

LA GEOMETRÍA como base teórica de la docencia de los nuevos medios de representación

La extraordinaria difusión del dibujo y modelado por ordenador en la última década, hasta llegar a hacerlos prácticamente universales, ofrece la oportunidad de una reforma profunda de los métodos y los programas docentes de las materias que giran alrededor de la representación de la arquitectura, y de la Geometría Descriptiva en particular. A grandes rasgos, se están dando dos reacciones opuestas ante esta situación. Algunos profesores parecen entender que este estado de cosas no afecta a la docencia de la Geometría Descriptiva, puesto que los métodos de la disciplina son igualmente válidos si se materializan por medio del lápiz o del dibujo por ordenador en dos dimensiones.

**José Calvo López,
Juan Francisco Maciá Sánchez
Manuel Alejandro Ródenas López**

Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación
Universidad Politécnica de Cartagena

La inercia institucional y las limitaciones económicas abonan estos planteamientos, que llevan a dejar las cosas exactamente como están; resulta más sencillo y barato para las escuelas mantener las aulas dotadas con tableros que equipar salas de informática.

Ahora bien, si el dibujo por ordenador en dos dimensiones apenas se separa conceptualmente del dibujo tradicional, el trazado y modelado en tres dimensiones representa una completa transformación de los métodos tradicionales de la representación arquitectónica. Algunos profesores entienden que esta técnica resuelve de forma rápida, eficaz y exacta todos los problemas que tradicionalmente ha abordado la geometría descriptiva; y que por tanto, esta disciplina resulta tan innecesaria en la formación de un técnico como la habilidad en el manejo del tiralíneas. Esta concepción ha llevado a eliminar silenciosamente el dibujo tradicional, incluida la Geometría Descriptiva, de los planes de estudios de

muchas escuelas técnicas, sustituidas por el ya omnipresente Dibujo Asistido por Ordenador.

Sin embargo, este modo de actuar responde a unas bases simplistas, y sus efectos claramente negativos se están dejando sentir en otros países. Cuando se comprende la ineficacia de una formación gráfica basada en el entrenamiento para la ejecución de las órdenes de un determinado programa, se intenta incorporar de nuevo a los programas docentes algunos conceptos fundamentales de la enseñanza tradicional de la geometría descriptiva; llegados a este punto, se comprueba con asombro que no hay candidatos a profesores, pues los jóvenes arquitectos o ingenieros desconocen estas nociones.

Todo esto nos lleva a defender aquí una posición completamente diferente de los dos esquemas que acabamos de esbozar. A nuestro entender, la aparición de toda una serie de nuevos medios de representación de la arquitectura plantea una serie de cuestiones que, en nuestra opinión, van a obligar a replantear la concepción y los métodos de la docen-

cia de la geometría descriptiva en las escuelas de Arquitectura y Arquitectura Técnica; pero no a renunciar a su enseñanza, como veremos. Muy al contrario, tanto la geometría métrica como la descriptiva pueden proporcionar una base teórica a la enseñanza del dibujo por ordenador y la imagen de síntesis; cada día se percibe con más claridad que esta base teórica es indispensable para el uso competente de estos nuevos medios de representación de la arquitectura.

Las razones del fracaso de una formación gráfica basada exclusivamente en la práctica de las órdenes de un programa de dibujo determinado responden, a nuestro modo de entender, en varios errores de percepción. En primer lugar, los programas de dibujo asistido por ordenador y de imagen de síntesis presentan una curiosa paradoja: liberan al usuario de la tediosa tarea de construir imágenes mediante los instrumentos que ofrecen los sistemas de representación, pero emplean estos mismos sistemas para comunicarse con el usuario. Incluso cuando uno de estos programas presenta una de las denominadas *maquetas virtuales*, no hace otra cosa que poner en la pantalla veinticuatro axonométricas ortogonales o perspectivas cónicas cada segundo, calculadas en tiempo real de acuerdo con las órdenes que transmitimos mediante el ratón de forma más o menos consciente; esto nos hace percibir una

dos por separado, pero algunos no ponen a disposición del usuario instrumentos clásicos del sistema diédrico, como los que permiten medir distancias y ángulos entre puntos, rectas y planos; tampoco ofrecen los programas más extendidos las herramientas para la resolución de problemas topográficos que aporta el sistema acotado, ni tampoco la posibilidad de realizar perspectivas caballerías o militares. Es decir, los programas de generación de formas en tres dimensiones más empleados dejan sin resolver muchos de los problemas prácticos que aborda la geometría descriptiva; si no exponemos los métodos tradicionales para resolver estos problemas geométricos, dejaremos inermes a los técnicos que pretendemos formar, con las manos vacías de conceptos y de herramientas, tanto nuevos como viejos.

Por otra parte, la enseñanza de la imagen de síntesis o *render*, como la del dibujo asistido por ordenador, tiende a tomar como eje la exposición de las órdenes que los programas ofrecen al usuario y en su puesta en práctica por los alumnos, bien en un curso presencial, bien en solitario. Pero en muchas ocasiones, esta estrategia no ofrece resultados de calidad: los alumnos o lectores generan imágenes del objeto o edificio propuesto, pero los puntos de vista no son acertados, los materiales están fuera de escala o la iluminación no es atractiva. En nuestra opinión, esos defectos se deben al desconocimiento

Esta concepción ha llevado a eliminar silenciosamente el dibujo tradicional

engañoso sensación de movimiento, como ocurre en el cine y en todos sus derivados.

Ahora bien, para emplear con eficacia un instrumento es necesario conocerlo. Para construir un modelo tridimensional a partir de proyecciones planas, es preciso tener en cuenta que todos los puntos de una línea proyectante están confundidos; que no basta con señalar un punto en la pantalla, sino que hay que indicar al ordenador a qué punto concreto de la línea proyectante nos referimos; y que los instrumentos que el ordenador ofrece para esta tarea son muy diversos. De lo contrario, no es fácil controlar la posición del punto que estamos señalando. Esta sencilla razón es la causa de muchos fracasos en la enseñanza del Dibujo Asistido por Ordenador; y quizá también el mayor obstáculo a la expansión del trazado y modelado en tres dimensiones.

Podría pensarse que estas nuevas técnicas van a desarrollar en el futuro nuevos sistemas de representación, pero no parece que las cosas vayan por ahí; al contrario, corren peligro de extinción algunos de los modos de representación conocidos. Todos los programas de uso general ofrecen plantas y alza-

de una serie de conceptos básicos de la síntesis de imagen, que por lo general se olvidan en los cursos de *render*. Muchos de los problemas que plantean este proceso han sido abordados por una serie de saberes muy diversos, desde la pintura, el cine y la fotografía hasta la astronomía, la geometría descriptiva, la teoría del color y la luminotecnia, y los conceptos acuñados por estas disciplinas pueden permitir al alumno dominar el programa de imagen de síntesis y controlar el resultado obtenido.

En este estado de cosas, la geometría métrica y la descriptiva pueden conjugarse para proporcionar una base teórica a la docencia de los nuevos medios de representación, ayudando a superar las limitaciones de estos instrumentos. Frente a la voluntariosa orientación práctica que muchos profesores damos a nuestras clases de Geometría Descriptiva con escuadra y cartabón, quizá en las próximas décadas la evolución sea exactamente la inversa; tal vez lo que ahora conocemos como geometría descriptiva pase a ser de gran utilidad teórica, mientras que su empleo práctico quede relegado por instrumentos más eficaces.

La geometría métrica y la descriptiva pueden conjugarse para proporcionar una base teórica a la docencia de los nuevos medios de representación, ayudando a superar las limitaciones de estos instrumentos.

es una proyección cilíndrica ortogonal, que comprende como caso general la axonometría ortogonal y como caso particular las proyecciones ortográficas que denominamos planta, alzado y sección. Como hemos visto, los programas permiten en teoría girar el objeto ante nuestros ojos hasta llevarlo a la posición deseada; pero el empleo competente de la perspectiva axonométrica exige algo más que mover el ratón con desparpajo. Para obtener una axonometría satisfactoria es fundamental controlar la disposición de la terna de ejes, pero los programas más usados no permiten definirla directamente. Esta limitación se puede superar por varios caminos. Algunos programas permiten fijar la dirección de las líneas proyectantes, especificando el ángulo que forman los rayos proyectantes con el plano horizontal, y de la dirección de la proyección ortogonal de estos rayos sobre el plano horizontal. Otros ofrecen el mismo resultado, pero lo explican de forma menos

Tal vez lo que ahora conocemos como geometría descriptiva pase a ser

OBTENER UNA AXONOMETRÍA SATISFACTORIA

Merece la pena examinar cómo una combinación de geometría métrica y descriptiva puede ofrecer este armazón teórico a la docencia de las nuevas técnicas de representación, porque la relación es evidente en algunos casos, pero en otros no lo es tanto. La geometría métrica puede aportar un soporte teórico a la noción de escala y a los sistemas de unidades empleados por estos programas; sistemas de unidades que están cobrando una importancia cada vez mayor, porque cada vez es más frecuente el intercambio de dibujos y modelos entre fabricantes, estudios y constructoras. También es obvio que el conocimiento de las propiedades de las figuras planas o espaciales, de las que se ocupan tanto la geometría métrica como la descriptiva, es fundamental para emplear con conocimiento de causa los programas de dibujo por ordenador, que son ante todo generadores de geometría.

No es tan evidente que las órdenes de *edición*, *manipulación* o *modificación* que incluyen los programas son en realidad transformaciones geométricas; en particular por lo general no se suele explicar que la *copia* y el *desplazamiento* son en realidad traslaciones, y por lo tanto quedan definidas cuando indicamos al ordenador un vector, que es lo que hacemos al señalar el *primer* y *segundo puntos* o el *punto para definir distancia y dirección* de estas órdenes.

Tampoco ayuda la terminología de los programas a comprender que en realidad la *proyección paralela*

intuitiva, mediante dos giros del plano de proyección o, dicho en el lenguaje de la geometría descriptiva, mediante dos cambios de plano sucesivos.

Por tanto, el conocimiento de los elementos de la proyección cilíndrica, tales como la línea proyectante, la dirección de proyección y el plano de proyección, puede orientar al alumno dentro de esta selva de órdenes y, sobre todo, le permite controlar el resultado de su trabajo. Hay que tener en cuenta que la dirección de los rayos proyectantes es esencial para el resultado de la perspectiva; si el ángulo que forman con el plano horizontal es grande, la axonometría dará más importancia a las cubiertas, que se verán en una posición que se acerca a la frontalidad; a la inversa, si el ángulo es pequeño, realzará las fachadas. Pero esto no obliga a poner el mismo énfasis en todos los alzados; el resultado depende también de la dirección que adopta la proyección de los rayos sobre el plano horizontal. Si las líneas proyectantes están en el plano bisector de dos fachadas, la perspectiva otorgará igual relieve a una y otra. Sin embargo, esta solución no es aconsejable en general, porque puede provocar que la esquina entre las dos fachadas aparezca superpuesta a la lima de los faldones que arrancan de ellas. Además, rara vez dos fachadas tienen la misma importancia, por lo que tiene más sentido arquitectónico orientar los rayos proyectantes de manera que su proyección horizontal forme un ángulo más cercano al recto con una de las dos fachadas, que cobrará así mayor importancia.

Algunos programas ofrecen la posibilidad de definir una situación de cámara y un *objetivo* o punto de motivo, tanto en perspectiva lineal como en axonometría. La idea es desconcertante, porque en axonometría no hay punto de vista: lo que ocurre es que las posiciones de la cámara y el motivo definen un *vector*, y la *dirección* de este vector es la de las rectas proyectantes. El concepto de *vector de dirección* permite comprender la importancia de la dirección de las rectas proyectantes de forma bastante intuitiva, puesto que si se aproxima a la vertical, la imagen pondrá énfasis en las cubiertas del edificio; si por el contrario, el vector se aproxima a la horizontal, la imagen resultante potenciará las fachadas. Por otra parte, los vectores tienen además sentido; tanto las axonométricas como las plantas pueden verse desde arriba o desde abajo; así podemos obtener plantas de techos o axonométricas que nos permiten apreciar no sólo el diseño de los techos, sino toda la

de gran utilidad teórica

organización espacial del edificio, como las que asociamos al nombre de Auguste Choisy.

Más nocivo es el embrollo en el caso de la perspectiva lineal, identificada en estos programas con la *perspectiva* o la *cámara*. La analogía fotográfica, por otra parte interesante, lleva a la mayor confusión cuando *target* se traduce por *objetivo*, puesto que entonces el objetivo no está en la cámara o punto de vista, sino en un punto del motivo; resultaría mucho más claro identificar este punto del motivo con el punto principal de la perspectiva cónica. Los que pretenden realizar perspectivas lineales con ordenador deberían saber que este modo de representación se basa en la proyección desde un punto de vista sobre un plano. Llevar al dibujo por ordenador los conceptos de punto de vista, punto principal, rayo principal y plano del cuadro facilitaría mucho la obtención de perspectivas con encuadres más controlados; esto permitiría al alumno elegir entre cuadro vertical, horizontal u oblicuo, entre puntos de vista altos y bajos, entre perspectivas frontales o en escorzo, para mostrar mejor sus intenciones. Los resultados más naturales se consiguen, por razones anatómicas obvias, si el punto de vista está situado sobre un pavimento a la altura de la vista de una persona de estatura media; y si la perpendicular al plano trazada por el punto de vista, que equivale al centro óptico de un ojo, es horizontal, lo que equivale a disponer el plano de proyección en posición vertical. Este principio general no excluye la posibilidad de emplear puntos de vista más altos o más bajos para enfatizar el suelo o el techo respectiva-

mente, o también planos de proyección horizontales, para realizar perspectivas de techos o a vistas de pájaro, o inclinados, para obtener los efectos que se denominan en cine y fotografía picados o contrapicados.

Pasando de los modos de representación a los objetos representados, los programas ofrecen extensos catálogos de superficies y sólidos. Estos repertorios mezclan clases de superficies con unas propiedades concretas, bien conocidas en la geometría descriptiva, como la de superficie de revolución, con otros conceptos que no corresponden a tipos concretos de superficies, sino a métodos de representación de sólidos o superficies muy diversos, como es el caso de las superficies definidas por puntos o las llamadas nada menos que *Splines-B No Uniformes Racionales* (NURBS). Frente a este confuso amasijo, tenemos las clasificaciones tradicionales de las superficies en regladas y curvas, alabeadas y desarrollables, superficies de revolución y traslación. Es cierto que estas nociones no son siempre sistemáticas y a veces resultan discutibles. Pero al fin y al cabo, se trata de conceptos basados en la forma de las superficies y en características con un sentido técnico claro, como las nociones de superficie reglada desarrollable y alabeada, que han ido tomando forma en la construcción en piedra, primero, y con planchas metálicas después. Estas nociones tradicionales pueden ayudar a amueblar la cabeza del alumno y ayudarle a distinguir los sistemas empleados para representar internamente estas superficies, que no son más que medios, de la forma de las superficies, que es precisamente el objeto de la representación.

ALGUNOS PROBLEMAS

La relación de la imagen de síntesis con la geometría no es tan aparente a primera vista, pero resulta innegable si analizamos la cuestión con detenimiento. Al tratar del dibujo por ordenador hemos expuesto cómo para dominar la axonometría o la perspectiva lineal con el lápiz o con el ratón es preciso manejar con soltura la dirección de los rayos proyectantes, la posición del punto de vista o la orientación del plano del cuadro; lo mismo se puede decir de la imagen de síntesis. Por otra parte, al emplear texturas basadas en imágenes de trama o *ráster*, es preciso muchas veces casar una tesela con la siguiente para lograr una textura sin juntas, lo que plantea problemas de traslaciones repetitivas. Otro problema ligado a la geometría métrica que plantea el empleo de texturas, ya estén basadas en imágenes de trama o en procedimientos lógicos, es el de la escala. El usuario debe definir adecuadamente el tamaño de la tesela en unidades reales, no en píxeles; de lo contrario, obtendrá gresite cuando quiere

La ley del coseno, enunciada por Joseph Lambert en su *Photometrie*, según la cual la intensidad de luz recibida por una superficie en un punto es proporcional al coseno del ángulo formado por los rayos luminosos y la normal a la superficie en ese punto.

del punto brillante, abordada por Monge y olvidada también por sus dificultades de cálculo; hoy los algoritmos de trazado de rayos permiten abordar la cuestión por métodos numéricos y probabilísticos, de forma más que precisa para las necesidades de la representación.

De este modo, las técnicas de cálculo de luz incidente y reflejada y de puntos brillantes se unen a las de sombras propias y arrojadas, que nunca abandonaron la Geometría Descriptiva, para ofrecer instrumentos de representación más precisos que los que pudo soñar Monge. Una vez más, el ordenador libera al arquitecto de operaciones tediosas y le ofrece toda la panoplia de efectos del dibujo tradicional, incluso aquellos recursos de la tradición de la École de Beaux-Arts que se habían perdido en el apresurado siglo XX. Sin embargo, a mayor potencia de una herramienta, mayor es el conocimiento preciso para emplearla con acierto. La mayoría de los programas ofrecen instrumentos para calcular la posición del

La relación de la imagen de síntesis con la geometría no es tan aparente

mostrar azulejos o muros ciclópeos cuando pretende representar fábricas de ladrillo.

Estos problemas se presentan tanto en las texturas de veteado o patrón como en las de resalto o *bump*, pero estas últimas plantean cuestiones peculiares. Las texturas de relieve se computan deduciendo la dirección de la normal a la superficie del gradiente de luminosidades del archivo ráster empleado como *mapa* de resalto. A continuación se aplica la ley del coseno, enunciada por Joseph Lambert en su *Photometrie*, según la cual la intensidad de luz recibida por una superficie en un punto es proporcional al coseno del ángulo formado por los rayos luminosos y la normal a la superficie en ese punto; resulta significativo comprobar que Lambert fue autor también de *La perspective affranchie de l'embaras du plan géométral*, un texto de gran importancia acerca de la perspectiva lineal. La ley de Lambert dio origen a una larga serie de estudios acerca de líneas isótopas, una materia considerada durante largo tiempo como patrimonio de la Geometría Descriptiva. La cuestión fue desapareciendo paulatinamente del campo de la disciplina, en parte por la complejidad de su cálculo, y pasó gradualmente al de la luminotecnia. Ahora disponemos de instrumentos capaces de resolver el problema con precisión suficiente para emplear esta técnica en las representaciones de arquitectura; esto nos hace ver con más claridad la vinculación de la materia a la Geometría Descriptiva. Lo mismo se puede decir de la cuestión

sol, partiendo de la latitud, la hora real u oficial y el día; no vendrían mal aquí los conocimientos de soleamiento geométrico que en ocasiones se han incluido en los programas docentes de la Geometría Descriptiva.

Ahora bien, en la mayoría de los casos, la iluminación solar se incluye en un dibujo tradicional o en una imagen de síntesis no para conocer el soleamiento en un determinado día del año a una determinada hora, sino para poner de manifiesto la volumetría del edificio. Aunque no arroje sombras, la luz permite comprender mejor cualquier representación de un edificio en el plano del papel o la pantalla, que por sí sola es ambigua. Según la ley de Lambert, la reflexión difusa de una superficie depende del ángulo de incidencia de los rayos de luz. Este fenómeno, que nos permite conocer intuitivamente la orientación de cada plano, potenciando la sensación de volumen y profundidad de una perspectiva axonométrica o cónica, quedó desgajado de la docencia de la Geometría Descriptiva, pero está próximo a toda una serie de problemas que sí se consideran incluidos en la disciplina, como el del soleamiento geométrico, las sombras arrojadas o la determinación de separatrices.

En particular, las sombras arrojadas pueden aportar esta ilusión de relieve incluso a una planta o un alzado, que no ofrecen sensación de profundidad por sí solos. Si queremos emplear la luz del sol con esta finalidad, puede ser preferible olvidarse de lati-

tudes, fechas y horas y, simplemente, presentar el edificio bajo la luz más favorable. Manejando alturas y azimutes con libertad podemos llevar al sol a posiciones imposibles; esto no debe preocuparnos demasiado, porque esta licencia es tradicional en arquitectura, pero sí conviene saber que la estamos empleando. Por otra parte, muchas veces las sombras solares se trazan convencionalmente formando ángulos de 45° con los planos horizontales y frontales. La práctica, atacada ya por Chastillon a mediados del siglo XVIII, permite medir profundidades sobre un alzado, pero no ofrece ventajas en otros modos de representación. Esta técnica rutinaria era inofensiva hasta hace poco, pero en los últimos años amenaza con extenderse al campo de la imagen de síntesis, y ahí sí puede hacer daño, porque una fuente de luz que forme ángulos iguales con planos frontales, laterales y horizontales los iluminará por igual, lo que se traducirá en una pérdida de la capacidad de modelado de la iluminación.

Según la ley de Lambert, la reflexión difusa de una superficie depende del ángulo de incidencia de los rayos de luz. Este fenómeno, que nos permite conocer intuitivamente la orientación de cada plano, potenciando la sensación de volumen y profundidad de una perspectiva axonométrica o cónica

a primera vista, pero resulta innegable si analizamos la cuestión con detenimiento

Por tanto, iluminar adecuadamente un modelo tridimensional para obtener una imagen de síntesis atractiva requiere algo más que conocer las órdenes de un programa de *render* orientado ante todo al mercado de las películas de ficción científica. Es más que recomendable que el alumno que vaya a abordar estas tareas conozca las técnicas básicas del cálculo de sombras arrojadas, como el cálculo de la sombra por intersección del rayo de sol con el plano o superficie que recibe la sombra, y la conservación de la forma y tamaño de las figuras planas cuando arrojan sombra sobre un plano paralelo a la figura, lo que le permitirá obtener representaciones no sólo realistas, sino también cargadas de intención. No olvidemos, además, que algunos métodos de cálculo de sombras empleados por algunos programas bastante extendidos, como el desarrollado por Phong-Bui-Tong, pueden hacer que la sombra de un muro sobre su plano de apoyo no arranque de su base, de tal manera que la pared parece flotar en el espacio. Conocer los conceptos básicos de la teoría de sombras hará que el alumno reconozca inmediatamente este resultado como inaceptable y comience a buscar la solución.

Un futuro curso de representación de la arquitectura basado en las ideas que venimos exponiendo vendría condicionado por toda una serie de disposiciones derivadas de la integración de nuestro país en el Espacio Europeo de Enseñanza

Superior. Como es sabido, estas disposiciones están en elaboración en el momento de redacción de este trabajo y no se conocen muchos detalles esenciales de las futuras titulaciones de grado. Por tanto, no tendría mucho sentido precisar más aquí. Sí merece la pena resaltar que la consideración de la geometría descriptiva como soporte teórico de enseñanza de los nuevos medios de representación arquitectónica que hemos expuesto en este trabajo es en cierto modo opuesta a las tendencias de los últimos años en la docencia de la Geometría Descriptiva, que ponen el énfasis en el carácter práctico de la disciplina. Ahora bien, la máquina resuelve en décimas de segundo los problemas alambicados de los viejos manuales, pero conocer los conceptos que manejan estas herramientas es imprescindible para aprovechar su potencia bruta. Por tanto, la destreza en el manejo de estos instrumentos y la realización de trabajos de calidad no va a depender de la habilidad para la puesta en práctica de unos procesos o algoritmos complejos, de los que se va a ocupar el programa de dibujo o de imagen de síntesis, sino del dominio de unas nociones teóricas básicas y de la competencia para ponerlas en práctica por medio del ordenador; sólo de esta forma podremos servirnos de la computadora y evitar que nos lleve a un terreno extraño a la geometría y a la forma, como indica el acertado nombre que recibe en Latinoamérica. ♦