

Con cierta frecuencia algunos arquitectos se pronuncian a favor de las fotografías de sus obras como preferibles a la vivencia de las mismas. Las razones para ello no son banales: el artista prefiere pensar respecto de sus obras en un estado de prístina y virginal perfección que quizá sólo pudo haber existido en los dibujos técnicos necesarios para construirlo. No puede perdonar ni tolerar fácilmente la torpe acción humana sobre las formas construidas, ni el implacable paso y usura del tiempo sobre éstas [...]. De ahí surge una primera condición de la imagen fotográfica de arquitectura: fotografías que muestran lo que parece ser la desaparición de la raza humana en nuestros lugares del planeta. La única vida tolerada en esa clase de fotografía de arquitectura es la de las especies vegetales, y éstas deben estar estrictamente dispuestas, como en un jardín francés (Téllez, art. cit., págs. 375-376).

Este tipo de representación purista, neutra, encuentra uno de sus referentes en el fotomontaje que efectúa Le Corbusier para la edición de la Villa Schwob en 1916 [71], donde la representación tónica se imbrica en la página impresa descontextualizada, dando aquellas partes donde la casa había tenido extensiones o formas más orgánicas y eliminando elementos que pudiesen restar claridad geométrica al conjunto. Se trata de un planteamiento que busca centrar la atención en los elementos más abstractos de la imagen, a fin de eliminar su carácter realista y su representación perspectiva, para resaltar las formas geométricas que tendrían un claro exponente en la publicación de *Walter Gropius Arquitectura Internacional* de 1925, uno de los primeros manifiestos de arquitectura que utilizó fotografías como herramienta visual de su teoría constructiva. A través de la recuperación de la geometrización latente en el proyecto, esta fotografía tiende a marcar el momento en que la arquitectura se fragmenta hasta la abstracción, focalizando aspectos y detalles concretos que la convierten en un conjunto de elementos geométricos que ocupan al completo la imagen, heredera de la pretensión de la nitidez visual y rigurosidad formal del maquinismo y la nueva objetividad fotográfica, de las ideas de Charles Sheeler, Renger-Patzsch, John Havinden o los libros de fotografía de Erich Mendelsohn. La fotografía arquitectónica y especialmente en el ámbito del constructivismo contribuirá a este tipo de representación arquitectónica a través de nuevos puntos de vista inhabituales, exposiciones múltiples y composiciones exageradas, dando fe del virtuosismo técnico y proyectivo en la obra. En el ámbito de la fotografía artística de principios del siglo XX encontramos imágenes que centran su atención en un aspecto de la construcción hasta eliminar prácticamente su sentido espacial, como *The Ocean of Steps* [72], de Henry Evans, en 1903, cuyo tratamiento fotográfico era totalmente distinto de los distantes planos de *Flat-Iron* de Stieglitz y Coburn. Fotógrafos como Julius Shulman y Harry Stoller [74] persiguieron esta interpretación poética abstracta, descontextualizada, de la arquitectura, conscientes del juego de composiciones estilísticas que generaban con la misma arquitectura en obras como *Guggenheim* o *Study Houses* #22.

CAPÍTULO X

El proyecto digital



JOSÉ MIGUEL FUENTES
CARLOS UREÑA

Los ordenadores son inútiles, sólo pueden darte respuestas.

PABLO RUIZ PICASSO

PROCESOS DE DISEÑO DIGITAL

No es de sorprender que una de las últimas tecnologías desarrolladas por la humanidad (la informática) se haya dedicado desde sus comienzos, entre otros objetivos, a la producción de representaciones. La aplicación de la tecnología ha modificado los procesos de producción artística o creativa [1] hasta límites insospechables hace sólo unas décadas. Sin embargo, los fundamentos tecnológicos de estas aplicaciones de la informática a menudo no son bien conocidos por el público o incluso por sus usuarios.

La forma de comunicar mediante imágenes manipuladas por ordenador, imágenes digitales, o conjunto de operaciones algorítmicas, se convierte en la actualidad en el modo de afrontar los procesos de diseño. La evolución producida por el uso de máquinas y computadoras está presente en casi todos los pasos del proyecto y desarrollo de una idea, y la ideación pasa por su presentación en imágenes. El lápiz se sigue utilizando por algunos proyectistas, en una primera fase inicial, y ya en las etapas de verificación del proyecto el ordenador es herramienta ineludible; sería impensable en la actualidad que un arquitecto o un ingeniero no tuvieran una formación en el uso de herramientas informáticas.

En una primera fase quedan afirmaciones que nos hacen reflexionar, según el comunicólogo, diseñador e investigador de la comunicación Joan Costa Solá-Segales (2008):

Un lápiz no predetermina lo que vayas a hacer con él: un dibujo, una suma, un escrito, un poema o bien rascarte la oreja. Te da toda la libertad. Lo contrario de la computadora, que te da formas, pero no libertad creativa. Todo lo que hagas con ella ya está predeterminado. Por tanto, un lápiz es más libre y creativo que una computadora.



[1] Francisco A. Cortina, *Modelado humano*, 2007.

La imagen que evocamos en la creación aún es la del lápiz de grafito y no la del lápiz digital, con el que, por otra parte, también podemos rascarnos la oreja. La herramienta digital es un medio para el diseñador y un fin para el programador que predetermina la forma de relación con la máquina. Los soportes también evolucionan desde el papel a la manipulación de la luz [2], pantallas, focos luminosos que ayudan a la visualización, permitiendo incluso el engaño visual tridimensional.



[2] J. M. Fuentes, *Pantallas luminosas*. Broadcast de Madrid, 2009.

Las consideradas «nuevas tecnologías» son parte de una realidad ya cotidiana en los procesos de diseño y creación de proyectos. Es un hecho incuestionable que la tecnología de la información y comunicación se utiliza en todas las áreas de conocimiento de forma común desde hace al menos tres décadas.

La información digitalizada y los medios de tratamiento y comunicación se incluyen normalmente como procesos de trabajo. La información es más fácil de localizar mediante bases de datos, ya que se reducen los tiempos de búsqueda y tratamiento de la misma. Por ejemplo, los bancos de imágenes son cada vez más comunes para la consulta de documentos, imágenes, patentes...; hasta hace muy poco, difícilmente accesibles, ahora se presentan digitalmente en red.

El proyecto realizado con medios digitales tiene como objetivo resolver problemas nuevos, complejos, o enfrentarse a soluciones antiguas con rapidez, posibilitando nuevas formas de hacer. La llamada «Era Digital» en la que estamos todos involucrados es época de cambios sociales y tecnológicos, en la que vivimos inmersos. Cambios en la forma y transición a nuevos modelos que han provocado una revolución. Un claro ejemplo es que a principios del año 2010 la compañía Amazon confirmó que las ventas de libros digitales fueron mayores que las ventas de libros en papel. Los soportes [3] de visualización mejoran y la gran cantidad de informes, proyectos, presupuestos, memorias, revistas, periódicos, etc., que dependen del papel, son ya entregados y presentados en soporte digital.

En un proyecto convencional o analógico, con estructura metodológica formal, se trabaja de manera lineal con un principio y un fin, es decir, se representa de forma continua. La linealidad es intrínseca al proceso convencional, sin embargo, con el proceso digital, la linealidad puede ser alterada. Se rompe: se puede retroceder y avanzar e insertar, incorporando una previsualización virtual, traducida en cifras, de manera discontinua, fraccionada, y con los resultados evaluados en cada momento del proceso,



[3] Pantalla flexible LG. Philips LCD.

para cubrir objetivos. Hay que ser consciente de que la disposición digital, al ser entrecortada, permite una libre interpretación por parte del manipulador. El orden es alterado, la sistemática y la progresión, que conllevan un razonamiento metodológico convencional, pueden ser fácilmente cambiadas.

Son numerosos los profesionales que en la actualidad hacen uso de estas tecnologías formándose y especializándose en el manejo de estas herramientas para poder desarrollar sus proyectos digitales. Los profesionales tienden a incentivar el uso de las herramientas digitales en los pasos del diseño y las empresas lo demandan. Las ventajas productivas de la tecnología digital, comparada con los métodos tradicionales, son indiscutibles y posibilitan nuevas metodologías de trabajo.

Con los procedimientos digitales, realizar reajustes previos en proyecto es posible, ya que mediante la presentación y la evaluación en cada fase del trabajo se demuestra la viabilidad de los resultados, anticipados a su ejecución. Al tiempo, permite la posibilidad de experimentar con variables innovadoras, lo que conduce a la generación de nuevas posibilidades, sólo posibles desde esta plataforma digital.

En el ámbito de la representación, los medios digitales aportan la libre utilización de puntos de vista, donde la contribución al estudio del movimiento que proporcionó la fotografía y la utilización de las técnicas de fotomontaje [4 y 5] es un paso más de esta evolución que se halla en continuo progreso. Puede servir de ejemplo la espectacular evolución que ha tenido la imagen animada con la incorporación de estas tecnologías, facilitando en pantalla la presentación de lo imaginable y posibilitando con innovadoras herramientas nuevas formas de gestión del proyecto.

Asumimos que el soporte digital es abstracto, no corpóreo, y nos servimos de él como medio portador para la representación, anulando la relación física real. Por lo tanto, las imágenes son traducidas a un lenguaje binario y manipulables mediante cálculo matemático.

Pensar en el mismo concepto de proyecto en estos momentos es constatar cómo se ha transformado, sobre todo, en la segunda mitad del siglo XX. Ya no hablamos únicamente de la constancia de este proceso, sino que somos conscientes de que está en continua evolución, por lo que parece idóneo plantear una reflexión actual sobre las formas contemporáneas de creación y producción, partiendo desde una base formativa donde se requieren nuevos procedimientos y habilidades por parte de los profesionales y que no pasa sólo por el uso de herramientas informáticas, sino, sobre todo, por un nuevo enfoque en la metodología que utilizar.

Las nuevas soluciones gráficas que aportan los sistemas CAD (*Computer Aided Design*) han revolucionado el concepto de creación en arquitectura e ingeniería; también han hecho que el diseñador tenga la necesidad de saber y dominar las posibilidades, mecanismos y fundamentos de estos nuevos procesos. El hecho de representar una idea y conceptualizarla, pensar en el proceso y en el uso que se le va a dar a las herramientas tecnológicas útiles en la representación, es ya parte de su formación.

Sin embargo, también aparecen otros factores en este sucinto análisis. La implementación de la gráfica digital también plantea dudas sobre su uso. La comodidad de representar una forma sólo con abrir una ventana de un

[4] *La Gioconda Sapiem*, una cara con diez mil caras (La Coruña, Museo Domus), 1995.



[5] Henry Peach Robinson, uno de los primeros fotomontajes.



menú y elegirla queda condicionada o limitada por la propia herramienta gráfica. El usuario del programa informático es en realidad un operario que trabaja con una herramienta mediatizada y se aleja de las funciones propias de un analista o un programador informático, que proporciona estas herramientas promovidas, en la mayoría de los casos, por grandes empresas de aplicaciones informáticas. Se da la paradoja, y de forma no poco común, de que muchas de las nuevas herramientas o programas informáticos creados por estas multinacionales de la informática acusan notables parecidos en sus productos. Así, pueden notarse curiosas semejanzas en algunos de los proyectos actuales (objetos de diseño cotidiano, industriales, edificios), que no sólo dependen de la estética del momento, sino que



[6] Prototipos virtuales en realidad virtual. Fakultät für Maschinenbau der Universität Paderborn.

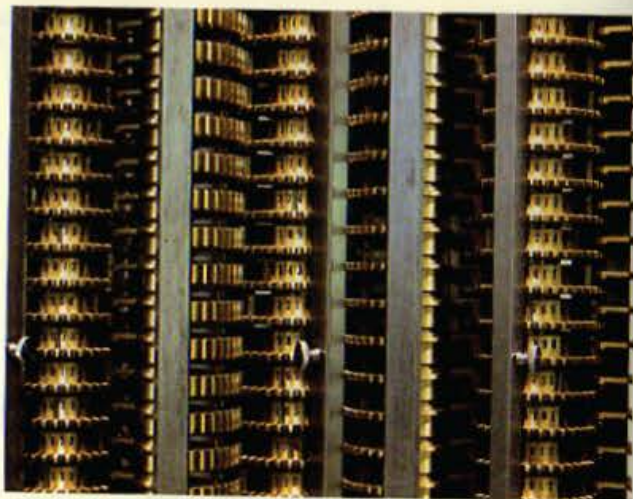
también quedan vinculados a las posibilidades de los programas, herramientas o aplicaciones manejados.

Otra de las grandes innovaciones introducidas en el proyecto se refiere al concepto de prototipo. Es un hecho que los prototipos [6] virtuales son utilizados por la industria permitiendo y posibilitando una ejecución rápida y económica, tan fácil como pulsar el botón. Ya no se trata únicamente de visualizar el objeto, sino que también se puede evaluar, realizar el ensamblaje de piezas y estudios de montaje, posibilitar la puesta en funcionamiento virtual y resolver complejas soluciones, entre otras aplicaciones. Esta revolución ha creado nuevas expectativas dirigidas hacia un mundo digital cuantificable y presente en cualquier proyecto creativo.

HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS EN EL PROYECTO DIGITAL

Según Umberto Eco: «El ordenador no es una máquina inteligente que ayuda a gente estúpida, de hecho, es una estúpida máquina que funciona sólo en manos de gente inteligente» (1986, pág. 6).

La palabra *Informática* (un galicismo proveniente de *informatique*) en la actualidad tiene dos acepciones bien distintas, por un lado designa una rama de la ingeniería que trata sobre las bases científicas y tecnológicas útiles para el diseño de *software* y *hardware* de ordenador, y por otro lado designa al conjunto de actividades relacionadas con el uso de los ordenadores. La primera es la acepción original, que puede entenderse como la traducción al español del término *Computer Science*, mientras que la segunda es la que se ha popularizado. Es evidente que estas dos acepciones designan actividades relacionadas, pero también es cierto que en



[7] Una réplica de la *difference engine* de Charles Babbage, en el Museo de la Ciencia de Londres.

muchísimos aspectos son completamente distintas: en un caso designa la creación de una tecnología, y en el otro el uso de esa tecnología.

La mayoría de las personas interpretan esta palabra usando la segunda acepción, en muchos casos sin ser conscientes de los conceptos de ingeniería que hay detrás del uso de los ordenadores. Este desconocimiento no es especialmente dañino, y además ocurre también para toda la tecnología actual. De hecho, una de las aspiraciones de los tecnólogos es la de producir herramientas transparentes o invisibles que cumplan su función sin requerir que los usuarios sean conscientes de su existencia o su grado de complejidad. Un buen ejemplo de esto, entre otros muchos, es la existencia de ordenadores de control y seguridad en los vehículos actuales, que cumplen su función sin interferir en la tarea de la conducción.

Por tanto, entendemos por *informática gráfica* el conjunto de las tecnologías que son la base para la creación de *software* y *hardware* que permite la generación de información visual usando ordenadores. La utilización de este tipo de *software* y *hardware* puede denominarse *Infografía*, entendiendo este término en un sentido amplio, es decir, queriendo abarcar con él todas las actividades que, mediante el uso de ordenadores y otros dispositivos dotados de *software* adecuado, permiten a los creadores la producción de información u obras de arte visuales.

Las personas involucradas en la Informática Gráfica encuentran soluciones para las necesidades que se plantean desde el campo de la Infografía, y al revés, los creadores que son usuarios de herramientas infográficas pueden obtener mejor rendimiento de éstas si son conscientes de los fundamentos de la Informática Gráfica.



[8] Una fotografía del ordenador ENIAC en la Escuela Moore.

El nacimiento de la Informática y la Informática Gráfica puede fecharse a principios del siglo XIX con el diseño en 1822 de Charles Babbage en Londres para una máquina que hacía las operaciones necesarias para calcular polinomios (la *difference engine*), máquina que fue construida en 1832 [7]. Pero no fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial que se construyó un dispositivo de cálculo digital de propósito general, basado en la electricidad para el almacenamiento de datos (números) y para la realización de operaciones aritméticas con ellos. Tal primer ordenador fue denominado ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*), construido entre 1943 y 1945 por un equipo liderado por J. Presper Eckert, en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de Pennsylvania, para el Laboratorio de Investigación en Balística de la Armada de los Estados Unidos en Aberdeen (Maryland), con el objetivo de ayudar en el cálculo de las tablas de tiro usadas en el ejército [8].

Pero es realmente Ivan Sutherland el creador de la Informática Gráfica. Entre el otoño de 1961 y enero de 1963, Sutherland realizó su tesis doctoral en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), y en ella describía el sistema *Sketchpad*. Este sistema (combinación de *hardware* y *software*) fue auténticamente pionero en varios sentidos: en primer lugar constituye una nueva forma de interactuar físicamente con el ordenador, pero además sienta las bases de cómo es posible almacenar información geométrica en la memoria de un ordenador y de qué operaciones de transformación se pueden realizar sobre dicha información. Usando terminología actual, podemos decir que *Sketchpad* era un programa de dibujo asistido por ordenador para elementos geométricos 2D basado en

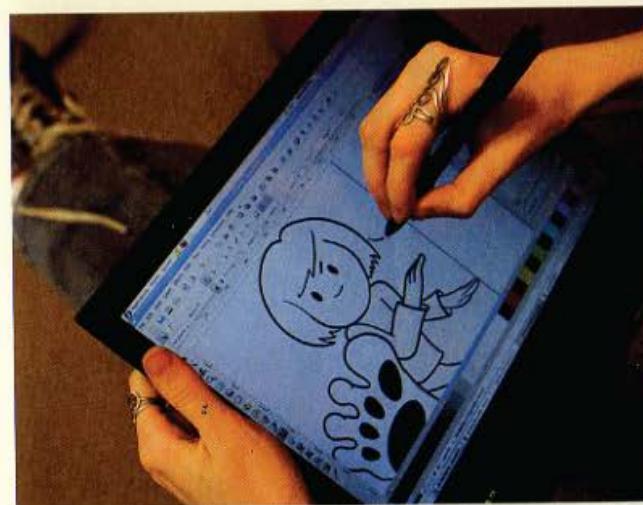
restricciones (con algunas posibilidades básicas en 3D). El sistema era usable a través de un monitor CRT y un dispositivo apuntador (*lightpen*) conectados a un ordenador TX-2. Ivan Sutherland incorporó una caja de botones para facilitar la interacción. Inmediatamente después de *Sketchpad*, las grandes compañías como Boeing o General Motors comprendieron la utilidad de este tipo de sistemas para el diseño de componentes industriales. Fue entonces cuando nació el *Diseño Asistido por Ordenador* (CAD).

En la actualidad, el concepto de diseño CAD se ha transformado. Se procura que, a través de estas herramientas, el diseño sea más eficaz, con menos errores, que pueda ser probado antes de ser creado, con la finalidad de abaratar costes y rentabilizar las inversiones de tiempo. El uso de estas plataformas crea también nuevos modelos de comunicación. Ya no repercuten únicamente en el modelo de representación, sino sobre todo permiten una evaluación completa, previa a la realización. Pueden utilizarse para hacer pruebas de cálculo de estructuras o de cinemática con modelos virtuales que empiezan a desplazar los sistemas CAD. Tal sería el caso del BIM (*Building Information System*), que abre una nueva generación de programas que permiten el diseño tridimensional directo, evocando, incluso con cierta nostalgia, líneas fingidas del gesto a mano alzada, simulando las características del croquis manual de forma automatizada.

La comunicación global y estos nuevos enfoques de gestión permiten una nueva forma de enfrentarse a los proyectos: la innovación abierta (*open innovation*). Tal es el caso de la empresa Boeing y su *787 Dreamliner*, creado en 2009, en el que han trabajado durante cinco años empresas ubicadas en 130 localizaciones diferentes. La nueva plataforma de trabajo no consiste tanto en favorecer el conocimiento técnico sobre cientos de disciplinas como en distribuir los campos de especialización y potenciar la coordinación entre distintas empresas, en cualquier ubicación. Las empresas favorecen el pensamiento colectivo para obtener nuevas soluciones de diseño; se trata del *crowdsourcing*, una forma de utilizar la información producida por propuestas de diversa procedencia, sacar ideas creativas a la gente.

Los métodos de trabajo se complementan con los instrumentos con los que llevarlos a cabo. Las interfaces en el mundo tecnológico desempeñan las funciones que tradicionalmente le fueron asignadas a la instrumentación técnica anterior a la era informática: compases, reglas, trazadores... son ahora pizarras digitales, pantallas táctiles o sistemas de impresión tridimensional.

Los tableros y pizarras digitales posibilitan la interacción sobre una superficie controlada por diversos sistemas para el control de las coordenadas, cualquier superficie plana puede ser utilizada para interactuar y plasmar una idea dibujada en boceto y una vez capturado vectorizarlos. Es un sistema tecnológico integrado por un ordenador y un videoproector que, después de calibrar la zona de trabajo, permite proyectar contenidos digitales y manipularlos. Se puede interactuar sobre las imágenes proyectadas o sobre una superficie lisa, utilizando los periféricos del ordenador y escribir. En el caso de la pizarra digital interactiva también se puede interactuar directamente sobre la superficie de proyección, hacer



[9] Pantallas móviles *Tablet Wacom*.

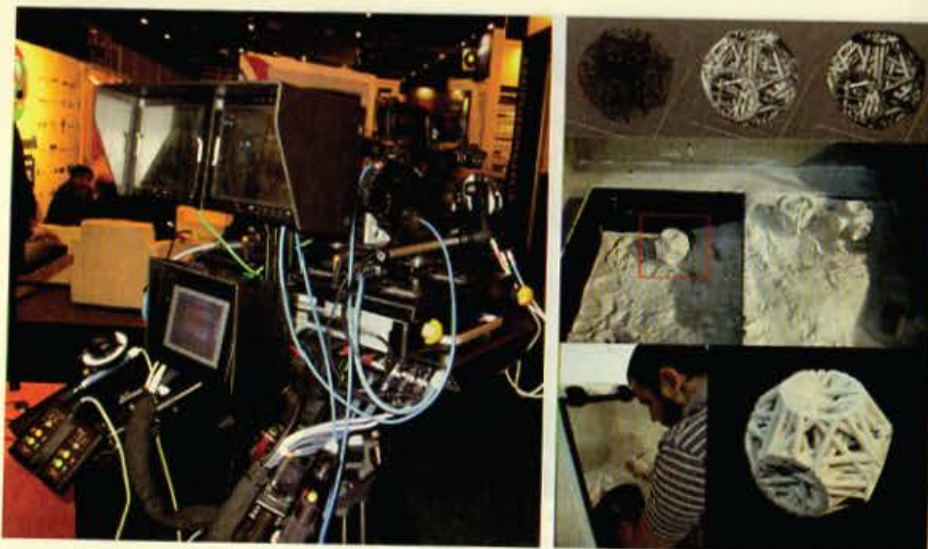
anotaciones manuscritas sobre cualquier imagen proyectada, así como guardarlas, imprimirlas, enviarlas por correo electrónico y exportarlas a diversos formatos.

Las novedades en el mercado tecnológico se centran en las pantallas táctiles móviles (*tablet*) [9] que se pueden utilizar como superficie portátil para dibujar. Éstas permiten el reconocimiento de la escritura manual, lectura de libros, revistas, periódicos, la visualización de imágenes fijas y en movimiento, donde ya no es necesario el teclado ni el ratón para comunicarse con la máquina: directamente se dibuja con la mano.

Cada vez nos resulta más familiar ir al cine y colocarnos unas gafas especiales para experimentar la sensación tridimensional, algo que puede aplicarse también a la televisión que inicia en la actualidad su andadura y comienza a comercializarse. La gran novedad en la representación tridimensional proyectada en pantalla no está en su existencia, que es anterior, sino en la incorporación de nuevos materiales para polarizar la imagen y sistemas digitales de captura de imágenes. Así las grandes compañías multinacionales apuestan y compiten por el mercado 3D, los parques temáticos incluyen espectáculos con el uso de estas tecnologías, las grandes firmas patentan, presentan y desarrollan tecnologías de visualización que incluso suprimen la necesidad de llevar gafas. Como, por ejemplo, la patente de la compañía 3D Display que permite una visión a 360° (visualización estereoscópica), sin gafas ni formas de inmersión y en alta resolución. El Sony's 360° Stereoscopic fue presentado en el Museo Nacional de Ciencia de Tokio, en Digital Content EXPO 2009 [10].



[10] Pantalla de la marca Sony de 360°, prototipo presentado en la Expo DC de Tokio, 2009.



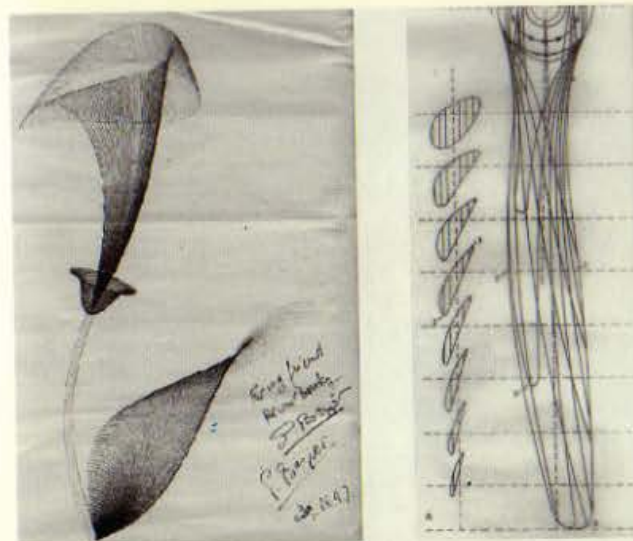
[11] J. M. Fuentes, *Cámara 3D*. Broadcast de Madrid, 2009.

[12] Eduardo Mayo, *Project of The Matrix*, 2009. La creación de prototipos partiendo de programas (CAD) es una realidad. El diseño de maquetas o piezas es fundamental en el proceso de creación. Convertir los datos suministrados por una computadora a prototipos rápidos que permitan la conversión de un modelo diseñado en CAD, a un objeto sólido, a modo de impresión del mismo, ha sido un reto industrial, que en la actualidad es realidad y se está popularizando. El esfuerzo artesanal que significa la realización de una maqueta es automatizado.

En los sistemas de captura, las cámaras de 3D y los *scanner* 3D [11] portátiles permiten que las empresas creen modelos virtuales para presentaciones que ayudan en la demostración de sus productos y servicios. Aunque crear estos modelos es un proceso muy lento que requiere de un especial talento artístico para comunicar la ilusión.

Una de las aportaciones de mayor interés en esta revolución tecnológica se da en la representación tridimensional. El paso a la materialización tangible de los modelos sólidos ha ido evolucionando progresivamente, desde las técnicas abrasivas al corte por plasma. La infografía permite representar en forma virtual un espacio visible, tras los procesos de *renderización* en que las imágenes 3D se detallan, permitiendo crear espacios tanto interiores como exteriores con un alto nivel de realidad (sombras, reflejos de cristales, personas actuando, vehículos, etc.). Se pueden también crear animaciones recreando visitas virtuales, pasear por un escenario y poder ver, de una forma muy efectista, un proyecto futuro. El paso de lo digital a lo material se ha utilizado en un principio como soluciones industriales por ingenieros y popularizándose a nivel artístico.

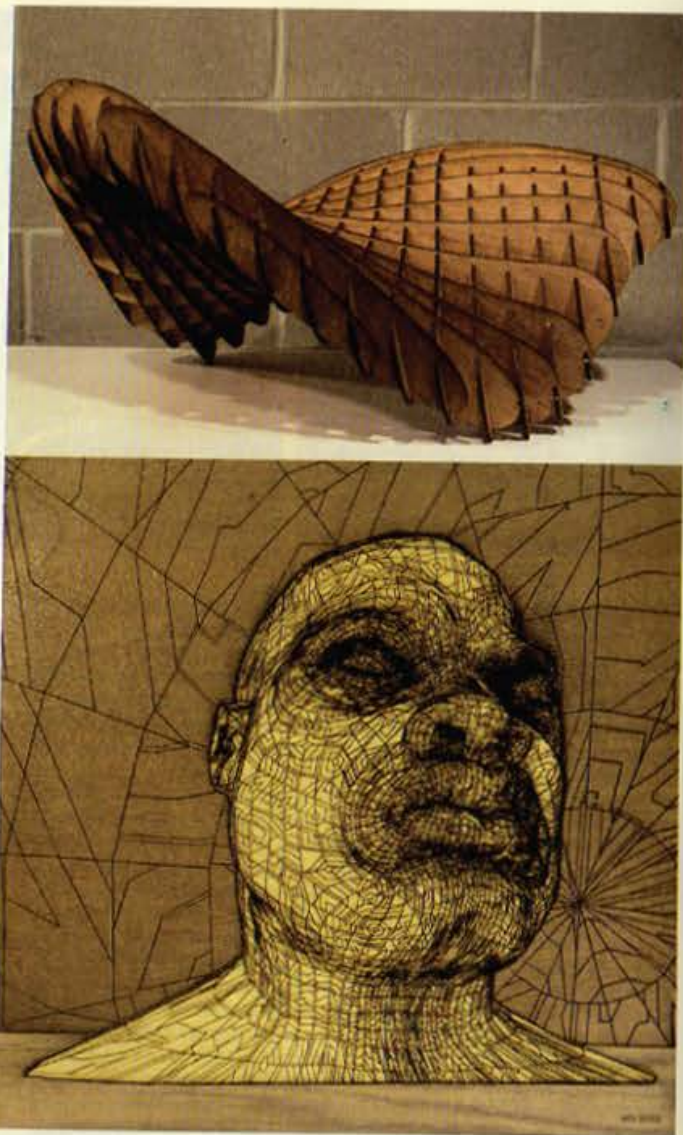
La creación rápida de modelos sólidos, llamados prototipos rápidos (*rapid prototyping*) [12], se lleva a cabo a través de variados instrumentos que pasan de lo virtual a lo corpóreo. Se trata de herramientas que marcan coordenadas espaciales y facilitan procesos de trabajo de manera análoga a lo que se hacía de forma tradicional con la construcción de una maqueta o un prototipo. Todo el imaginario de *Curvas Bézier* creado por Pierre Étienne



[13] Pierre Bézier, dibujo artístico del ingeniero francés (izq.) (1910-1999). Creador de las «curvas Bézier» utilizadas con profusión por los programas CAD o de diseño vectorial, aplicado al dibujo de una hélice (der.).

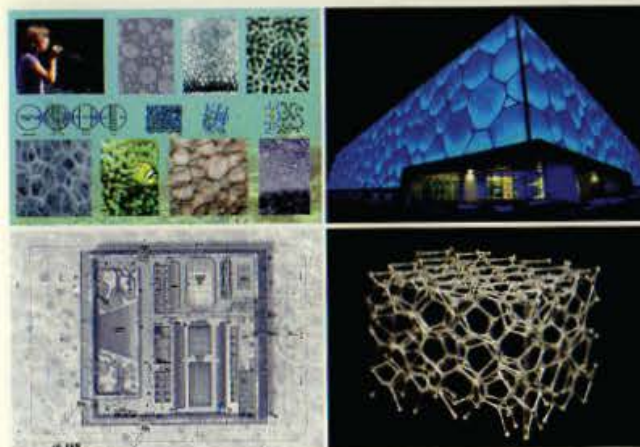
Bézier, inventor de las curvas utilizadas en CAD, para proyectos y modelos [13], se hace real y se materializa. Para ello, se utilizan las impresoras 3D que, en el ámbito industrial, posibilitan la fabricación rápida de prototipos a partir de un conjunto de datos suministrados en un archivo informático. Cualquier modelo digital en 3D se puede «imprimir» directamente, en el sentido de construir, o bien se puede «dibujar» mediante los sucesivos cortes que en el material produce el láser [14] (*laser-cutting*); el cortador láser es dirigido mediante órdenes programas.

También los procedimientos se asimilan a una actualización innovadora de las tradicionales técnicas escultóricas de talla, modelado, fundición, moldes... Existen diversas posibilidades de creación mediante polimerización o endurecimiento de resinas fotosensibles donde actúa el láser punto a punto en el espacio, capa a capa, mediante dibujo de recorridos topográficos, sintetizando el material termofusible que contiene poliamidas o mediante fusión de material plástico. El láser también actúa como cortador en máquinas trazadoras. Otros sistemas sin láser son las proyecciones aglutinantes o de deposición de hilo fundido como actualización de los primeros procedimientos que proporcionaron los sistemas abrasivos de fresado. Entre las principales tecnologías de uso en la materialización tridimensional de los proyectos virtuales destacan, según el procedimiento empleado: CNC (Corte por control numérico computerizado), EBM (Mecanizado por haz de electrones), DSPC (Proyección aglutinante), SLA (Estereolitografía), SGC (Fotopolimerización



[14] Andrew F. Scott/Mass, *Serial Volume*, 2009, y *Laser Engraved Wood Burning*, 2008.

Artista que utiliza en sus proyectos los sistemas digitales para producir sus creaciones. La imagen superior es un ejemplo de aplicación del láser para cortar, y la inferior, para dibujar o grabar una superficie.



[15] Chris Bosse, *Centro Nacional de Natación para los Juegos Olímpicos de Pekín*, 2008.

por luz UV), FDM (Deposición de hilo fundido), SLS (Sinterización Láser Selectiva), LOM (Fabricación por corte y laminado), *Contour Crafting*—este último desarrollado en la Universidad Sur de California como máquina para imprimir casas depositando hormigón como si fuera chorro de tinta (Lefteri, 2008, pág. 216).

NUEVAS FORMAS DE CONSTRUIR

Los avances de la informática en las últimas décadas han colonizado prácticamente todas las fases del proceso creativo. Se han convertido en las herramientas fundamentales e imprescindibles para el creador desde el origen del proyecto hasta la ejecución final del mismo. Aquellas áreas más vinculadas con la imagen han sido, quizás, las más afectadas, transformando métodos de trabajo y posibilitando avances impensables en pocos años. Destacamos entre éstas las vinculadas a la técnica constructiva, como es el caso de la arquitectura, el cine, la escenografía, la ingeniería y como revolución el avance en los medios de comunicación.

Las tendencias del siglo XXI en arquitectura están influidas por lo digital, facilitando estudios complejos que marcan tendencias, como son las de integración con la naturaleza «arquitectura genética» o «biónica» (ecoarquitectura, bioarquitectura). Un ejemplo es la base del trabajo del arquitecto alemán Chris Bosse en el estudio computerizado de estructuras con formas particulares: fascinado por la complejidad de algunos microorganismos como corales y esponjas, crea el «cubo de agua», junto al estudio australiano PTW Architects, y aplicó este método a la estructura del Centro Nacional de Pekín [15], para los Juegos Olímpicos de 2008, a pocos metros del Estadio

[16] Jacques Herzog y Pierre de Meuron, *Estadio Nacional de Pekín*, 2008.



Nacional de Pekín [16], conocido como «nido de pájaro», de los arquitectos Herzog y De Meuron. Fue creado para albergar los Juegos Olímpicos de 2008, y también fue diseñado para incorporar elementos de arte y cultura del país. Una vez comenzadas las obras, los ingenieros tuvieron que modificar el proyecto original debido a aspectos económicos y tiempo de realización, los cálculos de estructura de la cubierta fueron modificados permitiendo el ahorro en utilización de materiales, sin detrimento alguno.

Tanto los métodos de proyectación como los de creación han tenido una evolución por el uso de las nuevas tecnologías, han surgido nuevas formas de construir, de analizar.

El arquitecto Franco Purini (2003, pág. 90) afirma que el ordenador es un eficaz colaborador para la representación y el cálculo de un proyecto concebido sin su ayuda, dice que la informática se convierte en una herramienta de concepción y desarrollo del proyecto y que, en el ámbito utópico, la cultura informática crea diseño y espacios sin relación con el mundo físico, arquitecturas y ciudades virtuales.

También la arquitectura cinematográfica se potencia con la ilusión óptica, que se presta al engaño visual, al paso de información parcial entrecortada por la presentación del plano visual al espectador; lo digital representa una forma de suplantar a lo real [17], o la construcción del imaginario en la mayoría de los casos.

La consolidación digital es total en los proyectos cinematográficos y se utiliza en la postproducción de las películas, en los efectos especiales es imprescindible el ordenador, por las posibilidades de creación y de gestión. Lo rodado en muchos casos es una base, que es utilizada para su posterior tratamiento digital, según Manovich (2005, pág. 375): «La manipulación de las imágenes individuales por medio de un programa de pintura o de un proceso algorítmico de la imagen se vuelve tan fácil como disponer de imágenes en el tiempo.»



[17] Tim Burton, *Alice in Wonderland*, 2010.



[18] Robert Zemeckis, *Forrest Gump*, 1994.



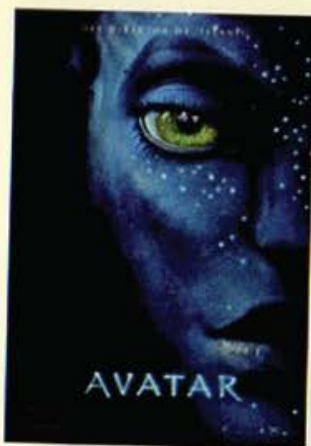
[19] Larry y Andy Wachowski, *Matrix*, 1999.



[20] Robert Zemeckis, *The Polar Express*, 2004.

La manipulación se realiza en cada uno de los cuadros, transformando los píxeles de información y presentando una imagen reestructurada como si fueran las teselas de un mosaico, en continuo movimiento.

La escenografía virtual presente en el cine insertado mediante croma es una constante en los medios audiovisuales. La inserción del croma sirve para introducir escenografía, se utiliza en cine y televisión posibilitando superponer personajes a fondos o a la inversa; aunque la técnica de inserción o proyección escenográfica es anterior al auge digital, las posibilidades de borrar elementos o insertarlos con el ordenador son muy variadas, como la película *La Máscara*, de Chuck Russell; *Forrest Gump* [18], de Robert Zemeckis; etc. La creación y manipulación de escala y escenarios en la película *El Señor de los Anillos*, de Peter Jackson, sólo es posible en un mundo digital; así como la recreación del mar en *Titanic*, de James Cameron, o la recreación virtual en su trilogía de los *Tres colores: Azul, Blanco, Rojo*, de Krzysztof Kieslowski, o mundos virtuales como los de *Tron*, de Steven Lisberger, *Matrix* [19], de los hermanos Wachowski, *The Wrath of Khan*, de Nicholas Meyer, o *The Abyss*, de James Cameron. Con efectos de captura de movimientos naturales e insertados en personajes virtuales (*Captive Motion*) como en *The Polar Express* [20], de Robert Zemeckis. Creando mundos y personajes en una realidad digital como en la película



[21] James Cameron, *Avatar*, 2009.

[22] Kador Moon, *La dama y la muerte*, 2009.

Avatar [21], dirigida por James Cameron, introduciendo masivamente el cine digital en salas y confirmando las posibilidades de la filmación en 3D. En el terreno de los dibujos animados, según Miguel Copón [Gómez Molina (coord.), 2007, pág. 294]: «la digitalización ha supuesto un campo diferente de investigación, en el que la sustitución de la imagen fotográfica tradicional, con el carácter de veracidad que lleva asociado, es uno de los referentes de trabajo». Aunque cada vez es más evidente la separación de la estética de los dibujos animados digitales de la animación tradicional; un ejemplo es *La dama y la muerte* del estudio Kador Moon [22].

La escenografía virtual tiene su protagonismo en la red y un ejemplo es *Second Life* [23], con la recreación de todo lo imaginable o la traslación del mundo físico al virtual, que se representa en mundos paralelos.



[23] Mundos virtuales, *Second Life*.



[24] Ciudad ecológica, *rendering*, Dubai.

Las técnicas de *rendering* [24], que es un proceso de cálculo de imágenes que reproduce efectos en materiales e iluminación y que da una sensación de acabado en color del objeto tridimensional representado en un espacio, empleadas con computadora para crear imágenes animadas calculadas para reproducir los ambientes, resolviendo problemas de física, creación de efectos, representación de luces y reflejos, son fórmulas que en los programas se presentan como complementos o filtros para generar en muchos casos una imitación de la realidad, incluso los actores son representados por figuras virtuales durante el proceso y ensamblados con imágenes reales en montaje [25].



[25] Imag: Metrics, *Emily SIGGRAPH* 2009.

Aunque en la actualidad no existe ningún programa que consiga representar con fidelidad la interacción de la luz y los objetos, el engaño del observador sin mayor análisis se consigue y cada vez son mayores los avances en este terreno.

La ingeniería siempre ha utilizado la naturaleza como motivo de estudio. La biónica como modelo de diseño, la naturaleza como el mejor de los escenarios experimentales, el análisis mediante herramientas tecnológicas permite una constante evolución de los resultados.

Los ingenieros, siempre observadores de la naturaleza, ofrecen nuevas posibilidades con cálculo programado; por ejemplo, los planos de sustentación del nuevo Airbus 380, contruidos de acuerdo con los modelos de aves, o un traje de natación cuya superficie, con estructura de piel de tiburón, hace más rápidos a los nadadores. Estos parámetros sólo ha sido posible calcularlos con el uso de ordenadores.

Las herramientas digitales nos permiten diversas posibilidades, como son: la personalización previa de los proyectos, diseños de 3D a partir de vistas importadas de otros sistemas o herramientas CAD, asistente de cotas automáticas, tabla de variables, parametrizar, familia de piezas y asociación, creación de familia de conjuntos, configuración de la visualización, vistas de corte, y como resultado de presentación animación de piezas del conjunto, para finalizar en una realidad virtual.

Los instrumentos de modelización y visualización de ensayo en ingeniería posibilitan una reducción en los tiempos de ejecución del proyecto. Un ejemplo de correcciones del diseño previo a la realización es el avión Boeing 777 [26], creado en 1993, que fue el primer avión diseñado completamente por ordenador, permitiendo un estudio completo de todas las piezas de ensamblaje de forma virtual.

Dado el crecimiento veloz y masivo en el intercambio de información, la globalización en el proyecto digital es una realidad, la posibilidad del trabajo en equipo en la resolución de problemas dentro de un proyecto nos lleva a colaborar con diversos equipos multidisciplinares, que nos presenten las mejores soluciones; estos grupos de personas pueden encontrarse en distintos lugares, ciudades o países, y comunicados en red pueden solucionar las particularidades del proyecto.

La colaboración se hace universal, estableciéndose para ello foros de debate; dentro de la Web 2.0 surgen diversas tipologías de relación en grupo. El uso de la red en el proyecto digital es habitual en el intercambio de información en equipo, el *software* integra la posibilidad de envío y comunicación de dibujos y diseño entre equipos de trabajo como consulta de normativa. El uso de páginas web, *blogs*, libros y revistas digitales en línea, bases de datos con diseños o dibujos que presentan soluciones a detalles del proyecto o diversas soluciones del mismo, es una constante para el diseño.

La publicidad de los proyectos se presenta y se comparte en la red, posibilitando pasar de lo imaginado a lo real, compartiendo en Web 2.0, desde redes como: YouTube, Napsters, Facebook, Blogs... Las campañas comerciales de una idea o producto se proyectan en la mayoría de los casos junto con imágenes digitales manipuladas, que se recuerdan



[26] Imagen Boeing 777. Cortesía de la Compañía Bcing.

fácilmente. El audiovisual se utiliza como insignia para introducir productos comerciales. Las grandes producciones cinematográficas son eco de las novedades tecnológicas y van acompañadas de una serie de productos, que en algunos casos obtienen mayores ventas que la propia película: videojuegos, bebidas, ropa, teléfonos, material informático... Son introducidos en el mercado mediante los nuevos medios de comunicación globalizadores.

Las herramientas digitales no determinan si una creación es artística o no, la experimentación, el intervencionismo siempre ha estado presente en el arte representando su tiempo o innovando, junto a la evolución de la sociedad del momento; son variados los comienzos [27] en los que en una primera fase la utilización de una técnica artística ha intentado imitar otras técnicas consideradas como clásicas, así ocurre en el arte digital y su presentación y contenidos en nuevos soportes, generando un lenguaje propio. Digitalizar y manipular con herramientas novedosas no significa creación artística de por sí; el artista propone, la sociedad determina, mas se

[27] Charles A. Csuri, *Horse Play* (c. 1996) (imagen incluida en Wands, 2006, pág. 37). Csuri fue pionero en el uso de generar imágenes por ordenador, con una visión artística y creativa.



[28] Karin Sander, *Joseph Graf von Montgelas*, 2005. La artista alemana crea obras escultóricas a partir del escáner de las personas; son prototipos rápidos ABS (Acetilolitrino Butadieno Estireno), que se pueden utilizar para la creación de moldes.



[29] Dan Collins, *Twister*, 2003.



podrían definir como presentaciones novedosas o espectaculares [28], dirigidas a un público profano en temas tecnológicos en la mayoría de los casos. Las nuevas herramientas admiten otras maneras de expresión, permiten una estética sin precedentes.

Según Kuspit (2007, pág. 32): «El procesamiento informático es un medio eficiente de extraer una esencia a partir de una existencia. El tratamiento informático es un estado superior de la conciencia, lo que sugiere que el ordenador es una extensión de la mente y a través de su uso salen a la luz los procesos mentales.»

A través de la red se puede acceder a nuevas formas de arte. El arte tecnológico está pensado para ser expresado y consumido a libre disposición pública. Desde cualquier ubicación, el usuario puede acceder a la obra de arte, de ello son conscientes los museos, algunos de los cuales presentan sus obras con la posibilidad de interactuar; el arte se presenta en el ordenador, con la posibilidad de decidir cuándo y cómo acercarse a las creaciones.

Los artistas multimedia proliferan interactuando con la computadora [29], coincidiendo con presentaciones de nuevas interfaces o herramientas también practicantes del *software art*. La incidencia de Internet como forma de publicar, exponer o comunicar mediante páginas web es el *Net-art*.

Los proyectos, obras y experiencias de arte digital son mostrados en la red mediante encuentros como el festival Ars Electronica, exposiciones como DOCUMENTA, ISEA, SIGGRAPH, TRASMEDIALE, museos como DAM o ZKM, o dentro de mundos virtuales como *Second Life*, por destacar algunos.

PRINCIPALES TÉCNICAS INFOGRÁFICAS: VISUALIZACIÓN, TRAZADO DE RAYOS E ILUMINACIÓN

El paso del proyecto-imagen al proyecto-realidad atraviesa una serie de procesos que van conformando el objeto diseñado hacia una búsqueda imitativa del modelo real. El primero de estos pasos es el de la representación, que permite construir modelos basados en la geometría de los objetos reales (*modelado*); por otro lado posibilita manipular dichos modelos (*interacción*), y finalmente, producir imágenes a partir de los mismos (*visualización*).

Para almacenar y representar objetos tridimensionales en un ordenador es necesario partir de un modelo digital del objeto. En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones usan un modelo de fronteras, donde los objetos sólidos están definidos por la superficie bidimensional que separa su interior del exterior (también puede considerarse una superficie aislada como un objeto en sí mismo). Estas superficies se aproximan usando un conjunto de caras planas. Cada una de ellas es un polígono plano delimitado por segmentos de recta o aristas (cada arista separa dos caras) [30]. Las aristas confluyen entre sí en unos puntos denominados vértices del modelo. Cada vértice se identifica por sus coordenadas en un sistema de referencia cartesiano. Cada cara se identifica por la lista de vértices o aristas que la delimitan. Esta estructura se suele denominar *mallado de polígonos* (*polygon mesh*).

La eliminación de partes ocultas es sólo la primera fase para la producción de una imagen a partir de un modelo. El segundo paso consiste en asignar colores a cada píxel. Esta fase se conoce como iluminación local y requiere tener en cuenta cómo la luz se refleja en los objetos. Para este fin pueden usarse modelos de *iluminación local*, que son modelos matemáticos sencillos (adecuados para las capacidades para visualización interactiva) y sólo tienen en cuenta la iluminación directamente proveniente de las fuentes de luz que se refleja en las superficies hacia el observador.

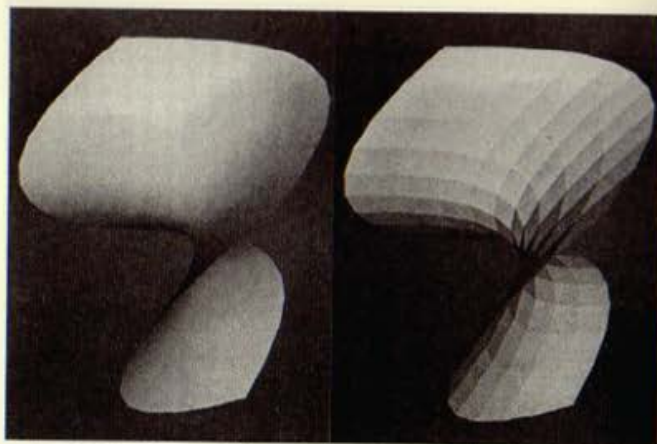
Los primeros modelos en esta línea fueron propuestos por Henri Gouraud (Gouraud, 1971) y Bui Tuong Phong (Phong, 1975), mientras ambos eran estudiantes de doctorado en la Universidad de Utah. Cuando se usan estos modelos, se percibe mucho mejor la forma de los objetos, pues el sistema visual humano funciona interpretando los cambios de intensidad de la luz reflejada como cambios en la orientación de las superficies. Asimismo, el método de iluminación y sombreado de Gouraud permitió dar una apariencia curva a superficies curvas aproximadas usando modelos de caras planas [31].

Además de estos modelos de iluminación local, se definieron las bases de las técnicas de aplicación de *texturas* a los objetos. Cuando se usan las técnicas de Gouraud y Phong, junto con la aplicación de mapas de texturas se obtiene un método de producción de imágenes bastante eficaz y con un grado de realismo aceptable para muchas aplicaciones. Este método se usa hoy en día en videojuegos o aplicaciones de realidad virtual interactiva, en las cuales cada cuadro debe ser generado en muy poco tiempo (menos de 40 milisegundos como mucho). Actualmente, todas las consolas de videojuegos, las aceleradoras gráficas para ordenadores personales e incluso los dispositivos móviles avanzados usan estos métodos.



[30] Imagen creada por el autor (C. Ureña). Una tetera está compuesta por varias superficies curvas. Cada una de ellas se puede aproximar como un conjunto de polígonos planos (normalmente triángulos). En esta imagen se observa cómo usando triángulos suficientemente pequeños la aproximación es bastante fiel.

[31] El método de iluminación y sombreado de Gouraud permitió dar una apariencia curva a superficies curvas aproximadas usando modelos de caras planas. A la derecha, se observa una imagen donde cada cara tiene un color plano; a la izquierda, usando la técnica de Gouraud, se observa una apariencia de curvatura continua, a pesar de que la geometría del objeto no ha variado (imagen incluida en Gouraud, 1971).



TRAZADO DE RAYOS E ILUMINACIÓN GLOBAL

En la década de los 80 y 90 se comienza la investigación en técnicas que permitan un grado de realismo superior en las imágenes producidas. Aquí, la palabra *realismo* se usa en un sentido muy específico del término.

A principios de los años 80, Turner Whitted (1980) —que trabajaba en los Bell Laboratories en New Jersey— ideó un algoritmo que a la postre resultaría esencial en el logro del objetivo de realismo descrito. El algoritmo fue denominado *ray tracing*, que suele traducirse por *trazado de rayos*. Para obtener el color de cada píxel de la imagen este método calcula algunas posibles trayectorias de la luz. Estas trayectorias están compuestas de segmentos de recta cuyos extremos se corresponden con reflexiones en las superficies. Las trayectorias se calculan partiendo de la posición del observador [32].

El término *ray tracing* proviene de técnicas similares que se emplean en el campo de la óptica, la acústica o la sismología para simulación de propagación de luz, radiación electromagnética en general, ondas sonoras u ondas sísmicas. Usando este algoritmo, se pueden generar imágenes con superficies especulares o transparentes, así como sombras arrojadas, de forma mucho más realista que con *z-buffer*.

Diversos investigadores contribuyeron al objetivo de la producción de imágenes realistas. Uno de los logros más importantes fue el de Robert Cook y otros empleados de Lucasfilm (Cook, Porter y Carpenter, 1984) en la producción del film corto de animación titulado *1984*, para el cual incorporaron una gran cantidad de nuevas posibilidades a la técnica de *ray-tracing*, como capacidad de *motion-blur* (emborronamiento por movimiento en animaciones), profundidad de campo (simulación del enfoque de cámaras convencionales), y nuevas formas de iluminación no existentes en el momento [33].



[32] Imagen creada por Turner Whitted en 1980 (obtenida de Whitted, 1980). Ilustra las capacidades del algoritmo de *ray-tracing*, ideado por Whitted, para reproducir sombras arrojadas y reflejos en objetos curvos.



[33] Imagen de síntesis realizada con la técnica de *ray-tracing* distribuido, diseñada por Robert Cook y otros en 1984. En esta imagen se aprecia la reproducción realista del emborronamiento por movimiento, efecto producido en las cámaras de fotografía por el tiempo de exposición finito (imagen obtenida de Cook, Porter y Carpenter, 1984).

Desde los años 80 se estudia la propagación de la luz mediante la técnica denominada *radiosidad* (*radiosity*) (Goral et al., 1984). La principal novedad de esta técnica es que es capaz de calcular la luz que incide en una superficie proveniente de otros objetos, distintos de las luminarias o el sol, lo que se denomina *iluminación indirecta* debida a reflexión. Las técnicas de este tipo se llaman técnicas de iluminación global, pues tienen en cuenta no sólo la reflexión de la iluminación directa desde las fuentes de luz, sino la indirecta también.

En otra línea de investigación, algunos investigadores exploraron los métodos de simulación denominados métodos de *Monte-Carlo* o *estocásticos* para simulación o emulación de las posibles trayectorias de partículas subatómicas, como pueden ser los fotones (Kajiya, 1986). Estos métodos se caracterizan por ser capaces de reproducir un gran número de efectos visuales que ocurren en la realidad [34], a cambio de la necesidad de unos tiempos de cálculo muy altos para cada imagen. Sin embargo, puesto que cada vez las capacidades del *hardware* son mayores, esta estrategia para la producción de imágenes visualmente realistas predomina hoy en día.

Los investigadores de la Universidad de Cornell fueron pioneros en la comparación de imágenes sintéticas con reales como forma de validación de los algoritmos. Un ejemplo se puede ver en la imagen [35], en la cual se aprecia un entorno real sencillo (construido para este experimento) y una imagen sintética creada con la técnica de radiosidad a partir de un modelo tridimensional de dicho entorno. Excepto en algunos detalles, la coincidencia de ambas imágenes es bastante exacta, y sirve para demostrar que, desde el punto de vista físico, los cálculos de iluminación son correctos.



[34] Un ejemplo de imágenes para publicidad o diseño de interiores, creada por Andreas Bystrom usando el *software Arnold*, desarrollado por Marcos Fajardo y que incorpora técnicas de iluminación global. En esta imagen se aprecia claramente cómo las técnicas de Monte-Carlo para iluminación global pueden simular la dispersión de la luz en el conjunto óptico de una cámara de fotografía convencional, reproduciendo fielmente el efecto de la profundidad de campo.



[35] Dos imágenes de un mismo entorno: arriba, imagen de síntesis de un entorno virtual; abajo, fotografía digital de un entorno real. Realizado en la Universidad de Cornell.

ILUMINACIÓN GLOBAL EFICIENTE Y SUS APLICACIONES

A finales de los años 80 las bases teóricas de la simulación de la iluminación ya se habían establecido. Sin embargo, en ese momento el coste computacional de la simulación para escenarios de complejidad media o alta era muy elevado, en el sentido de que para escenas con miles o millones de polígonos, el tiempo de cálculo para la producción de una sola imagen realista era elevadísimo. Diversos investigadores idearon entonces algoritmos más eficaces. Entre otros, podemos destacar a Greg Ward y a Henrik Wan Jensen. En el caso de Greg Ward, en 1988 ideó un algoritmo de tipo Monte-Carlo mejorado, bastante eficiente ya que su diseño le permitía reducir la cantidad de cálculos necesarios (Ward, Rubinstein y Clear, 1988). Este algoritmo permitía obtener imágenes realistas en tiempos de cálculo no excesivamente largos. Usando este método, Ward creó el sistema *Radiance*, uno de los primeros que permitió la aplicación de la Iluminación Global en la arquitectura [36].

Más tarde, Jensen ideó la técnica de *photon-mapping* (Jensen, 1996), basada en la *fotosimulación* (emulación de trayectorias de fotones), y que constituye una de las más usadas hoy en día, debido esencialmente a su eficiencia en tiempo. Esta técnica se basa en emular el historial de varios millones de fotones en un modelo de escenario. La distribución de la iluminación puede obtenerse a partir de la distribución de los impactos de los fotones en las superficies de los objetos virtuales, usando técnicas matemáticas conocidas como *estimación de densidades* [37].

Las técnicas descritas, unidas a las mejoras en el *hardware*, permitieron finalmente el uso de las técnicas de iluminación global en *software* comercial. Las técnicas se usan sobre todo en dos campos: la animación por ordenador para cine y efectos especiales, y en la arquitectura. En este último campo, la visualización realista permite verificar el aspecto real de un edificio mucho antes de ser construido, lo cual supone un ahorro importante de costes en los estudios de arquitectura, gracias a la disminución de riesgos en la toma de decisiones de diseño. Los arquitectos pueden examinar el impacto real de la toma de dichas decisiones de diseño en el aspecto de la edificación una vez terminada; esto permite corregirlas sin incurrir en costes asociados a rectificaciones tardías.

Dentro del campo de la arquitectura, la popularización del *software* comercial que implementa estos algoritmos ha llevado a un uso generalizado de la iluminación global para el *marketing* asociado a la venta de viviendas y edificios antes de su finalización. En este tipo de aplicaciones, es suficiente con crear una (o unas pocas) imágenes estáticas, producidas a partir de los modelos tridimensionales creados por los arquitectos. Esto ayuda al proceso de ventas en el modelo de negocio habitual que se usa en la construcción, donde los compradores realizan una fuerte inversión mucho antes de poder conocer la vivienda terminada. Esto también se aplica al diseño de luminarias, diseño de interiores, estudios de decoración o diseño industrial.

En cinematografía, las técnicas de iluminación global se han ido abriendo paso en los últimos años para la producción de cine de



animación completamente generado por ordenador, o en efectos especiales insertos en películas tradicionales. El uso de estas técnicas permite dotar a las películas de una iluminación natural que en definitiva contribuye a que la *inmersión* del espectador en el entorno virtual que está viendo se produzca más fácilmente. El uso de estas técnicas aumenta los costes de producción, ya que necesita de unos tiempos de cálculo bastante elevados. La producción de un cuadro de la película puede llevar varias horas de funcionamiento de un ordenador. Si se asume 5 horas por cuadro y 30 cuadros por segundo, esto hace un total de 6 días de funcionamiento de un ordenador por cada segundo de la película. Por tanto, para lograr esto, los estudios deben invertir en la compra de un número elevado de ordenadores.

Un ejemplo de imágenes sintéticas con iluminación global realista lo podemos encontrar en la aplicación *Arnold*, creada por Marcos Fajardo y usada en la producción de películas de animación, o efectos especiales para cine y televisión [38].



[36] Interior de un museo con iluminación natural. Imagen creada por Greg Ward en 1994, usando su *software* denominado *Radiance*.

[37] Imagen generada por ordenador de la animación *The Light of Mies van der Rohe* (La luz de Mies van der Rohe), en la que se muestra el pabellón diseñado por Mies van der Rohe para la exposición de Barcelona en 1929, posteriormente demolido y luego reconstruido. La imagen fue creada utilizando la técnica de *photon-mapping* en el año 2000 por Henrik van Jensen, usando su *software* *Dali*.

[38] Imagen sintética de una vista del interior de una habitación, creada con un *software* que incorpora técnicas de iluminación global para iluminación realista. Esta imagen ha sido creada por Andreas Byström con el *software* *Arnold*, desarrollado por Marcos Fajardo.

VISUALIZACIÓN INTERACTIVA Y VIDEOJUEGOS

Los primeros videojuegos surgieron como forma de adiestramiento, al igual que Internet lo hizo como una nueva forma de comunicación, desde un ámbito militar. Los videojuegos se siguen utilizando para experimentar con interfaces, como la captura de movimientos en interacción con los usuarios en tiempo real. Ejemplos como el de reconocer y capturar las acciones de cualquier objeto o persona en un entorno 3D e integrarlos en la pantalla o detectar emociones de varias personas de forma simultánea con la lectura de los gestos del rostro, ya son una realidad en videojuegos de uso doméstico.

El resultado es que pueden crearse escenarios tridimensionales que pueden reaccionar a las acciones del usuario sobre el ordenador en el mismo instante en que éstas ocurren. El grado de realismo visual que se obtiene es limitado, ya que el tiempo de cálculo disponible también lo es, pero a cambio es posible diseñar un escenario del cual el usuario puede creer que forma parte. A lo largo de la década de los 80, se comenzó a crear el *hardware* adecuado para esto. En esta época, este *hardware* era enormemente caro, y por tanto poco extendido en los ordenadores domésticos. Sin embargo, a lo largo de los años 90 del siglo pasado, este tipo de componentes se fue popularizando, al principio en las consolas de videojuegos, y posteriormente en los ordenadores personales. En la actualidad, la mayoría de los ordenadores personales de sobremesa incorporan *tarjetas gráficas*, que permiten a los usuarios visualizar animaciones que presentan escenarios formados por miles o millones de polígonos, en aplicaciones interactivas tridimensionales.

Las aplicaciones de estas tecnologías son numerosas. Desde el punto de vista del impacto económico, la más importante sin duda es la industria de los videojuegos. En este campo se realizan fuertes inversiones en algoritmos y *hardware* eficaz que permitan maximizar la riqueza visual de los escenarios virtuales en los cuales el jugador se desenvuelve. De hecho, ha sido el mercado de los videojuegos el que ha llevado a las empresas de *hardware* a la producción masiva de las tarjetas gráficas, lo cual en definitiva ha llevado a su popularización. Sin embargo, el diseño de videojuegos está restringido por la necesidad de que puedan ser usados en *hardware* no excesivamente caro, disponible en muchos hogares, lo que limita el grado de realismo que pueden alcanzar.

LA REALIDAD VIRTUAL Y SUS APLICACIONES

Lo digital se encuentra en un espacio no euclidiano, inmaterial, en el que la nebulosa de la imaginación puede actuar de manera utópica, creando nuevos contenidos, con la posibilidad de plasmarlos en el presente o conservarlos, para que en un futuro puedan ser realizados, cuestión que anteriormente no era posible o se descartaba como quimérica imaginación.

Para aumentar la sensación de inmersión en un entorno tridimensional simulado [39], se ha recurrido a dispositivos de interacción específicos. A lo largo de la evolución humana, el sistema visual humano ha desarrollado la



visión estereoscópica como medio para el cálculo de distancias a objetos y orientación en general. La visión estereoscópica (o visión binocular) se basa en las discrepancias entre la imagen percibida por el ojo izquierdo y el derecho. Básicamente, se identifica un mismo objeto en ambas imágenes (un proceso mental inconsciente, nada trivial), y se estima la distancia a él según la diferencia de posición del objeto en ambas imágenes (cuanta mayor sea la distancia entre sus imágenes, más cercano estará).

Es evidente que proporcionar imágenes distintas a ambos ojos contribuirá a aumentar la sensación de estar inmerso en el entorno generado por ordenador. Desde el punto de vista tecnológico, esto se puede lograr mediante distintas técnicas, quizás la más usada sea mediante pantallas o proyectores que emiten simultáneamente dos imágenes formadas por luz con distinta polarización. El usuario debe usar unas gafas especiales con cristales distintos, que sólo dejan pasar luz en un estado de polarización específico a cada ojo. El resultado es que se puede controlar fácilmente qué imagen ve cada ojo, con lo cual se pueden proyectar imágenes distintas en cada uno de ellos.

Además de reproducir la visión estereoscópica, la sensación de inmersión se ve acrecentada si el usuario no puede observar la realidad (no virtual) a su alrededor. Las pantallas tradicionales, ya sean tubos de



[40] Imagen de un entorno tipo CAVE, ideado originalmente por Carolina Cruz-Neira y otros en 1993 (Cruz-Neira, Sandin y DeFanti, 1993) (imagen obtenida de la página web del laboratorio 3D de la Universidad de Michigan).

rayos catódicos, LCD o proyectores, se presentan como un cuadro rodeado por un marco que encierra la imagen que se está percibiendo y la separan de la realidad circundante, cuya percepción inevitable dificulta para el usuario la sensación de estar en una realidad alternativa. Por tanto, también se puede lograr aumentar la sensación de inmersión si se elimina la posibilidad de percibir los objetos que rodean la imagen virtual. Para ello, se pueden usar gafas especiales, que proyectan una imagen en cada ojo, o bien utilizar pantallas de proyección que rodean al usuario. En esta línea, los entornos tipo CAVE (diseñados por Carolina Cruz-Neira y otros en la Universidad de Michigan en 1993) son bastante útiles (Cruz-Neira, Sandin y DeFanti, 1993). En este tipo de entornos, los usuarios se sitúan en el interior de una habitación en cuyas paredes se proyecta el entorno virtual [40]. El uso de proyección estereoscópica y gafas con filtros de polarización contribuye a aumentar la sensación de realidad. Usando simultáneamente varios proyectores convencionales, o incluso pantallas LCD, cada pared de la habitación muestra lo que el usuario ve en esa dirección, desde el punto de vista que tenga en ese momento. Esto permite que el usuario se mueva libremente para cambiar su punto de vista a voluntad, haciendo incluso más natural el uso del sistema.

Al interactuar con un entorno virtual, no sólo fluye información visual del ordenador hacia el usuario, sino al contrario, el ordenador debe recibir información del usuario, lo cual debe hacerse también con dispositivos específicos. En principio, el mundo virtual debe ser proyectado usando como punto de vista la posición de los ojos del usuario, lo cual requiere que el ordenador reciba una señal con la posición de sus ojos. Esto puede hacerse incorporando sensores de posición a las gafas de visión estereoscópica que el usuario lleva.

Asimismo, el usuario debe disponer de formas para controlar la aplicación que presenta las imágenes, para lo cual se pueden usar dispositivos tradicionales, como *joysticks* de videojuegos, o teclados o ratones tradicionales, que sin embargo disminuyen la sensación de inmersión. Por tanto, es necesario recurrir a sensores de posición y movimiento del usuario (o más específicamente de sus extremidades, típicamente las manos). Esto se puede hacer adhiriendo a las extremidades o el traje del usuario acelerómetros y sensores de posición que envían información al ordenador, bien mediante cables o mediante señales de radio, lo cual es mucho más cómodo.

El uso de dispositivos adheridos puede dificultar la interacción entre el usuario y el sistema. Una forma mucho más natural de realizar esa interacción es recurrir a técnicas de visión artificial. Este campo del conocimiento se encarga de las tecnologías (algoritmos y dispositivos) necesarios para el análisis automatizado de imágenes o secuencias de vídeo en un ordenador. Diversos investigadores en este campo han trabajado en el uso de ordenadores para el reconocimiento de la posición y orientación de la cabeza, las manos (incluidos los dedos) o el cuerpo humano en general, ya desde la década de los 90 (Wren *et al.*, 1996). Estas técnicas permiten usar una o dos cámaras digitales que continuamente filman los movimientos del usuario y su situación. Las imágenes son enviadas a un ordenador que se

encarga de procesarlas y extraer la información de la posición y orientación de las extremidades y el cuerpo del usuario. Esta información se puede procesar a su vez para obtener datos de alto nivel que se interpretan como órdenes para interactuar con el entorno virtual.

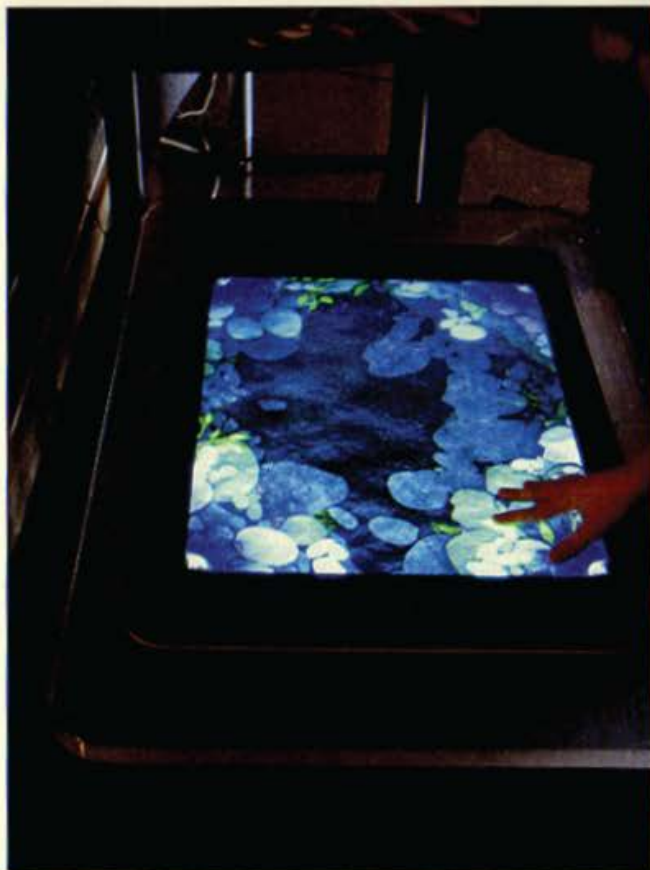
Además del análisis automatizado de imágenes del cuerpo, los ordenadores también pueden usarse para realizar un seguimiento de la posición de objetos reales que hay en el entorno del usuario o que el usuario manipula. Este análisis puede realizarse directamente o bien a través de marcadores específicamente diseñados, adheridos a los objetos para los cuales se quiere realizar un seguimiento. Los marcadores son patrones dibujados o impresos sobre el objeto (también pueden existir objetos marcadores en sí mismos) que disminuyen el coste computacional del análisis de las imágenes. En general, la combinación de técnicas de informática gráfica y visión por computador permite al usuario no sólo moverse libremente por el entorno virtual con naturalidad y enviar órdenes al ordenador, sino manipular con gestos de la mano los objetos del escenario virtual, modificando dicho entorno, mediante gestos para agarrar y soltar objetos, señalar puntos del escenario, apretar botones o palancas, o incluso manejar herramientas virtuales.

Otra forma de interacción natural de entornos virtuales es el uso de técnicas de reconocimiento de voz y procesamiento del lenguaje natural para emitir órdenes o enviar información al ordenador mediante el habla. La comodidad que presenta esta forma de interacción es evidente, y las tecnologías subyacentes se encuentran bastante desarrolladas en la actualidad.

A pesar de que las aplicaciones de las técnicas de realidad virtual son muchas, los dispositivos necesarios no se han popularizado excesivamente debido fundamentalmente a su elevado coste y tamaño, si bien esto es algo que en el futuro puede cambiar. En cualquier caso, una de las aplicaciones más frecuentes de estas técnicas está en el desarrollo de simuladores que permiten a los usuarios aprender a usar maquinarias o dispositivos complejos y caros, como pueden ser barcos, aviones, autobuses o vehículos. En estos casos, enfrentar a un aprendiz inexperto con el objeto real puede llevar unos costes elevados o incluso un riesgo para la seguridad, y por tanto, el uso de la realidad virtual contribuye a disminuir costes, aun cuando los simuladores sean en sí mismos caros.

En particular las técnicas de realidad virtual son frecuentemente usadas en el diseño industrial, típicamente en el diseño de vehículos. Las grandes compañías automovilísticas ahorran costes de producción de prototipos y pueden adoptar decisiones de diseño importantes sin crear físicamente los modelos de automóviles, y para ello no sólo es necesario tener imágenes realistas creadas por ordenador de los modelos, sino poder reproducir la experiencia de los usuarios en el vehículo.

Mediante interfaces [41] es la manera en la que se interactúa con la máquina, que comprende los dispositivos de entrada y de salida física de datos, que ya no se reducen al monitor, el teclado o el ratón; se trata cada vez más de integrar la realidad biológica con la abstracción digital, proporcionando modelos que se puedan comprender.



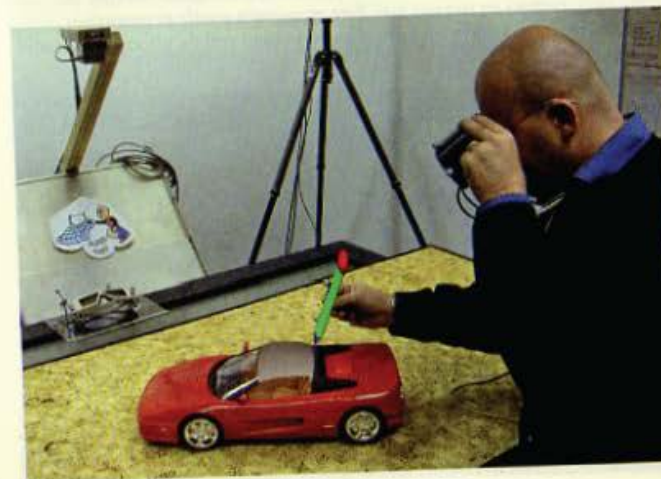
[41] Interfaz Microsoft.

En el presente siglo la gran revolución tecnológica se está produciendo con el desarrollo y la evolución de interfaces. En el pasado siglo, con la popularización de los microordenadores en los años 80, la relación hombre-máquina era mediante códigos introducidos con teclado; en la mayoría de los casos el uso del ordenador estaba reservado sólo para expertos. La familiaridad con las formas de comunicación entre el usuario y la máquina y las nuevas interfaces nos han permitido una mayor usabilidad de las herramientas digitales. Las grandes compañías informáticas son conscientes de la importancia que tiene la comunicación hombre-máquina, pues de ello depende la viabilidad en muchos casos del éxito de sus

herramientas dentro del mercado, y las líneas de investigación de estas multinacionales así lo demuestran. Establecer la interactividad de forma amigable facilita el éxito del producto; son varias las interfaces que evocan herramientas analógicas en la forma para facilitar el trabajo.

Entre las posibilidades que ofrecen las técnicas de realidad virtual está la posibilidad de mezclar imágenes reales (obtenidas mediante una cámara) con imágenes creadas por ordenador. En esta mezcla, el elemento preponderante puede ser la imagen real, a la cual se añaden objetos virtuales, o bien el escenario virtual, en el cual se pueden insertar imágenes reales. Este tipo de técnicas se ha llamado *mixed reality* en general. La opción más frecuente es la primera (imagen real a la que se superponen objetos virtuales), lo que ha venido en llamarse *realidad aumentada* (*augmented reality*) [42]. En este tipo de técnicas, el usuario observa una señal de video proveniente de una cámara digital convencional conectada al ordenador. Si la cámara puede moverse, el ordenador debe tener información de la posición de ésta.

El ordenador puede realizar algún tipo de análisis de la señal de video, usando técnicas de análisis de imágenes. Por ejemplo, puede reconocer objetos en general, u objetos marcadores específicos, situados en escenarios reales, o puede localizar el escenario en una base de datos geográfica. Una vez que se conoce la posición de la cámara, se tiene la señal de video, y se tiene información de alto nivel sobre el escenario o los objetos que aparecen, el ordenador puede presentar la señal de video al usuario con elementos virtuales superpuestos. Estos elementos pueden consistir en simples objetos estáticos, objetos dinámicos, avatares de personajes u otros usuarios, o texto superpuesto con la información adicional conocida por el ordenador sobre el escenario y sus objetos.



[42] Un lápiz con realidad aumentada.



[43] Lentes de contacto para realidad aumentada, proyecto de la University of Washington.

Las aplicaciones potenciales de las técnicas de realidad aumentada son enormes, si bien en la actualidad su despliegue aún es limitado. La popularización de esta tecnología sólo puede venir de la mano del diseño de algoritmos eficaces que puedan facilitar el diseño de *software* para el *hardware* existente en los hogares. En esta línea, las compañías productoras de videojuegos han logrado recientemente el diseño de aplicaciones de videojuegos que hacen uso de técnicas de realidad aumentada. En este tipo de videojuegos, los personajes u objetos virtuales aparecen superpuestos a una imagen de vídeo de la habitación donde el usuario se encuentra, y en la cual aparecen él mismo y los personajes virtuales, gracias a una cámara de vídeo conectada a la consola de juegos. Este mezcla de imagen real y sintética contribuye a la empatía de los usuarios con los personajes sintéticos, ya que pueden observar una escena donde ambos aparecen juntos e interactúan de forma natural. Las técnicas de visión artificial se pueden usar para reconocer los gestos de la mano del usuario, que se interpretan como expresiones que ponen en marcha acciones de los personajes virtuales, lo cual aumenta aún más si cabe la naturalidad de la interacción.

La facilidad de interacción a través de objetos marcadores o el reconocimiento de gestos, permite asimismo la manipulación de los objetos virtuales de una forma muy natural para el usuario. Por tanto, las técnicas de realidad aumentada también encuentran aplicación en el campo del diseño de objetos tridimensionales asistido por ordenador (CAD), si bien en este caso, el valor añadido que se obtiene de la señal de vídeo real en el proceso es más limitado. Otro campo de aplicación es el uso de realidad aumentada en dispositivos móviles que puede usarse para obtener información y etiquetar automáticamente fotografías o vídeo obtenido con dichos dispositivos (consolas de videojuegos portátiles, o teléfonos móviles de gama alta), incluso en tiempo real. Este etiquetado puede permitir, por ejemplo, la localización y visualización en tiempo real de información sobre



[44] Realidad aumentada para todo tipo de reparaciones, *User interface*, University of Columbia.

monumentos, lugares emblemáticos, o comercios para usuarios situados en estos lugares, para lo cual puede hacerse uso de conexiones a Internet de banda ancha en estos dispositivos.

Surgen nuevas realidades, permitiendo el encuentro con una realidad aumentada, esta mezcla de imágenes digitales en entornos reales, o el suministro de información sólo interactuando en un lugar o con un objeto. A modo de montajes digitales virtuales, se proyecta la unidad en mezcla en pantalla, interactuando con ella en tiempo real, tomando imágenes del entorno mediante cámaras e imágenes. Se está ampliando el campo de investigación al uso de gafas o lentes de contacto [43] que permite la interacción con imágenes digitales o mediante otros modos de comunicación que implican los sentidos con la máquina. Por ejemplo, en la práctica, la posibilidad de representar y reparar una máquina, al tiempo que se visualizan sus piezas, con el modo de desmontarlas y montarlas con indicaciones, en todo momento, es posible gracias al *User interface Lab* [44] desarrollado por la Universidad de Columbia de los Estados Unidos. Las grandes firmas de la electrónica están investigando en este terreno y popularizándolo mediante videojuegos.

Las nuevas propuestas innovadoras de interfaz desarrolladas por parte de las grandes empresas de tecnología nos permiten posibilidades de comunicación hombre-ordenador, como en el caso de personas con falta de movilidad, experiencias de conexión física mediante cables conectados al cerebro, aunque son técnicas agresivas que implican una operación médica, en la que hay que introducir unos electrodos en el córtex cerebral. Son experiencias con buenos resultados, que permiten al paciente manejar un cursor en la máquina con el pensamiento. O el control de la actividad cerebral mediante cascos sensibles a ondas cerebrales (*Brain Machine Interface*) [45] se consigue mediante lectura de la actividad del cerebro, para que el ordenador lo procese y ejecute acciones.



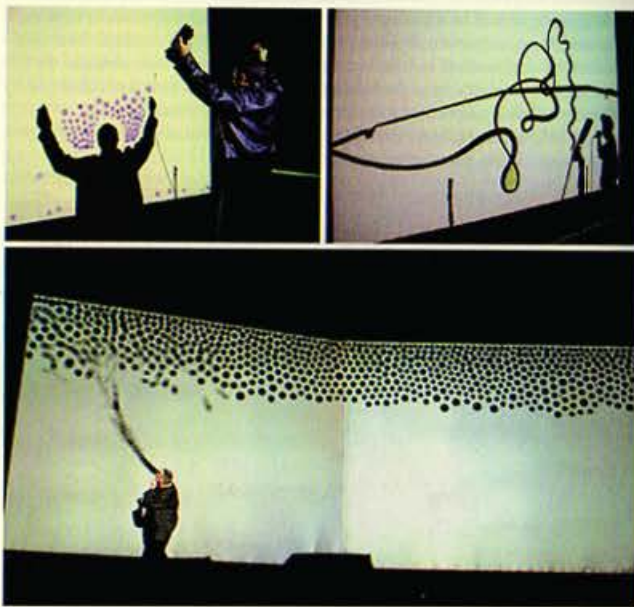
[45] Honda, Asimo. Brain Machine Interface (Interfaz Cerebro-Máquina), conocida como BMI, 2009.

Comunicar mediante la voz es realidad, la modulación de los sonidos se puede traducir como órdenes concretas con transcripción de coordenadas; surgen herramientas cada día que desarrollan este tipo de interfaz. La Universidad de Washington ha desarrollado un *software* que permite dar órdenes y usar el cursor del ordenador con la voz, el *Vocal Joystick* o el *VoiceDraw* [46], que permite dibujar con un ordenador sin usar las manos.

La proyección de coordenadas y el registro de la interacción con la persona nos permite comunicarnos con el ordenador, como la interfaz multitáctil que nos permite interactuar con objetos digitales, dibujar en un lienzo digital con pinceles, navegar por las fotos de nuestro álbum digital, visualizar videos y hacer *zoom* con los dedos, incluso enviar un *mail* escribiendo con la mano en la pantalla, o establecer una comunicación entre un móvil y el dispositivo con tan sólo colocarlo encima.

Interfaces que aumentan la capacidad de interactuar con la información de nuestros dispositivos de manera gestual y transportable, proyectores de bolsillo que son visualizados sobre casi cualquier superficie, una interfaz gestual y transportable a móviles a través de gestos manuales sobre casi cualquier superficie, como la *Sixth Sense* [47]. Ya son una realidad las imágenes de la película *Minority Report* de Steven Spielberg.

[46] *Messa di Voce*. Dibujando, pintando el sonido. Con el nombre de una técnica del bel canto, *Messa di Voce* es un grupo compuesto por los artistas Golan Levin, Zach Lieberman, Jaap Blonk, Joan La Barbara y técnicos que interpretan una *performance* audiovisual en la que las palabras, los gritos y las canciones emitidos por dos vocalistas son radicalmente transformados en tiempo real por un *software* interactivo llamado *Tmema*. Es un *software* para materializar el sonido, capaz de transformar cada variable sonora en expresión gráfica. Materializan todo tipo de sonidos de instrumentos musicales o de la voz humana. Imagen tomada de la página oficial <http://www.tmema.org/messa/>.



[47] Pranav Mistry, investigador del MIT (Massachusetts Institute of Technology), es el inventor de la tecnología *Sixth Sense*, creada para la interacción entre el mundo digital y el real.

EL FUTURO Y LA PROMESA DE UNA REALIDAD ARTIFICIAL. UTOPIAS

Por lo expuesto, y hasta el momento actual, podemos decir que existen dos líneas de trabajo en cuanto a realismo en informática gráfica: por un lado, *software* capaz de alcanzar un grado de realismo muy elevado, a costa de tiempos de cálculo altos, y con aplicaciones en la producción de cine de animación, efectos especiales y arquitectura. Por otro lado, existen tecnologías para aplicaciones con un grado de realismo visual limitado, pero interactivas en el sentido de que cada imagen puede generarse en unos pocos milisegundos, y por tanto el *software* puede responder a las acciones del usuario cuando éstas ocurren (un ejemplo claro son los videojuegos).

Hasta el momento actual, las posibilidades del *hardware*, y los conocimientos sobre los algoritmos que emplear, han mantenido separadas las dos líneas descritas en el párrafo de arriba, y por tanto ha sido necesario elegir a priori entre realismo o interactividad. Asimismo, el *hardware* necesario para una experiencia de usuario satisfactoria (gafas, pantallas, cámaras, sensores, ordenadores, tarjetas gráficas, etc.) ha sido caro (y complejo de usar) y por tanto no accesible para la mayoría de los hogares. Sin embargo, esto es algo que actualmente está empezando a cambiar, ya que las limitaciones descritas están desapareciendo. Ello se debe a varios factores: por un lado la capacidad del *hardware* ha mejorado, por otro se han encontrado algoritmos más eficientes, aunque la razón fundamental han sido las inversiones de las grandes compañías, conscientes de los altos rendimientos que pueden obtener por la demanda masiva de videojuegos. Esto ha llevado a la inversión en investigación y desarrollo de *hardware* y *software* cada vez más eficaz y manejable.

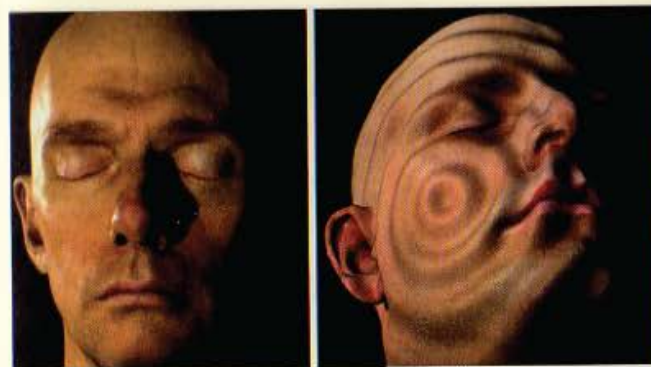
Un ejemplo de cálculo interactivo de iluminación global realista lo podemos encontrar en el trabajo de McGuire y Luebke (2009), que

[48] Imagen (tomada de McGuire y Luebke, 2009) en la que se observa un cuadro de una animación interactiva de un personaje en el cual se ha logrado calcular iluminación global (y por tanto dar un aspecto natural a la iluminación de la escena) en un tiempo de cálculo lo suficientemente corto (unos 30 milisegundos) como para ser utilizado en videojuegos y aplicaciones interactivas. Para ello, se usa la capacidad de cálculo de las tarjetas gráficas aceleradoras modernas.



describe una técnica, usando las tarjetas gráficas que incorporan los ordenadores personales, para realizar en muy poco tiempo de cálculo (del orden de milisegundos) la simulación de iluminación natural de un escenario con personajes animados [48]. Esto tiene aplicaciones directas en el campo de los videojuegos y apunta la posibilidad futura de recrear entornos virtuales interactivos con iluminación natural calculada en tiempo real.

El aspecto visual de los avatares o personajes virtuales debe ser lo más cercano posible a la realidad. Esto se debe a que el sistema de percepción visual humano ha evolucionado para percibir e interpretar los detalles de las caras de otras personas como parte esencial de la interacción social que nos caracteriza como humanos. Por tanto, la sensación de inmersión puede dificultarse o impedirse si los personajes virtuales no son absolutamente reales, ya que, de forma inconsciente, encontramos dificultades para atribuir un carácter real a una imagen de un personaje que evidentemente no lo es. Sin embargo, las técnicas avanzadas de *rendering*, junto con el uso de tarjetas gráficas aceleradoras de última generación, permiten en la actualidad la síntesis de animaciones interactivas de personajes humanos en tiempo real, con un elevado grado de realismo visual. Un ejemplo de ello es la técnica ideada por Eugene d'Eon y otros (empleados de la compañía nVidia) (d'Eon, Luebke y Enderton, 2007), basada en técnicas de simulación de la reflexión de la luz en la piel o en materiales translúcidos ideados por Henrik van Jensen. Esta técnica permite recrear realísticamente en milisegundos el aspecto de una cara humana bajo condiciones arbitrarias de iluminación [49].



[49] Imágenes sintéticas de un modelo tridimensional de una cabeza humana (la del actor Doug Jones), en las cuales la iluminación se calcula en tiempo real (30 cuadros por segundo), teniendo en cuenta la dispersión de la luz en el interior de la piel, lo cual le da un aspecto natural. Esta aplicación permite modificar la geometría o las expresiones de la cara interactivamente, recalculándose la iluminación. A la izquierda, cara en reposo; a la derecha, la aplicación ha deformado la geometría de la piel, el punto de vista y la posición de la fuente de luz, al tiempo que ha recalculado correctamente los cambios en la iluminación (imágenes tomadas de d'Eon, Luebke y Enderton, 2007).

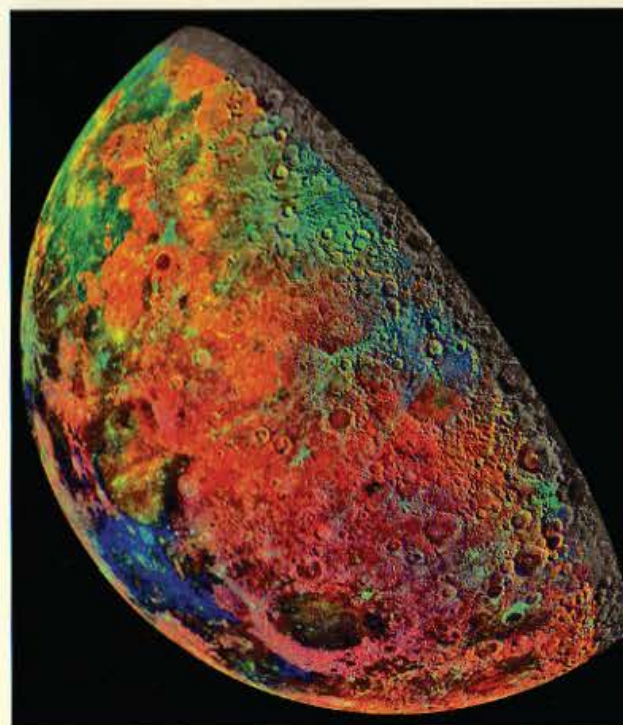
Más allá del realismo visual, la utopía de la creación de mundos virtuales se debe basar en la interacción natural con dichos mundos. En la actualidad, las tecnologías de interacción descritas en este trabajo se encuentran lo suficientemente maduras como para contemplar la posibilidad de que en un futuro, quizás no muy lejano, la mayoría de nosotros tenga un acceso cotidiano a ellas.

Como ejemplos paradigmáticos de la popularización de estas tecnologías, podemos citar el proyecto *Natal* de Microsoft [50], en el cual la interacción con personajes virtuales se realiza mediante técnicas avanzadas de visión artificial y procesamiento de la voz, que se combinan con dispositivos y aplicaciones para realidad virtual y realidad aumentada, todo ello producido en masa y a precios asequibles para el público.

En este contexto cabe pensar que quizás la tecnología actual nos llevará a realizar la utopía de la creación de un mundo artificial alternativo, movido por ordenadores y dispositivos electrónicos. Esta utopía ha sido muchas veces anticipada en la literatura de ciencia ficción y, por supuesto, en el cine, quizás debido al anhelo de construir una realidad nueva que supere las limitaciones o defectos que encontramos en la nuestra. En principio, desde el punto de vista de los tecnólogos, se puede afirmar que la capacidad de cálculo de los ordenadores no es suficiente aún como para lograr este objetivo. Ante esto cabe aducir que dicha capacidad puede aumentar en el futuro, como lo ha venido haciendo en el pasado, según la predicción conocida como *Ley de Moore*. Desgraciadamente, la miniaturización de componentes electrónicos está alcanzando en la actualidad el límite físico más allá del cual existen impedimentos absolutos para la fabricación de chips con más componentes más pequeños. Existen teorías sobre la viabilidad de nuevos modelos para la construcción de ordenadores, como podría ser la computación basada en efectos cuánticos, ópticos o químicos, en lugar de la computación basada en electrones, como hasta ahora. Sin embargo, en el estado actual es prácticamente imposible predecir la viabilidad futura de estas nuevas ideas.



[50] Interacción entre una usuaria y una aplicación de demostración del proyecto *Natal* de Microsoft. La aplicación incorpora un personaje que interactúa con la usuaria, y en este cuadro se observa cómo se introduce un dibujo en la memoria del ordenador, escaneándolo con la cámara incorporada, a la cual el usuario aproxima un dibujo. El sistema reconoce esta acción y mueve el personaje, que simula coger el papel para incorporarlo al mundo virtual. Es un ejemplo del grado de naturalidad que puede lograrse usando técnicas de realidad virtual, realidad aumentada, visión artificial e inteligencia artificial. Video disponible en la web del proyecto *Natal* de Microsoft: <http://www.xbox.com/en-US/live/projectnatal/>.



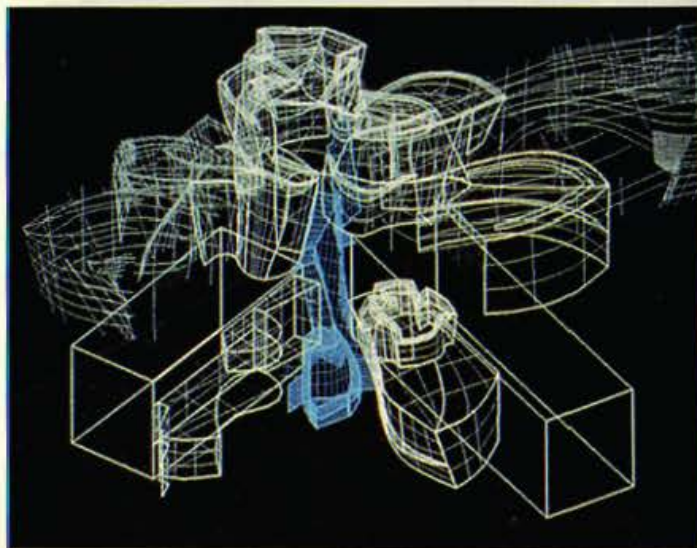
[51] NASA/JPL, Released to Public: *The Mineral Moon*. Imagen científica.

La actividad científica [51] sin el tratamiento automático de la información en la actualidad sería imposible de emprender, al igual que ocurre con el diseño y su proyecto.

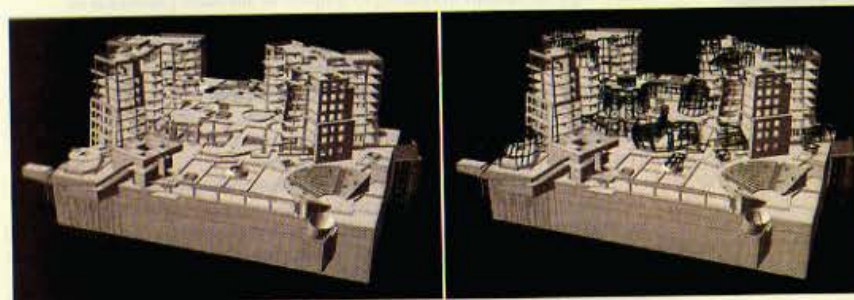
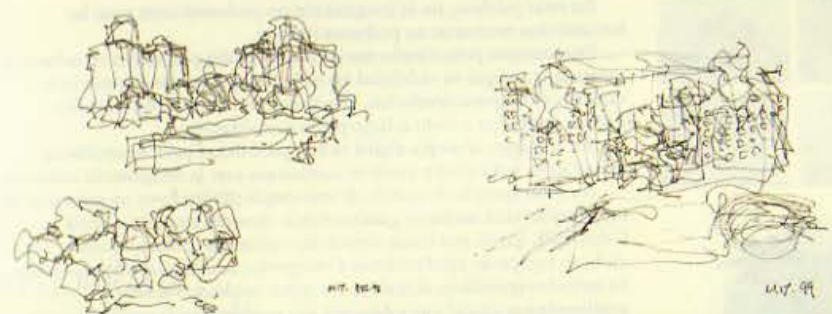
No deja de ser revelador que lo imaginable pueda ser representado y presentado, dando posibilidad a la realización del proyecto o calculando su viabilidad antes de concebirse materialmente; esta función era propiedad en parte de la creación del dibujo a modo de presentación de esbozos.

Aunque las herramientas permiten múltiples posibilidades, éstas están presentadas por los programadores o diseñadores de las herramientas de infografía; es necesario que se conozca en profundidad el diseño que resolver para posibilitar la herramienta útil.

Desde el punto de vista del creador, la utopía es necesaria, tanto como imaginar algo inexistente y darle solución y forma. Recordando una frase de Pablo Ruiz Picasso: «Todo lo que puede ser imaginado es real.» Con lo digital, la realidad supera a la ficción y la ficción se convierte en realidad.



[52] Frank Owen Gehry, *Guggenheim de Bilbao*, 1997. Fue la primera vez que los planos para fabricar un edificio estaban en un medio digital; aunque él personalmente no trabajó con ordenador, sí lo hizo su equipo de colaboradores que digitalizaron las maquetas creadas por Gehry, usando un programa inicialmente desarrollado para servir en la industria aeronáutica y que fue adaptado a la arquitectura, para crear el Guggenheim, el CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application).



[53] Frank Owen Gehry, *Ray and Maria Stata Center MIT* (Massachusetts Institute of Technology), 2004. Dibujos, maqueta virtual.



[54] Hermann Finsterlin (1887-1973). Dibujos y maqueta.

En otras palabras, sin la imaginación no podemos crear y sin las herramientas necesarias no podemos trabajar.

Precisamente permitiendo nuevas posibilidades por raras o extrañas que parezcan, y aunque su viabilidad no esté clara, podremos manejar más variables y comparar resultados, que junto con la evolución científica puedan posibilitar a corto o largo plazo su realización.

Sin embargo, la utopía digital es una posibilidad para desarrollar la imaginación individual y también contrastarla con la imaginación colectiva.

Un claro ejemplo de partida de una utopía plasmada en un principio de forma tradicional mediante garabatos es la obra del arquitecto Frank Gehry [52], quien, con claras referencias a pintores contemporáneos, y con un buen equipo de colaboradores e intérpretes, realiza el diseño de edificio. Su método espontáneo de trabajar da como resultado formas arquitectónicas únicas que solamente son posibles con la ayuda de tecnología de *software* avanzado, lo utópico de sus ideas plasmadas en garabatos espontáneos [53] son realidad. Otros arquitectos como Hermann Finsterlin [54], con dibujos expresionistas y sin la posibilidad digital, no llevaron a cabo sus ideas por falta de tecnología. Los recursos y materiales que podemos aplicar en nuestros proyectos son ilimitados gracias a las tecnologías de la información y la comunicación. Sus ventajas para un desarrollo del proyecto son realidad, aun si se quieren utilizar como complemento de los métodos más tradicionales.

Quizás, como ha ocurrido en el pasado (como, por ejemplo, con Internet, o con la informática en sí), estas nuevas tecnologías se desarrollen en una dirección que en la actualidad no imaginamos, para alcanzar algo que no se corresponde exactamente con las expectativas que albergamos actualmente, pero que de algún modo nos mejora o nos redefine como seres humanos. «Hemos eliminado el mundo verdadero: ¿qué mundo ha quedado? ¿Acaso el aparente?... / ¡No!, ¡al eliminar el mundo verdadero hemos eliminado también el aparente!» (Friedrich Nietzsche, *El crepúsculo de los ídolos*).

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO PRIMERO. DIBUJO Y CONSTRUCCIÓN

- ALBERTI, L. B., *De re aedificatoria*, Madrid, Akal, 1991.
- FILARETE, A., *Tratado de arquitectura*, Vitoria, Ephialte, 1990.
- HUYGHE, R., *Los poderes de la imagen*, Madrid, Labor, 1967.
- KOSTOF, S. (coord.), *El arquitecto. Historia de una profesión*, Madrid, Cátedra, 1984.
- LAPUERTA, J. M. de, *El croquis. Proyecto y arquitectura [cintilla divinitatis]*, Madrid, Celeste, 1977.
- LE CORBUSIER, *Mensaje a los estudiantes de arquitectura*, Buenos Aires, 1978.
- MAGNAZO, V., *Dibujos y textos de la arquitectura del siglo XX. Utopía y realidad*, Barcelona, GG, 1983.
- MOHOLY-NAGY, L., *La nueva visión*, Buenos Aires, Ediciones Infinito, 1963.
- PALLADIO, A., *Los cuatro libros de arquitectura*, Madrid, Akal, 1988.
- PORTOGHESI, P., *El Ángel de la Historia*, Madrid, Hermann Blume, 1985.
- RUIZ DE LA ROSA, J. A., *Traza y simetría de la arquitectura, en la Antigüedad y Medioevo*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 1987.
- SAINZ, J., *El dibujo de arquitectura. Teoría e historia de un lenguaje gráfico*, Madrid, Nerea, 1990.
- VAGNETTI, L., *Disegno e architettura*, Génova, Vitali e Ghianda, 1958.
- *Il linguaggio grafico dell'architetto oggi*, Génova, Vitali e Ghianda, 1965.
- VASARI, G., *Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde Cimabue a nuestros tiempos*, Madrid, Cátedra, 2002.
- VITRUVIO, *Los diez libros de arquitectura*, trad. de José Ortiz y Sanz, Madrid, Akal, 1987.

CAPÍTULO II. DIBUJO Y TÉCNICA: EL DIBUJO ÚTIL

- ARACIL, Alfredo, *Juego y artificio: autómatas y otras ficciones en la cultura del Renacimiento a la Ilustración*, Madrid, Cátedra, 1998.
- CABEZAS, Lino, «Las palabras del dibujo», en Juan José Gómez Molina, Lino Cabezas y Miguel Copón, *Los nombres del dibujo*, Madrid, Cátedra, 2005.