

SIMULACIÓN VISUAL DE MATERIALES ARQUITECTÓNICOS. UN ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN RECIENTE Y DE SUS IMPLICACIONES PARA LA DOCENCIA Y LA INVESTIGACIÓN

MONEDERO ISORNA, Javier

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I. Universidad Politécnica de Catalunya

There was little to be said about representation of architectural materials, until recently, for several reasons that deserve to be remarked. The traditional means of representation significantly hindered the use of colors and textures in an efficient way for the representation of complex material properties. Moreover, the very conception of classical architecture, linked to the preservation and study of some time-worn ruins, favored the idea that the surface appearance was a “secondary quality”. Idea so firmly established that the investigations of French and German archaeologists during the first half of the nineteenth century, which brought to light that the classical Greek temples were painted with bright colors, caused shock and scandal despite being received with great interest by some architects like Jacques Ignace Hittorf or Gottfried Semper. And the modern movement, with its predominant emphasis on white, pure colors and glass and metal surfaces, also contributed, with notable exceptions, to these dominant ideas. One of the many consequences of the emergence of digital technology in our world, is that the technical barrier has become an open way. Not only for the simulation of forms but also for the experimentation and extension of the idea of design towards the surface of objects and thus to a deeper understanding, paradoxically rooted in its limits, of the very notion of form. This communication has two objectives: a) to present a summary and an assessment of these developments, from the first contributions, already “classic”, of Bui Tuong Phong, around 1975, until recent works, by many researchers, on the simulation of complex effects through various methods, some

incorporated into sophisticated software, others being tested, that have emerged over the past 35 years, b) from here, to raise a discussion, based on the works of our students during the last 5 years, on the role it should play in the future of our discipline this line of research. The argument is not merely technical. Against the notion of a “real” form, it is essential to reaffirm the importance of “apparent” form. The space of engineers, standardized, measurable, is not the same as the space of architects, heterogeneous, based on different attractors, depending on complex values and not directly quantifiable.

1. El color y la textura, lo que percibimos de inmediato en una forma, su superficie visible, han recibido una consideración marginal en los estudios y en la cultura arquitectónica de nuestra tradición occidental. Esto quedó espectacularmente de manifiesto cuando, tras las investigaciones de arqueólogos franceses y alemanes, durante la primera mitad del siglo XIX, que sacaron a la luz que los templos griegos clásicos estaban pintados con colores vivos, la reacción fue de estupor y escándalo, pese a ser acogidas con enorme interés por algunos arquitectos como Jacques Ignace Hittorf o Gottfried Semper. Y el movimiento moderno, con su énfasis predominante en el blanco y los colores puros o el vidrio y las superficies metálicas, también es deudor, con notables excepciones, de estas ideas dominantes.

Creo que esta consideración marginal es debida a tres razones principales. En primer lugar, a una aspiración exacerbada de universalidad. La famosa distinción de Locke entre cualidades primarias (la forma, la solidez, la extensión) y secundarias (el color, el gusto, los sonidos) ha sido asumida por los arquitectos que aspiran a crear obras intemporales, modelos que permanezcan en la memoria, formas desligadas de un punto de vista y de una apreciación superficial. En segundo lugar, la propia concepción de la arquitectura clásica, ligada a la preservación y el estudio de unas ruinas desgastadas por el tiempo, favorecía la idea de que el aspecto de las superficies era una "cualidad secundaria". Por último, aunque pueda parecer un factor poco relevante, no cabe duda de que el hecho de que la arquitectura se elaborase en los despachos y de que los medios tradicionales de representación dificultaban considerablemente el uso de colores y texturas de un modo eficaz para la representación de cualidades materiales complejas, también ha contribuido al predominio de una arquitectura "en blanco y negro".

Así, la representación de materiales es un tema del que, hasta hace poco, había muy poco que decir. Pero una de las múltiples consecuencias de la irrupción de las técnicas digitales en nuestro mundo, es que el obstáculo técnico se ha convertido en una vía abierta. No sólo para la simulación de formas, sino también para la experimentación y la extensión de la idea de diseño a la superficie y, con ello, para una profundización, paradójicamente anclada en los límites, de la propia noción de forma. Lo que sigue es un resumen de un estudio más amplio sobre las principales contribuciones a este área que se han producido en los últimos 35 años.

2. Esta evolución se puede sintetizar en dos vías principales. Por un lado, el análisis de los fenómenos inherentes a las propiedades puntuales de materiales específicos, atendiendo al comportamiento de un entorno infinitesimal y, por otro lado, de los fenómenos inherentes a las propiedades locales, atendiendo al comportamiento en un entorno extendido. Lo primero se ha centrado en el desarrollo de distintas formulaciones de la función BRDF (*Bidirectional Reflexion Distribution Function*). Lo segundo, en el desarrollo de distintos métodos y técnicas de simulación de texturas.

Por lo que respecta a lo primero. Desde por lo menos el siglo XVII y XVIII, hay dos modos básicos de entender la reflexión de una superficie considerando tan sólo una región infinitesimal: como reflexión idealmente especular o como reflexión idealmente

difusa. Un espejo perfecto reflejaría la luz incidente en un único plano (el formado por dos vectores, el correspondiente a la luz incidente y el correspondiente a la normal a la superficie) y de tal modo que el ángulo formado por la luz incidente con respecto a la normal a la superficie sería igual al de la luz reflejada. Un difusor perfecto reflejaría la luz incidente por igual en todas direcciones, con una intensidad directamente proporcional al coseno de ángulo de incidencia, lo que se conoce a veces como ley "del coseno" o de Lambert por ser éste quien la enunció con precisión hacia 1760.

Sin embargo los materiales reales no se comportan de ninguno de estos dos modos. Si un rayo de luz incide sobre una superficie en una dirección dada, se refleja en múltiples direcciones con una intensidad variable. Según los casos, se comportaría de un modo más o menos cercano a una de las dos situaciones ideales, el espejo perfecto y el difusor perfecto. Y las variaciones dependen del tipo de material (más concretamente, de su estructura atómica superficial), del ángulo de incidencia en sentido horizontal (pues los materiales anisotrópicos reflejan de modos distintos según la dirección con que se les ilumine) y del del ángulo de incidencia en sentido vertical (como puede comprobarse con facilidad mirando un metal o incluso una madera barnizada con un ángulo muy rasante con el que se apreciará que los rayos incidentes en esa dirección se reflejan mucho más que los incidentes en direcciones más elevadas, una observación que ya fue avanzada por Galileo pero que fue analizada y formulada con precisión por Fresnel hacia 1821).

Los intentos de sistematizar este comportamiento han dado lugar a algo más de una docena de algoritmos que se pueden reunir en dos grandes grupos. Los primeros han resuelto el problema por medio de formulaciones empíricas: aproximaciones de fundamento teórico más bien débil pero que funcionan bien en la práctica. El primero y más conocido es el de Phong (desarrollado por Bui Tuong Phong, un investigador vietnamita que desarrolló el modelo que lleva su nombre en la universidad de Utah y que murió de leucemia el mismo año que lo publicó, en 1975, a los 33 años). Le siguieron, en esta misma línea, Blinn (1977), Strauss (1990), Ward (1992), Lafortune et al (1997) o Ashikmin (2000). Los segundos han buscado resolver el problema por medio de formulaciones de mejor fundamento teórico aunque con mayores dificultades para ser llevados a la práctica. El primer modelo importante en esta línea fue el de Cook y Torrance (1982) al que siguieron, principalmente, los de Poulin, P.; Fournier, A. (1990), He, Torrance, Sillion y

Greenberg (1991) o Nayar y Oren (1993). En paralelo se han desarrollado sistemas de medición de la función BRDF de materiales reales que se almacenan en tablas de tal modo que los valores podrían teóricamente utilizarse en simulaciones reales, aunque en la práctica su uso principal es como medio de comprobar la exactitud de los modelos teóricos. Puede encontrarse información reciente sobre este tipo de trabajos en varios laboratorios como, por ejemplo, el Cornell Light Measurement Laboratory (ver Cornell Lab en Referencias).

La segunda gran línea de investigación a que me refería al comienzo y que es de esperar que acabe por converger con la primera en un futuro no demasiado lejano, ha estado dirigida a buscar métodos adecuados de formular las variaciones locales, lo que corrientemente denominamos "textura". Estas variaciones son debidas a dos factores. Por un lado, como ocurre con un mármol pulido, a variaciones en la estructura propia del material que se traducen en variaciones de su absorción de unas u otras longitudes de onda, lo que da lugar a patrones característicos, como los de la madera o el mármol. Por otro lado, como ocurre con una piedra de arenisca de color uniforme pero toscamente acabada, en variaciones geométricas que se traducen en diferencias de iluminación o en minúsculas sombras locales, en una rugosidad característica que también es "textura". El método más sencillo para simular estos dos tipos de textura es por medio de proyecciones, únicas o combinadas, de fotografías de imágenes reales sobre la superficie del material a simular. Pero esto tiene dos inconvenientes importantes: la necesidad de almacenar y gestionar grandes colecciones de imágenes que nunca acaban de adecuarse a lo que realmente queremos y la necesidad de ajustar la proyección de una imagen plana, 2D, a un volumen, a un objeto 3D, algo que en muchos casos es muy sencillo pero en otros no lo es en absoluto. Para solucionar este problema se ha trabajado intensamente en la búsqueda de simulación de texturas por medio de mapas procedurales 3D o "texturas sólidas". Un mapa procedural 3D puede entenderse como lo que obtendríamos si fuéramos esculpiendo un bloque de mármol para sacar a la superficie su textura interna.

Los dos artículos pioneros en este campo aparecieron el mismo año de modo independiente: uno, debido a Ken Perlin (1985), que introdujo el término "solid texture" y el otro a Darwyn Peachey (1985). Posteriormente ha habido múltiples contribuciones que han intentado mejorar unos resultados que funcionaban bien para texturas informes pero de un modo insuficiente para el caso de materiales nobles,

como el mármol o la madera. Y el propio Perlin introdujo en 1989 otro concepto de notable interés que merece un comentario adicional: el de "hipertextura". Si lo que denominamos "textura" se debe a dos causas (variaciones locales de absorción, variaciones locales de configuración de microfacetas) ¿en qué momento la segunda debe dejar de considerarse como "textura" para pasar a ser considerada como "relieve"? La respuesta es que esto depende de dos factores que tienen importancia técnica pero también conceptual. Primero, si las variaciones son intensas y complejas se requieren técnicas especiales. Es el caso de ejemplos notorios como el pelo o la hierba pero también de alteraciones superficiales debidas al deterioro, la corrosión, a causas que pueden ser tanto internas como externas. Las técnicas presentadas por Perlin en 1989 (que ya están disponibles desde hace poco en ordenadores corrientes) y desarrolladas por otros investigadores notables (como Dorsey, Edelman, Jensen, et al, 2006) para simular específicamente el deterioro debido a causas tales como la contaminación (que no están disponibles en ordenadores corrientes pero lo estarán pronto), abordarían estos casos. Pero, en segundo lugar, esto depende de la distancia o bien, para decirlo con mayor precisión, de la escala propia de nuestra percepción visual. A una determinada distancia se puede utilizar lo que se denomina en la jerga profesional "geometría falsa" que incluye efectos de relieve simulado (bump mapping). A una distancia intermedia se pueden incluir efectos más sofisticados de simulación de relieve por alteraciones virtuales de la geometría local durante el proceso de representación pero sin modificar la geometría local (*displacement mapping*, *normal mapping*).

Pero esto no es sino parte de una estrategia más amplia de organización del modelo por medio de multiresolución digital que entronca con temas clásicos. Como en la famosa anécdota del concurso convocado en Atenas para esculpir una cabeza de Minerva que debía situarse a cierta distancia y en el que participaron Fidias y Alcámenes. Cuando los escultores presentaron sus obras, los miembros del jurado consideraron que la del segundo, cuidadosamente detallada, debía ser la ganadora y se rieron de la tosquedad con que Fidias había modelado la suya. Pero cuando este pidió que se contemplaran a la distancia prevista, la de Alcámenes se veía como una bola informe mientras que la sabia disposición de los planos de la de Fidias hacía que los rasgos de la diosa aparecieran bellamente resaltados.

3. Hasta aquí, una evaluación muy condensada del estado del arte, del desarrollo reciente de la teoría

y de lo que cabe esperar en un futuro más o menos cercano. Pero lo que nos debe importar es que gran parte de estas promesas ya se han cumplido (ver la nota sobre trabajos de nuestros estudiantes que se da al final). En estos momentos es posible crear modelos virtuales en los que los materiales están definidos con tal exactitud que a menudo resulta imposible saber si estamos ante una fotografía real o ante una simulación. Pero, lo que resulta aún más notable es que, en muchos casos, estos materiales no se han obtenido mediante capturas de imágenes reales sino que se han creado *ex novo*, se han **diseñado**, sea como variantes de ejemplos reales, sea como propuestas originales.

Resulta sorprendente que todo esto, que no cabe calificar sino como uno de los avances más espectaculares de desarrollo tecnológico de los últimos años, haya recibido tan poca atención en muchas aulas de arquitectura. Y la principal explicación es la que señalaba al comienzo: se debe sin duda al prejuicio dominante a favor de la forma geométrica como principal ingrediente en la determinación del espacio.

Sin embargo, esta concepción del espacio a la que denominaré, por las razones que seguirán, una concepción propia de los ingenieros, no es sino **una** concepción del espacio. Pero hay otras.

El espacio de los ingenieros, el espacio dominante, es un espacio cuyas características esenciales son ser homogéneo, de extensión infinita y cuantificable, medible por igual en cualquier posición con una regla única. Es el espacio de Newton, extrapolación sistemática del espacio de Euclides, el espacio que se impuso socialmente durante el siglo XIX, en paralelo con el ascenso de la propia profesión de ingeniero, como medida de todas las cosas, como la base, también, de su valor monetario. No hace falta recordar cuales son sus ventajas desde el punto de vista de la organización de la ciencia y de la sociedad. Ventajas que en absoluto pretendo desdeñar. Tan sólo quiero subrayar el hecho de que esta concepción **debe** ser compatible con otras.

El espacio no euclideo es, como sabemos también desde el siglo XIX, no homogéneo, de extensión no infinita y no cuantificable con una regla única. El propio espacio interno de un material sólido tiene, precisamente, estas características pues es, en general, anisotrópico, y sus campos de fuerza no nos permitirían movernos por igual en todas direcciones si pudiéramos navegar por su interior.

Pero hay aún otro espacio que compartimos con los

antiguos y que, en nuestro mundo actual, domina por flashes, mensajes instantáneos, cambios de canal, superposiciones de figuras, formas y texturas, símbolos y textos, fragmentos de mensajes, narraciones cruzadas, es el espacio habitual: sobre todo para los más jóvenes. Este es el espacio dominante en el siglo XXI. Y en este espacio la forma no viene dada por la definición geométrica sino por la sugerencia. Este espacio está conformado por superficies cambiantes, por materiales de cualidad ambigua, en los que se superponen reflejos y transparencias. Es un espacio en el que las formas virtuales, las formas sugeridas, las formas definidas por el juego de superficies tienen un protagonismo creciente. Y si digo que es un espacio que compartimos con los antiguos es porque, en el fondo, por muy moderno que nos parezca, en este espacio no cuantificable lo que impera es el símbolo.

Desde este punto de vista, lo que realmente estructura el espacio no es la forma real sino la forma aparente. Y la forma aparente se sostiene sobre su superficie visible. Una superficie que puede cambiar de múltiples modos, abriendo las puertas hacia otras tantas formas sugeridas que conviven en el límite superficial. Creo que una consideración adecuada de todo lo que está implicado en este punto de vista debía llevar a un replanteamiento profundo de nuestra concepción del espacio y del papel que estas nuevas técnicas de simulación visual de materiales están llamadas a jugar en él.

Esta comunicación no va acompañada de ilustraciones por razones de espacio y, sobre todo, de calidad de reproducción. Espero poder colgar antes de la celebración del Congreso de algún lugar fácilmente accesible, los trabajos realmente espectaculares y en mi opinión de una gran calidad, que han desarrollado nuestros estudiantes en los siguientes cursos de la UPC: el programa de máster "Diseño 3D y Simulación Visual en Arquitectura" y la asignatura optativa "Simulación Visual por medios informáticos", durante los últimos cuatro o cinco años.

References

- Blinn, J.F. 1977. "Models of light reflection for computer synthesized pictures". Computer Graphics (Proc. Siggraph '77). Vol 11 (2), pp 192-198, July 1977.
- Cook, R. L.; Torrance, K.E. 1981. "A reflectance model for computer graphics". Computer Graphics (SIGGRAPH '81 Proceedings), Vol.15, No.3, July 1981, pp. 301-316. Publicado también en ACM Transactions on Graphics, vol 1, n 1, Jan 1982 pp 7-24.
- Cornell Lab. Ver <http://www.graphics.cornell.edu/research/measure>.

Dorsey, J.; Edelman, A.; Jensen, H.W.; Legakis, J.; Pedersen, H. K. "Modeling and rendering of weathered stone". ACM SIGGRAPH 2006. International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques.

Ebert, D.S.; Musgrave, K.; Peachey, D.; Perlin, K.; Steven Worley, S. *Texturing and Modeling: A Procedural Approach*, 3rd edition. Morgan Kaufman, 2002. Ed. Orig.1994.

He, X.D.; Torrance, E.; Sillion, F.X.; Greenberg, D.P. 1991. "A comprehensive physical model for light reflection". *Computer Graphics (Proc. Siggraph '91)*. 25(4), July 1991, pp 175-186.

Nassau, K. *The Physics and Chemistry of Color. The Fifteen Causes of Color*. John Wiley, 2001. Second Edition (1ª edición: 1983).

Ngan, A.; Durand, F.; Matusik, W. 2005. "Experimental Analysis of BRDF Models". *Rendering Techniques '05 (Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering)*, Konstanz: Eurographics Association, 2005, pp 117-226.

Nayyar, S.K; Oren, M. 1993. "Generalization of the Lambertian Model and Implications for Machine Vision". *International Journal on Computer Vision*. Vol.14, No.3, pp.227-251, Apr, 1995. Publicado originalmente en 1993.

Peachey, D.R. 1985. "Solid Texturing of complex surfaces". *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 85)*, Vol.20, No.4, 55-64.

Perlin, K. 1985. "An Image Synthesizer". *Computer Graphics*, Vol.19, No.3, pp. 279-286.

Perlin, K.; Hoffert, E. 1989. "Hypertexture". *Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH)*, Vol 23 No. 3.

Phong, B.T. 1975. "Illumination for Computer-generated pictures". *Communications of the ACM*. 18, (June 1975): 311-317. (Tesis, University of Utah, July 1973).

Poulin, P.; Fournier, A. 1990. "A model for anisotropic reflection". *Computer Graphics (Proc. Siggraph '90)*. 24(4), pp 273-282, August 1990.

Ward, G. 1992. "Measuring and modeling anisotropic reflection". *Computer Graphics (Proc. Siggraph '92)*. 26(4), July 1992, pp 265-272.

