadao Ando [9] en la que la representación de las sombras derivadas de la entrada de luz natural resulta altamente sugerente. Muchos dibujantes de arquitectura suelen realzar sus plantas con sombras arrojadas por el sol, que se manifiestan en el suelo proporcionalmente a las distintas alturas, por proyección oblicua. Estas sombras, sin embargo, sólo corresponden a un breve momento del día y del año y resultan por ello algo arbitrarias; además, si bien enriquecen

la información de la planta, la deforman también, sobreponiendo líneas a las líneas. Las sombras del cielo no presentan tales defectos, y revelan una información diferente, muy interesante: se aprecian los vanos y su importancia, los patios y su profundidad, los lugares más o menos abiertos, el pie de los muros altos... No hablan de magnitudes, sino de relaciones.

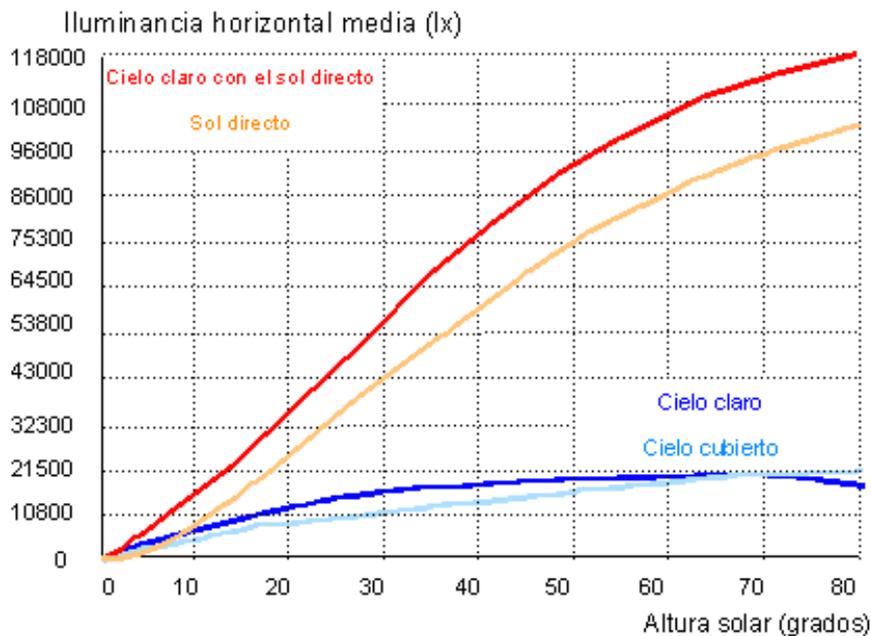
Llegados a este punto, cabe preguntarse si estos factores de cielo, tan fáciles de calcular y de interpretar, pueden permitirnos cuantificar la luz difusa, y participar de un cálculo energético.

#### 5. La luz sobre las superficies

Para calcular el aporte del cielo en luz difusa, disponemos de varios modelos normalizados que nos ofrecen mapas en luminancias de la bóveda celeste [10]. El problema es que las luminancias

del cielo y su reparto espacial varían mucho en función de las condiciones atmosféricas. La idea de un cielo uniforme parece convenir bastante bien para el cielo tropical nublado. Otro modelo describe el cielo cubierto como tres veces más luminoso en el cenit que en el horizonte. El cielo azul (a la sombra del sol), el que aquí nos interesa, es más complejo: tiene su mínimo cerca del cenit, al opuesto del sol, una corona más luminosa cerca del horizonte y, desde luego, su máximo en la vecindad del sol, aunque éste esté tapado. Sin embargo, este modelo, además de conducir a cálculos bastante pesados, presenta valores que varían en función de la altura del sol, sin contar su posible hibridación con modelos de cielo cubierto para obtener promedios más realistas. No entraremos aquí en tales dificultades, ya que sólo queremos reflexionar de forma conceptual sobre el sentido y el posible uso de los factores de cielo.

Otra manera de proceder, más práctica, consiste en medir, en determinadas condiciones atmosféricas, la respuesta de un luxómetro mantenido horizontalmente en un lugar totalmente despejado. Es lo que propone el siguiente ábaco [11].



Las dos curvas inferiores dan los valores en luxes de la iluminancia del cielo sobre un plano horizontal en función de la altura solar en las dos condiciones extremas: cielo despejado (en azul) y cielo cubierto (en cian). El valor máximo es de 20 000 luxes (cielo cubierto con sol casi cenital); un cielo cubierto de invierno podría dar unos 10 000 luxes, un cielo despejado de verano unos 15 000 luxes.

La pregunta que nos interesa ahora es: ¿cuánto se medirá en el luxómetro si lo desplazamos en una calle o en el interior del edificio proyectado? A primera vista, el factor de cielo podría aportar la respuesta, ya que nos da, para el punto elegido, la proporción visible del cielo. Sin embargo, al examinar las propiedades de la luz difusa, veremos que esta manera de razonar es incorrecta, aún para un cielo uniforme.

Para resolver completamente el problema, habría que resolver las ecuaciones de radiosidad, las cuales permiten calcular la iluminancia sobre todas las superficies de la escena tomando en cuenta las interacciones entre todos los objetos. En este método, se trata de expresar el equilibrio radiativo, considerando que la radiosidad de un pequeño elemento de superficie es la suma de su emisión propia y de todas las radiosidades provenientes de los otros elementos visibles y que se reflejan sobre este elemento [3].

Tal cálculo, perfectamente realizable, exige precisar un gran número de parámetros físicos y, como debe tomar en cuenta todas las interacciones posibles entre los elementos planos que constituyen la escena, resulta muy largo y requiere la utilización de técnicas algorítmicas complejas. Un cálculo de esta naturaleza puede ser muy útil para el análisis, pero es totalmente inoperante como ayuda al

diseño, no sólo por su lentitud, sino porque nos pide definir con exactitud las características ópticas de todos los materiales, lo cual puede resultar difícil en las primeras etapas del diseño.

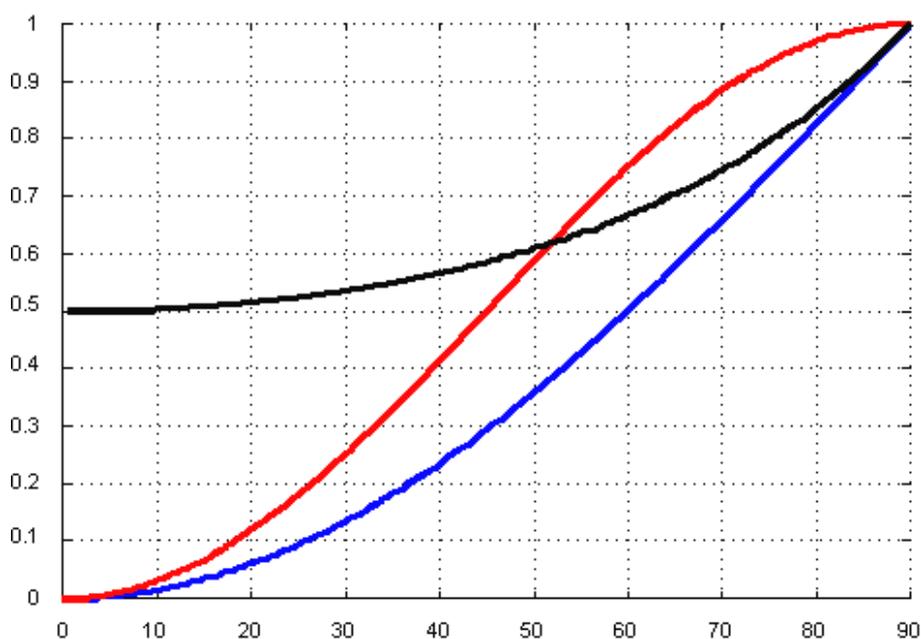
No obstante, aquí nos interesamos solamente por la luz difusa del cielo, y descartamos la reflexión difusa. Es decir que hacemos como si todas las obstrucciones de la escena fueran muy oscuras, y absorbieran por completo la luz incidente. En estas condiciones, examinaremos el caso sencillo de la interacción entre un elemento plano de la escena (el luxómetro) y el cielo, parcialmente obstruido por los objetos de la escena.

En el *método de la radiosidad*, las interacciones entre los distintos elementos son descritas mediante una expresión puramente geométrica llamada *factor de vista* (o *factor de forma*). Este término, que resulta de una doble integración sobre los dos elementos puestos en relación, es proporcional a los cosenos de los ángulos que forma el rayo con las normales a las dos superficies, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Su significado físico, deducido de las propiedades del intercambio radiativo, es que representa la proporción de la potencia total recibida por el segundo elemento y abandonando el primer elemento. Se puede mostrar, utilizando la analogía de Nusselt [3] [4], que este factor puede ser evaluado con sencillez proyectando ortogonalmente sobre el plano estudiado la proyección esférica de las máscaras: la relación entre la superficie de cielo y la superficie del círculo da precisamente el *factor de vista puntual*. Esta observación es muy importante para nosotros, ya que el programa Heliodon evalúa ya el factor de cielo mediante una proyección azimutal equivalente; basta sustituirla por una proyección ortogonal para obtener el factor de vista.

En el caso de un cielo uniforme, el *factor de vista* aplicado a un punto de una superficie y a la parte visible del cielo nos dará directamente la relación entre las iluminancias que corresponden a la bóveda celeste completa y a su parte no ocultada por las máscaras.

Comparemos ahora el factor de vista con el factor de cielo en dos ejemplos.

- *Comparación entre el factor de cielo y el factor de vista calculado sobre el plano horizontal, para una porción cenital de la bóveda celeste cuya abertura es igual a  $0 < \theta_0 < 90^\circ$ .* Nos imaginamos ascendiendo desde el fondo de un pozo de sección circular, hasta llegar a la superficie. El orificio del pozo puede considerarse como la base de un cono con una abertura angular creciente desde 0 (en el fondo) hasta  $90^\circ$  (en la superficie). Según sus definiciones, ambos factores varían de 0 a 1, pero siguiendo leyes sensiblemente diferentes. Para pequeñas aberturas, *el factor de vista es dos veces superior al factor de cielo*. Esta propiedad es general para porciones cenitales del cielo (hasta una abertura de unos  $20^\circ$ ). En la zona del cenit, en efecto, la relación entre la proyección equivalente y la proyección ortogonal del hemisferio es igual a dos.



Factor de vista (rojo) y de cielo (azul), relación entre ambos (negro), para una porción de esfera

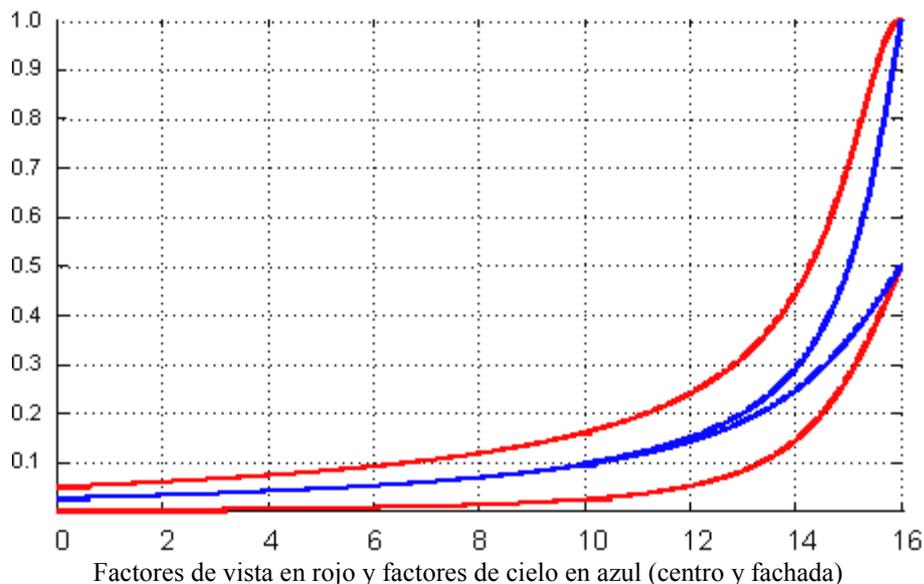
- *Comparación entre ambos factores en una cavidad paralelepípedica.* Nos imaginamos ahora en el fondo de una callejuela recta y cerrada en sus extremos, de 2 metros de ancho y 32 metros de largo, bordeada por edificios de cinco plantas (16 metros de alto).

Realizamos un primer cálculo a nivel del suelo, en el centro de la callejuela. Los factores de cielo y de vista valen, respectivamente, 0.028 y 0.051. Como en el caso anterior, al hallarnos en el fondo de una cavidad profunda, verificamos que el factor de vista sobre una superficie horizontal duplica aproximadamente el factor de cielo.

En el siguiente gráfico, comparamos los factores de vista (en rojo) con los factores de cielo (en azul). La curva superior muestra la evolución del factor de vista sobre una superficie horizontal ascendiendo en el centro del tramo de calle. Varía desde 5% a nivel del suelo hasta 100% a nivel de los techos. La segunda curva muestra la evolución del factor de cielo calculado en los mismos puntos. Varía desde 3% a 100%. En toda la parte baja de la callejuela, vale la mitad del factor de vista horizontal.

Las dos curvas inferiores representan los mismos factores calculados sobre una vertical situada sobre una de las fachadas. Aquí, el factor de vista es calculado sobre un plano vertical. Como era de esperar, ambos factores tienden hacia 50% a nivel de los techos (la misma pared donde se calculan enmascara entonces la mitad del cielo). En la parte baja de la callejuela, el factor de cielo es más de diez veces superior al factor de vista vertical.

Es interesante observar que las curvas de factores de cielo se sitúan entre las dos curvas de factores de vista.



Para los cálculos energéticos, sólo los factores de vista son válidos. Así, suponiendo que la totalidad de un cielo uniforme produce una iluminación de 20000 luxes en un luxómetro horizontal, emplazando este luxómetro en el centro de la callejuela oscura, en el nivel del suelo, mediremos unos 1000 luxes, mientras que manteniéndolo al mismo nivel, pero verticalmente, contra una fachada, mediremos solamente  $0.0032 * 20000 = 64$  luxes. La iluminación de la fachada sólo alcanzará la del suelo de la callejuela a una altura de unos 12 metros.

Eso se corresponde con la experiencia: si queremos leer un libro en una callejuela estrecha donde no entra el sol, tenemos que mantenerlo horizontal, de cara al cielo. Si lo colocamos verticalmente, las páginas se oscurecen (desde luego, la situación cambiará bastante si las fachadas son claras, favoreciendo la reflexión múltiple). El *factor de vista* refleja esta situación, el *factor de cielo* no, porque no tiene en cuenta la orientación de las superficies. Es inadecuado para un cálculo energético, incluso aproximado.

Sin embargo, de una forma global, el factor de cielo tampoco es incoherente: sus valores se sitúan entre las iluminaciones de los dos casos extremos (el plano horizontal y el plano vertical), y

suavizan los contrastes. El gráfico anterior explica porqué las visualizaciones de objetos pintados con factores de cielo que hemos mostrado en el punto anterior satisfacen el ojo.

## 6. La luz en el volumen

Ahora bien, los cálculos radiativos se realizan siempre sobre superficies orientadas, mediante los factores de vista, porque es a través de sus superficies como los objetos de la escena intercambian energías.

Pero el enfoque energético no es suficiente para la arquitectura. En primer lugar, porque la arquitectura no se interesa solamente por el balance térmico, sino también por la *percepción* de las energías. En segundo lugar, porque esta percepción no depende solamente de los datos físicos, sino también de su valoración cultural y estética.

Hablando de la percepción visual, deberíamos siempre recordar que el ojo *escorza las intensidades luminosas* [12], aplicándoles un filtro logarítmico que convendría aplicar también a las magnitudes fotométricas, a semejanza de lo que hacen los acústicos con las intensidades sonoras, expresadas en decibelios. Pero también es importante el hecho de que el ojo manifiesta una cierta constancia, y que interpreta continuamente todo cuanto percibe.

Una ilustración de eso es el *factor de luz del día*, utilizado en algunas normas sobre la iluminación natural en la arquitectura. Se define como la iluminación en el edificio considerado dividida por la iluminación que se daría en el mismo lugar despejado. En efecto, muchas encuestas han mostrado que los visitantes de un edificio valoran su luminosidad con total independencia de las condiciones atmosféricas y, por lo tanto, que su valoración depende únicamente de la percepción de la arquitectura: de su geometría y de las propiedades ópticas de sus materiales [13].

Pero deberíamos ir más lejos, y empezar a pensar propiamente en el volumen. El artista californiano James Turrell observaba que “hemos sido una cultura de superficies tal, que no hemos mirado realmente la luz; sólo hemos mirado la pintura, las cosas, aunque eso está cambiando ahora” [14]. En sus más bellas realizaciones, como el “Deuce coop” de Barcelona, ha conseguido desdibujar las superficies, sumergiendo el ojo del visitante en un volumen de luz sin contornos. La arquitectura, siempre deudora de la luz natural, no goza de la misma libertad que permite el uso intensivo de la luz artificial, pero creo que arquitectos como Peter Zumthor o Alberto Campo Baeza persiguen intuiciones semejantes en sus obras más recientes.

Faltaría, por lo tanto, una herramienta capaz de ayudar a tales diseños. Y es aquí donde los factores de cielo nos interesan: por definición, cualifican el volumen (y no las superficies), donde varían sin solución de continuidad, indicando la relación directa entre el cielo y la geometría. Y ello sin considerar la reflexión, es decir que el resultado no depende ni siquiera del color de las superficies; solamente de la forma.

En consecuencia, pensamos integrar, en un próximo desarrollo del programa Heliodon, un cálculo de estos factores sobre una reja 3D. De este modo, podríamos determinar la proporción del volumen interior a un edificio donde el factor de cielo es superior a un valor determinado. Este nuevo parámetro nos permitiría comparar edificios muy variados (por ejemplo: una serie de catedrales góticas, o de casas modernas), sin necesidad de conocer sus acabados, su orientación o su ubicación geográfica.

Calcularemos así un aspecto que no se puede representar, ya que sólo sabemos dibujar superficies, pero que se corresponde con la naturaleza tridimensional de la arquitectura, tal como la percibimos con nuestros ojos, que no son superficies, sino órganos complejos, activos e inquietos, que se desplazan continuamente, en medio de los flujos de la luz. Formando. Informando.

## Agradecimientos

Quiero agradecer aquí todos los arquitectos que están trabajando con Heliodon en los programas de tercer ciclo de la UPC (Barcelona), y especialmente Tannya Pico y Rafael López, autores de los modelos 3D de las casas de Alberto Campo Baeza y de Tadao Ando aquí analizadas.

Quiero expresar mi gratitud a los Profesores José Ramón Fernández y Antonio Millán, del departamento de EGA en la ETSAV (UPC), por su confianza, sus sugerencias y correcciones.

Asimismo, quiero agradecer la cordialidad del arquitecto Alberto Campo Baeza, por habernos transmitido una extensa información gráfica sobre sus proyectos y sus obras, incluyendo las tres fotografías aquí reproducidas.

## Referencias

- [1] “Principles of solar engineering”, D. Yogi Goswami, Frank Kreith & Jan F. Kreider, Taylor & Francis, 2<sup>nd</sup> edition, 2000
- [2] “Computer Graphics, principles and practice”, James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner & John F. Hughes, Addison-Wesley publishing Company, 2<sup>nd</sup> edition, 1990.
- [3] “Radiosity and global illumination”, François X. Sillion & Claude Puech, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, 1994.
- [4] “Enrichment of the visual experience by a wider choice of projections”, B. Beckers, L. Masset & P. Beckers, Proc. of the 2007 11th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, April 26 - 28, 2007, Melbourne, Australia, edited by: Weiming Shen & al, IEEE Catalog Number: 07EX1675C, ISBN: 1-4244-0963-2, Library of Congress: 2007920353.
- [5] “An introduction to Environmental Biophysics”, Gaylon S. Campbell & John M. Norman, Springer, New York, 2<sup>nd</sup> edition, 1998.
- [6] “Descriptive Geometry Mutating to Design Tool”, B. Beckers, L. Masset & P. Beckers, Proceeding of ICCES05 Conference, Chennai, India, December 2005.
- [7] “Heliodon 2”, Software, B. Beckers & L. Masset, 2006; “Guía del usuario”, B. Beckers, 2007.
- [8] “Una proyección sintética para el diseño arquitectónico con la luz del sol”, B. Beckers, L. Masset & P. Beckers, 8º congreso iberoamericano de ingeniería mecánica, Cuzco, 23 al 25 de octubre de 2007
- [9] La casa Iwasa, en “Tadao Ando”, Croquis, v. 44+58, España, 1994.
- [10] “Evaluation of Sky Luminance and Radiance Models Using Data of North Bangkok”, P. Chaiwiwatworakul & S. Chirattananon, Leukos, vol. 1, N° 2, October 2004, pp107-126.
- [11] “Illumination Engineering: From Edison’s Lamp to the Laser”, J.B. Murdoch, Macmillan Publishing Co., New York, 1985.
- [12] “Geometría sensible”, B. Beckers, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2005.
- [13] “Eclairage naturel”, F. Bouvier, Techniques de l’ingénieur – constructions, C 3315, 1987.
- [14] “James Turrell”, Ediciones Cantz, Madrid, 1993.