

# Una codificación de la proyección cúbica para la generación de modelos inmersivos

Lucas Fabián Olivero, Adriana Rossi, Salvatore Barba

## Abstract

Los resultados de esta investigación están destinados al estudio del complejo sistema de representación generado a través de imágenes inmersivas. El objetivo general es transferir las técnicas que caracterizan los modelos inmersivos generados con imágenes raster a modelos inmersivos generados a partir de dibujos vectoriales, sin limitarnos a una mera sustitución del ente geométrico elemental punto (o píxel) con la línea. Para ello, se codifican las transformaciones desde las vistas bidimensionales a la panorámica inmersiva. Se propone un avance del estado del arte, reconduciendo los estudios al ámbito de la geometría descriptiva, ampliando el cono de visión a los 360° del espacio que rodean al observador. El trabajo se vale de estudios anteriores sobre modelos híbridos inmersivos, la proyección equirectangular y la cúbica. El estado del arte que se asume como base de partida se caracteriza de una bibliografía completa para la equirectangular, sea con propuestas de métodos intuitivos como con métodos matemáticos mientras que para la proyección cúbica los procedimientos usados hasta hoy son solamente aproximados y desprovistos del necesario marco teórico completo. El método puesto en juego prevé, como pasaje obligado, el desarrollo formulaciones geométricas que servirán de base a formulaciones matemáticas. Anunciando pasos futuros, el contenido presentado en términos gráficos, buscará ser sintetizado en un algoritmo de gráfica digital escrito ad-hoc, para sentar las fundaciones de una nueva técnica avanzada de representación.

Palabras clave: proyección cúbica, cubemap, proyección equirectangular, técnicas avanzadas de representación, panoramas VR.

## Introducción: inmersividad y modelo inmersivo

«Inmersividad, proviene del lat. *immersus*, part. pas. de *immergere*, sumergir: Hablar de nuevas tecnologías nos lleva al concepto de inmersivo, de inmersión y de proyectos inmersivos. El criterio utilizado es estar sumergido, o contenido por algo. Lo que nos hace suponer-imaginar que al estar sumergido o inmerso hablamos de un medio ambiente, de un macro ambiente, de una escenografía, de una construcción, o una arquitectura variable» [Lolas 2014].

Un modelo inmersivo es el conjunto de elementos comunicativos (por ejemplo, textos, gráficos, sonidos, videos) y un ambiente virtual que permite fruir dicho contenido de forma interactiva.

Ambiente y contenido pueden relacionarse de diferentes maneras: el contenido se superpone a un ambiente en-

teramente virtual (*Virtual Reality*) o el contenido se superpone a un ambiente parcialmente real y parcialmente virtual (*Mixed Reality*). Existe una tercera posibilidad donde el contenido se superponga a un ambiente material real (*Augmented Reality*) que, sin embargo, se excluye de este estudio por no ser la conformación de dicho ambiente el objeto de la representación, reduciéndose a un problema técnico, de ejecución, y no uno teórico.

En *La geometria descrittiva: evoluzione di una teoria*, se comenta «*Ci si accorge, allora, che la rappresentazione matematica con le sue caratteristiche di continuità e accurato controllo metrico è affine al metodo di Monge, mentre la rappresentazione numerica, discontinua e approssimata, ma agile nella visualizzazione foto realistica, è affine alla prospe-*

ttiva» [Migliari 2012, p. 26], por lo tanto, cuando en la representación inmersiva el elemento comunicativo principal es el mismo ambiente virtual, se puede estudiar la percepción sensorial en base a las formas en el espacio (como extensión de la perspectiva clásica) o el modelo matemático para su definición (como extensión del sistema de Monge). De aquí, dos claros objetivos se desprenden: el primero, cómo representar formas básicas en un modelo inmersivo, y el segundo, la relación de la imagen percibida con su definición constructiva.

Si aplicamos el modelo inmersivo a la arquitectura, la comprensión de ambos conceptos resulta fundamental para entender la conformación del espacio. Un espacio que puede también ser definido con una extensión de los métodos tradicionales, encontrando, gracias a esta técnica ampliada, un camino más fluido para entender los objetos en relación al contexto y el contexto en relación al ambiente urbano.

Señalamos cuanto es menester reglamentar el proceso ante el crecimiento que este tipo de representación está teniendo. A tal efecto, basta mirar por ejemplo el aumento exponencial del uso de la fotografía panorámica y todas las aplicaciones de allí derivadas. Por otra parte, la construcción de un ambiente genérico competente a arquitectos e ingenieros, entre otras cosas, porque el espacio, su ideación, configuración y materialización, constituyen la materia prima con la que trabajan; y además porque, como se verá, el estado del arte muestra ya la existencia autónoma de esta representación, parcialmente carente hasta ahora de disciplina científica y siendo este hueco donde se inserta este estudio en el intento de empezar a colmarlo.

Cabe aclarar que la definición de “virtual” expresada en este trabajo no hace referencia de forma exclusiva al uso de instrumentos digitales. Así, por ejemplo cuando se habla de modelo virtual, se propone en los términos señalados por Vito Cardone en su *Modelli grafici dell'architettura e del territorio*, es decir «con l'aggettivo inteso come ciò che è latente, ma soprattutto come ciò che possiede una potenzialità; ossia – secondo la categoria aristotelica – come ciò che è fondamentalmente potenziale inteso» [Cardone 2015, p. 342]. Extendemos dicha definición a modelos resultantes del levantamiento (reconstrucción) o destinados al proyecto arquitectónico. Como veremos, esta apertura no nos vinculará a la herramienta utilizada sino a la coherencia comunicacional de la representación, es decir, al proceso de pensamiento para la construcción de la escena.

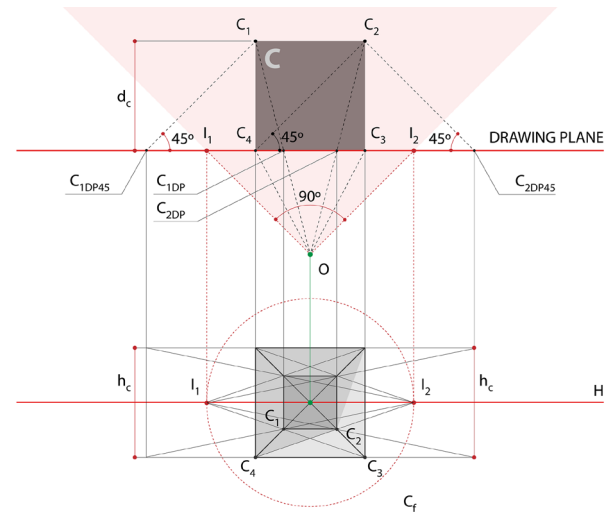


Fig. 1. Perspectiva cónica, utilización de las diagonales para encontrar  $C_1$  y  $C_2$  (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

## El contexto

Los primeros albores de los actuales modelos inmersivos están constituidos por enteros ambientes virtuales que podríamos referir como “instalaciones inmersivas”; algunos ejemplos serían las *trompe l'œil*, la Capilla Sixtina, los escenarios de Andrea Pozzo etc.

En este caso, el contenedor es un espacio físico real y el contenido se elabora en base a un específico punto de observación. Siguiendo dicho punto, uno puede sumergirse, ser partícipe de la épica escena y estudiar el contenido gráfico-simbólico.

A partir de allí, los primeros intentos sistemáticos de crear ambientes virtuales fueron entre el siglo XVIII y XIX, donde las escenas pintadas a 360° en la rotonda panorámica de Robert Baker y las proyecciones múltiples del Cinerama [Rossi 2018, pp. 1389, 1390; Cabezos Bernal, Cisneros Vivó, Soler Sanz, p. 5] llevaron al público el acceso a lugares remotos, como las excavaciones en Pompeya; o a momentos épicos, como la exitosa escena de la Batalla de Waterloo.

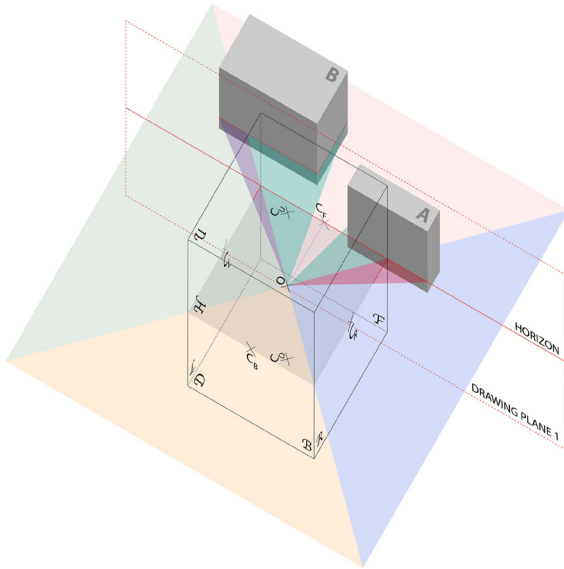


Fig. 2. Escena genérica a ser representada en proyección cúbica (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

Hasta aquí, todo un aparatoso mecanismo se pone a disposición de la ilusión del espectador, intentando incluso “desorientar” a los espectadores haciéndolos pasar por instalaciones pensadas a tal fin: «*The building was designed to disorient people as they passed from the actual to the virtual world. Spectators had to walk down a long dark hallway and climb shadowy stairs before emerging onto the viewing platform*» [Shannon 2016].

El eslabón más cercano lo constituye finalmente la fotografía panorámica que evolucionó el dibujo panorámico. Con la explosión tecnológica que pone al alcance de la mano de billones de personas el teléfono celular y con él una máquina fotográfica, hoy en día podemos encontrarnos con panoramas inmersivos enteros o parciales con el simple acceso a internet.

La tecnología de *Google Street View* ha acercado la navegación digital a incontables lugares, por lo que la exploración arquitectónica y urbana se han transformado en un hábito cotidiano.

Hoy por hoy, los modelos inmersivos cumplen la principal función de difundir información. A su vez, existe un gran crecimiento del uso técnico de los ambientes virtuales, por ejemplo, para el proyecto arquitectónico y urbano o, como en el caso de la fotografía panorámica, como base para una modelación fotogramétrica [Barazzetti, Previtali, Roncoroni 2017].

## Anamorfosis

A la base de todas estas manifestaciones y como denominador común, encontramos la representación en clave de anamorfosis. Una anamorfosis es, de hecho, un método para reducir dimensiones en el sentido más literal de la palabra. Por ejemplo, un objeto real que existe en tres dimensiones se reduce en una dimensión cuando se lo dibuja en el plano, siendo ambos equivalentes en significado, pero no en materia.

Para apreciar la “forma natural” de una anamorfosis, existe la condición fundamental de que el observador se posicione en el punto exacto donde convergen los rayos proyectados. Posicionado el observador fuera de dicho punto, sucede que los mismos elementos se verán deformados. Efectivamente, Andrea Pozzo marcó los puntos de observación en San Ignacio de Loyola con dos discos dorados para la mejor apreciación de la escena en la nave principal y la falsa cúpula. Sin embargo, esto no implica que la representación observada desde un punto diferente esté deformada (cómo sinónimo de errada, mal realizada), sino que es correcta para un único punto espacial y, como veremos más adelante, para un específico campo de observación, tal como demostrado por el matemático António Araújo en *Anamorphosis: Optical games with Perspective’s Playful Parent* [Araújo 2017, pp. 73, 74].

Para producir una anamorfosis, en cambio, es además necesario tener el conocimiento de la superficie donde se proyectarán los rayos, ya que de ella dependerán la disposición de la información.

Si analizamos en detalle, la perspectiva clásica misma es un caso especial de anamorfosis. Efectivamente, la superficie de trabajo es conocida (un plano) y el grupo de rayos proyectados se reduce a aquellos contenidos en un cono de visión de 90°, dando como resultado una representación que podríamos decir acorde a la del ser humano.

«*Perspective had been developed as a method representing space and spatial objects according our seeing*» [Leopold 2016, p. 409]. Así, se ha visto popularizada por su carácter de común acuerdo sea para su lectura como para su elaboración.

En el caso de los modelos inmersivos ya no se trata de un plano de dibujo, sino de un contenedor espacial extendido que rodea al observador y se cierra en torno a él conformando, por ejemplo, un sólido regular de rotación. Este contenedor define una proyección durante el proceso de *flattening* (o aplanamiento). En efecto, el resultado de la codificación del desarrollo de las proyecciones de diferentes tipos de líneas en una superficie, define un tipo particular de proyección y se relaciona con las características intrínsecas de dicha superficie. Por ejemplo, la proyección equirectangular resulta ser el mapa abierto de las líneas proyectadas en una esfera, mientras la proyección cúbica (o *cupemap*), de las líneas proyectadas en un cubo.

### Modelo inmersivo digital e híbrido

Los instrumentos utilizados para componer una representación cualquiera han variado desde aquellos analógicos hasta los digitales, conformando hoy en día una gama de posibilidades expresivas que se ajustan a la necesidad técnico-comunicativa definida por el objeto de la representación misma. La tecnología digital que vino en un primer momento a imitar las técnicas analógicas, ha pasado gradualmente a conformar un propio lenguaje de representación. Los modelos inmersivos aquí referidos son en su versión final, digitales, o sea montados y visualizados con tecnología digital: el ambiente virtual, la adición de contenidos y la visualización final, se realizan con soporte informático.

El ejemplo más conocido de modelo inmersivo digital es la visita virtual (o *virtual tour*), donde los ambientes utilizados como base pueden ser desde fotografías panorámicas a 360° hasta ambientes enteramente creados de forma digital con programas de modelación.

Superando el ya herrumbado discurso (pero que tantas enseñanzas nos ha dejado) sobre la primacía de las técnicas digitales o de las analógicas, nos adentramos a estudiar la posibilidad de hibridar los modelos digitales para recuperar las innumerables ventajas que ambas técnicas ofrecen.

Un modelo híbrido inmersivo por su parte será entonces generado con técnicas analógicas y visualizado con técnicas digitales. Cuenta con un ambiente virtual que puede ser realizado mediante el uso de la proyección equirectangular, o la cúbica, proyecciones que permiten sintetizar el entero panorama alrededor del observador. En este mapa de información estarán representados por lo menos seis puntos de fuga.

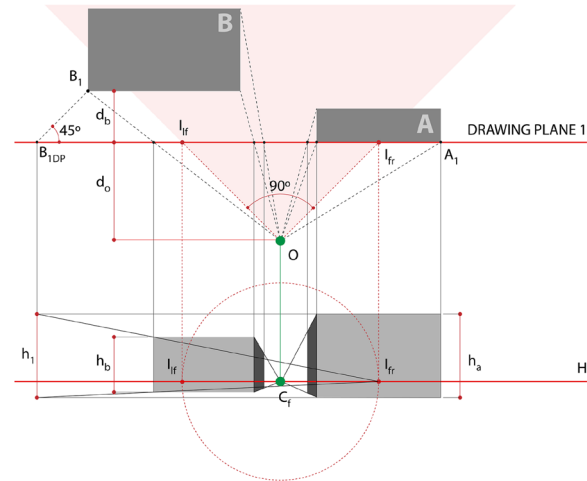


Fig. 3. Construcción de la perspectiva cónica tradicional de la escena (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

### El estado del arte

A la base de los modelos inmersivos digitales nos encontramos con dos superficies que han sido mayormente utilizadas para la creación de ambientes virtuales: la esfera y el cubo. En grandes términos, se verifica que estos desarrollos se basan en dos métodos principales: el intuitivo, a través de la aplicación de grillas preformateadas que, siguiéndolas, el usuario puede “crear” perspectivas inmersivas aunque no necesariamente siendo consciente de lo que está desarrollando; y el método geométrico-analítico-matemático, que busca el desarrollo del conocimiento de base de la proyección. Este trabajo se insertará en el segundo método.

Para las proyecciones esféricas usando métodos intuitivos, contamos con una creciente cantidad de ejemplos de arquitectos y artistas que hacen uso de una grilla como base, tal es el caso de Arno Hartmann (Alemania), Sandnes Frode Eika (Noruega) y Bruno Sucurado (Argentina), entre otros. Aquí, la grilla ha sido utilizada sea para producir ambientes virtuales imaginarios (proyecto) o para reproducir ambientes reales (levan-

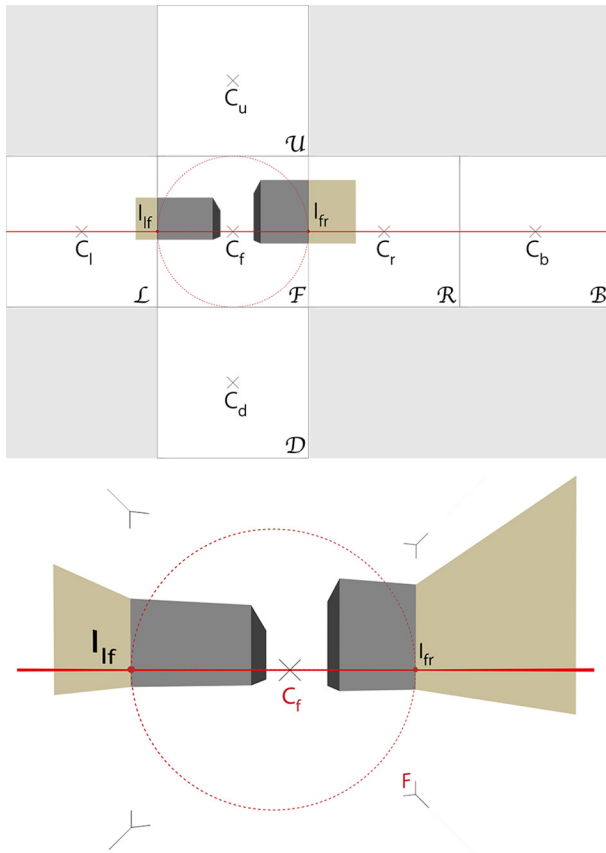


Fig. 4. La perspectiva trasladada al cubemap y su visualización inmersiva (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

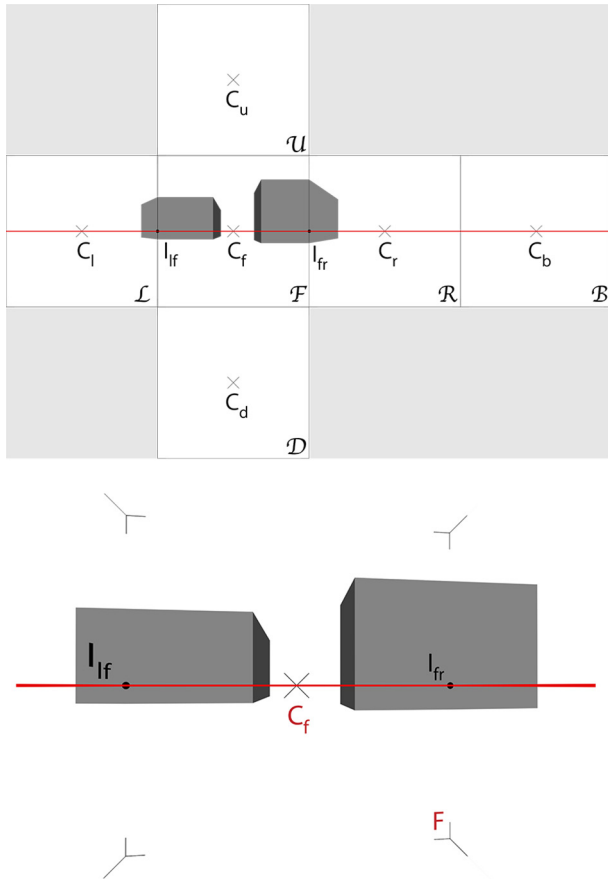
tamiento). Otro uso que se les ha dado a estos *template*, más o menos precisos, ha sido como base para software de dibujo a 360°, tal es el caso de *Sketch 360* [1].

Para las proyecciones esféricas usando métodos geométrico-matemáticos, contamos con trabajos como *Drawing Equirectangular VR Panoramas with Ruler, Compass, and Protractor* y *Constructing a total spherical perspective* [Araújo 2018a; 2018b], *La prospettiva e la costruzione dello spazio figurativo* [Masetti 2014], evoluciones o complementos de los trabajos previos *L'œil, au centre de la sphere visuelle* [Michel 2013] y de *La perspective curviligne: de l'espace visuel à l'image construite* [Barre, Flocon, Bouligand 1967]. Todos estos estudios tienen por objeto el desarrollo analítico de la perspectiva en proyección esférica, con campos visuales parciales hasta los enteros 360x360°, desglosando la resolución en elementos parciales (líneas, planos) para luego dar un método que comprenda una solución integral. El resultado es un exhaustivo material de base en términos científicos. En particular, se destaca la intención de desarrollar estas complejas representaciones a partir del uso de instrumentos simples como la regla y el compás o refiriendo, como sostiene Migliari, «la geometria classica che impiega esclusivamente la retta e il cerchio» [Migliari 2012, p. 27].

Para la proyección cúbica usando métodos intuitivos, contamos con numerosas entradas de artículos en la web en forma de tutoriales, como por ejemplo *4 Steps to create a 360 VR illustration/Painting in Photoshop* de la oficina Studio Behind 90 [2] o *Draw Sketches for Virtual Reality Like a Pro* [Kurbatov 2017]. Estas publicaciones intentan resolver el *how to* sin hablar de la proyección misma y sus características. En el mejor de los casos lo solucionan convirtiendo la grilla equirectangular en una cúbica y luego regresando nuevamente a la equirectangular. Por otra parte, con procedimientos más automatizados, fue creado el plugin *Oniride* [3] para *Photoshop 2015.5* y actualmente, como descrito en el *How to creating 360 Virtual Reality (VR) Illustration with Adobe Photoshop CC* del antes mencionado Studio Behind 90, el mismo *Photoshop* incluye ya por defecto una posibilidad de alternar entre equirectangular y una visión reducida convertida a visión plana (*flattening*). Por último, citamos el proyecto *Sketching in Space* [Habakuk, Zöllner, Müller 2010] que utiliza una instalación interactiva basada en un cubo y herramientas inalámbricas diseñadas *ad hoc*.

Para la proyección cúbica usando métodos geométrico-matemáticos, cuanto indagado hasta el momento pone a disposición soluciones parciales de base  *raster*, con un hueco de avance disciplinar para el desarrollo vectorial-paramétrico.





máticos no llega a completar una solución holística. Los métodos empíricos por su parte, logran cubrir la ejecución pero dejando fuera de todo foco el rigor científico, pero que sin embargo testimonia el creciente interés por una técnica que pueda unificar el dibujo analógico con la tecnología VR.

El estado del arte actual nos muestra el triunfo del método de prueba y error para obtener un resultado aproximado y solamente expositivo, lo que es cuanto menos dudoso de carácter científico. Cabe en efecto recordar que uno de los objetivos de las históricas instalaciones era aumentar la afectación emocional de los usuarios (objetivo que aparentemente no ha cambiado). En el *Virtual Art* de hecho nos encontramos con «Immersion can be an intellectually stimulating process; however [...] in most cases immersion is [...] a passage from one mental state to another. It is characterized by diminishing critical distance to what is shown and increasing emotional involvement in what is happening» [Grau 2003, p. 13]. Un peligro es, por lo tanto, que la representación no se normalice a tiempo y que la inminente propagación de su uso derive en el concepto de caja negra (*black box*) [Araújo 2018a, p. 16] donde quienes hacen uso del sistema de representación no poseen realmente los conocimientos de lo que están realizando, sino que resultan meros virtuosos en el uso del software.

### Geometría descriptiva de base en proyección cúbica

Se presenta a continuación un ejemplo genérico de representación con el uso de la proyección cúbica haciendo uso de las bondades de la geometría descriptiva. El objetivo es encontrar las proyecciones correctas para una representación que resultará, como veremos, fragmentada, ya que excede el normal cono de visión de  $90^\circ$  que contiene cada cara del cubo.

Recordemos para empezar, el ejemplo genérico de una perspectiva cónica con un punto de fuga central (fig. 1). El método aplicado nos sugiere que, definidos los rayos entre  $C_1$  a  $C_4$  y el observador O, en sus intersecciones con el plano de dibujo (*drawing plane* o DP), podemos encontrar la respectiva posición de cada punto en la perspectiva cónica desarrollada en la parte inferior de la figura.

$C_4$  y  $C_3$  resultaran, una vez posicionados respecto a H (parte inferior del dibujo), en dimensión real. Para encontrar  $C_1$  y  $C_2$  en cambio, partimos de  $C_{1DP}$  y  $C_{2DP}$  resultado

Fig. 7. Construcción final trasladada al cubemap y su visualización inmersiva (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

de las intersecciones de los rayos  $C_1O$  y  $C_2O$  con  $DP$ . Fugando  $C_4$  y  $C_3$  hacia el punto central encontrando  $C_1$  y  $C_2$  su intersección con la continuación de  $C_{1DP}$  y  $C_{2DP}$ . Ahora bien, existe también otra posibilidad de encontrar la profundidad de elementos que no están en contacto con el plano de dibujo tales como  $C_1$  y  $C_2$ . Tomando, por ejemplo,  $C_2$  y trasladándolo a  $45^\circ$  hasta el plano de dibujo. Dichas diagonales nos dan  $C_{2DP45}$  o  $C_4'$ . Desde allí, en continuación hacia el plano  $H$ , es posible posicionar la altura real del objeto  $h_c$ . Finalmente, se fuga hacia  $I_1$  si se utiliza  $C_{2DP45}$ , o hacia  $I_2$  si se utiliza  $C_4'$  para encontrar  $C_2$  en la intersección con  $C_{2DP}$ . La elección de la diagonal a  $45^\circ$  no es condicionante mientras que el punto al que se fuga sea el indicado como puede verificarse gráficamente también para  $C_1$ . Supóngase ahora una escena genérica compuesta de dos edificios A y B según figura 2 a ser representada en la proyección cúbica. Siguiendo la figura 3, iniciaremos con una clásica perspectiva cónica que fuga a un único punto central que llamaremos  $C_f$ . Diremos que ambos edificios tienen la misma altura  $h_1$ . La fachada del edificio A es paralela y coincide con  $DP1$ . El edificio B también es paralelo a  $DP1$ , pero se ubica a una cierta distancia  $d_0$ . Definimos un observador genérico  $O$ , posicionado a una distancia  $d_0$  de  $DP1$  y perpendicular a él.

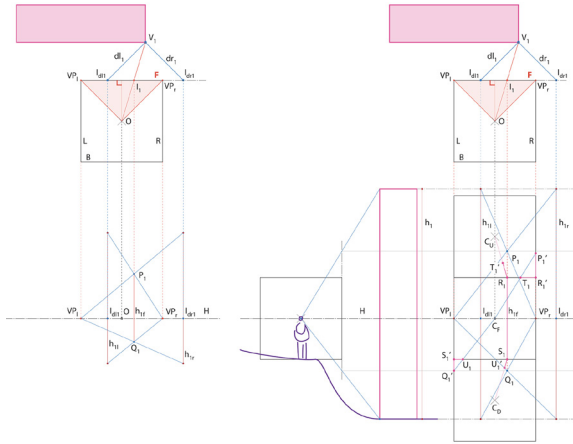


Fig. 8. Layout general del algoritmo de resolución completo para líneas horizontales y verticales paralelas a las caras del cubo (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

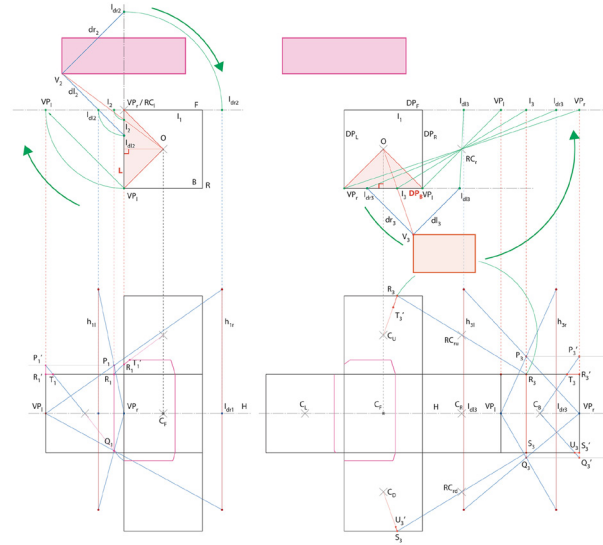


Fig. 9. Aplicación del algoritmo a un ejercicio práctico. Resolución de una línea contenida en un plano (izquierda) y a una línea dividida hasta en tres fragmentos (derecha) (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

De las proyecciones de los vértices de los edificios A y B obtenemos las diferentes intersecciones con  $DP1$ . Extendiendo dichas proyecciones a su vez a la parte inferior hasta intersectar la línea de horizonte  $H$ , podremos comenzar a conformar la representación en perspectiva de la escena. En efecto, de la intersección de  $A_1$  en  $H$ , podemos ubicar  $h_1$  de acuerdo a su relación con la altura en la que se posiciona el observador. Siendo que A coincide con  $DP1$ , resulta que  $h_1 = h_a$ . Para encontrar  $h_0$  en cambio, seguimos el camino apenas presentado proyectando  $B_1$  a  $45^\circ$  hacia  $DP1$ . Como resultado de esta construcción, obtenemos nuestra escena completa con zonas que exceden el campo visual de los  $90^\circ$ . Si trasladamos esta construcción al mapa del cubo abierto (o *cubemap*) tomando cada cara con un cono de visión igual a  $90^\circ$  como en figura 4, cuando procedemos a su visualización inmersiva veremos que las zonas que se encuentran fuera de dicho cono se visualizan de forma errónea.

Ahora bien, si el observador girase hacia su derecha, es posible reconstruir solamente el edificio A que se encuentra dentro



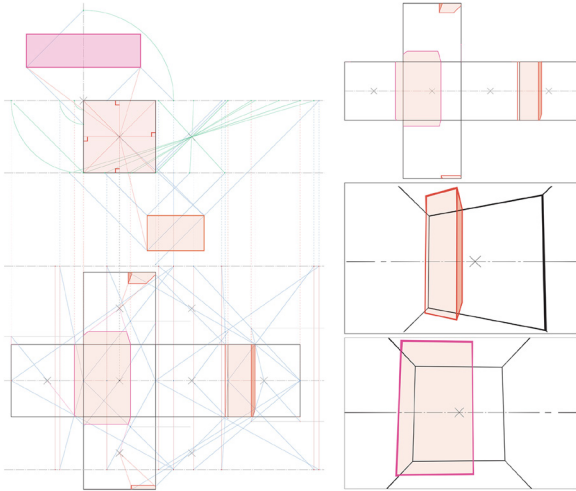


Fig. 10. Aplicación del algoritmo generado a vértices en planos de dibujo diferentes del frontal: L, R (izquierda) y B (derecha) (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

de su campo visual (fig. 5). En este caso, el plano de dibujo es DP2, perpendicular a DP1. Llamaremos al punto de fuga Cr. Puede apreciarse en figura 5 que la parte por delante de DP2 se resuelve de la misma forma que al inicio de esta sección, es decir trasladando en este caso A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub> en un ángulo a 45° hacia DP2. Encontraremos la altura real del edificio en correspondencia con el punto I<sub>fr</sub>, intersección de A con DP2. Fugando desde Cr se obtienen las alturas proyectadas en correspondencia con A<sub>2DP</sub> y A<sub>3DP</sub>. A continuación, como puede verse en figura 6, si sustituimos el contenido reconstruido dentro de nuestro campo visual centrado en Cr y lo posicionamos en la cara derecha R del cubemap, la navegación inmersiva da como resultado una visualización correcta.

Se verifica entonces que el uso de un cuadro de dibujo ortogonal al primer escenario planteado, da como resultado la anamorfosis correcta.

Completaremos a continuación la parte restante regresando al dibujo inicial.

Nos proponemos plantear un método directo, que nos permita encontrar las intersecciones sin la necesidad engorrosa de rotar cada 90° o rotando la menor cantidad

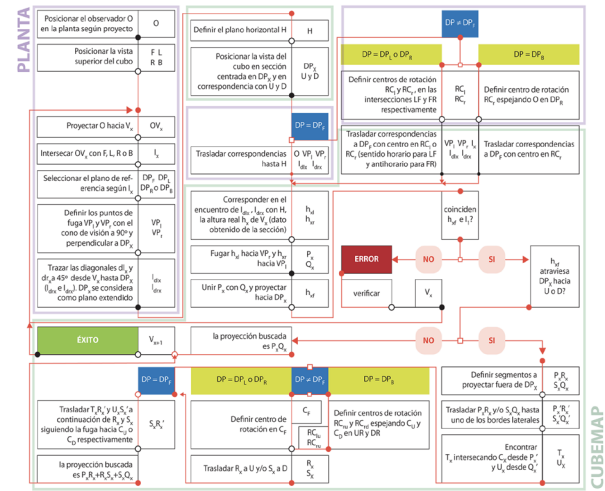


Fig. 11. Resolución completa ejercicio práctico de aplicando el algoritmo generado (izquierda). Cubemap final y visualización VR (derecha) (elaboración gráfica de Lucas Fabián Olivero).

de veces posibles hasta lograr el entero 360. Para ello entonces nos valemos del estudio de las proyecciones en los cuatro planos de dibujo DP1 a DP4 situados entorno al observador como indicado en figura 7.

Estableciendo nuevos planos de dibujo aparecen también nuevas intersecciones y por lo tanto nuevas proyecciones. Utilizaremos A<sub>1</sub> para verificar con lo ya elaborado.

Podemos ver que en el rayo O A<sub>1</sub> aparece la intersección A<sub>1</sub>' en DP2. Este punto se encuentra por delante de nuestro DP1, por lo que, para encontrar su correspondencia hemos de trasladarlo a 45° hacia DP1, lo que nos da A<sub>1</sub>'<sub>DP</sub>. En la perspectiva, A<sub>1</sub>'<sub>DP</sub> nos da efectivamente la intersección construida en los pasos anteriores. Iterando el proceso para B<sub>1</sub> encontraremos el final efectivo del edificio B. Insertando el contenido final en el cubemap y usando la modalidad inmersiva, puede verificarse la correcta construcción de la anamorfosis (fig. 8).

Una vez elaborado el dibujo completo, habrá que agregar de forma digital los metadatos y realizar ciertos pasajes obligados para montar el modelo digital. Una primera línea guía de trabajo al respecto puede encontrarse en "CubeME", a variation for an immaterial rebuilding [Barba, Rossi, Olivero 2018].

## El algoritmo completo

«A partir del estudio geométrico y algebraico de la homología entre figuras de tercera categoría podemos proporcionar a la Informática una serie de algoritmos que nos permitan explotar las posibilidades de esta transformación geométrica» [Fernández Rodríguez 2002, p. 1]. A modo de cierre se presenta un primer algoritmo completo para dibujar en las seis caras del cubo (fig. 8). El flujo general del trabajo se define a través de la utilización de las ya presentadas diagonales a 45°, en cuyo encuentro en perspectiva se recompone la altura buscada. A partir de esa altura se hace una doble verificación utilizando el rayo  $OP_x$  y su correspondencia (fig. 9). Se resuelve también como representar alturas fragmentadas, es decir, contenidas en más de una cara del cubo (figs. 9, 10). El todo se aplica a una representación de dos edificios genéricos con la misma altura ubicados de frente y a espaldas del observador (fig. 10) en cuya visualización inmersiva final se verifica la correcta anamorfosis (fig. 11).

Queda pendiente la resolución de líneas que no tengan como puntos de fuga los centros de las caras (o bien, líneas que no sean horizontales o verticales paralelas a las caras del cubo). Se pre-anuncia asimismo que dicha resolución total será objeto de próximas publicaciones.

## Conclusiones

La proyección cúbica se presenta como una representación compleja que se nutre de los conceptos de la perspectiva clásica como punto de partida. Esta nueva forma de adaptación potencia la gráfica inmersiva. Quedan aún por desarrollar una clasificación de líneas, de los desarrollos resultantes de la intersección de planos pasantes por el cubo, como así también un método para ubicar puntos del espacio a partir del levantamiento *in situ*.

El aspecto innovador de este tipo de representación se ve sintetizado paso a paso en: primero, el siste-

ma busca fruir, definir y organizar de forma técnica cierta potencialidad hasta el momento exclusiva de lo digital, y conformar un modelo híbrido inmersivo geoméricamente definido. En efecto, gracias al uso científico de la tecnología la utilidad de las instalaciones inmersivas se ha extendido y complejizado, con la diferencia fundamental (respecto al panorama histórico) que el usuario puede interactuar y agregar contenido en tiempo real.

Estando a la base de dichos modelos el dibujo analógico, el sistema constituye un instrumento de entendimiento del espacio, de manipulación y de modelación. Vemos efectivamente, que el *upgrade* a los métodos tradicionales da un grado de aplicación extendida ya que el soporte no se limita al simple campo visual humano sino a la entera visión circundante, o sea: la relación del objeto y su inserción espacial, el edificio y su contextualización urbana; dando además (y a un mismo tiempo) una base para la carga de contenidos con posibilidad de visualización en escala real o superpuesta a la realidad material (gracias a los lentes VR).

Tercero, a pesar de ser mayor el campo visual abarcado en la representación, gracias al uso de la anamorfosis y lo digital, no se necesita un aparatoso soporte. En efecto, la tecnología viene a completar el acceso universal y de bolsillo por medio de los pequeños dispositivos móviles e internet.

Finalmente, habiendo el todo encontrado una correlación directa con la definición técnica de la anamorfosis, la perspectiva y la geometría descriptiva, como así también con el campo matemático e informático; contamos con un paquete de recursos más que suficientes para seguir el camino de un posible e innovativo sistema de representación.

## Agradecimientos

Con dedicación y profundo sentir, a Vito Cardone.

## Notas

[1] Cfr. <<https://www.microsoft.com/en-us/p/sketch-360/9p-89s2qlh1lt>> (consultado el 17 de febrero de 2018).

[2] Cfr. <<https://www.studiobehind90.com>> (consultado el 17

de febrero de 2018).

[3] Cfr. <<https://www.oniride.com/360art>> (consultado el 17 de noviembre de 2017).

## Autores

Lucas Fabián Olivero, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", lucasfabian.olivero@unicampania.it  
 Adriana Rossi, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", adriana.rossi@unicampania.it  
 Salvatore Barba, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, sbarba@unisa.it

## Lista de referencias

- Araújo, A. (2017). Anamorphosis: optical games with perspective's playful parent. En J.N. Silva (ed.) *Recreational Mathematics Colloquium V. Proceedings of the Recreational Mathematics Colloquium V - Gathering for Gardner Europe*, vol. 5, pp. 71-86. Lisboa, 28-31 January 2017. Lisboa: Associação Ludus. <<https://repositorioaberto.uab.pt/handle/10400.2/6647>> (consultado el 7 de marzo de 2018).
- Araújo, A. (2018a). Drawing Equirectangular VR Panoramas with Ruler, Compass, and Protractor. En *Journal of Science and Technology of the Arts*, vol. 10, n. 1, pp. 15-27. <<https://doi.org/10.7559/citarj.v10i1.471>> (consultado el 16 de mayo de 2018).
- Araújo, A. (2018b). Ruler, compass, and nail: constructing a total spherical perspective. En *Journal of Mathematics and the Arts*, vol. 12, nos. 2-3, pp. 144-169. <<https://doi.org/10.1080/17513472.2018.1469378>> (consultado el 3 de julio de 2018).
- Barazzetti, L., Previtali, M., Roncoroni, F. (2017). 3D modelling with the Samsung Gear 360. En *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W3, pp. 85-90. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-85-2017>> (consultado el 15 de febrero de 2019).
- Barba, S., Rossi, A., Olivero, L.F., (2018). "CubeME", a variation for an immaterial rebuilding. En R. Salerno (a cura di). *Rappresentazione/Materiale/Immateriale. Drawing as (in)tangible representation*. Atti del XV Congresso dell'Unione Italiana per il Disegno - 40° Convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione. Milano, 13-15 settembre 2012, pp. 31-36. Rome: Gangemi Editore International.
- Barre, A., Flocon, A., Bouligand, G. (1967). *La Perspective curviligne: de l'espace visuel à l'image construite*. Paris: Flammarion.
- Bourke, P. (July 2016). Converting to/from cubemaps. <<http://paulbourke.net/miscellaneous/cubemaps>> (consultado el 21 de mayo de 2018).
- Cabezos Bernal, P., Cisneros Vivó, J., Soler Sanz, F. (2014). Anamorfosis, su historia y evolución. En *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, n. 23, pp. 148-161. <<https://doi.org/10.4995/ega.2014.2184>> (consultado el 29 de enero de 2019).
- Cardone, V. (2015). *Modelli grafici dell'architettura e del territorio*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.
- Fernández Rodríguez, M. (2002). Homología entre figuras de tercera categoría. En *Geometría y Cartografía: las más viejas ciencias, las más nuevas tecnologías*. Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica de INGEGRAF. Santander, 5-7 junio 2002, s.e.
- Grau, O. (2003). *Virtual Art: From Illusion to Immersion*. Cambridge, Mass.-London: The MIT Press.
- Greene, N. (1986). Environment Mapping and Other Applications of World Projections. En *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 6, n.11, pp. 21-29. <<https://doi.org/10.1109/MCG.1986.276658>> (consultado el 21 de enero de 2019).
- Habakuk, I. J., Zöllner, C., Müller, A. (2010). Sketching in space. <[http://theconstitute.org/sketching\\_in\\_space](http://theconstitute.org/sketching_in_space)> (consultado el 25 de abril de 2018).
- Hernández Falagán, D., Signes Orovay, F., Berdié Soriano, A. (3 March 2015). Sistema cónico-diédrico, pp. 10-12. <<https://sistemasderepresentacio.files.wordpress.com/2015/03/03.pdf>> (consultado el 10 de marzo de 2019).
- Kurbatov, V. (18 January 2017). Draw Sketches for Virtual Reality Like a Pro. <<https://medium.com/inborn-experience/vr-sketches-56599f99b357>> (consultado el 21 de mayo de 2018).
- Leopold, C. (2016). Points of view and their interrelations with space and image. En V. Viana, et al. (eds.). *Geometrias & graphica 2015 proceedings*. Proceeding of III Conferência Internacional de APROGED - Associação dos Professores de Desenho e Geometria Descritiva – XI International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design. Lisboa, 1-3 Outubro 2015, vol 1, pp. 365-373. Porto: APROGED.
- Lolas, C. (2014). Inmersividad, orígenes y nuevos medios. En *Escáner Cultural. Revista Virtual de Arte Contemporáneo y Nuevas Tendencias*. <<http://escaner.cl/revista/node/7473>> (consultado el 3 de junio de 2019).
- Masetti, M. (2014). *La prospettiva e la costruzione dello spazio figurativo*. Tricase (LE): Youcanprint.
- Michel, G. (2013). L'oeil, au centre de la sphere visuelle. En *Boletim da Aproped*, n. 30, pp. 3-14.
- Migliari, R. (2012). La Geometria descrittiva: evoluzione di una



teoria. En M. Filippa, L. Carlevaris (a cura di). *Elogio della teoria. Identità delle discipline de disegno e del rilievo*. Atti del IX Congresso dell'Unione Italiana per il Disegno - 34° Convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione. Roma, 13-15 dicembre 2012, pp. 23-29. Roma: Gangemi Editore.

Rossi, D. (2018). Brand new: panorama. L'immagine continua per il disegno della realtà virtuale. En R. Salerno (a cura di). *Rappresentazione/Materiale/Immateriale. Drawing as (in) tangible representation*. Atti del XV Congresso dell'Unione Italiana per il Disegno - 40° Convegno Internazionale dei Docenti della

*Rappresentazione*. Milano, 13-15 settembre 2012, pp. 1389-1396. Roma, Italy: Gangemi Editore International.

Shannon, S. (2016). Panoramas: 19th-Century Virtual Reality. <<https://shannonselin.com/2016/11/panoramas-19th-century>> (consultado el 13 de febrero de 2019).

Wong, T., Wan, L., Leung, C. (2007). Isocube: Exploiting the Cubemap Hardware. En *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, vol. 13, n.4, pp. 720-731. <<https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.1020>> (consultado el 17 de febrero de 2019).