

Seis Ideas

Para una nueva Geometría...

¿DESCRIPTIVA?

Ángel José **FERNÁNDEZ ÁLVAREZ**

Departamento de Tecnología y Ciencia de la Representación Gráfica
Universidad de A Coruña

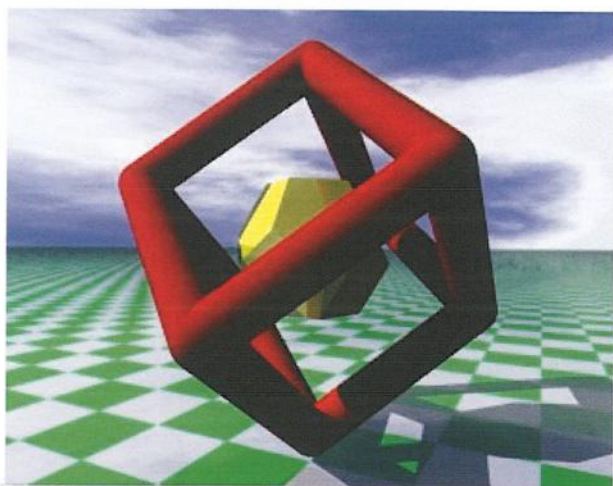


Fig. 1. "Geometrías digitales", Fernández Álvarez, 1999.

INTRODUCCIÓN

"La excelencia consiste en ideas complejas comunicadas con claridad, precisión y eficiencia, y esto es verdad tanto en los nuevos medios como en los antiguos."

Edward R. Tufte

"Todo lo que puede ser explicado, puede ser explicado sencillamente."

Ludwig Wittgenstein

El singular momento de cambio que está viviendo la Universidad con motivo de la incorporación al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) hace que se convierta en una necesidad apremiante abrir una reflexión acerca del presente y del futuro de la enseñanza de la Geometría Descriptiva dentro de un planteamiento más amplio que abarcaría al área de conocimiento de Expresión Gráfica Arquitectónica en su totalidad.

Esta voluntad de re-pensar la asignatura nos debe llevar a una tarea personal de análisis del problema para tratar de definir nuestra posición con relación al debate académico que debe producirse. El presente trabajo consiste en un desarrollo de esas posibles reflexiones

centrándolas en seis conceptos o ideas clave acompañadas de una serie paralela de imágenes que puedan servir como elementos "disparadores" de la reflexión y el diálogo constructivo.¹

La idea no es original sino que está tomada de la fórmula empleada por el escritor Italo Calvino en el título de su obra "*Seis propuestas para el próximo milenio*"² en la que el autor reflexiona acerca de los valores, cualidades o especificidades de la literatura tratando de situarla en la perspectiva del nuevo milenio. Calvino cita en su libro una serie de conceptos como levedad, rapidez, exactitud, visibilidad, multiplicidad,... que, aunque centrados en el ámbito literario, podrían ser aprovechados perfectamente en otros campos no tan distantes del nuestro pues, a fin de cuentas, estamos hablando de lo mismo: lenguaje y comunicación.

La actual situación académica de convergencia de las universidades europeas nos coloca en una posición privilegiada para plantear una reflexión seria y profunda acerca de los contenidos y los métodos de una disciplina que hace tiempo que arrastra una crisis de identidad, situación similar a lo que sucede en el resto de las asignaturas del área gráfica aunque con algunas diferencias significativas. En este sentido, la escasa carga docente asignada en el Libro Blanco del Título de Grado en Ingeniería de Edificación para las asignaturas del área de Expresión Gráfica es una buena prueba de ello.³ Pero se nos asegura que debemos ser optimistas y considerar que estamos ante una oportunidad y no ante una amenaza, superando la sensación de riesgo y zozobra que todo cambio radical comporta.

Corremos el riesgo de quedarnos, como ya se ha visto en reformas educativas recientes, atrapados simplemente en una maraña de verborrea pseudo didáctica que enmascare una realidad académica marcada por la rutina y el conformismo. En este momento de cambio tenemos que ser conscientes de que lo importante no serán las respuestas (coyunturales, adaptadas, efímeras) sino las preguntas y la reflexión adecuada y el análisis certero sobre los problemas planteados.

Por otra parte, debemos prestar una especial atención al fenómeno contemporáneo de la innovación tecnológica continua, especialmente a las consecuencias derivadas del impacto de la introducción de la informática en

el ámbito de la expresión gráfica, lo que implica necesariamente una renovación metodológica y de contenidos, pero que posee un alcance mucho más profundo ya que supone de alguna manera un cambio de paradigma en la enseñanza tradicional de la asignatura.

1ª idea. TRADICIÓN



Fig. 2. Gaspard Monge (1746-1818).

"La Geometría Descriptiva tiene dos objetos: el primero, dar métodos para representar sobre una hoja de dibujo que no tiene más que dos dimensiones, a saber, longitud y anchura, todos los cuerpos de la naturaleza que tienen tres, longitud, anchura y profundidad, siempre que estos cuerpos puedan ser definidos rigurosamente.

*El segundo objeto es proporcionar la manera de reconocer, de acuerdo con una descripción exacta, las formas de los cuerpos, y de ello deducir todas las verdades que resultan y su forma y sus posiciones respectivas."*⁴

Gaspard Monge

Una de las primeras cuestiones que debemos plantearnos ante cualquier fenómeno de cambio académico o tecnológico es resolver el problema de qué aspectos deben mantenerse y cuáles pueden ser eliminados del *corpus* académico de una disciplina sin riesgo de desvirtuar gravemente la identidad de la misma. El hecho de que la tradicional hoja de





dibujo, a la que se refería Monge en su famosa definición, haya sido sustituida de forma generalizada por los "bits" y la pantalla del ordenador conlleva la necesidad de revisar las bases tradicionales de la Geometría Descriptiva.

Los debates sobre la naturaleza de la Geometría Descriptiva (gráfica o matemática) no son nuevos pues surgieron inmediatamente después de la codificación realizada por Gaspard Monge.⁵ A lo largo de la historia ha habido otros debates de carácter más funcional o metodológico que conceptual. Algunos centrados, por ejemplo, en el problema de la liberación del yugo que impone la fijación de los planos de proyección a través de la línea de tierra y la rígida conexión entre el diedro de representación y el objeto.⁶ Es lo que se ha denominado Diédrico Directo, de amplia utilización en el ámbito de la ingeniería y empleado como sinónimo de innovación gráfica en determinadas corrientes académicas.⁷

La cristalización/fosilización de la asignatura desde sus orígenes en los tiempos de la Europa ilustrada y revolucionaria de finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX tal vez haya tenido algo que ver en el hecho de la percepción generalizada de la existencia de una cierta visión negativa de la misma por parte del resto de la comunidad académica e incluso desde el propio ámbito profesional. Esta negatividad se refleja en la escasa consideración por lo gráfico, ya apuntada, que se desprende de los documentos que diseñan las propuestas de los nuevos desarrollos docentes surgidos del espíritu de Bolonia y en los que incluso llega a desaparecer la propia denominación tradicional de la disciplina.

Quizá haya contribuido a ello la consideración de la asignatura como una especie de peaje intelectual o portazgo obligatorio para el alumno que inicia sus estudios universitarios, justificado convenientemente en función del objetivo académico de la obtención de una supuesta capacidad de "visión espacial" lograda a expensas de la repetición de una serie de operaciones gráficas sistematizadas. Por otra parte, el argumento del carácter instrumental de la asignatura se tambalea también ante la evidencia contradictoria de que un número significativo de alumnos llegan al final de la carrera sin haberla cursado en aquellas escuelas en las que no existen materias-llave. La reflexión acerca de la validez de este argumento debe someterse, pues, a un urgente

escrutinio crítico tanto en el aspecto de los contenidos como en el de la metodología, dado que se estaría produciendo un fenómeno de autoaprendizaje al margen del diseño curricular institucional similar al autodidactismo que se aprecia en el campo de los programas de DAO o, lo que sería aun más grave, un fenómeno de obsolescencia de la propia asignatura dentro del marco académico vigente.

Otro aspecto a tener en cuenta es la existencia de un cierto dogmatismo didáctico-académico anclado en programas artificialmente extensos e intensos y alejados de la realidad profesional y en la propuesta de prácticas anquilosadas como la persistencia metodológica de los tradicionales alfabetos de los elementos geométricos fundamentales, una especie de *kama-sutra* geométrico tan poco excitante como realmente desmotivador tanto para el alumno como para el docente. Otro tanto se podría decir de la casuística de problemas relacionados con el artificio geométrico de los Planos Bisectores, elemento ajeno al ámbito de la realidad constructiva o el planteamiento reiterativo de problemas basados en la presencia del cono oblicuo de directriz circular horizontal o vertical, superficie privilegiada tradicionalmente en las prácticas gráficas dada su facilidad y comodidad de representación con las herramientas euclidianas: regla y compás.

Si el objetivo tradicional de la Geometría Descriptiva era "ver e imaginar en el espacio" y servir de fundamento científico y tecnológico del Dibujo Técnico Arquitectónico, podemos afirmar que lo esencial de la disciplina (hoy como ayer) sigue estando en el desarrollo adecuado del razonamiento visual y espacial del alumno. La reflexión acerca de la posible refundación de la asignatura debe partir, por tanto, de una valoración nueva del aspecto comunicativo de la Expresión Gráfica y una recuperación del espíritu que animó a los científicos del siglo de las luces, buscando una visión híbrida en la que se fusionen valores científicos, técnicos y humanistas.

Esto nos tiene que llevar a un debate sereno sobre algunas cuestiones que se plantean de forma paralela acerca de la propia denominación de la asignatura (Descriptiva, Constructiva, Representacional, Sistemas de Representación) así como la cuestión candente y problemática de la posible/probable unificación de las asignaturas de Geometría Descriptiva y Dibujo Arquitectónico, cuestión con motivacio-

nes más burocráticas y organizativas que didácticas y defendida preferentemente por agentes externos al área de EGA. No se trata de un asunto menor sobre todo cuando esos mismos agentes ya se han tomado la libertad de suprimir, sin consultar al colectivo docente, la misma denominación de Geometría Descriptiva y sustituirla por el término Sistemas de Representación.⁸ ¿Por qué ese interés en que no aparezca en el documento que sienta las bases de la nueva titulación el nombre tradicional de la asignatura? ¿Se busca así un acercamiento programático al ámbito de las ingenierías donde ya se ha producido mayoritariamente esa sustitución o hay otras motivaciones relacionadas con el interés por forzar las fusiones entre asignaturas antes mencionadas?

2ª idea. DIGITAL

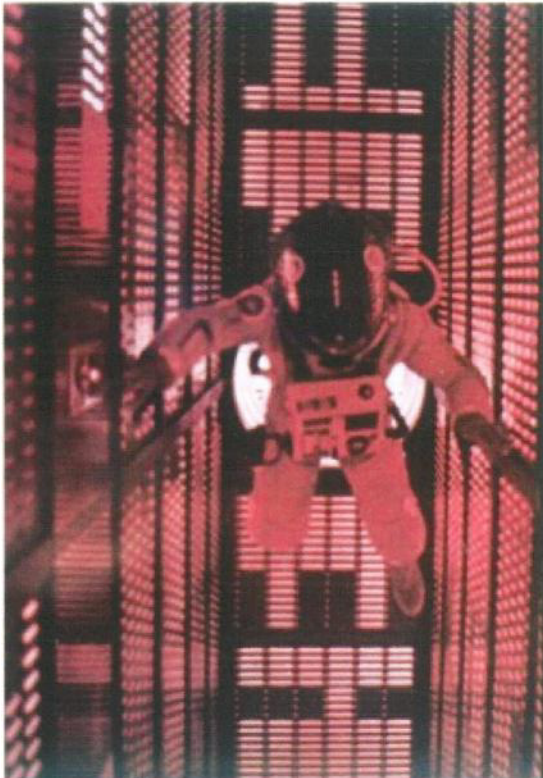


Fig. 3. Imagen de la película *2001: A space odyssey* (S. Kubrick, 1967).

“Amamos la tecnología. Es nueva y brillante, y despierta cierta admiración, como la Gran Pirámide de Keops, o un bebé recién nacido. La tecnología nos ayuda en los trabajos pesados y permite a las personas concentrarse en pensamientos trascendentes.”

Bits y bytes, unos y ceros, sobrevuelan el planeta, pero tan solo a discreción nuestra. El ordenador tiene un modelo de comportamiento: el nuestro. Los ordenadores son de plástico, metal, y arena. Las personas son luz, discernimiento e imaginación. Admira a las máquinas. Adora a sus inventores.”⁹

Mensaje publicitario de la firma Merrill Lynch.

“A partir de ahora, la gente tendrá que entrar y salir de tres espacios: el mental, el físico y el digital-virtual. Los nuevos medios crean nuevos espacios y los nuevos espacios dan lugar a una nueva arquitectura”

Yu-Tung Liu

“El mal uso de una nueva tecnología no es un argumento contra su buen uso.”¹⁰

Jorge Wagensberg

El desarrollo e implantación de las denominadas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) supone un desafío para las metodologías docentes en todos los ámbitos y en particular en el de la Expresión Gráfica que podría llegar incluso a cuestionar su propia filosofía conceptual.

Nos encontramos probablemente ante un cambio de paradigma¹¹ dado que las nuevas herramientas de la Informática Gráfica posibilitan el salto desde los mecanismos tradicionales de proyección/sección a los procedimientos digitales que operan directamente en un entorno tridimensional.

Parafraseando el título de la célebre novela de Philip K. Dick¹² que sirvió de base al guión de la mítica película *Blade Runner* (Ridley Scott, 1982), podemos preguntarnos si “¿Sueñan los profesores de Geometría Descriptiva con cambios de plano automáticos?”. Los programas de dibujo asistido y modelado tridimensional hacen posible ese “sueño” en la actualidad y se pone así fin al predominio de la metodología de la búsqueda de las llamadas “posiciones favorables” y a la dinámica repetitiva y algorítmica de las operaciones del diédrico tradicional.

Teniendo esto en cuenta la cuestión que se plantea es la de si es necesario adecuar la



asignatura a la realidad de las nuevas herramientas tecnológicas, de los nuevos medios o, por el contrario, adecuar el uso de las nuevas herramientas al concepto y la filosofía tradicionales de la Geometría Descriptiva.

En el fondo de la cuestión subyace el eterno dilema entre los fines (¿qué se enseña? (contenidos) y ¿para qué? (objetivos) y los medios (¿con qué herramientas? (tecnología) y ¿cómo se enseña? (metodología)).

Aparecen distintas posturas encontradas y un debate, agrio en ocasiones, entre tecnófilos y tecnófobos que comparan las bondades y limitaciones de los medios tradicionales con respecto a los nuevos medios informáticos. Debemos huir de la radicalización de ciertas actitudes que conducen hacia posturas extremas de confusión (fines-medios) en un caso e inmovilismo en el otro, y que en ocasiones, enmascara una cierta pereza o "melancolía" académica ante el cambio y la innovación.

Llegados a este punto resulta necesario aclarar que uno de los aspectos críticos, tal vez crucial, dentro de esta discusión, radica en el grado de formación del profesorado universitario en el campo de las nuevas tecnologías y la informática gráfica que hace necesario un esfuerzo importante de actualización y puesta al día para poder abordar con eficacia una aproximación al problema de la implantación de las mismas o, mejor, su integración como una herramienta más junto a las herramientas euclidianas tradicionales: la regla y el compás.

Hay que valorar también la inclusión en los programas docentes de nuevos contenidos relacionados con la informática gráfica y la geometría computacional para crear un marco conceptual riguroso para la formación en el empleo adecuado de estas nuevas herramientas. Esta cuestión nos devuelve a la vieja polémica de las conflictivas relaciones de la disciplina con la ciencia matemática.

En todo caso estamos ante un cambio profundo que supone la rotura de los esquemas tradicionales y la aceptación de un nuevo paradigma: el paso de la imagen a la forma del objeto, del concepto de representación al concepto de modelo, de la visión espacial al entendimiento estructural del espacio, sin desdeñar además el aspecto motivacional que aportan estas tecnologías a la tarea docente, dadas las nuevas posibilidades de visualización y conceptualización que permi-

ten. La llegada a las aulas universitarias de alumnos y alumnas pertenecientes a lo que podríamos denominar generación "nintendo" (entrenados en la práctica de los videojuegos desde la más tierna infancia) supondrá un revulsivo para el docente al tener que enfrentarse a una situación en la que el alumno mantiene una relación con las herramientas informáticas mucho más natural y directa que sus predecesores sin olvidar la evidente presencia y utilización generalizada de las mismas en el ámbito del ejercicio profesional.

Por otra parte la extensión de la utilización de Internet y sus recursos en el nuevo contexto académico marcado por la reducción de la carga lectiva y la potenciación de los fenómenos de autoaprendizaje colabora también como factor de motivación al tiempo que constituye una oportunidad y un medio idóneo para posibilitar los contactos entre docentes lo que facilita la movilidad y la difusión del conocimiento.

Finalmente un apartado que podemos calificar como estratégico es la necesidad de elaboración de un manual universitario de referencia que pueda abrir la vía a un nuevo ordenamiento de la disciplina que contemple la integración de las nuevas tecnologías dentro de un marco de refundación de una "Nueva Geometría Descriptiva" a partir de la articulación de los métodos, los problemas fundamentales y las aplicaciones de la misma. Éste debería ser un objetivo prioritario que debería contar con la participación más amplia posible de docentes de las distintas escuelas y universidades.

3ª idea. COMPLEJIDAD



Fig. 4. Marcos Novak, *4Dwxy*, Bienal de Venecia, 2000.

“¿Por qué a menudo se describe la geometría como algo “frío” y “seco”? Una de las razones es su incapacidad de describir la forma de una nube, una montaña, una costa o un árbol. Ni las nubes son esféricas, ni las montañas cónicas, ni las costas circulares, ni la corteza es suave, ni tampoco el rayo es rectilíneo.”¹³

Benoît Mandelbrot

“Desde el principio pensé la arquitectura de forma diferente. Sabía lo que quería hacer y lo que tenía que dibujar, pero no podía hacerlo de forma convencional, porque con los métodos tradicionales no conseguía representarlo. Las herramientas tradicionales de representación de la arquitectura no me eran útiles. Y así es como comencé a investigar y a buscar una nueva forma de proyectar, para intentar ver las cosas desde otro punto de vista.”¹⁴

Zaha Hadid

“Detrás de lo que parece complejo en la naturaleza, suele haber un mecanismo muy simple.”

Shohei Matsukawa

Una de las consecuencias conceptuales más interesantes del desarrollo tecnológico contemporáneo ha sido la aparición del denominado paradigma de la complejidad. Edgar Morin, uno de los principales teóricos del concepto de “pensamiento complejo”, señala que “se trata de ejercitarse en un pensamiento capaz de tratar, de dialogar, de negociar, con lo real”, y añade: “se trata de evitar la visión unidimensional, abstracta”. Según Morin: “el pensamiento complejo aspira al conocimiento multidimensional”¹⁵. De esta manera, se ha empezado a superar el paradigma de la ciencia clásica, de una realidad única y universal, y se han intuido nuevos paradigmas según los cuales lo real es igual a lo diverso.

Todo ello conlleva la configuración de una familia de nuevos conceptos, en torno a los cuales se van a desarrollar propuestas sociológicas, científicas, filosóficas y artísticas sobre todo a partir de los años sesenta del pasado siglo: complejidad, contradicción,

ambigüedad, pluralidad, desorden, incertidumbre, desequilibrio...¹⁶

La complejidad se configura como el nuevo concepto central. Comporta la conciencia de que todo está en relación: las partes con el todo, el todo en las partes, lo más minúsculo con lo más trascendental. El mundo está formado por sistemas de gran complejidad y no por elementos que se puedan separar o por objetos que se puedan pensar independientemente.

Josep María Montaner señala que los mecanismos creativos y los mundos formales más contemporáneos se sitúan en alguna de estas tres lógicas: la aceptación de la fragmentación (mediante el recurso al mecanismo vanguardista del *collage* o del montaje cinematográfico), el acercamiento a las formas del caos o la recreación de los efectos de la energía, la luz y la desmaterialización.¹⁷

El impacto de las nuevas tecnologías, al tiempo que da lugar a nuevas realidades y favorece el desarrollo de nuevos planteamientos teóricos, descubre también nuevas potencialidades de la Representación Gráfica en general, y de la Geometría Descriptiva en particular, para abordar la complejidad en un mundo caracterizado por la velocidad y el cambio. Los programas de dibujo asistido por ordenador generan una nueva realidad compleja que requiere unos mecanismos de representación adecuados liberados de las limitaciones propias de las herramientas tradicionales. Se produce un acercamiento a las formas de la naturaleza y a los procesos biológicos siendo el ejemplo más clarificador el desarrollo de las denominadas geometrías fractales.

Pero al mismo tiempo se empieza a hablar también de nuevos conceptos como arquitecturas genéticas, arquitecturas botánico-digitales, arquitecturas bio-miméticas, arquitecturas líquidas, trans-arquitecturas, etc, que se apartan de la definición planimétrica para trabajar sobre los pliegues del espacio y se alejan de una definición geométrica basada en la retícula estructural ortogonal.¹⁸

Como señala la profesora Franca Faedda de la Universidad de Génova¹⁹: “[...] son evidentes las nuevas potencialidades que se abren a quien ha hecho de la geometría, un instrumento de expresión, gracias a la utilización de las nuevas tecnologías informáticas que per-



miten una visualización inmediata, y a través de un lenguaje universalmente más comprensible, de las fórmulas más difíciles, para nosotros diseñadores, de las diversas ramas de la geometría. El ordenador interviene, por lo tanto, como elemento determinante para el nacimiento de un nuevo modo de afrontar los problemas científicos: la rapidez con la que permite variar y visualizar los modelos, consiente una representación global, si bien intuitiva, de los diversos fenómenos, sin que sean desviados por el incompleto conocimiento de los detalles y, al mismo tiempo, por una riqueza de informaciones que no se pueden obtener con papel y lápiz”.

Estamos ante una herramienta que nos permite abordar la complejidad de las nuevas definiciones formales en las que lo orgánico desempeña un papel clave: *blobs* (*Binary Large ObjectS*), burbujas, pliegues,... Nuevos conceptos tomados del ámbito científico o filosófico, en un proceso de hibridación y transversalidad propiciado por las nuevas tecnologías digitales, pasan del ámbito del diseño al ámbito de lo constructivo. Nuevos materiales y nuevos sistemas de construcción traen consigo nuevas necesidades de representación al tiempo que se amplía el campo de actuación de la arquitectura y la construcción, más allá de las figuras poliédricas o las superficies más utilizadas en el repertorio arquitectónico tradicional. De este modo la definición topológica de superficies curvilíneas o quebradas y de volúmenes de sección variable ponen fin a la supremacía de la ortogonalidad que se adecuaba mejor a los sistemas de proyección /sección propios de la operatividad diédrica.²⁰

La denominada “arquitectura digital” se abre camino con el apoyo de las nuevas tecnologías, pero ciertas corrientes como la denominada arquitectura “no standar” basadas paradójicamente en retomar ideas de la artesanía textil tradicional o de la estereometría del Barroco, empiezan a prefigurar también el concepto de “construcción digital” en un proceso imparable de extensión de la informática a todos los ámbitos de la actuación humana.

4ª idea. INGENIO



Fig. 5. Ensayo experimental de resistencia de un nuevo cemento por el capitán Henry Scott, 1861, Science Museum, Londres.

“Bajo este punto de vista es una lengua necesaria al hombre de genio que concibe un proyecto, a los que deben dirigir su ejecución y, en fin, a los artistas que por sí mismos, deben ejecutar sus partes diferentes.”²¹

Gaspard Monge

“... esta geometría no se limita a describir, sino que además de representar objetos dados, indica la manera de construir otros nuevos a partir de ellos, por ejemplo mediante intersecciones.”²⁰

Fritz Hohemberg

Otra de las reflexiones necesarias tiene que ver con la integración de la enseñanza de la Geometría Descriptiva dentro del ámbito de la nueva realidad académica y profesional que deberá abordar el futuro Ingeniero de Edificación, hoy Arquitecto Técnico.

Si resulta evidente la necesidad de establecer una relación directa entre las enseñanzas universitarias y la realidad profesional a la que van dirigidas, la nueva denominación y ordenación de los estudios nos permite una perspectiva novedosa acerca de lo constructivo y el papel de la creatividad dentro de la formación del futuro técnico.

Estaríamos ante una Geometría (Descriptiva) Aplicada a la Edificación con una indudable importancia formativa dado que se convierte en herramienta básica para la adquisición de la visión espacial y una sólida base geométrica, al tiempo que se debería conseguir, como ya se ha señalado en los apartados anteriores, una integración adecuada de las nuevas tecnologías gráficas.

Es deseable, pues, un equilibrio entre conocimiento científico y ejercicio instrumental. La nueva situación debe llevarnos a un planteamiento ambicioso que contemple una exigencia de mayores dotes de creatividad e innovación, necesarias para la resolución de cualquier problema técnico y constructivo e imprescindibles en el ámbito de la investigación. El conocimiento riguroso de la geometría ayudará a desarrollar la capacidad y las habilidades necesarias para la generación y manipulación de formas y volúmenes, configurando una auténtica "geometría constructiva".

Las soluciones innovadoras a problemas tradicionales o novedosos requieren de un conocimiento y una comprensión adecuada del lenguaje gráfico para lo cual resulta imprescindible adquirir las capacidades de ver, pensar, diseñar, representar e interpretar los elementos constructivos y arquitectónicos. Junto a la realización en obra de croquis de aclaración o resolución de problemas y la lectura e interpretación de planos tenemos que valorar la introducción del diseño y la creatividad como una oportunidad de apertura de la titulación a nuevas posibilidades profesionales en una sociedad plural y cambiante.

Debemos hacer un esfuerzo para abandonar lo que podríamos denominar el "tabú del diseño" que históricamente ha supuesto una férrea autolimitación y aprovechar la formación rigurosa que se ofrece en nuestras escuelas para ampliar el campo de actuación del técnico en el ámbito de los nuevos materiales y las nuevas soluciones constructivas, posibilitadas por los avances científicos y tecnológicos.

Para ello es necesario dejar de tener un papel ligado en exceso a la normatividad para entrar a participar plenamente en proyectos relacionados con la creación de conocimiento, la innovación y la investigación, superando el exceso de formación en aspectos normativos, evidentemente necesarios, pero que van en detrimento del fomento de la creatividad y el desarrollo del pensamiento autónomo.

Propugnamos una asignatura más vinculada con la realidad tecnológica y profesional en la que se dé preferencia a las aplicaciones prácticas retomando la fructífera tradición histórica de la estereotomía, pero en la que al mismo tiempo se fomente el factor creativo en la resolución de los problemas con el objetivo de potenciar la investigación y la innovación en el campo del diseño y el desarrollo de productos, sistemas y tecnologías constructivas dentro del sector de la edificación.

Aparece así la necesidad de abandonar definitivamente la falsa disyuntiva entre una Geometría Descriptiva para la Arquitectura (diseño) y otra Geometría Descriptiva orientada hacia la Ingeniería (construcción). La existencia de un tronco docente común para las carreras técnicas en el nuevo sistema académico terminará por resolver adecuadamente esta espinosa y delicada cuestión.

La polémica elección entre formar exclusivamente "intérpretes" o formar a personas que puedan "componer la partitura", utilizando un símil musical un tanto forzado y claramente interesado por parte de aquellos que lo emplean para justificar la necesidad de reducir y limitar los contenidos de la asignatura en el ámbito de la Arquitectura Técnica, pierde ahora todo su posible significado. Estaríamos ante una aberración semejante al caso de que al estudiar un idioma se nos enseñase únicamente a leerlo, pero no a hablarlo o escribirlo. Las limitaciones serían obvias y las dificultades de comunicación evidentes, circunstancia muy peligrosa en un ámbito de tanta responsabilidad como es el de la edificación.

5ª idea. CONVERGENCIA



Fig. 6. Fotograma de la película *Matrix* (Andy y Larry Wachowsky, 1999).



"Pues una vez más mi objetivo no es darle la ciencia, sino enseñarle a adquirirla cuando la necesite, hacerle estimar exactamente lo que vale y hacerle amar la verdad por encima de todo."

(J. J. Rousseau, *Emilio o de la educación*, Libro 3)

La incorporación de la Universidad española al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) hace que sea necesaria también una reflexión acerca del concepto de convergencia y su incidencia en el diseño de los nuevos planes de estudio con la inminente implantación de los títulos oficiales de Grado y Postgrado no sólo desde el punto de vista de los contenidos sino también desde el punto de vista de la metodología dada la introducción del sistema de créditos europeos (ECTS).

Estamos ante un cambio de paradigma que se manifestará fundamentalmente en un cambio metodológico con un esquema centrado en el alumno y su aprendizaje y no en el profesor y la transmisión de contenidos. La complejidad de la vida contemporánea y la velocidad de los cambios científicos, tecnológicos y culturales hace necesario focalizar la formación en la fórmula tan conocida de "enseñar a aprender" o mejor "aprender a aprender" siendo misión (en su sentido literal) y función del profesor universitario contribuir a la consecución de este objetivo.

Como en toda reforma que se precie, asistimos a la introducción de un nuevo lenguaje didáctico con un vocabulario específico y adecuado a los nuevos planteamientos. Surgen una serie de conceptos que seguramente serán novedosos para otros, pero que no lo son tanto para las asignaturas que integran el área de conocimiento de Expresión Gráfica Arquitectónica y, mucho menos, para una disciplina como la vieja Geometría Descriptiva.

Aparecen así "novedosas" innovaciones como, por ejemplo, las denominadas "metodología activas". Es cierto que habrá que redefinir el papel del profesor como mediador que favorece el proceso de aprendizaje del alumno dentro de un criterio que conlleve "enseñar menos" (reducción de contenidos) para "enseñar mejor" (utilización de metodologías adecuadas).

Otro aspecto importante radica en los planteamientos de evaluación de este proceso que

prima la valoración del trabajo personal del alumno. El modelo de la evaluación continua y personalizada se encuentra con la dura realidad de la masificación del alumnado y la limitación de las plantillas docentes unido a la amenaza institucional de abordar las reformas con la fórmula mágica del impropriadamente denominado "coste cero" lo que significa en lenguaje coloquial "con lo que hay", es decir, sin aumento del número de docentes.

Si, a esta compleja situación, añadimos la adopción por parte de los responsables de la política universitaria de criterios de eficiencia condicionados por el nivel de resultados positivos del proceso de aprendizaje (léase aprobados) encontramos un nuevo objetivo utilitario dentro de este proceso de "taylorismo académico" que supone, en alguno de sus aspectos, el proceso de convergencia europea.

Tal vez en el caso de la Geometría Descriptiva lo menos preocupante en este momento sean aquellas cuestiones relacionadas con la adaptación a los criterios de convergencia como, por ejemplo, la elaboración de las nuevas guías docentes, a pesar de la evidente incertidumbre que plantea en los profesores la tarea de introducirse en el laberinto del diseño de competencias o la realización del "sudoku" académico que supone hacer cuadrar convenientemente los planteamientos de la docencia cotidiana con el esquema contable de los créditos ECTS.

La implantación de acciones tutoriales tampoco debería suponer ninguna dificultad en una disciplina que siempre se ha caracterizado por una relación estable, continua y directa con el alumnado, fundamentalmente a través de las clases gráficas (modelo exitoso y eficaz de taller colectivo o gran tutoría) donde tradicionalmente se han producido los deseables fenómenos de comunicación profesor-alumno, así como interesantes procesos de autoaprendizaje por medio de la figura oficiosa del alumno-tutor a través del planteamiento de dudas, puesta en común de resultados, intercambio de apuntes, etc.

Es cierto que tal vez haya existido una cierta carencia de coordinación en el ámbito de los procesos de aprendizaje interdisciplinar lo que constituye un mal endémico de la universidad española. En este sentido es necesario potenciar la transversalidad abandonando la idea de las asignaturas como compartimentos estancos. Esta circunstancia probablemente

se verá dificultada en cierto modo por el proceso de lucha abierta por los créditos que previsiblemente se abrirá en cuanto se publiquen los esperados decretos gubernamentales que han de regular las directrices de las diferentes titulaciones. La fijación del número mágico de 16.5 créditos ECTS para las asignaturas del área gráfica (excluida sorprendentemente la Topografía) nos permite tomar prestada la frase del personaje del film *Matrix* (Andy y Larry Wachowsky, 1999): *Bienvenidos al desierto de los ECTS*.

Esta reducción de la carga docente del área de Expresión Gráfica, diseñada con criterios más que discutibles desde el Libro Blanco, parece que nos aboca a un escenario darwinista de lucha agónica entre asignaturas marcada por la redefinición de contenidos, objetivos y metodologías así como por la apertura de debates conflictivos acerca de la unificación de materias o el rediseño de las mismas.

La clave radicarán finalmente en la metodología empleada: con una reducción al máximo de la técnica expositiva y en la que aparecerán planteamientos didácticos como la estimulación del pensamiento lateral, la introducción de técnicas de motivación (las nuevas tecnologías pueden cumplir un papel importante en este apartado) y el diseño de una nueva relación entre los agentes tradicionales del proceso de enseñanza-aprendizaje con la potenciación de las TIC y los entornos de trabajo colaborativo.

La necesidad de una selección de los contenidos plantea el rediseño de los programas de cara a la elaboración de los nuevos planes de estudio. La definición de los criterios que orientarán esa selección se convierte en uno de los problemas a resolver de manera más urgente. En este sentido, la ampliación de la formación gráfica del futuro técnico a través de la creación de asignaturas optativas que completen, complementen y amplíen el temario básico parece una solución aceptable y razonable que debería estudiarse coordinadamente por todo el colectivo docente.

Ante esta situación de lo que podríamos denominar "zona cero" gráfica, tal vez haya llegado el momento oportuno para empezar a poner en cuestión Bolonia o, al menos, alguno de sus aspectos más discutibles, conflictivos y contradictorios, y abandonar una cierta aceptación acrítica de los planteamientos que derivan de sus directrices: el mercado no puede

ser el motor exclusivo del cambio académico y algunos de los objetivos perseguidos con la reforma como, por ejemplo, la movilidad, se facilitan con una formación adecuada y de calidad complementada con el conocimiento de idiomas y la adaptación a los cambios tecnológicos.

Para finalizar este apartado es necesario resaltar la necesidad de una unificación de criterios académicos entre las distintas escuelas salvaguardando claro está, la libertad y la creatividad de los distintos proyectos docentes condicionados por la identidad geográfica, social y cultural de cada centro, pero manteniendo un perfil común tan necesario en la construcción de una herramienta de comunicación como es la Expresión Gráfica Arquitectónica.

6ª idea. CONOCIMIENTO



Fig. 7. "Esqueleto pensante", grabado de *L'Encyclopédie*.

"Ars sine scientia nihil est."
Jean Mignot, maestro constructor (s. XIV).²³

"Para desenvolverse con éxito en un ambiente propio para la investigación hacen falta las siguientes virtudes: humildad, imaginación, perseverancia, sentido del orden y, sobre todo, paciencia."

Rafael Leoz

Otro de los aspectos fundamentales del proceso de adaptación a la convergencia europea es el de la estructuración de las enseñanzas universitarias en los niveles de Grado y Postgrado, lo que supone una racionalización y optimización del sistema y se supera además la situación "extraña" de aquellas titulaciones carentes de un segundo ciclo como era el caso de Arquitectura Técnica con la consecuente falta de tradición y motivación investigadora a que daba lugar.

La nueva situación supone una excelente oportunidad para la participación del profesorado en tareas de investigación entendida como actividad fundamental del docente universitario. La investigación participa del compromiso necesario de la Universidad con la sociedad y es uno de los pilares fundamentales de la actividad universitaria como soporte de una docencia de mayor calidad y competitividad y como forma de devolver progreso a la sociedad de la que se nutre.

Se plantea, por tanto, la necesidad de que el docente de Geometría Descriptiva se comprometa con la tarea investigadora lo que debería reflejarse en la publicación de trabajos, estudios y artículos relacionados con los contenidos del área y no sólo las tradicionales y admirables, pero al mismo tiempo limitadas, recopilaciones de ejercicios, que tanta utilidad presentan para profesores y alumnos en la tarea cotidiana de la enseñanza-aprendizaje. Hay que reivindicar el papel del profesor universitario como intelectual comprometido con la tarea de "producir" conocimiento y no sólo reproducirlo, para contribuir de esta manera al avance del saber y dar satisfacción, además, a los requerimientos tecnológicos del sector de la edificación, a través de la participación en proyectos y programas de I+D+i.

En primer lugar habrá que plantear la definición del papel de la investigación en el área de Expresión Gráfica y en particular en el ámbito de la Geometría Descriptiva: ¿qué investigar?,

¿para qué?, ¿para quién?, ¿cómo? Hasta ahora la tarea docente se había centrado básicamente en la transmisión de un conocimiento tendente a la formación de profesionales. Sin renunciar a esta importante función habría que promover una nueva actitud orientada hacia la creación de conocimiento. El acercamiento al ámbito de la ingeniería (ya hemos mencionado anteriormente el papel del "ingenio" como idea-fuerza) pone en el centro del debate el papel de la creatividad y la innovación, aspectos básicos de cualquier proyecto de investigación y aspectos nucleares de la nueva realidad académica y profesional.

Es necesario huir de las autolimitaciones que tradicionalmente nos hemos impuesto y abandonar la idea de que todo aquello que no pueda ser "visado" por un colegio profesional resulta superfluo o innecesario en la formación del futuro técnico. Hay que abordar los conceptos de polivalencia y flexibilidad y la necesidad de formar al alumno para la adaptación continua a situaciones cambiantes así como la necesidad de ampliar sus posibilidades futuras de proyección profesional. Debemos pues afrontar el reto de las oportunidades que ofrece la nueva situación y estar abiertos a nuevos campos de actuación que, ahora mismo, pueden resultar impensables, desconocidas o ni siquiera imaginables, dado el rápido avance de la tecnología.

Resulta por tanto obvia la necesidad de definir líneas de actuación en relación con el diseño de los Programas Oficiales de Posgrado (POP) así como líneas de investigación atractivas dentro del área de EGA y desde el punto de vista de la asignatura de Geometría Descriptiva y las Tecnologías de la Representación.

Una cuestión clave a considerar dentro del nuevo marco de los estudios de Postgrado es la posible viabilidad del desarrollo de un Máster específico centrado en el área de EGA que podría tener incluso un carácter interuniversitario. Para ello sería necesario determinar el perfil profesional y/o académico del programa, los requisitos necesarios para el acceso y las materias concretas que habrían de ser cursadas.

Otra posibilidad sería la integración de materias gráficas en otro tipo de Programas Oficiales de Postgrado multidisciplinares contribuyendo así a una oferta académica que ofrezca una formación gráfica rigurosa y resuelva las dificultades y carencias que surgirán debido a las reducciones de carga docente que promueve la reforma.

Desde el punto de vista de los estudios de doctorado son varias las líneas de investigación que podrían plantearse introduciendo además planteamientos de colaboración interdepartamental en proyectos desarrollados por otras áreas a las que se puede suministrar el apoyo necesario en el soporte de expresión y lenguaje gráfico e incluso en programas y proyectos inter-universitarios dentro de la filosofía de potenciación de la movilidad que precoriza el EEES.

Podemos señalar una serie de líneas propiamente "geométricas" o gráficas. Así, resulta evidente el papel de la geometría en el análisis y generación de formas aplicadas al diseño y al desarrollo de soluciones constructivas con una inmediata aplicación práctica en el ámbito de la prefabricación y la construcción industrializada cuya implantación debería ser un objetivo dentro de la tendencia de modernización del sector.

Otro campo de interés podría ser el análisis geométrico de los elementos estructurales o la aplicación de la geometría al diseño de soluciones a problemas arquitectónicos y constructivos como, por ejemplo, el desarrollo de soluciones para las arquitecturas de emergencia, etc.

El campo de las aplicaciones multimedia y las TIC también ofrece oportunidades de desarrollo tanto en la creación de nuevas herramientas destinadas a la docencia (diseño de materiales pedagógicos, modelos de visualización) o en la utilización de las técnicas avanzadas de comunicación en el ámbito de la empresa relacionada con el sector de la edificación como la simulación fotorrealista, la animación tridimensional o la Realidad Virtual.

Otra posibilidad la ofrece el desarrollo de aplicaciones de Informática Gráfica en general relacionadas con la modelización y visualización tridimensional de proyectos de Arquitectura e Ingeniería. En este sentido presenta una gran importancia la utilización de la geometría como herramienta auxiliar en los proyectos de recuperación del Patrimonio Histórico y Cultural (estereotomía, despieces) así como la utilización de las nuevas tecnologías y herramientas de la representación gráfica aplicadas al levantamiento del patrimonio construido (escaneado 3D, medición instrumental del color, creación de modelos digitales de arquitecturas y construcciones desaparecidas, etc.)

No debemos olvidar el carácter de ciencia aplicada y herramienta de investigación que define a la Geometría Descriptiva ya desde sus inicios ("para librar a la nación francesa de su dependencia..."). La consideración de la misma como "Ciencia de la Representación" permite abordar todas aquellas líneas de investigación en las que el elemento gráfico sea relevante y en particular todas aquellas posibilidades de utilización de las nuevas tecnologías dentro del campo de la representación gráfica.

Un tema de gran interés sería profundizar en aquellas cuestiones relacionadas con la Historia de la Representación Gráfica aplicada a la Edificación. Se cumpliría así además la función de potenciar el aspecto cultural e intelectual de la disciplina, tan necesario para una formación integral y equilibrada del futuro profesional, y se recuperaría el espíritu "ilustrado" que marcó los orígenes académicos de la asignatura.

Finalmente, y con una importancia trascendental, habría que señalar la misma renovación del estudio y la enseñanza de la Geometría Descriptiva en la Era de la Información como un problema propio de investigación.

CONCLUSIÓN

Before you upgrade your system,
how about upgrading your brain?



"Antes de actualizar tu sistema, ¿qué tal si actualizas tu mente?"

Anuncio publicitario aparecido en la revista
Computer Artist.





Al comienzo de este artículo nos referíamos a la obra de Italo Calvino y mencionábamos las ideas reflejadas por él en sus *Lezioni americane*: rapidez, exactitud, levedad, visibilidad, multiplicidad,... Algunas de ellas podrían dar lugar a una reinterpretación o trasposición del lenguaje literario al campo de la expresión gráfica.

La idea de rapidez se vislumbra en el vértigo con el que nos "amenazan" los cambios estructurales en la organización académica (enseñar y aprender en menos tiempo, reducción de carga docente, racionalización del tiempo de trabajo del alumno, optimización de recursos) y la velocidad con la que la informática se ha introducido en todas las parcelas de la actividad humana y por supuesto en la Expresión Gráfica. La rapidez y la velocidad que parecen estar en el corazón mismo de las nuevas tecnologías, dada su potencia de cálculo, las convierte en herramientas privilegiadas de representación de la complejidad pero también en herramientas de conocimiento.

La idea de exactitud, que aparecía ya en la definición de Monge, se refleja en el rigor geométrico de los trazados que aportan las nuevas herramientas devolviéndonos al debate acerca de la relación entre la ciencia matemática y la Geometría Descriptiva, problema tradicional que adquiere nueva vigencia con la dialéctica entre imagen gráfica y cálculo matemático que aporta la informática gráfica. Aparece además un nuevo enfrentamiento entre el concepto de lo real (operable, medible, modificable) y lo virtual (perteneciente al campo del modelo y la simulación).

La idea de levedad o ligereza conecta con la percepción contemporánea de la desmaterialización gradual e ineludible de nuestra realidad. En relación con este debate acerca de la confrontación entre lo real y lo virtual resulta necesaria una reflexión sobre la relación entre ambos conceptos tratando de indagar acerca de cuáles podrían ser las verdaderas implicaciones teóricas (filosóficas, sociales y culturales) de la realidad virtual²⁴ más allá del obsoleto y aburrido debate entre lápiz o ratón, entre medios tradicionales o informáticos.

La idea de visibilidad se relaciona con las nuevas potencialidades de visualización que surgen en relación con los aspectos comunicativos del lenguaje gráfico aplicado a la arquitectura y la edificación.

La idea de multiplicidad viene determinada por la versatilidad del dato informático para

ser tratado, manipulado, gestionado y asociado a otras formas de representación y de lenguaje. La polivalencia y adaptación constante al marco productivo y económico que preconiza la reforma nos sitúa en este mismo contexto de multiplicidad y polivalencia como valores emergentes.

Todo ello nos lleva a la necesidad de un nuevo enfoque instrumental y metodológico condicionado por los dos fenómenos que coinciden en la actualidad en nuestro quehacer como docentes: por un lado el impacto de las nuevas tecnologías y por otro la reforma de la ordenación de los estudios universitarios.

La propuesta de nuevos objetivos formativos y la nueva organización didáctica, sobre todo en el caso de los estudios de Grado, no parece resultar compatible con la necesidad de profundización en el estudio de la Geometría Descriptiva que demanda la adecuada formación de un profesional competente, a menos que ésta se entienda como una mera enumeración de los sistemas de representación de aplicación arquitectónica.

La Geometría Descriptiva corre el riesgo de verse reducida al estudio somero y abreviado de los fundamentos básicos de los distintos métodos de representación, abandonando su valor primordial, que no es otro que la formación científica y rigurosa del técnico en el ámbito del control espacial, haciendo visible la abstracción del modelo matemático y logrando la visión e imaginación de los objetos de tres dimensiones en el espacio.

Al final hemos cerrado un círculo y regresado a la definición "mongiana". Gaspard Monge en su momento fue un renovador y un revolucionario. El impacto de las nuevas tecnologías y la implantación de la reforma universitaria nos obligan ahora a un esfuerzo de renovación de la enseñanza de la Geometría Descriptiva que implicará, en la práctica, una refundación de la misma, con la consecuente revisión de los contenidos teóricos y la integración de los métodos gráficos e informáticos.

Debemos encuadrar el problema dentro de una perspectiva histórica y, retomando la idea de renovación que ya existía en la creación de las Escuelas Politécnicas, aceptar la idea de una "Nueva Geometría Descriptiva" que, superando la incertidumbre actual de los programas docentes, acerque la asignatura a la realidad constructiva y reescriba el *corpus* disciplinar teniendo en cuenta las aportaciones y las potencialidades de las Tecnologías de la Información y la Comunicación.

EPÍLOGO SEVILLANO



Fig. 9. Sevilla, por Carmen Laffón.

*En el sur tan distante quiero estar confundido.
La lluvia allí no es más que una rosa entreabierta;
Su niebla misma ríe, risa blanca en el viento.
Su oscuridad, su luz son bellezas iguales.*

Luis Cernuda

Estas breves reflexiones o mejor, ideas expresadas en voz alta, tuvieron su origen en la convocatoria de las 2 Jornadas Nacionales de Profesores de Geometría Descriptiva que se celebraron en la Escuela de Arquitectura Técnica de Sevilla los días 13 y 14 de septiembre de 2007. Cordialidad, ilusión, camaradería, fueron las claves de dicha reunión unidas al innegable interés científico y académico suscitado por la trascendencia y actualidad de los temas tratados.

Por eso en este "epílogo sevillano" quisiera referirme exclusivamente al aspecto humano de la tarea docente cuya importancia se ha visto claramente reflejada en el éxito de esta reunión de profesores, que yo preferiría calificar como un encuentro de amigos y amigas. El ambiente de colaboración, motivación y compromiso con la enseñanza que se respiraba en las distintas sesiones nos ha dejado un recuerdo imborrable a todos los participantes y nos ha permitido reponer y acumular fuerzas para afrontar la dura tarea de renovación que se avecina.

Tal vez ese entendimiento de la relación humana como un elemento clave en cualquier proyecto educativo es algo que se echa en falta en los parámetros de la nueva reforma universitaria, condicionada en exceso por el frío paisaje de las cifras, los porcentajes, los ajustes horarios y las estadísticas ("el desierto de los ECTS").

Las personas constituyen las piezas fundamentales del artefacto académico que se pretende diseñar y construir y la educación seguirá siendo una tarea humanística aunque se centre en el ámbito científico o tecnológico. El factor humano se configura como la clave del sistema por encima de cualquier otra consideración de carácter cuantitativo.

Recuperar y estimular la alegría en el quehacer cotidiano, la ilusión y el orgullo por la "obra bien hecha", la permanente curiosidad científica, la solidaridad, la generosidad y la humildad intelectual, sería el mejor logro de ésta o de cualquier otra reforma educativa. Para conseguirlo todos debemos asumir nuestra propia responsabilidad e iniciar un proceso de autoevaluación crítica y de reflexión serena y sincera acerca de nuestro papel como docentes en una institución que amenaza con regirse con las leyes objetivas y despiadadas del mercado.

Estamos obligados a potenciar nuestra actuación como intelectuales, creadores de conocimiento y formadores de seres humanos con valores que habrán de transmitir a una sociedad sumida en la vorágine del cambio y la complejidad y con responsabilidades en un sector con tantas implicaciones éticas, sociales y económicas como es el de la edificación.

Algunos profesores y profesoras con inquietudes similares (hay que resaltar y agradecer de forma sincera el mérito fundacional de las jornadas atribuible a las compañeras de La Laguna en el año 2004 y el inmejorable esfuerzo continuador realizado por los compañeros de Sevilla) han iniciado valiente y generosamente ese camino de reflexión y debate. Ahora nos corresponde a todos conseguir que este viaje sea fructífero ("*rico en experiencias y en conocimiento*", como afirmaba Kavafis en su *Ítaca*) para que todos nos sintamos orgullosos de nuestra tarea como profesores de una materia con la tradición y el futuro de la Geometría Descriptiva.



REFERENCIAS

¹ Estas ideas fueron expuestas por el autor como ponencia en la Mesa Redonda "La Geometría Descriptiva ante el reto del Espacio Europeo de Educación Superior" organizada con motivo de las 2 Jornadas Nacionales de Profesores de Geometría Descriptiva celebradas en la EUAT de Sevilla los días 13 y 14 de Septiembre de 2007.

² CALVINO, Italo, *Seis propuestas para el próximo milenio*, Ediciones Siruela, Madrid, 1998.

³ Libro Blanco del Título de Grado en Ingeniería de Edificación, Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA), Madrid, 2005.

⁴ Gaspard MONGE, *Géométrie Descriptive. Leçons données aux écoles Normales l'an 3 de la République, Paris, an 7 (1799)*. Versión española del Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Madrid, 1996.

⁵ Véase GENTIL BALDRICH, José M^a, "Papel de la Geometría Descriptiva en la enseñanza de la Arquitectura" en *Actas del I Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Sevilla, 1986, pp. 75-79 y también ALONSO RODRÍGUEZ, Miguel Ángel, "Geometría Descriptiva, Expresión Gráfica. Una polémica del siglo XIX" en *Actas del I Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Sevilla, 1986, pp. 71-74.

⁶ SÁNCHEZ GALLEGU, Juan Antonio, "Geometría Descriptiva y Teoría", en *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica EGA* nº 1, Valencia, 1993, pp. 34-35.

⁷ Para una historia del desarrollo de la Geometría Descriptiva véase el interesante artículo del profesor José CALVO LÓPEZ, "Gaspard Monge, la estética de la Ilustración y la enseñanza de la Geometría descriptiva en *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, nº 4, Madrid, 2006, pp. 85-92.

⁸ Libro Blanco del Título de Grado en Ingeniería de Edificación, *Ibidem*, pp. 195-196.

⁹ Mensaje publicitario de la firma Merrill Lynch publicado en el New York Times, 16 de marzo de 1999, p.C30, citado en STEELE, James, *Arquitectura y revolución digital*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2001, p. 13.

¹⁰ WAGENSBERG, Jorge, *A más cómo, menos por qué. 747 reflexiones con la intención de comprender lo fundamental, lo natural y lo cultural*, Tusquets Editores, Barcelona, 2006, p. 111.

¹¹ KUHN, Thomas S., *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México, 2006, pp. 70-71.

¹² DICK, Philip K., *¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?*, Barcelona, Edhasa, 1981.

¹³ MANDELBROT, Benoît: *La Geometría Fractal de la naturaleza*, Barcelona, 1997, p. 15. Véase también del mismo autor: *Los objetos fractales*, Barcelona, 1996.

¹⁴ Entrevista con Zaha HADID, *El Croquis* nº 52, 1992.

¹⁵ MORIN, Edgar, *Introducción al pensamiento complejo*, Editorial Gedisa, Barcelona, 2001.

¹⁶ MONTANER, Josep María, *Las formas del siglo XX*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2002, p. 118.

¹⁷ MONTANER, Josep María, *Ibidem*, p. 185.

¹⁸ SARRABLO, Vicente, "La construcción de formas complejas" en *Revista TECTÓNICA*, nº 17, *Geometrías Complejas*, septiembre de 2004, p. 18.

¹⁹ FAEDDA, Franca, "Nuevas potencialidades para la geometría descriptiva", en *Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Barcelona, 2000, pp. 31-34.

²⁰ MIRALLES, Enric. "¿Cómo acotar un croissant? El equilibrio horizontal", en *Revista El Croquis* 30+49+50, pp. 192-193.

²¹ MONGE, Gaspard, *Ibidem*.

²² HOHEMBERG, F., *Geometría constructiva aplicada a la técnica*. Ed. Labor. Madrid, 1965. Prólogo a la edición alemana, pág. VIII.

²³ KOSTOFF, Spiro: *El arquitecto: historia de una profesión*, Cátedra, Madrid, 1984, p. 89.

²⁴ MALDONADO, Tomás, *Reale e virtuale*, Feltrinelli Editore, Milán, 1992. (Versión castellana: *Lo real y lo virtual*, Editorial Gedisa, Barcelona, 1994).

