

mm

march 72. 88

Luz y Sombra

REVISTA DE
EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA EDIFICACIÓN

EGE

5

VIII Congreso Madrid
APEGA

Nuestro próximo
Congreso en
Girona

La Ingeniería de Edificación
está más cerca

El Máster Oficial de
seguridad integral en la
Edificación

Nuevas Tecnología y
Metodologías Docentes
para la Expresión Gráfica

Seis Ideas para una nueva
Geometría... ¿Descriptiva?

Pensar con las Manos

DIRECTOR REVISTA:
Santiago Lloréns Corraliza

CONSEJO DE REDACCIÓN

**VOCALES DE LAS ESCUELAS DE
ARQUITECTURA TÉCNICA**

A CORUÑA:

Rafael Pérez Roel

ALICANTE:

Francisco Gabriel Muñoz Gómez

BARCELONA:

Julio A. Iglesias Prieto

BURGOS:

Jesús María Orejón Lázaro

CÁCERES:

Mercedes Jiménez Muñoz

CARTAGENA:

José Calvo López

CASTELLÓN:

Estrella Alba Soler

CEU:

Sonia Izquierdo Esteban

CUENCA:

Juan Enrique Mateos Giraldo

GIRONA:

Luis Sánchez-Cuenca López

GRANADA:

José Antonio Méndez Serrano

GUADALAJARA:

Antonio Miguel Trallero Sáenz

MADRID:

José Luis Moreira Sánchez

TENERIFE:

Felipe Monzón

VALENCIA:

Concha López González

COORDINADOR DE LA E.U.A.T DE SEVILLA:

Manuel Pastor Barrera

Edita: APEGA

Asociación de Profesores
de Expresión Gráfica
Aplicada a la Edificación
Avda. Juan de Herrera, 6
28040 Madrid

**Redacción
y Producción: APEGA**

Fotografías: APEGA

Diseño, Maquetación e Impresión:
Tecnographic, s.l.

Depósito Legal: SE-2256/99

Portada:

Luces y sombras
Alberto Campo Baeza. Sección de la
casa Turégano. 1988

Contraportada:

Alberto Campo Baeza. Interior de la
Caja General de Granada. 2001



SUMARIO



REVISTA DE
EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA EDIFICACIÓN

EGE
5

Febrero 2008



EDITORIAL

3

NOTICIAS CONGRESOS

VIII Congreso Madrid APEGA

4

Nuestro próximo congreso en Girona

8

II Jornadas de Geometría Descriptiva Sevilla 2007

10

NOTICIAS ESCUELAS

Alicante

12

Cáceres

12

Madrid

12

Sevilla

14

Tenerife

14

Valencia

15

DOCENCIA Y PROFESIÓN

La Geometría Descriptiva en las carreras de ingeniería de la
E.T.S.I. de Sevilla

16

Francisco Valderrama Gual

La Ingeniería de Edificación está más cerca

21

Antonio Ramírez de Arellano Agudo

La rueda que rueda

24

Juan Luis González de Ubieta / Jesús M^o Orejón Lázaro

El Máster Oficial de seguridad integral en la Edificación

28

José María Calama Rodríguez

Venturas y Desventuras de los Profesores Noveles

30

Margarita Infante Perea / Rafael Esteve Pardo

Nuevas Tecnología y Metodologías Docentes para la Expresión Gráfica

34

Emilio Ramírez Judías

Seis Ideas para una nueva Geometría... ¿Descriptiva?

38

Ángel José Fernández Álvarez

INVESTIGACIÓN

Pensar con las Manos

53

Alberto Campo Baeza

Fiat Lux

57

Rocio Quiñones Rodríguez

La Construcción Racional de la luz y la sombra

62

José Calvo López

Nuevas formas de Representación de las Sombras

69

Eduardo Martínez Borrell / Ignacio Anta Fernández /

Mercedes Valiente López

Los Orígenes del Fotomontaje Arquitectónico. *Xabier Moliner i Milhau*

77

A propósito del Compendio Mathematico de Tomás Vicente de Tosca

85

Andrés Martín Pastor

Una cúpula plegable para la Universidad de Girona

91

Luis Sánchez-Cuenca

Spazio, Rappresentazione, Architettura. *Silvia Petrucci*

95

RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

Las páginas Web en Arquitectura

100

Mercedes Valiente / Eduardo Martínez / Ignacio Anta

Compases de mano, compases de ojo. *Eduardo Alejandro Herrero*

108

Principios y Aplicación de la fotogrametría convergente en la

110

fotogrametría arquitectónica. *Josefina García León*

Aplicaciones de tecnologías innovadoras

115

José Antonio Barrera Vera

La construcción racional de la luz y la sombra

José Calvo López

Universidad Politécnica de Cartagena



A José Ibeas, aparejador único y último de Murcia

Se han vertido ríos de tinta acerca del tamaño y posición del huevo colgante de la *Pala de Montefeltro* de Piero della Francesca (c. 1470), hoy en la Pinacoteca Brera. Sin embargo no se ha prestado atención, hasta donde llega mi conocimiento, a la sombra de la concha de la que pende el célebre huevo. La venera plantea un problema bien conocido y relativamente avanzado de geometría descriptiva, la sombra autoarrojada del nicho esférico; ahora bien, en la tabla de Brera la cuestión se adorna con otras dificultades: ya no se trata de una semiesfera, sino de un casquete de esfera, o quizá de elipsóide; es preciso construir las sombras de y sobre las estrías de la concha y la rica cornisa que divide el nicho; y también será necesario abordar el problema previamente en planta y alzado y, una vez resuelto, transferir los resultados a la proyección cónica.

Por supuesto, es posible en teoría resolver el problema directamente en la perspectiva, pero eso exigiría conocer el concepto de punto de fuga de una recta horizontal cualquiera, y disponer de un método para situar este punto; se viene aceptando pacíficamente que ninguna de las dos cosas aparece antes de la publicación de los *Perspectivae libri sex* de Guidobaldo del Monte (1600). Descartada esta solución, quedan otras dos posibles vías. No sabemos si Piero afrontó el desafío por medio de la geometría racional, como hizo con la perspectiva en *De prospectiva pingendi*, o si empleó procedimientos empíricos, partiendo de la observación natural. La laboriosa construcción de la perspectiva a

partir de planta y alzado expuesta en los capítulos finales del tratado de Piero puede resultar útil para resolver el problema por métodos racionales, pues permitiría encararlo primero en el sistema diédrico y trasladar la solución a la perspectiva; pero no disponemos de nada que nos permita probar esta posibilidad.

Unas décadas más tarde, Alberto Durero expuso en el *Underweissung der messung* (1525) la solución racional de un problema mucho más simple: la sombra arrojada por un cubo sobre un plano horizontal. El problema se aborda en primer lugar en planta y alzado, aplica un procedimiento clásico, repetido después hasta la saciedad y que todavía explicamos hoy: se trazan los rayos de luz que pasan por cada uno de los vértices del cubo y sus proyecciones horizontales sobre el plano que recibe la sombra. El punto de encuentro entre cada rayo de luz y su proyección estará al mismo tiempo en el rayo de luz y en el plano que recibe la sombra; por tanto, cada uno de estos puntos de encuentro nos da la sombra de un vértice. A continuación, Durero construye la perspectiva del cubo, del tablero que lo soporta, y de la sombra que el primero arroja sobre el segundo; para hacer esto, traza

líneas proyectantes en planta y alzado a cada vértice del cubo y a cada uno de los puntos clave de la sombra, y después halla su intersección con el plano del cuadro, tanto en planta como en alzado. El método es en esencia el mismo que había explicado Piero en *De prospettiva pingendi*.

Esta vinculación entre sombra y perspectiva en el tratado de Durero sugiere que en último término ambas comparten la misma naturaleza, pues se basan en la proyección; la intersección de la pirámide visual con el plano del cuadro encuentra su correlato en la intersección de la pirámide de sombras con el plano que recibe la sombra. Esta analogía entre sombra y visión hace que ambas se apoyen recíprocamente; los conceptos albertianos de la perspectiva artificial permiten resolver problemas de sombras, que a su vez ilustran de manera empírica y tangible la noción abstracta de proyección. Ahora bien, en el esquema de Durero el punto de vista se separa claramente de la fuente luminosa; de lo contrario, se produciría el efecto que da un aspecto fantasmal a las fotos con flash y que ya Leonardo explicó con una frase lapidaria: "El ojo del sol no ve sombras".

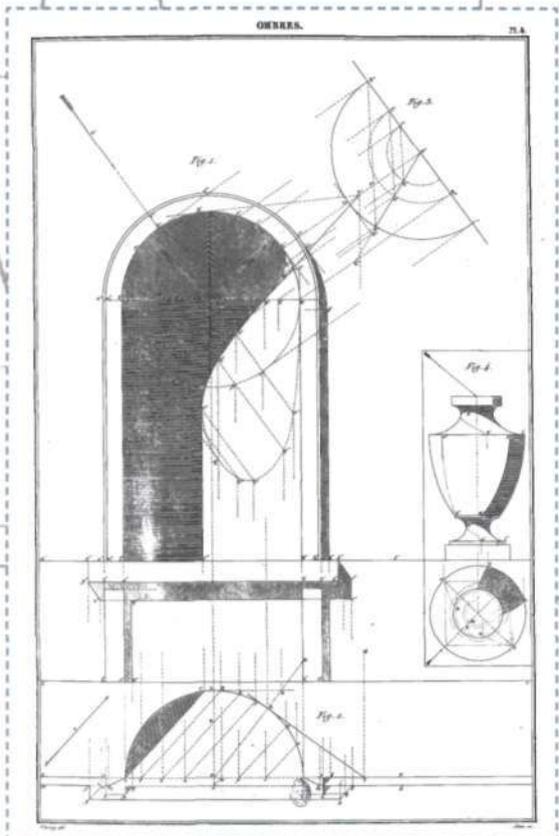


Fig. 2. Sombra autoarrojada del nicho esférico. Charles-Felix-Auguste Leroy, *Traité de stéréotomie, comprenant les applications a la théorie des ombres...*, 1844 (7ª ed. 1877).

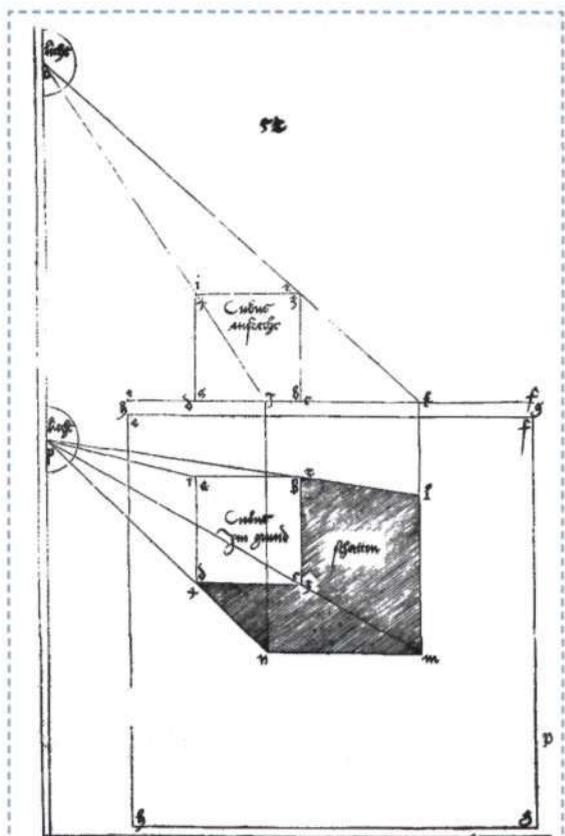


Fig. 3. Sombra de un cubo en el sistema diédrico. Albrecht Dürer, *Underweissung der messung mit dem zirkel und richtscheyt*, 1525.



Las sugerencias en Durero son ya certidumbres en los *Opticorum libri sex* (1613) de François Aguillon, un jesuita flamenco de origen español; el autor clasifica las proyecciones en ortográficas, estereográficas y escenográficas, se refiere a las proyecciones escenográficas (es decir, perspectivas) de las sombras, diferencia entre sombra y penumbra, dibuja la pirámide de sombras y aplica la construcción que hemos visto explicada por Durero a pirámides, esferas, conos y cilindros rectos y oblicuos, determinando las separatrices de luz y sombra propia. Ambos problemas, la visión y la sombra, encuentran su reflejo en la cosmografía, la incipiente astronomía de alrededor de 1600, como sugiere el bello frontispicio del libro sexto del tratado de Aguillon; el problema de las caras aparentes de los astros, en particular la luna, y el de los eclipses tienen los mismos fundamentos.

Por otra parte, el problema de la separatriz de luz y sombra propia queda vinculado en la obra de Aguillon al de las secciones cónicas, en particular en la esfera, pues la separatriz será una línea trazada en el cono tangente a la esfera que tiene su vértice en el punto luminoso. Unos años más tarde, Girard Desargues publicó un breve panfleto con el título de *Brouillon project d'une atteinte aux rencontres d'une cone avec une plan* (1639), que anticipó en doscientos años algunos conceptos fundamentales de la geometría proyectiva. Otra obra de Desargues, las *Leçons de tenebres*, de la que se imprimieron únicamente cincuenta copias, se ha perdido. Sabemos, sin embargo, a través de una carta de Oldenburg a Leibniz, que las *Leçons* abordaban el problema de las secciones cónicas mediante la proyección estereográfica de un círculo menor de una esfera. La idea es en sí de gran interés pero ¿porqué se denomina la obra *Lecciones de tinieblas*? Dejando aparte la oscuridad del tema, podemos especular con la posibilidad de que Desargues empleara paradójicamente las nociones de sombra, separatriz y contorno aparente para iluminar los difíciles conceptos de la teoría de cónicas; al fin y al cabo, el grabado de Aguillon sugiere el empleo de la sombra para generar una proyección muy próxima a la estereográfica.

Dado que esta idea es hoy por hoy de imposible comprobación, podemos volver nuestros ojos a una obra bien tangible, el *Traité des pratiques géométrales et perspectives* (1665) de Abraham Bosse, un ilustre grabador, introductor del aguafuerte, discutido profesor de la Academia Real de Pintura y Escultura de

París, alumno, defensor y vulgarizador de Desargues. En esta obra, Bosse aplica la construcción de Durero a la perspectiva militar, pero no sólo para construir sombras sobre planos horizontales; también aborda el problema de la sombra sobre planos verticales e inclinados, llegando a afrontar problemas muy complejos de planos quebrados. Ahora bien, el autor se da de bruces con un problema muy significativo. En la perspectiva cónica los rayos de sol, que podemos suponer paralelos a efectos prácticos, concurren en un punto de fuga; podemos identificar este punto con el sol, lo que concuerda con nuestra experiencia perceptiva, pues podemos ver el sol a pesar de su gran distancia a nosotros. Por el contrario, la perspectiva militar o *geometral* de Bosse conserva el paralelismo de los rayos de sol; no es fácil trazarlos, ya que concurrirán en el infinito. Bosse salva el escollo evitando trazar el rayo de luz y empleando en cambio la proporción entre la cota de cada punto sobre el plano que recibe la sombra y la distancia entre la proyección horizontal del punto y su sombra. Es claro que esta razón es igual para todos los puntos, pues no es otra cosa que la tangente del ángulo que forman los rayos luminosos con la horizontal; en términos astronómicos, este ángulo es la altura del sol. Ahora bien, Bosse no está escribiendo para los sabios, como Aguillon, sino repitiendo sus polémicas lecciones de la Academia, y simplifica el problema haciendo igual la cota del punto a la distancia entre su proyección horizontal y su sombra; dicho en otras palabras, está suponiendo que la altura del sol es igual a 45°. Estas condiciones sólo se dan en dos momentos del día y, en París, no todos los días del año. Por supuesto, la construcción de Bosse es perfectamente legítima si lo único que se pretende es emplear las sombras para dar volumen al dibujo, un recurso que el propio Bosse emplea con soltura a lo largo de su tratado. Ahora bien, el autor ofrece el método para "encontrar el lugar geométrico de las luces y sombras causadas por la luz del sol, y también de la luna, sobre las diversas superficies de los sólidos", lo que no parece un modelo de rigor.

* * *

A lo largo de los siglos XVII y XVIII la práctica de las sombras a 45° se extendió no sólo por los dominios de la perspectiva militar o soldadesca, que al fin y al cabo tiene por virtud principal la facilidad de trazado, sino también por los terrenos de las proyecciones ortográficas. Ahora bien, en el diédrico lo más eficaz

no es suponer que los rayos de sol reales forman 45° con el plano horizontal, sino que sus proyecciones horizontales y verticales forman ángulos de 45° con las líneas de referencia, cosa que solo ocurre en dos ocasiones al año. A mediados del siglo XVIII, Nicholas-François-Antoine de Chastillon, en un tratado manuscrito (c. 1760) preparado para los alumnos de la Escuela de Ingenieros de Mézières criticó estas prácticas, señalando que los rayos solares no pueden adoptar nunca esta dirección en las fachadas orientadas al norte. Esta ostentación de rigor no es más que una manifestación de espíritu de cuerpo; frente a la costumbre de los arquitectos de colgar indiscriminadamente plantas y alzados en las paredes con gran fanfarria, el autor opone el método de los ingenieros, que doblan sus planos en secreto ante el Rey y sus ministros, para mostrar la planta sobre la mesa y el alzado en posición vertical. Pero dejando aparte estos rifirrafes profesionales, los espléndidos apuntes de Chastillon resuelven con soltura una breve serie de ejercicios que encierran prácticamente todos los problemas de lo que hoy entendemos como teoría de sombras: sombras de líneas rectas o curvas sobre cualquier plano, sombras de esferas sobre planos inclinados, o la sombra de una recta sobre un cono.

Gaspard Monge debió de conocer este cuaderno, pues entró en la escuela de Mézières como simple delineante cuando Chastillon era director. Más adelante preparó una serie de lecciones sobre las sombras y la perspectiva como aplicaciones de la Geometría Descriptiva, que no pudieron ser incluidas en la transcripción de sus lecciones en la *École Normale*, ni en la edición príncipe del año III del calendario republicano, equivalente a 1799 por nuestro cómputo, pero sí fueron recogidas finalmente por Brisson en la edición de 1820, partiendo de papeles inéditos de Monge. Este trabajo póstumo se abre exponiendo la teoría de las sombras; el autor comienza explicando cómo las sombras pueden potenciar el empleo de la doble proyección como método de representación de los objetos en el espacio. A continuación deja claro que la determinación de las sombras comprende dos partes distintas: una es el trazado gráfico del contorno de las sombras, mientras que la segunda se refiere a la intensidad de las tintas que se han de atribuir a cada parte de las superficies que reciben las sombras.

A renglón seguido, Monge estudia los casos más simples de sombras, como el del cubo, explicando cómo los rayos de luz que encuen-

tran a cada arista del cubo forman un plano, y cómo la intersección de ese plano con el que recibe la sombra nos dará la sombra de la arista, para añadir que estos métodos no son más que simples aplicaciones de la Geometría Descriptiva. A renglón seguido Monge pasa a las sombras de las superficies curvas, observando que los rayos de luz que pasan por la separatriz de luz y sombra propia no penetran en el cuerpo que recibe la sombra, sino que se limitan a tocarlo, señalando que la determinación de la separatriz es de gran ayuda en las artes del dibujo y la pintura, pues marca la línea donde terminan las tintas claras y empiezan las oscuras. Esto le lleva a abordar un problema mucho más complejo: la sombra arrojada por una superficie sobre otra, ofreciendo un método general basado en seccionar la primera superficie por una serie de planos paralelos que le permiten determinar la separatriz de luz y sombra propia en la primera superficie y, matando dos pájaros de un tiro, proyectar la separatriz sobre la segunda superficie para obtener el contorno de la sombra arrojada.

Tras este *tour de force*, Monge pasa a tratar de las sombras arrojadas por focos de luz y del problema de la penumbra, para finalizar el apartado dedicado al trazado de sombras señalando que antes de tratar la determinación de las tintas que es preciso dar a las diferentes partes de las superficies sombreadas, para que ofrezcan en los dibujos la misma

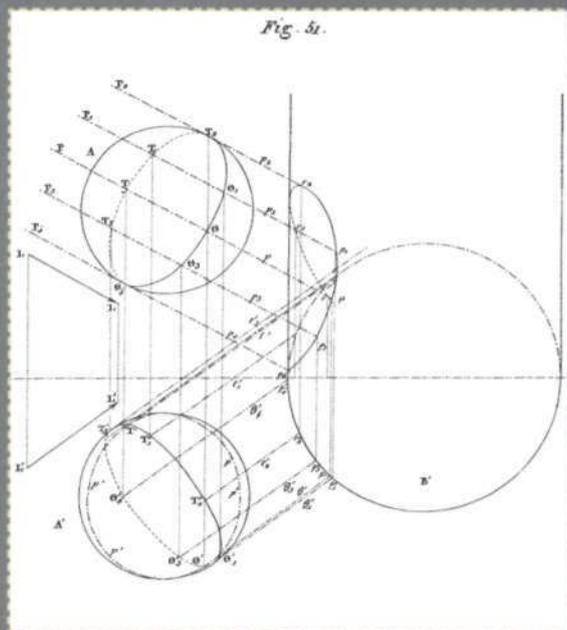


Fig. 4. Sombra arrojada por una esfera sobre un cilindro. Gaspard Monge, *Géométrie Descriptive*, 2ª ed. al cuidado de Barnabé Brisson, 1820.



Es posible en teoría resolver el problema directamente en la perspectiva, pero eso exigiría conocer el concepto de punto de fuga de una recta horizontal cualquiera, y disponer de un método para situar este punto; se viene aceptando pacíficamente que ninguna de las dos cosas aparece antes de la publicación de los *Perspectivae libri sex* de Guidobaldo del Monte (1600).

aparición que la sombra y la luz presentan en la naturaleza, es preciso considerar la posición del ojo del espectador, lo que le lleva a tratar antes de la perspectiva lineal. Después de este excursus, pasa a tratar de la determinación de las tintas y de la perspectiva aérea, lamentando en primer lugar que los pintores, que se ven obligados a reflexionar continuamente sobre estas cuestiones, hayan descuidado dar cuenta de sus hallazgos.

A continuación, Monge señala dos leyes luminotécnicas básicas: la intensidad luminosa en un punto iluminado por una sola fuente de luz es inversa al cuadrado de la distancia entre la fuente luminosa y el punto iluminado y proporcional al seno del ángulo que forma el rayo incidente con el plano tangente a la superficie en el punto iluminado. La segunda de estas leyes había sido enunciada poco antes por Johann Heinrich Lambert en su *Photometria* (1760), si bien ahora la conocemos como ley del coseno. Resulta interesante saber que este mismo Lambert había publicado una *Freie Perspective* (1759) o *Perspective affranchie de l'embaras du plan geometral* y que había concebido la proyección cartográfica cónica que lleva su nombre; por así decirlo, la ley del coseno estaba vinculada a la Geometría Descriptiva desde antes del nacimiento de esta ciencia. Al mismo tiempo, Monge pone de manifiesto que si un cuerpo estuviera iluminado únicamente por una fuente de luz, las caras en sombra de ese cuerpo presentarían

a nuestros ojos un negro absoluto. Por supuesto, nuestra experiencia nos dice que esto no ocurre así en el mundo real, y Monge se apresura a explicar que es la luz reflejada por otros cuerpos la que evita la oscuridad total de las caras en sombra. A continuación distingue entre los cuerpos reflectantes puros, como los espejos, y los cuerpos mates, y expone los distintos tipos de reflexión que los caracterizan, señalando cómo un foco de luz generará en una superficie un punto brillante que depende de la posición del ojo del espectador, para terminar el apartado refiriéndose a la luz difusa procedente de la atmósfera, que colabora para iluminar las caras en sombra de los objetos, al mismo tiempo que da lugar a efectos de perspectiva aérea.

Como es bien conocido, las propuestas de Durero y Bosse nunca han encontrado gran eco en la enseñanza artística, que ha partido siempre de la observación del natural para la ejecución de las sombras. Aún menos éxito tuvo Monge, pues no hay nada más opuesto al ideal romántico que la pretensión de someter el arte a la exactitud matemática. Sin embargo, ni los arquitectos ni los ingenieros pueden recurrir a la observación al natural del objeto de su proyecto, como es obvio; esto justifica el gran número de tratados decimonónicos que dedican un espacio apreciable a la resolución de problemas de sombras. A estas alturas, el problema básico de la sombra, la proyección de una figura sobre un plano, está más que dominado; la frontera del conocimiento se sitúa en la sombra de curvas sobre superficies, con la reaparición del venerable nicho de Piero o la determinación de separatrices de luz y sombra propia de superficies complejas, como el helicóide desarrollable de cono director.

Por tanto, el problema de la sombra se asocia ahora al de la intersección de superficies, y más concretamente al de las penetraciones y mordeduras de bóvedas pétreas; esto es lo que justifica su presencia, sorprendente a primera vista, abriendo tratados de estereotomía como el de Leroy (1844). Pero en realidad, no es ni el dibujo ni la cantería lo que preocupa a estos tratadistas decimonónicos. Sakarovitch y Rabasa han explicado cómo la presencia del capialzado de Marsella en estos tratados no tiene por objeto resolver un problema constructivo concreto, sino ilustrar un teorema de Hachette acerca de los acuerdos entre superficies regladas; otro tanto se puede decir del problema de la sombra del tornillo de rosca triangular.



El problema de la determinación de las tintas dio lugar a algunos trabajos significativos dentro del campo de la Geometría Descriptiva. Después de publicar en 1816 un tratado titulado *De' contorni delle ombre proprie*, Antonio Bordonni, estudiará la intensidad de la luz incidente o reflejada en su memoria *Sopra le linee uniformemente illuminate*, de 1823, introduciendo la noción de líneas isótopas; más adelante se ocupan de la cuestión Lewis Cohen Stuart, que analiza las del elipsoide y Ludwig Burmester, que resuelve el cálculo de isótopas para un buen número de superficies, pero retoma una idea de Monge y señala que la intensidad luminosa aparente depende no sólo del ángulo que forma la normal a la superficie con el rayo de luz incidente sino también con el rayo visual que une el ojo del observador con el punto de la superficie, lo que le lleva a introducir las *isophengen* o líneas de igual intensidad luminosa aparente. Ahora bien, el problema general de la determinación de las tintas era intratable por medios gráficos, y fué abordado por métodos experimentales por Christian Wiener (1869), con lo que acabó pasando al campo de lo que ahora llamamos luminotecnia y ahora se resuelve por medios numéricos.

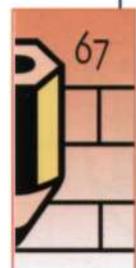
Otro tanto ocurrió con el problema del punto brillante, del que se ocuparon Hachette y Leroy entre otros; es decir, dada una fuente de luz, hallar el punto de una superficie al que debe dirigirse uno de los infinitos rayos emitidos por la fuente para alcanzar el ojo del observador; más allá de casos elementales como el del plano, el problema se reveló irresoluble por medios gráficos. Contrasta con estos fracasos el paulatino desarrollo de la fotografía a lo largo de los siglos XIX y XX; durante este período, la mecanización del método empírico de los pintores ha superado de largo a la venerable construcción racional de Durero, resolviendo con eficacia industrial la determinación de las tintas y de los puntos brillantes y el trazado de separatrices y contornos de sombras arrojadas.

* * *

Como consecuencia, los métodos racionales de determinación de sombras y tintas quedaron estancados largo tiempo; sólo con la aparición de los ordenadores en la década de los cincuenta fue posible emplear procedimientos numéricos para abordar el problema en la práctica. Muy pronto se aplicó la ley del coseno de Lambert a las mallas de polígonos; para evitar el aspecto facetado de estas mallas,

Henri Gouraud (1971) desarrolló técnicas de interpolación que creaban la ilusión de un sombreado suave en una tesis presentada en la Universidad de Utah. Resulta curioso comprobar que Gouraud, hijo de un general del ejército francés, había seguido en el Pritaneo Militar de La Flèche el curso preparatorio para las Grandes Écoles francesas, más o menos influenciado por el espíritu y los programas de la École Polytechnique; y aún más sorprendente resulta saber que el Pritaneo ocupa un antiguo colegio jesuita vinculado a dos nombres tan significativos en la historia de la estereotomía como los de Mathurin Jousse y François Derand. Sin embargo, el procedimiento de Gouraud no permite por sí mismo representar sombras ni reflejos. La construcción de sombras fue abordada por Bui-Tuong-Phong, un francés de origen vietnamita, en la misma universidad cuatro años después por un método más sofisticado, que además permite calcular la posición del punto brillante. Aún así, el método de Phong no permite calcular reflejos; para resolver este problema se empleó un procedimiento bien conocido, desarrollado originalmente para medir la exposición a la radiación nuclear, que hasta entonces no se había aplicado a problemas de visualización debido a la enorme potencia de cálculo que requiere: el trazado de rayos, expuesto en los trabajos de Whitted (1980). Este algoritmo modela la transmisión de luz trazando rayos desde cada fuente de luz a cada superficie del modelo; cuando los rayos alcanzan superficies con un cierto grado de reflexión especular, se vuelve a trazar un rayo que parte de la superficie brillante, y así hasta comprobar si el rayo alcanza el punto de vista, donde suponemos colocado el ojo del espectador. No es necesario decir que el método derrocha la capacidad de cálculo del ordenador, pues únicamente un porcentaje muy reducido de los rayos trazados alcanza el punto de vista. Sin embargo, ya en los años noventa se disponía de ordenadores suficientemente potentes para implementar un algoritmo eficaz de trazado de rayos.

La misma idea, derivada en último término de los programas de cálculo de la radiación nuclear de los años cincuenta, se puede aplicar a la luz difusa para obtener gradaciones de clarooscuro más sutiles y realistas. Ahora bien, el problema es más complejo, puesto que en la radiación difusa cada rayo incidente da lugar a infinitos rayos reflejados; aunque este fenómeno se represente discretizando estos rayos reflejados en un número finito, es



evidente que la potencia de cálculo requerida para aplicar este método en la práctica a un modelo de arquitectura relativamente complejo sea desproporcionada. Por tanto, los algoritmos que emplean esta técnica, denominada radiosidad o iluminación global, se han empleado durante algunos años, a partir de los trabajos de Goral et al. (1984) sin llegar a gozar de una aceptación generalizada. Poco a poco, la eficacia de estos métodos ha ido creciendo, en parte debido al poder de cálculo cada vez mayor de los ordenadores personales, en parte gracias al empleo de algoritmos que reducen la carga de cálculo en el procesador por métodos aleatorios, como en los trabajos de Jensen (1995).

Por tanto, el problema de la sombra se asocia ahora al de la intersección de superficies, y más concretamente al de las penetraciones y mordeduras de bóvedas pétreas; esto es lo que justifica su presencia, sorprendente a primera vista, abriendo tratados de estereotomía como el de Leroy (1844)

Por esta vía, los métodos racionales de construcción de luces y sombras han cobrado nueva vida, hasta el punto de hacernos pensar que por fin nos hallamos ante el sueño de Monge: luces, sombras, separatrices y puntos brillantes se pueden determinar con exactitud gracias a las leyes de la física y los procedimientos de la matemática, no sólo para los objetos materiales, sino también para los que sólo existen en la imaginación del hombre de genio. Sin embargo, algunas nubes perturban este panorama idílico.

En primer lugar, los programas de *render* disponibles comercialmente, incluso los que se autodefinen como *fotométricos*, adoptan a veces soluciones que harían reír a un estudiante de bachillerato. Para evitar el peligro de las sombras sumidas en la oscuridad más absoluta, contra el que ya advertía Monge, muchos de ellos ofrecen de salida una luz

ambiente homogénea e isotrópica; ahora bien, esta solución tampoco representa con fidelidad las condiciones reales de la atmósfera terrestre, pues en nuestro planeta la radiación difusa no es isotrópica, sino que predomina la componente vertical; y esta falsa isotropía hace desaparecer las texturas de relieve en las caras en sombra. Otros programas regulan la aplicación del método de Phong mediante parámetros incomprensibles, de tal manera que un usuario poco cuidadoso puede encontrar cubos de piedra volando por el aire. En otras ocasiones, ignoran la ley del cuadrado de la distancia o la consideran opcional, una más entre los muchos sistemas de transmisión de la luz posibles; únicamente el empleo de estos programas para realizar películas de ficción científica puede justificar una decisión tan peregrina. En el colmo del disparate, los programas *fotométricos* miden la potencia de los focos luminosos en vatios, sin tener en cuenta las propiedades de la lámpara ni las de la luminaria, cuando cualquier ama de casa sabe que la eficacia luminosa de las lámparas fluorescentes supera a la de las incandescentes.

Por otra parte, resulta curiosa la obsesión de las casas que comercializan programas derivados de estos trabajos por definirlos como *fotorrealistas*. El neologismo resulta sorprendente cuando los fotógrafos insisten en que *hacen* fotografías, y no *toman* fotografías; dicho de otro modo, todas las operaciones del fotógrafo tradicional o digital, del encuadre inicial al procesado, están cargadas de intención. La aparición de este extraño término parece deberse a dos causas. La evolución histórica de la fotografía, método empírico mecanizado para la determinación de las tintas y las sombras, ha precedido en ciento cincuenta años a la imagen de síntesis, método racional mecanizado para resolver el mismo problema. Esto justifica que la imagen de síntesis imite a la fotografía, del mismo modo que ésta remedaba a la pintura en sus inicios. Si esta fuera la única causa, cabría esperar que la imagen de síntesis se libere gradualmente del paradigma fotográfico, como parece indicar la preferencia de muchos arquitectos por la imagen no realista. Ahora bien, el complejo de inferioridad del *render* respecto a la fotografía parece derivar también de la hegemonía cultural anglosajona, que privilegia los métodos empíricos frente a los conceptos racionales de la tradición francesa; si es así, tendremos *fotorrealismo* para rato.

Fiat Lux

La Construcción
Racional de la luz y
la sombra

Nuevas formas de
Representación de
las Sombras

Los Orígenes del
Fotomontaje
Arquitectónico

A propósito del
Compendio
Mathematico de
Tomás Vicente de
Tosca

Una cúpula plegable
para la Universidad
de Girona

Spazio,
Rappresentazione,
Architettura

Principios y
Aplicación de la
fotogrametría
convergente en la
fotogrametría
arquitectónica

