

ILUSIONES DE REALIDAD: DE LA PERSPECTIVA DEL RENACIMIENTO A LA REALIDAD VIRTUAL

José Pedro Pascual Pérez
josepedro@us.es

RESUMEN

La revolución que en el Renacimiento supuso la invención de la Perspectiva establece la implantación de un modelo que condicionó el desarrollo de toda la historia del dibujo y la pintura, así como la posterior aparición de la fotografía, el cine y el resto de las imágenes contemporáneas generadas por las nuevas tecnologías. El modelo tradicional de representación del espacio propuesto por la perspectiva del Renacimiento continúa vigente, no sólo a través del dibujo y la pintura, sino sobre todo en la fotografía, el cine y la televisión. Sin embargo, los actuales medios informáticos, a la vez que retoman los sistemas de representación tradicionales, plantean la posibilidad de nuevas alternativas a este modelo, ya que la tecnología que utilizan, permite una experimentación del espacio que puede ir más allá de su visualización en la pantalla del ordenador.

PALABRAS CLAVE: visión, proyección, perspectiva, dibujo, fotografía, holografía, infografía.

ABSTRACT

The revolution which, during the Renaissance, saw the invention of Perspective, laid down the roots of a model which was to condition the development of the entire history of drawing and painting, as well as the subsequent arrival of photography, cinema and all other contemporary images generated by new technologies. The traditional model to represent space provided with perspective during the Renaissance is still valid today, not only in drawing and painting but also, particularly, in photography, cinema and television. Existing computing methods, however, not only reintroduce the traditional system of representation, but also bring about the possibility of new alternatives to this model, given that the technology they use enables the experimentation of space which can go far beyond visualization on a computer screen.

KEY WORDS: viewing, projection, perspective, drawing, photography, holography, computer graphics.

INTRODUCCIÓN

Desde la Prehistoria, la representación de objetos tridimensionales sobre una superficie plana es un fenómeno que ha estado presente permanentemente en





nuestra cultura. De esta cuestión se han ocupado generalmente los artistas que intentaban, a través del dibujo y la pintura, construir imágenes que propiciaran, de alguna manera, cierta ilusión de realidad en las personas que contemplasen sus obras. La búsqueda de la veracidad y la objetividad en la representación, han guiado durante siglos los intereses del dibujo y la pintura. Durante ese proceso, tanteos, intuiciones, ensayos..., fueron configurando un conjunto de reglas y preceptos acerca de cómo se debe representar la realidad, que son transmitidas de generación en generación. Estas formas de representar han ido estableciendo una serie de convenciones que permiten la «correcta» interpretación de las imágenes en el contexto de cada época. La invención de la perspectiva lineal en el Renacimiento supone una sistematización de los artificios de la representación. Su justificación desde las «ciencias exactas» le otorgó la credibilidad necesaria para establecerse como modelo único de representación para el dibujo y la pintura. Desde su aparición, la perspectiva lineal ha ejercido una notable influencia sobre las imágenes que, desde entonces, han intentado producir la ilusión de realidad sobre el espectador.

La invención de la fotografía, en ese contexto, constituye un acontecimiento de suma importancia, ya que desde ese momento sus imágenes asumen el papel de representación veraz y objetiva de la realidad, desplazando considerablemente al dibujo y la pintura de ese cometido.

A lo largo del desarrollo de este texto, se estudian las relaciones entre el sistema propuesto por la perspectiva y las imágenes producidas por la cámara oscura, que más tarde darían lugar a la invención de la fotografía. Así mismo, se consideran las convenciones que utilizan estas imágenes y su relación con los mecanismos de la visión. Por último, se analizan los nuevos sistemas que recrean la ilusión del espacio tridimensional por medio de las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías.

1. LA REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO TRIDIMENSIONAL COMO IMITACIÓN DE LA SENSACIÓN VISUAL

Desde sus comienzos, una de las preocupaciones fundamentales del dibujo y la pintura ha sido representar los objetos tridimensionales sobre una superficie plana. La traducción de la realidad tridimensional al plano es un proceso complejo y basado en convencionalismos que son conocidos por el espectador y hacen posible su correcta interpretación. En este sentido, las estrategias que habitualmente se han planteado para conseguir la comprensión de la imagen por parte del espectador se basan en intentar plasmar sobre el plano una imagen que, de algún modo, imite la sensación visual. Es decir, el autor de la obra intenta transmitir en la imagen la visión que tuvo de aquello que representa.

Según esto, el problema de este tipo de representaciones ha consistido por lo general en tratar de representar la apariencia visual de las cosas, con una cierta independencia de su verdadera configuración. La observación de la fisiología de la visión lleva a considerar que la proyección que se produce sobre la superficie de la retina es el fenómeno a investigar e imitar, pues en ese proceso la realidad tridimen-

sional queda reducida y traducida a una imagen bidimensional. A este respecto, existen evidencias de las observaciones de Euclides, en su *Óptica*, 300 años a. C., en que estudia el fenómeno de la proyección del espacio en la superficie retiniana y donde ya se hace referencia a los rayos visuales, elementos fundamentales para entender y desarrollar los conceptos que hacen posible los actuales sistemas de representación. Los hallazgos de Euclides acerca del funcionamiento del ojo humano anticiparon el concepto de proyección, aunque él pensara que era el propio ojo el que tenía la capacidad de *proyectar los rayos* y no al contrario.

Siglos después, los estudios de Leonardo da Vinci sobre la fisiología del ojo aportan nuevos datos y se entiende que la propia luz reflejada por los objetos es la que penetra por los ojos en forma de rayos luminosos, para proyectar imágenes en la superficie de la retina, situada al fondo de la cavidad y formada por elementos sensibles a la luz y el color.

A partir de aquí se comienzan a desarrollar modelos que tratan de imitar ese mecanismo, según el cual la realidad tridimensional se convierte en imagen bidimensional.

2. LA RECONSTRUCCIÓN DEL OJO DESDE LA GEOMETRÍA: LA PERSPECTIVA DEL RENACIMIENTO

El estudio del fenómeno de proyección sobre la retina de los rayos visuales sirve como punto de partida para realizar indagaciones acerca de cómo imitar la imagen retiniana sobre un soporte plano. Este planteamiento propicia por una parte la argumentación teórica y el desarrollo geométrico de los conceptos de proyección y sección y, por otra, la construcción de artefactos que materializaban de una u otra manera los mecanismos del ojo que hacían posible la proyección de la imagen en la retina.

Estos estudios hicieron posible la construcción de un modelo de representación que se justificaba no sólo empíricamente, sino que también lo hacía desde ciencias *exactas* como las matemáticas o la geometría. Es precisamente el modelo geométrico y matemático de espacio propuesto siglos antes por Euclides el que sirve de marco y hace posible el desarrollo de la perspectiva lineal del Renacimiento. La construcción del espacio perspectivo es el resultado de seccionar el haz de rectas proyectantes que parte de un punto determinado, llamado vértice o foco de proyección, con una superficie plana, denominada plano del cuadro. Este sistema de representación tiene su ejemplificación más evidente en la ilustración sobre el *Velo de Alberti* realizada por Durero y publicada en 1538, en la segunda edición de su tratado de geometría¹. En ella (imagen 1), se aprecia al dibujante colocado delante

¹ Alberto DURERO, *Underweysung der Messung mit dem Zycrel und Rychtscheyd, in Linien elmen und ganzen Corporen*, segunda edición (póstuma), Nuremberg, 1538.



△ Imagen 1: Alberto DURERO: ilustración sobre el funcionamiento del *Velo de Alberti*, publicada en 1538.

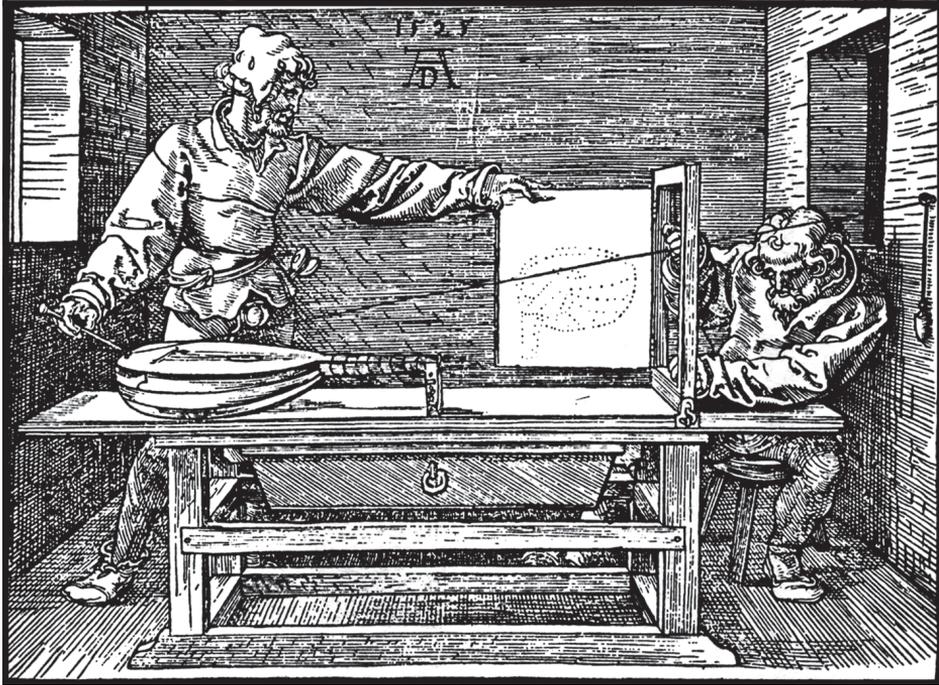
del modelo, mirándolo desde un punto de vista único e inmóvil. Entre ambos se interpone un marco con una cuadrícula, que se corresponde con el plano del cuadro, el cual provoca la virtual sección de la pirámide visual que parte del ojo del artista. Mediante este sencillo ejemplo se ilustra el fundamento de la perspectiva de Renacimiento: la proyección del espacio tridimensional obtenida seccionando la pirámide visual con el plano del cuadro.

En la primera edición de ese mismo tratado², publicada en 1525, otra imagen titulada «Portillo» (imagen 2), muestra conceptos tan abstractos como el de recta proyectante o el de foco de proyección, que se materializan en un pedazo de cuerda o un anillo de metal, respectivamente. Pero este artilugio dibujado por Durero no solamente ejemplifica el sistema de la Perspectiva, sino que también reconstruye de alguna forma el propio mecanismo del ojo humano. Si observamos atentamente el grabado, podemos establecer ciertas correspondencias entre los elementos abstractos que hacen posible el funcionamiento de la perspectiva lineal y la fisiología del ojo humano:

El foco de proyección, materializado en el anillo de metal, que en el grabado de Durero obliga a la cuerda a pasar siempre por un mismo sitio. Según la perspectiva, éste sería el foco o vértice de proyección y por él pasan todas las posiciones posibles de las rectas proyectantes. Si lo relacionamos con el funcionamiento del ojo, este anillo se corresponde también con la pupila, orificio por el cual penetran los rayos luminosos en el interior del ojo.

Las rectas o rayos proyectantes se materializan tensando un pedazo de cuerda que en cada momento unirá el foco (en el grabado, el anillo de metal) con cada parte del

² Alberto DURERO, *Uederweysung der Messung mit dem Zycrel und Rychtscheyt, in Linien*, Nuremberg, 1525.



△ Imagen 2: Alberto DURERO: ilustración de un artilugio para dibujar en perspectiva conocido como *portillo* o *porticón*, publicado en 1525.

objeto a representar, señalada con un puntero de metal, situado en el otro extremo de la cuerda tensada. En relación al ojo, estas rectas proyectantes se corresponden con los rayos luminosos que penetran por la pupila y proyectan la imagen en la retina.

El plano de proyección o cuadro se materializa mediante un marco y un portillo de madera. Al abrirse este portillo se hace posible que cada recta proyectante atraviese el supuesto plano que delimita dicho marco. Para localizar exactamente del punto de intersección entre la recta y el plano, el artilugio prevé un sistema de cuerdas correderas que permiten registrar la altura y latitud por la que la cuerda atraviesa el marco. Este plano de proyección se corresponde en el ojo con la superficie de la retina, sobre la que se produce la proyección de la imagen visual.

El hecho de que la superficie de proyección sea un plano no tiene en cuenta la ligera concavidad de la superficie de la retina. Esto se explica principalmente por la necesidad del sistema de representar las cosas sobre un soporte que normalmente debía ser plano. Por otra parte, el hecho de que este sistema coloque el plano de proyección interpuesto entre el objeto y el foco y no detrás de él, tal como sucede con el ojo, previene la inversión de la imagen que se produce sobre la superficie de la retina y al mismo tiempo muestra la sección de la pirámide visual o cono de

visión de una manera similar a la que propone el modelo de perspectiva materializado en el velo de Alberti o en la ventana de Leonardo.

Por otra parte, la elección del laúd como objeto de la representación no es casual: este instrumento simbolizaba la armonía de las proporciones que se puede alcanzar en la representación con el uso de la perspectiva³. De esta manera, el empleo de la perspectiva permitiría a los artistas del Renacimiento conseguir la «representación objetiva» de las cosas según su apariencia visual y aplicar la proporción exacta a cada una de las partes, por muy complicado que resultase su escorzo.

3. LA PERSPECTIVA COMO MODELO DE REALIDAD

La perspectiva renacentista instauró y normalizó un modelo único y exclusivo de representación, que debía ser asumido como paradigma de realidad. Su justificación matemático-geométrica y la correspondencia con el funcionamiento del ojo humano le otorgaban credibilidad. A pesar de ello, seguramente debieron de resultar chocantes en un principio muchas de las imágenes generadas por los trazados geométricos que obedecían a las leyes de la perspectiva. De hecho, una de las características del tipo de proyección cónica que utiliza la perspectiva son las deformaciones marginales que se producen en la imagen que se construye sobre el plano de proyección o cuadro. Por ello, podemos decir que hasta convertirse en modelo incuestionable de realidad, la asimilación de las imágenes producidas por la perspectiva ha consistido en un largo proceso de adaptación y de sometimiento del espectador al sistema.

4. LA RECONSTRUCCIÓN DEL OJO DESDE LA ÓPTICA: LA CÁMARA OSCURA

Si la perspectiva crea un modelo de realidad a partir de la geometría, en la que el sistema de proyección se establece según su relación con el funcionamiento del ojo humano, la cámara oscura lo reconstruye desde los principios de la óptica.

Aunque el fenómeno óptico de la cámara oscura era ya conocido en la Antigüedad⁴, su utilización por los pintores como modelo de realidad fue mucho más tardía. Es precisamente en el Renacimiento, en el contexto de las especulaciones geométricas de la perspectiva, cuando los pintores se interesan por las imágenes producidas en la cámara oscura.

³ Javier NAVARRO DE ZUVILLAGA, *Las imágenes de la Perspectiva*, Madrid, Siruela, 1996.

⁴ Existen testimonios del fenómeno óptico de la cámara oscura en algunos textos desde el siglo IV a. C. A finales del siglo X, el científico árabe Alhazen (965-1038) lo describe en su tratado de óptica, *Kitab al-Manazir*, y lo utiliza para explicar la formación de la imagen visual dentro del ojo.

Leonardo da Vinci se sirve de la cámara oscura para explicar el funcionamiento del ojo, estableciendo de esta forma su estrecha relación. Pero si la cámara oscura se relaciona con el funcionamiento del ojo y éste se relaciona con la perspectiva, es posible relacionar también directamente la perspectiva con la cámara oscura. Si establecemos correspondencias entre los elementos geométricos de la perspectiva y el mecanismo de la cámara oscura tenemos:

El foco de proyección, materializado por el orificio que permite la entrada de los rayos luminosos en el interior de la cámara, que se corresponde en el mecanismo visual del ojo con la pupila.

Las rectas proyectantes, que se corresponden con cada uno de los rayos luminosos que penetran por el orificio de la cámara, de manera parecida a como en el ojo lo hacen por la pupila.

El plano de proyección, que se encuentra dentro de la cámara oscura, en la pared opuesta a la que tiene el orificio por donde entra la luz. Sobre esta superficie se crea una imagen proyectada de los objetos que se encuentran en el exterior de la cámara. De modo similar, al fondo de la cavidad del ojo se encuentra la retina, en cuya superficie también se crea una imagen proyectada de los objetos situados delante.

Para que la imagen proyectada en la cámara sea suficientemente nítida, es necesario colocar una lente en el orificio por donde entra la luz. De no ser así, la imagen aparecerá desenfocada. En el ojo, esta lente tiene su correspondencia con el cristalino, cuyos movimientos de contracción y expansión permiten enfocar los objetos situados a diferentes distancias.

5. LA CÁMARA OSCURA COMO MODELO DE REALIDAD

La cámara oscura, tal y como sucede con el ojo humano, crea la proyección del espacio tridimensional en la superficie situada en su interior, reafirmando el modelo de la perspectiva y a la vez demostrando empíricamente su eficacia, como antes lo hicieron el velo de Alberti y el portillo de Durero. Estos artilugios, además de reiterar la eficacia del sistema, se establecen como herramientas auxiliares del artista. Estas herramientas permiten «aprender a ver» las imágenes según el modelo establecido y por otra parte se establecen como máquinas para dibujar, ya que permitían a cualquier persona trazar los contornos y dintornos de una imagen con sólo seguir las instrucciones indicadas para cada caso.

Pero la cámara oscura aporta además algo que la perspectiva lineal no hacía. Las imágenes que proyecta en su interior poseen todas las características que el dibujo y la pintura, en su deseo de acercamiento a la realidad, podían requerir. En efecto, la imagen de la cámara oscura resolvía la perspectiva, pero además de ello mostraba el color de los objetos, luces, sombras, texturas, etc. Pero hay algo quizá más importante y es que las imágenes generadas en el interior de las primeras cámaras oscuras poseían un cierto aspecto desenfocado, que las hacía interesantes para los pintores, ya que los tonos y detalles de los objetos aparecían en la imagen proyectada, sintetizados de forma que constituían todo un modelo de representación



de la realidad para el dibujo y la pintura. De este modo las imágenes de la cámara oscura no son sólo una ayuda para el artista, sino que son asumidas por ellos como un nuevo modelo de realidad.

6. LA REITERACIÓN DEL MODELO DE REPRESENTACIÓN: FOTOGRAFÍA, CINE, TV E IMAGEN DIGITAL

Resulta evidente que el desarrollo de la cámara fotográfica a partir de la cámara oscura supone pasar de una proyección fugaz a una imagen estable. Si trabajar con la cámara oscura para producir imágenes suponía la traducción manual, mediante las herramientas tradicionales de dibujo y pintura, de la proyección sobre el soporte, la invención de la fotografía supuso la automatización de esa tarea y por tanto la pérdida por parte del dibujante de ese territorio, que hasta ese momento le era exclusivo.

La cámara fotográfica se limita a ser fiel al modelo anterior, al sistema de proyección de la perspectiva que es imitación de la imagen retiniana. La cámara de fotos como artilugio resulta, al igual que la cámara oscura, una imitación de un ojo humano, donde el cristalino corresponde a la lente del objetivo, el diafragma corresponde a la pupila y la película fotográfica corresponde a la superficie de la retina. De esta forma, las imágenes producidas por la cámara fotográfica, como las de la cámara oscura, responden perfectamente al modelo instaurado por la perspectiva para la representación del espacio. En este contexto, la aparición de la fotografía supone la aceptación de sus imágenes como modelo incuestionable de realidad, avalado por la tradición de representación que les había precedido.

Las imágenes producidas por la fotografía fascinaron desde un primer momento al dibujo y la pintura, ya que respondían perfectamente al modelo de imitación de la realidad visual que había sido perseguido por los artistas desde el Renacimiento. En pocos segundos la química conseguía aquello que al dibujante y al pintor le costaban muchos años de aprendizaje y oficio. Las fotografías se establecían como paradigma de realidad, como registro objetivo sobre un soporte bidimensional de la realidad tridimensional, en perfecta consonancia con las formulaciones matemático-geométricas de la perspectiva renacentista. La fotografía, como antes lo hiciera la perspectiva, se convierte en el modelo asumido acerca de cómo representar el espacio tridimensional de una manera objetiva y veraz.

La superposición de fotografías tomadas según una determinada secuencia temporal da lugar a la construcción de otro modelo de realidad: el cine, que incorpora a la imagen estática la dimensión temporal y, por tanto, la ilusión visual de movimiento. Aunque el posterior desarrollo de la imagen televisiva y de las imágenes digitales se basa en procesos técnicos muy diferentes a los de la fotografía o el cine, el modelo de representación espacial que adoptan es el mismo. Y es que, independientemente del proceso técnico que las hacen posibles, el problema de representación que se plantean es exactamente el mismo que el de la perspectiva del Renacimiento, ya que finalmente el soporte sobre el que se visualizan también debe ser bidimensional.



7. LAS CONVENCIONES DE LAS IMÁGENES Y LOS MECANISMOS DE LA VISIÓN

Las imágenes basadas en la perspectiva cónica proporcionan al espectador una imagen plana, a partir de la cual éste puede interpretar el espacio tridimensional, basándose en los datos que dicha imagen le proporciona. En una fotografía, una imagen cinematográfica, un dibujo en perspectiva o una imagen digital, existen una serie de indicios que permiten que el espectador decodifique la información e interprete el espacio representado. Estos indicios se fundamentan principalmente en la imitación de dos hechos fundamentales de la percepción visual: el tamaño relativo de los objetos según su distancia y el solapamiento que se produce cuando se superponen en la imagen distintos elementos situados a diferentes distancias. Además de estos dos aspectos, la representación de las texturas de los objetos y su iluminación enriquecen y ayudan a interpretar la naturaleza y el volumen de los objetos representados.

Pero tanto, las imágenes contemporáneas inspiradas en la fotografía y el cine, como los argumentos geométricos y ópticos que las propiciaron, eluden desde un primer momento otras cuestiones acerca de los mecanismos de la visión humana, que son básicas y fundamentales para la percepción de la realidad tridimensional y que, de haber sido contempladas por la perspectiva renacentista, habrían dado lugar, sin duda, a mecanismos de producción y visualización de imágenes totalmente diferentes a los establecidos por nuestras actuales imágenes, que reducen su discurso a la imitación del fenómeno de proyección de la realidad tridimensional sobre la retina.

Aspectos de la visión como la binocularidad, la acomodación del cristalino, los movimientos del ojo o el desplazamiento del espectador, resultan fundamentales para la visualización del espacio en tres dimensiones, pero son incompatibles con su representación según los preceptos de la perspectiva renacentista. A continuación, analizaremos estos aspectos de la visión humana y los relacionaremos con los artificios de la representación que los simulan.

7.1. LOS EFECTOS DE LA VISIÓN BINOCULAR: DISPARIDAD RETINIANA, CONVERGENCIA Y ESTEREOPSIS

La binocularidad en la visión humana supone la existencia de dos proyecciones que, debido a la separación existente entre las dos pupilas, generan dos imágenes ligeramente diferentes, las cuales se proyectan una en cada retina. Esta ligera diferencia en la posición de cada foco de proyección se denomina *disparidad retiniana* y junto con la *convergencia ocular*⁵ hacen posible la *estereopsis*. Mediante la estereopsis,

⁵ La convergencia ocular se produce gracias a la acción de los músculos encargados del movimiento de los ojos. Estos músculos hacen converger los dos conos de visión hacia el mismo



la información visual es procesada por el cerebro y las dos proyecciones retinianas, obtenidas gracias a la visión binocular, se integran en una sola imagen con carácter tridimensional. Este fenómeno es el responsable en buena medida de la sensación de relieve y profundidad que experimentamos cuando miramos los objetos que están a nuestro alrededor.

El efecto tridimensional que los mecanismos de la visión binocular producen en la percepción es algo que no ha pasado inadvertido a la hora de plantear la representación en dos dimensiones del espacio tridimensional. Antes de que se inventara la fotografía, se idearon formas de propiciar de manera artificial el fenómeno que se produce cuando percibimos por un ojo una imagen ligeramente diferente a la que percibimos por el otro.

Una demostración de esta circunstancia son los ensayos realizados en muy diversas épocas sobre imágenes estereoscópicas. Estas imágenes producen la ilusión óptica de la existencia de profundidad o relieve, cuando en realidad la imagen mostrada es completamente plana.

Las fotografías estereoscópicas creaban una sensación de relieve en la imagen, al colocar de manera adecuada dos fotografías tomadas desde puntos de vista que diferían ligeramente en su latitud. Estas fotografías se montaban sobre un visor binocular, de manera que cada ojo pudiese visualizar solamente la fotografía que le correspondía. De este modo, se proyectaba una imagen diferente en cada retina, produciéndose la *stereopsis* y obteniéndose una sensación convincente de relieve y profundidad.

Posteriormente a las primeras fotografías estereoscópicas, se desarrollaron otros sistemas para simular la profundidad. La dificultad de todos estos sistemas suele residir en que es necesario evitar que un mismo ojo pueda visualizar a la vez las dos imágenes, pues en ese caso se produciría una imagen doble.

El sistema de anaglifos muestra superpuestas las dos imágenes que corresponden a cada ojo, pero cada una de ellas es de color diferente. Las parejas de colores utilizados son aproximadamente complementarios en el círculo cromático y normalmente suelen ser verde y rojo, azul y naranja o azul y rojo. De este modo, valiéndose de unas gafas con filtros de los mismos colores, se consigue evitar que cada ojo vea la imagen que no le conviene y sólo perciba la que le corresponde. El sistema de anaglifos permite la proyección de las dos imágenes superpuestas en una pantalla de cine o de otro tipo, consiguiendo mediante las gafas de filtros una sensación de relieve tridimensional, que se manifiesta sobre todo en los primeros tér-

objeto, evitando así la visión doble y propiciando una sensación que al cerebro le sirve para apreciar la distancia a la que se encuentra dicho objeto. Esto es posible porque en objetos muy cercanos la convergencia tiene que ser muy acusada y los músculos que la hacen posible tienen que hacer bastante esfuerzo, mientras que para visualizar los objetos lejanos casi no existe esa convergencia y los músculos están relajados. Esta diferencia en el esfuerzo muscular es capaz de interpretarla el cerebro y estimar de esa manera las distancias de los objetos.

minos de la imagen. El principal inconveniente de este método de visualización es que produce fatiga en el espectador y que existe una cierta alteración de los colores.

Una versión más avanzada de los sistemas que utilizan gafas es el que emplea luz polarizada para separar las imágenes izquierda y derecha. El sistema de polarización no altera los colores, aunque hay una cierta pérdida de luminosidad en la visión de la imagen. Este método se utiliza tanto en proyección de cine como en monitores de ordenador y tiene la ventaja, con respecto al anterior, de que el color de las imágenes no resulta alterado por los filtros, ya que éstos son incoloros.

Otro sistema más sofisticado de visualización estereoscópica es el que utiliza unas gafas equipadas con obturadores de cristal líquido. Estos obturadores alternan sucesivamente la visión del ojo derecho con la del izquierdo, sincronizando esa misma alternancia con la imagen mostrada. Dado que esta alternancia posee una alta frecuencia, el ojo no la percibe y el efecto estereoscópico resulta altamente convincente. En este caso tampoco es necesario que cada imagen sea de color diferente, pues en realidad las dos vistas no se superponen, sino que se alternan sucesivamente una y otra.

7.2. LA ACOMODACIÓN DEL CRISTALINO

Aunque los modernos sistemas de visión estereoscópica son capaces de producir sensaciones visuales de relieve y profundidad sorprendentes, existen otras cuestiones propias de la percepción visual que estos sistemas pasan por alto. La binocularidad solamente genera proyecciones diferentes para cada ojo en objetos relativamente cercanos. A medida que la distancia aumenta, las imágenes proyectadas en cada retina son más parecidas entre sí, hasta que, a cierta distancia, ambas proyecciones son prácticamente idénticas. Entonces, los mecanismos propios de la visión binocular pierden efectividad y la visión utiliza otros recursos para apreciar la profundidad espacial. Uno de estos recursos es el mecanismo de acomodación del cristalino del ojo.

El cristalino actúa como una lente que enfoca con nitidez en la retina la imagen del objeto que estamos mirando. Mediante la acción del músculo ciliar que lo rodea, el cristalino se contrae o se expande, según la distancia a que se encuentre el objeto que pretende enfocar. Este esfuerzo muscular hace que podamos estimar la distancia a que se encuentra un objeto en el momento de enfocar.

La imitación del efecto de desenfoque se ha utilizado en el dibujo y la pintura para sugerir lejanía y profundidad. En la fotografía, este efecto se controla mediante la profundidad de campo, de manera que en la imagen se establece una diferencia de distancia entre los objetos que están enfocados y los que no lo están. Pero el desenfoque de la imagen es, claro está, solamente un simulacro, pues el ojo del espectador intentaría enfocar sin ningún éxito los objetos borrosos situados al fondo de una pintura o fotografía.

Uno de los problemas del escaso éxito del cine 3D ha sido el cansancio visual que ocasiona en el espectador. Este cansancio, contrariamente a lo que se cree, no se debe al uso de las gafas que requiere el sistema, sino a que entra en



conflicto la acomodación del cristalino con la visión estereoscópica. Esto se debe a que cuando miramos un objeto en el espacio tridimensional, nuestro cristalino se acomoda según la distancia a la que se encuentra. Sin embargo en el cine, nuestros ojos tratan de enfocar los objetos según la distancia estimada, contrayendo y expandiendo la lente, pero sólo logran enfocarlos en el plano de la pantalla. Por tanto, se produce una contradicción entre los mecanismos de la visión binocular, que perciben objetos a distintas distancias, y el enfoque del cristalino, que lo enfoca todo en un mismo plano.

7.3. LOS MOVIMIENTOS OCULARES

Como se aprecia en la imagen que ilustra el Velo de Alberti, la mirada del dibujante que realiza el dibujo en perspectiva, queda fijada en un punto determinado del objeto que está observando y allí permanece inmóvil hasta completar la proyección. Esta circunstancia origina uno de los problemas más antiguos de la perspectiva a la hora de imitar la realidad tridimensional: las aberraciones que se producen en los extremos del cuadro. Estas deformaciones marginales de la imagen proyectada en perspectiva cónica se acentúan a medida que los objetos representados se distancian del punto central de la proyección y se deben a la oblicuidad de la sección entre el plano del cuadro y las rectas proyectantes que lo atraviesan por sus zonas extremas. En realidad, en una perspectiva cónica, todas las rectas proyectantes, excepto el rayo principal, son oblicuas respecto al plano de proyección. Esto conlleva que toda la imagen, menos el punto central de la perspectiva, se encuentre deformada en mayor o menor medida, siendo las deformaciones más evidentes cuanto más alejada esté la proyección de dicho punto central.

Para tratar de corregir estos problemas, la perspectiva restringe su representación a la zona próxima al punto central de la proyección, estableciendo una zona dentro de la cual las deformaciones producidas serían aceptables para el espectador. El límite de esta zona del cuadro se configura teniendo en cuenta el espacio que abarcaría el campo visual de un ojo inmóvil, que mira fijamente al frente en la posición del foco de proyección. Este espacio abarcado por la visión del ojo quedaría dentro de un supuesto cono, que tendría su vértice en la pupila del ojo (el foco de proyección) y que se denomina cono de visión. La amplitud del ángulo que generaría este cono se estima para el ojo humano en unos 60 grados. De este modo, la sección de este cono con el plano de proyección delimitaría un círculo, dentro del cual las deformaciones del dibujo en perspectiva se consideran aceptables.

Pero la manera que nuestros ojos tienen de proyectar en sus respectivas retinas el espacio que les rodea, poco tiene que ver con la proposición de la perspectiva de un punto de vista fijo e inmóvil. En la experiencia visual, el ojo se mueve continuamente, fijando su atención en distintos puntos del espacio que lo rodea, generando imágenes en la retina que cambian continuamente el punto central de su proyección. Esto se debe a que únicamente una parte muy pequeña de la retina, la fovea, posee una elevada concentración de células fotorreceptoras y, por tanto, el movimiento de los ojos siempre busca proyectar en ese punto aquello en lo que



queremos fijar la atención. Estos movimientos se realizan en sacudidas y habitualmente duran menos de cincuenta milisegundos⁶.

Esto tendría que implicar, en su correspondencia con el sistema de la perspectiva, el continuo movimiento del rayo principal de la proyección y, consecuentemente, del plano del cuadro. Esto resulta imposible según el método de proyección cónica que utilizan, tanto la perspectiva, como las demás imágenes que adoptan su modelo (fotografía, cine, vídeo...).

7.4. EL MOVIMIENTO DEL ESPECTADOR

Aparte de los movimientos oculares, otra cuestión importante a la hora de percibir el espacio tridimensional es el movimiento del espectador. La movilidad de la persona que está visualizando el espacio le permite obtener nuevos datos acerca de la profundidad y la distancia según el movimiento relativo de los objetos que percibe en su campo visual. Sin embargo, las imágenes producidas por los sistemas de visión estereoscópica mencionados anteriormente requieren su visualización desde una posición completamente fija e inmóvil. La razón de esta necesidad reside en que el par de fotogramas que en cada instante se muestran para cada ojo son imágenes bidimensionales, formuladas desde los principios de la perspectiva y la fotografía que, como ya se ha indicado, exigen un punto de vista completamente estático. Por este motivo, cuando el espectador realiza algún movimiento ante una imagen de ese tipo, su acción no se ve acompañada por ninguna variación en el punto de vista de la escena y, en consecuencia, la eficacia del sistema queda en evidencia.

Para considerar el movimiento del espectador a la hora de mostrar imágenes con un efecto tridimensional, sería necesario contemplar la posibilidad de ligeros cambios de posición en la situación del punto de vista del espectador. Para ello una de las posibilidades sería registrar múltiples imágenes de un determinado objeto desde diferentes puntos de vista y mostrar al espectador, en cada instante, la imagen correspondiente a la posición de cada uno de sus ojos. De este modo se lograría la variación de la imagen según la posición en cada momento del punto de vista del espectador.

El sistema que utiliza la holografía consigue, mediante un complicado proceso técnico, aglutinar sobre un soporte plano diferentes vistas obtenidas a partir del objeto real, propiciando la visualización únicamente de la imagen adecuada en cada momento según la posición de cada ojo. De esta forma, los hologramas son capaces de responder no sólo al movimiento del espectador, sino también al resto de mecanismos de la visión antes mencionados, logrando una sorprendente sensación

⁶ Robert H. WURTZ, Michael E. GOLDBERG y David LEE ROBINSON, «Mecanismos cerebrales de la atención visual», en *Investigación y Ciencia*, noviembre 1979, núms. 100-104, pp. 84-93.

de realidad. Sin embargo, a pesar de sus excelentes cualidades a la hora de simular la realidad tridimensional, las características de la técnica holográfica en la actualidad únicamente hacen posible la creación de imágenes relativamente pequeñas a partir de objetos reales.

8. LAS POSIBILIDADES INTRODUCIDAS POR LOS SISTEMAS INFORMÁTICOS DE DISEÑO TRIDIMENSIONAL

La aparición de los medios informáticos y su actual desarrollo permiten una concepción diferente en la representación del espacio tridimensional. Frente a la captación de imágenes a partir de la proyección en el plano de objetos existentes, la nueva situación retoma, de algún modo, las posibilidades de los dibujos en perspectiva, que son capaces de construir objetos y espacios inexistentes físicamente, que únicamente residen en la imaginación de su creador. Esta posibilidad se hace efectiva con las nuevas tecnologías del diseño tridimensional desde un planteamiento diferente al de su dibujo en el plano.

A partir de un modelo matemático, basado en la geometría euclidiana, los objetos imaginados son construidos virtualmente en tres dimensiones a través de una interfaz, que permite la introducción en el ordenador de los datos correspondientes tanto a las coordenadas espaciales de los objetos, como los referentes a su color, textura, consistencia, etc.

Una vez introducidos estos datos, los objetos creados funcionan dentro de la máquina como tridimensionales. Pero es precisamente en la virtualidad de estas construcciones donde reside el conflicto. Paradójicamente, este espacio generado a partir de complejos programas de diseño en tres dimensiones, necesita, por regla general, ser mostrado finalmente en la pantalla de un ordenador. Es decir, se hace necesaria nuevamente la traducción de este espacio virtual a un soporte plano. Esta situación suele ser resuelta mediante la representación bidimensional del espacio en perspectiva cónica, empleando los mismos convencionalismos que la fotografía tradicional. Es aquí donde la historia vuelve a empezar, y donde la perspectiva y el resto de convenciones de las imágenes tradicionales se constituyen como modelo ideal para la formulación de las «nuevas imágenes».

Sin embargo, las posibilidades de representación del espacio virtual que estos nuevos medios son capaces de generar permiten ir más allá de la visualización de una determinada imagen en la pantalla del ordenador con una mayor o menor sensación de tridimensionalidad. En este sentido, la principal aportación de las nuevas tecnologías ha sido el desarrollo de la denominada *realidad virtual*. La realidad virtual sustituye la pantalla del ordenador por unas gafas o un casco de visualización y el ratón por un dispositivo con forma de guante. De esta forma se pretende que el espectador experimente el espacio ficticio como si estuviese dentro de él, eliminando la «ventana», a través de la cual se configuraba el espacio ficticio de la perspectiva renacentista y que tiene su correspondencia con la actual pantalla de ordenador. La supresión de la ventana supone un cambio importante en la concepción de la representación espacial, ya que, hasta ahora, las técnicas empleadas para





generar la ilusión de profundidad habrían necesitado de una superficie limitada sobre la que mostrar la imagen. La pintura, el dibujo, las imágenes de la cámara oscura, la fotografía o el cine, establecen en la superficie de proyección la barrera infranqueable que separa la realidad de la imagen ficticia. Incluso las imágenes estereoscópicas y los hologramas, que consiguen formar imágenes que se visualizan por delante de la superficie que les sirve de soporte, no dejan de establecer esa frontera, que el espectador en ningún caso puede traspasar.

La realidad virtual, gracias a las características tridimensionales del espacio diseñado en el ordenador, permite la integración del espectador dentro del espacio ficticio, de manera que éste puede recorrerlo e interactuar con él, convirtiéndose de esta forma en usuario del sistema más que en simple espectador. Los dispositivos que se coloca el usuario eliminan definitivamente la superficie de la pantalla y permiten simular el traspaso de la frontera entre espacio real y espacio ficticio. Es lo que se denomina técnica de inmersión⁷. En la inmersión se pretenden simular los aspectos antes mencionados, relacionados con la percepción visual del espacio tridimensional.

Para lograr que cada ojo perciba la imagen que le corresponde según su posición, se incorpora al espectador un accesorio de visualización parecido a unas gafas, en las que se coloca frente a cada ojo una pequeña pantalla que muestra la imagen correspondiente. Mediante unos sensores, el dispositivo detecta los movimientos de la cabeza y modifica, en tiempo real, el punto de vista de la imagen mostrada en pantalla. De este modo, se consigue imitar aceptablemente los mecanismos de la visión binocular. Sin embargo, este tipo de dispositivos no tiene en cuenta el mecanismo visual de la acomodación del cristalino, ya que obliga a cada ojo a enfocar siempre sobre una pantalla situada a corta distancia. Por otra parte, aunque el sistema responde a los movimientos de la cabeza y al desplazamiento del espectador, no responde a los movimientos oculares.

Además de los dispositivos de visualización, los sistemas de realidad virtual pueden disponer de accesorios adicionales para conseguir una mayor interactividad entre el usuario y el sistema. Mediante un objeto similar a un guante, con sensores situados en las zonas de articulación de la mano, se proporciona al ordenador los datos necesarios para la reconstrucción en el espacio virtual de una mano, que corresponde a la mano del usuario y que reproduce los movimientos de los sensores que están en el guante. Este guante permite al usuario trabajar con objetos virtuales de manera parecida a como trabajaría con objetos reales, simulando acciones relacionadas con la manipulación de objetos. Los guantes más avanzados están provistos de resistencias sensibles a la fuerza en sus superficies internas. De esta manera, cuando los objetos son tomados, el usuario percibe una resistencia que correspondería a la presión que deberían ejercer para tomar el objeto real. El traje virtual es

⁷ DÜRSTELER, J., «La otra realidad», en *InfoVis*, octubre 2000, núm. 11, <http://www.infovis.net/Revista/num_11.htm>.

otra versión más completa de accesorio para experimentar el escenario virtual. Este dispositivo incluye sensores en las articulaciones de todo el cuerpo, enviando información al ordenador acerca de todos los movimientos del usuario.

No obstante, estos sistemas de realidad virtual se encuentran lejos aún de ser completamente convincentes. Como ocurriera con la perspectiva del Renacimiento, para que se produzca la ilusión de realidad, resulta fundamental la previa disposición del espectador a dejarse seducir por sus imágenes.

CONCLUSIONES

1. La invención de la perspectiva establece la implantación de un modelo que ha condicionado el desarrollo de toda la historia del dibujo y la pintura, así como la posterior aparición de la fotografía, el cine y las imágenes generadas por las nuevas tecnologías digitales.

2. La perspectiva trata de reproducir el fenómeno de la visión a partir de la reconstrucción de los mecanismos del ojo humano que hacen posible la proyección en la retina del espacio tridimensional.

3. Posteriormente al desarrollo de la perspectiva lineal, los sistemas que se van generando toman los fundamentos de la perspectiva como garantía de su eficacia, reiterando así el modelo anterior.

4. Al comparar el modelo de representación espacial de la perspectiva con los mecanismos que la visión humana utiliza para apreciar el espacio tridimensional, se evidencia que dicho modelo no contempla aspectos tan importantes como la binocularidad, la acomodación del cristalino o los cambios en el punto de vista generados por los movimientos oculares y el desplazamiento del espectador.

5. Si la perspectiva tradicional hubiese tenido en cuenta desde un primer momento los factores mencionados, los actuales mecanismos de producción y visualización de imágenes serían diferentes a los establecidos en nuestra cultura de la imagen contemporánea, ya que tanto las imágenes contemporáneas inspiradas en la fotografía y el cine, como los argumentos geométricos y ópticos que las propiciaron, reducen su discurso a la imitación del fenómeno de la proyección sobre la retina de la realidad tridimensional.

6. Las técnicas de visualización estereoscópica tratan de imitar el efecto que sobre la percepción visual ejercen los mecanismos relacionados con la binocularidad. Sin embargo, los sistemas que desarrollan estas técnicas están basados en la superposición de dos imágenes planas, por lo que no responden a la acomodación del cristalino o al movimiento del espectador.

7. La holografía permite fabricar imágenes completamente planas que, no obstante, producen en el espectador una sensación de tridimensionalidad muy convincente, respondiendo positivamente tanto a los mecanismos relacionados con la binocularidad como a la acomodación del cristalino y el movimiento del espectador. Sin embargo, la idea de ventana a través de la cual se construye la representación, es una convención relacionada con la perspectiva tradicional, de la que los hologramas no han logrado liberarse por completo.



8. Las posibilidades que actualmente ofrecen los medios informáticos permiten, frente a la proyección en el plano de los objetos reales, una concepción diferente en la representación del espacio tridimensional, representando objetos y espacios inexistentes. Esta posibilidad entronca directamente con los tradicionales dibujos, que a través de la perspectiva consiguen representar sobre el plano espacios imaginados.

9. Las nuevas tecnologías del diseño tridimensional, a la vez que retoman las técnicas de representación tradicionales, realizan la reconstrucción del espacio desde un planteamiento diferente al de su dibujo en el plano. Partiendo de estos sistemas, la realidad virtual persigue la inmersión total del espectador dentro del espacio ficticio creado dentro de la máquina. De esta forma, desaparece la, hasta el momento, eterna barrera que separaba al espectador de la escena representada, irrumpiendo en la propia escena y transformándose de espectador a usuario de ese espacio.

10. Pero los actuales sistemas de experimentación de la realidad virtual se encuentran aún muy lejos de ser realmente efectivos como creadores de ilusiones de realidad verdaderamente convincentes. Paradójicamente, la exploración visual del espacio virtual se realiza a partir de imágenes planas situadas a unos pocos centímetros de los ojos del espectador. En estas circunstancias, la acomodación del cristalino del ojo se ve obligada a funcionar de manera muy diferente a como lo haría en un entorno real.

11. A pesar de todo, los sistemas aportados por las nuevas tecnologías podrían conllevar una auténtica revolución que suponga una nueva manera de concebir el espacio representado. Una revolución de dimensiones similares a la que supuso la invención de la perspectiva en el Renacimiento.

