



# LA REALIDAD VIRTUAL COMO MEDIO DE COMUNICACIÓN DE ARQUITECTURA

Carlos Terry Capitán

Tutor: Federico Iborra Bernad

Curso 2018 - 2019

Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Grado en fundamentos de arquitectura



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# LA REALIDAD VIRTUAL COMO MEDIO DE COMUNICACIÓN DE ARQUITECTURA

Carlos Terry Capitán

Tutor: Federico Iborra Bernad



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA

Curso 2018 - 2019  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Grado en fundamentos de arquitectura

## - ABSTRACT-

If you ask a random person about a known artist, he is sure to be able to quickly mention several musicians, painters and even sculptors; but it is unlikely that an architect appears on that list. What is this phenomenon due to?

Traditionally, architects have encountered great difficulties in expressing their ideas. Words help but they are not enough if they are not accompanied by graphic representations. The models are a very useful tool to check the general composition of the building. However, it is very difficult to understand the space they are going to contain based just on the model.

At the time it is concluded that the space it contains is what differentiates architecture from the rest of the arts, it seems clear that all resources and efforts should be dedicated to not only enhancing that characteristic, as has been done throughout history, but also to be able to communicate this idea before lifting those container walls.

Over the years, techniques have been used that were improving the exposure of this architectural spatiality, although without reaching a completely satisfactory result. It is here that virtual reality comes into play today, it is not a good tool for this purpose, it is THE tool for this purpose.

Nowadays, virtual reality continues to mature and polish. But I have no doubt that in a few years its use will be extended and standardized globally. And I hope that the reader shares this idea at the end of the read of this work.

## - RESUMEN -

Si preguntas a una persona al azar por algún artista conocido seguro que es capaz de mencionar rápidamente a varios músicos, pintores e incluso escultores; pero es improbable que en esa lista aparezca un arquitecto. ¿A qué es debido este fenómeno?

Tradicionalmente los arquitectos han encontrado grandes dificultades a la hora de expresar sus ideas. Las palabras ayudan pero resultan del todo insuficientes sino son acompañadas por las representaciones gráficas. Las maquetas son una herramienta muy útil donde comprobar la composición general del edificio. Sin embargo es muy difícil comprender el espacio que van a contener apoyandose únicamente en la maqueta.

En el momento que se concluye que el espacio que contiene es lo que diferencia a la arquitectura del resto de artes, parece claro que todos los recursos y esfuerzos deberían dedicarse no sólo a potenciar esa característica, como se ha hecho a lo largo de la historia, sino también a ser capaces de comunicar dicha idea antes de levantarse esos muros contenedores.

Con el paso de los años se han usado técnicas que iban mejorando la exposición de esta espacialidad arquitectónica, aunque sin llegar a un resultado totalmente satisfactorio. Es aquí donde la realidad virtual entra en escena en la actualidad, no se trata de una buena herramienta para este fin, se trata de LA herramienta para este fin.

A día de hoy, la realidad virtual sigue madurando y puliéndose. Pero no tengo ninguna duda que en pocos años su uso será extendido y normalizado de manera global. Y confío en que el lector comparta esta idea al finalizar la lectura de este trabajo.



## - ÍNDICE -

### Introducción

- Objeto ..... 10
- Metodología ..... 11

### Trayectoria y evolución

- Representación de la arquitectura ..... 14
- Evolución del espacio ..... 16
- Evolución de la representación arquitectónica ..... 32

### Entornos de realidad virtual

- Jugar con la percepción ..... 42
- Evolución histórica ..... 44
- Aplicaciones en la actualidad ..... 47

Conclusiones ..... 62

Bibliografía ..... 63





- INTRODUCCIÓN -

## - OBJETO -

El fin de esta investigación no es otro que el analizar las posibilidades de la realidad virtual como medio de representación de la arquitectura y el espacio. Todo esto tiene como objetivo presentar algunas aplicaciones existentes en la actualidad y además proponer otras nuevas que podrían aprovechar el potencial de esta herramienta enfocándolo desde puntos de vista pocos explotados hasta la fecha.

Para conseguirlo se ha realizado en primer lugar un trabajo de investigación para conseguir una definición clara de la arquitectura como "contenedor de espacios". Una vez definida esta espacialidad como su característica más genuina se hacen unos recorridos a lo largo de la historia para comprobar como ha evolucionado tanto la concepción del espacio como sus maneras de representarlo a lo largo de la historia.

Por último se presentan varios contenidos e historia de la realidad virtual para concluir con una serie de ejemplos de aplicación más concretos que diferentes organizaciones le dan en nuestros días.

## - METODOLOGÍA -

En este trabajo se han usado diferentes técnicas, fuentes y vías para la recopilación de información. Sin embargo, todas ellas tienen dos puntos en común: El primero es que en ningún momento se han perdido de vista el objeto del trabajo y cada decisión metodológica se ha tomado siempre teniendo en cuenta la consecución de dichos objetivos.

El segundo punto en común es la búsqueda de un fuerte marco teórico previo, ya que en un trabajo de estas características es algo fundamental. De no ser así, este documento correría el riesgo de convertirse en una disertación o un artículo de opinión.

Para construir esa cimentación teórica se han realizado lecturas y búsquedas de bibliografía específica, en formato tanto físico como digital. Cabe señalar que, sobre todo en la última parte del trabajo, al tratarse de un tema relativamente "innovador", es llamativa la ausencia casi total de bibliografía en formato físico. Existen publicaciones de artículos y congresos que se han podido consultar gracias a plataformas como Academia, Researchgate y repositorios institucionales como el de la UPV; además de recurrir a páginas web especializadas para trabajar con la información más actualizada.

Ha sido importante, además de recopilar la información, saber interpretar y sintetizar los conceptos y partes que resultaban de interés dentro de la gran cantidad de bibliografía encontrada.

Para organizar todos estos procesos simultáneos se ha seguido en todo momento un guión, un índice. Pero en ningún caso se ha tratado de una estructura fija, ya que conforme el trabajo avanzaba el índice se iba adaptando a él hasta el resultado final.

Por último, una vez expuesta toda la información se procede a exponer las conclusiones y a proponer algunas hipótesis con las que se dará por finalizado este documento.



- TRAYECTORIA DE LA ARQUITECTURA Y SU REPRESENTACIÓN -

## - REPRESENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA -

En este capítulo se tratará tanto la evolución de los modos de representación de la arquitectura a lo largo de la historia, como de manera breve, la concepción de la arquitectura a través de las diferentes épocas.

Tiene sentido agrupar estos contenidos, ya que ambos están estrechamente relacionados. El dibujo de arquitectura tiene como objetivo describir la obra mediante representaciones gráficas de partes de la misma; queda claro así la relación existente entre ambos. Sin embargo, no se debe pasar por alto que la forma de representar arquitectura y sus medios también influyen en la propia arquitectura.

No es casualidad que la mayoría de arquitectos del Renacimiento tuvieran formación como pintores, así como tampoco es casualidad que su pobre conocimiento de las leyes perspectivas provocase la creación de arquitecturas de planta central y con espacialidad estática. De la misma forma, no es fruto del azar que obras como las de Zaha Hadid hayan irrumpido en los últimos 30 años.

Esto no habría sido posible sin las herramientas de dibujo existentes en la actualidad. Por tanto, queda de manifiesto la interconexión entre arquitectura y dibujo. Todavía se podría profundizar más en esta relación arquitectura-dibujo. Por ejemplo, Luigi Vagnetti en su libro *Disegno e architettura* diferencia dos relaciones en las que arquitectura y dibujo tienen jerarquías muy diferentes:

*“ La primera es [...] una relación estrictamente instrumental, por lo que el Dibujo es, y debe considerarse, únicamente un medio adecuado para describir en su conjunto y en sus detalles la obra arquitectónica. Y como hemos dicho, por mucho que el Dibujo sea en este aspecto un instrumento excepcionalmente eficaz y prácticamente insustituible, es sin embargo un medio de representación incompleto, puesto que es incapaz, por su naturaleza, de recrear esa mágica atmósfera de tensión espiritual que viene siempre determinada, en su entorno, por una auténtica Arquitectura.”* (Vagnetti 1958, p.15)

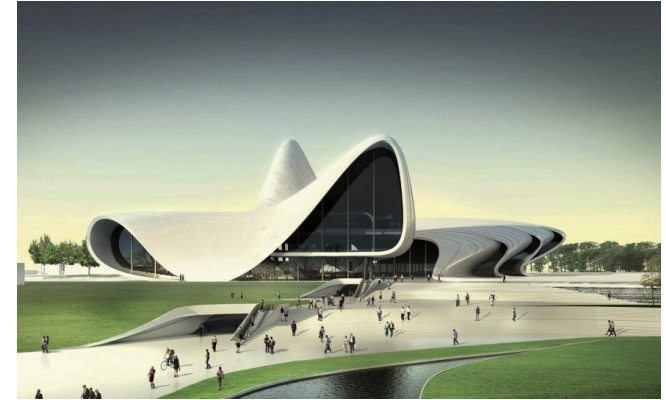


Figura 1.1 Render del proyecto Heydar Aliyev Centre, producido por Zaha Hadid Architects, Bakú.



Figura 1.2 Render del proyecto Messner Mountain Museum, producido por Zaha Hadid Architects, Bolzano.

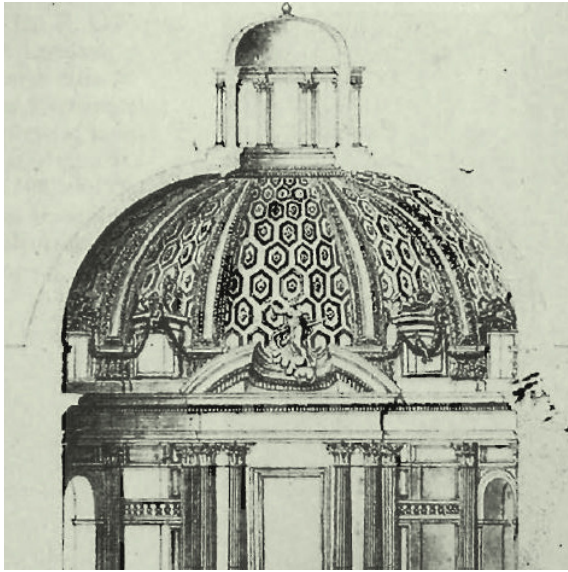


Figura 1.3 Dibujo de Gian Lorenzo Bernini, Sant' Andrea al Quirinale, Roma.

Mientras que define la segunda relación de este otro modo:

*“ La segunda es en cambio una relación de afinidad expresiva, por lo que el Dibujo es, y debe ser considerado, una actividad artística autónoma e independiente, cuya finalidad trasciende con mucho el hecho meramente instrumental para llegar a la creación de un mundo espiritual cerrado en sí mismo. Y en tal caso, el Dibujo y la Arquitectura no son más que dos de los muchos modos que tiene el hombre a su disposición para manifestar su estado de ánimo, como las demás Artes Figurativas, como la Poesía, como la Música, como el Teatro, el Cine o la Danza. Son, pues, el Dibujo y la Arquitectura miembros fraternos de una gran familia, la de las manifestaciones artísticas, y como tales tienen innumerables y muy evidentes características de afinidad.” (Vagnetti 1958, p.15)*

A pesar de que la innegable cualidad del dibujo como arte en sí mismo podría ocupar libros enteros, este trabajo se centrará en la primera relación descrita por Vagnetti; el análisis del dibujo como herramienta para representar arquitectura.

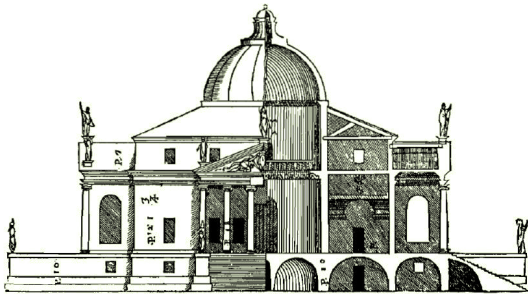


Figura 1.4 Dibujo de Andrea Palladio, alzado-sección Villa Capra, Vicenza.

## - EVOLUCIÓN DEL ESPACIO -

Como ya se ha adelantado, en este apartado se realizará un breve recorrido histórico para observar como ha cambiado la concepción del espacio en la arquitectura a lo largo de la historia. Pese a tratarse de un repaso rápido es de suma importancia, ya que la cualidad espacial de la arquitectura es el elemento que la diferencia de las demás artes y la hace única. No son pocos, los autores que a lo largo de los siglos han reflexionado acerca de esta cuestión, aunque parece que el primero en plasmar esta idea de forma más concreta fue August Smarchsow en su texto “La esencia de la creación arquitectónica”.

*“¿No debería también hoy la arquitectura, al retomar el aspecto interno de sus creaciones, encontrar una vez más su camino hacia los corazones de la población en general al convertirse en la creadora del espacio? Se dice que el espíritu construye el cuerpo a su propia imagen. La historia de la arquitectura es la historia del sentido del espacio y, por lo tanto, consciente o inconscientemente, es un componente básico en la historia de las formas de ver el mundo”*

Smarchsow, A. (1893, p.296)



## LA ESCALA HUMANA EN LOS GRIEGOS

Estudiando la arquitectura griega a través de sus templos, se observa que ofrecen de manera simultánea su mejor y peor cara.

Los templos griegos son concebidos siguiendo una comprensión de la escala humana exquisita, pero olvidándose completamente de esculpir y modelar el espacio interno.

Recordando brevemente los elementos más importantes de los templos griegos: se levantan sobre una plataforma, aparecen unas columnas perimetrales y apoyado en ellas, un arquivado continuo que delimita el volumen.

Atendiendo a la tradición griega los ritos se realizaban en el exterior, en torno al templo. La tipología de templo griego estaba concebida como un lugar inexpugnable donde moran los dioses y no como la casa de los fieles; es por esto, que los arquitectos-escultores pusieron todo su empeño en transformar las columnas en obras de arte, así como en decorar los muros y los frontones con soberbios bajo relieves. (Zevi 1948)

Esta lectura es la misma que sacaron los arquitectos del S.XIX cuando usaron como inspiración la antigua Grecia para sus obras neogrescistas como la columna de Nelson en Trafalgar Square o la fachada del British museum. Obras de un alto valor plástico y escultórico pero carentes de interés espacial.



Figura 1.5 Fotografía de la fachada frontal del Partenón de la Acrópolis, Atenas.



Figura 1.6 - Fotografía de la entrada del British Museum, Londres.

## EL ESPACIO ESTÁTICO EN LA ANTIGUA ROMA

Durante años se ha extendido la opinión de que el Imperio Romano se apropiaba de todos los elementos culturales de las civilizaciones a las que fagocitaba bajo puño de hierro. Si bien esto es cierto, no hay que desposeer de todo mérito a la civilización romana, ya que con algunos de estos elementos “prestados” realizó obras y concepciones indudablemente genuinas.

En la arquitectura romana encontramos basílicas y termas con una interpretación espacial inédita hasta ese momento y posible gracias al avance de la técnica y a la renuncia de la pureza helénica.

Al contrario que en los templos griegos, en las basílicas romanas se traslada al interior la columnata perimetral y con ella todo el aparejo decorativo para ser partícipe del espacio interno,

La concepción espacial romana se caracteriza por una presentación estática, provocada por la simetría presente en las plantas interiores de forma circular y rectangular. Además de ser estático, el espacio romano es totalmente autónomo a la talla humana, lo que da lugar a el orden monumental. Esta proporción espacial es la escala monumental del Imperio, un ente que no pertenece ni quiere pertenecer al plano del hombre.

Cuando las corrientes eclécticas han dirigido su mirada hacia la arquitectura romana se han reproducido grandes espacios interiores plasmados en enormes e impersonales salas marmóreas presentes en obras que impresionan solamente por su cantidad y tamaño.

*“... el academicismo ha imitado la arquitectura romana cuando tenía un programa de arquitecturas-símbolo que querían expresar los vacuos conatos de retornos imperiales, mitos de supremacía militar y política, con edificios de espacios estáticos, envueltos en el énfasis de la megalomanía y de la retórica.” (Zevi 1948, p.61).*

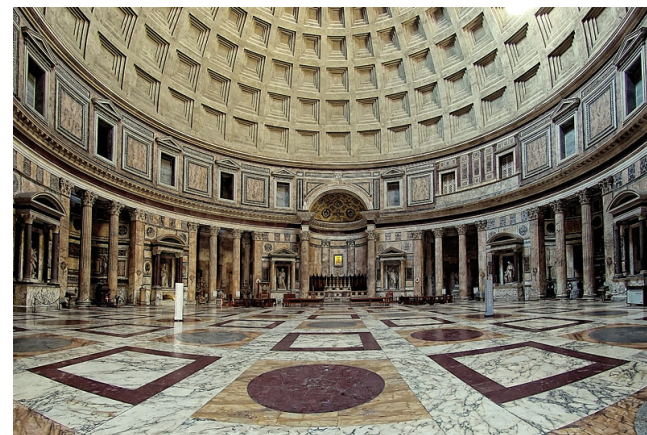


Figura 1.7 - Fotografía del espacio interior del Panteón de Agripa, Roma.

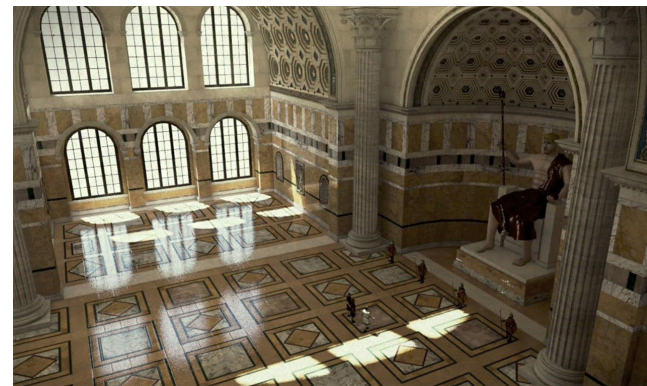


Figura 1.8 - Recreación digital del espacio interior de la Basílica de Majencio, Roma.

## LA DIRECTRIZ HUMANA DEL ESPACIO CRISTIANO

Con los cristianos llegó a la arquitectura una revolución funcional. La iglesia cristiana se concibe como lugar de culto, oración y reunión de los fieles; esto se tradujo arquitectónicamente en una reducción de la escala usada en las basílicas romanas y en la organización de los elementos en torno a la trayectoria humana desapareciendo así el espacio estático previo.

A diferencia de las basílicas romanas, simétricas en sus dos ejes, en la arquitectura cristiana desaparece un ábside y se traslada la entrada a uno de los lados menores, rompiendo así la doble simetría y remarcando la dirección del eje longitudinal convirtiéndolo en el camino del hombre.

Todas estas innovaciones provocan la aparición del carácter dinámico en el espacio, subordinado a la trayectoria del observador. De esta forma se consigue una participación real de un espectador que se siente parte de un ambiente creado por y para él.

Este logro también se plasma en los edificios de esquema central, siendo el mausoleo de Sta. Constanza el mejor ejemplo de ello. Su estructura anular y el trazado sinuoso de su envoltura mural provoca juegos de luces y sombras cambiantes apreciables mediante el recorrido de la obra. (Zevi 1948)



Figura 1.9 - Imagen del interior de la Iglesia de San Clemente, Roma.



Figura 1.10 - Imagen del interior de la Basílica de Santa Constanza, Roma.

## LA ACELERACIÓN DIRECCIONAL Y DILATACIÓN BIZANTINAS

La arquitectura bizantina trae consigo cambios en la forma de concebir la espacialidad; si anteriormente se trataba de conseguir contener el espacio y presentarlo reposadamente aquí se aboga por uno a mayor número de revoluciones provocando, intencionadamente, en el espectador una percepción conmovedora de la obra.

Para ello se decidió romper la continuidad vertical entre elementos portantes y sostenidos existentes hasta el momento. Los pluvios provocan una ruptura en los puntos críticos de gravedad y junto con las fajas de mosaicos cromáticos consiguen esa aceleración de la percepción espacial sustituyendo los estáticos paños luminosos de los primeros cristianos por una amalgama de colores y refracciones luminosas.

Las herramientas anteriores solucionan los edificios de esquema rectangular, sin embargo, en los edificios de planta central no sólo se produce la aceleración anterior gracias a las referencias horizontales, sino que además aparece la "dilatación espacial".

Este fenómeno es fundamentalmente contrapuesto a la organización de los espacios centrales anteriores, los cuales usaban un esquema radial. Los bizantinos proponen una aceleración dirigida al exterior, como si de una centrifugadora se tratase; la superficie mural cobra vida y se retuerce alejándose del centro del edificio. Si unes este efecto a los elementos que refuerzan las directrices horizontales además de la revolución cromática, fruto de las investigaciones bizantinas acerca de la luz, se consigue explicar la principal revolución conceptual de este periodo.



Figura 1.11 - Imagen del interior de la Basílica de Santa Sofía, Estambul.

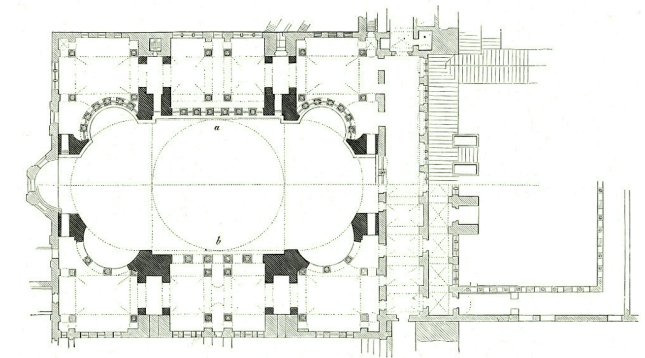


Figura 1.12 - Planta de la Basílica de Santa Sofía, Estambul.

## LA MÉTRICA ROMÁNICA

Por primera vez desde la caída del Imperio Romano y tras una época de invasiones bárbaras, poco fértil a nivel cultural, la cultura occidental vuelve a coincidir en avanzar hacia una misma dirección.

Los espacios medievales ya revisados son versiones del mismo tema. Pese a conseguir resultados espacial es totalmente distintos, no lo consiguen mediante modificaciones profundas sino con el uso de herramientas superficiales.

Por este motivo el románico cobra fuerza, ya que consigue crear algo completamente diferente. Aparecen las bóvedas de arista románicas, pilastras poligonales, los nervios y los contrafuertes. Pero éstos no son más que los mensajeros del románico, meras herramientas.

El verdadero logro es la concepción del edificio como un todo y no como la apreciación de sus partes por separado. El entender la obra como un organismo consciente de su propia existencia. Esto sólo fue posible ligando estrechamente todos los elementos del edificio con normas como: "La longitud de la iglesia deberá ser múltiplo del ancho de la nave central; el ancho de las naves laterales deberá reducirse a un submúltiplo de la nave central".

Se puede resumir entonces que las principales características del románico son dos: la concatenación de los elementos del edificio y la métrica espacial.

Además, en este periodo se comienza a diferenciar entre elementos de superficie y estructura. Algo perceptible en la tímida concentración de empujes y cargas, acompañada de un mayor cuidado de las fachadas que poco a poco van acompañándose a la distribución interna.

En cuanto a la métrica, es necesario señalar que no se reduce al ámbito bidimensional, sino que provoca el nacimiento de unidades tridimensionales en sí mismas, uniendo así de una forma más estrecha el espacio y la volumetría de la "caja de muros". Todas estas respuestas técnicas y artísticas responden a solicitaciones psicológicas de la época mucho más compleja que una directriz única.

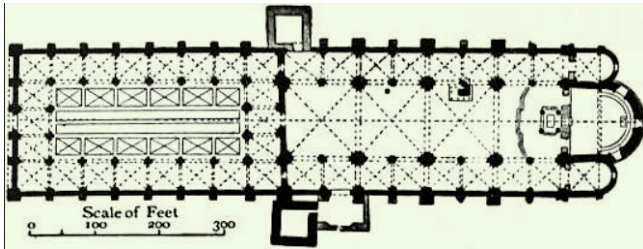


Figura 1.13 - Planta de la Basílica de Sant'Ambrogio, Milán.

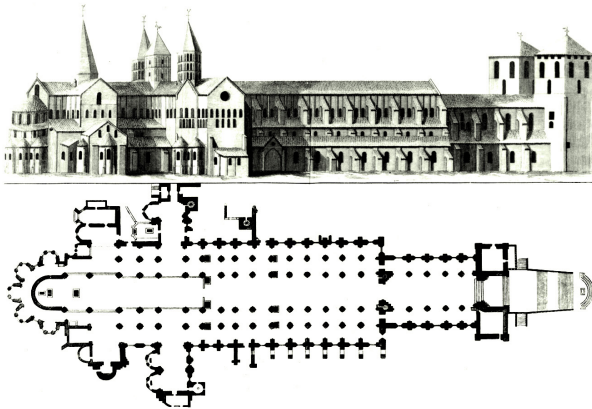


Figura 1.14 - Planta y alzado de la Abadía de Cluny, Cluny.

## LOS CONTRASTES DIMENSIONALES Y LA CONTINUIDAD ESPACIAL DEL GÓTICO

El estilo gótico, desde el punto de vista constructivo, continua la tendencia románica. El sistema de esqueleto se refina en ese periodo, gracias a avances técnicos como los arcos ojivales o poderosos arbotantes y contrafuertes. Todos estos logros constructivos eran consecuencia de la búsqueda del arquitecto gótico de la relación entre espacio exterior e interior; usando para ello grandes vitrales o bóvedas paraguas, rellenando así los vacíos intersticiales entre los elementos del esqueleto arquitectónico de la obra.

Sin embargo, todos estos logros constructivos no suponen el mayor elemento diferenciador con su predecesor, el románico. Por primera vez en la historia de la arquitectura se crean espacios que se contraponen a la escala humana y provocan un estado de desequilibrio y de sensaciones contradictorias, rompiendo así con todas las construcciones previas que o bien estaban equilibradas por medio de las directrices visuales o por el predominio de una de estas directrices respecto a la otra.

El desequilibrio antes mencionado se consigue gracias a la silenciosa pero tensa antítesis de las direcciones vertical y longitudinal.

Comparando obras del gótico italiano, francés e inglés se comprueba que este contraste se agrava conforme más al norte se está, siendo por tanto el gótico inglés la corriente que expresa con mayor fuerza los ideales del estilo gótico. (Zevi 1948)



Figura 1.15 - Imagen del interior de Notre Dame, París.



Figura 1.16 - Imagen del interior de la abadía de Westminster, Londres.

## LAS MEDIDAS Y LEYES DEL ESPACIO DEL ESPACIO DEL SIGLO XV

Tradicionalmente y ante la necesidad de situar cada periodo, temporalmente hablando, se ha colocado el Renacimiento a continuación de la arquitectura Gótica. Esto es del todo erróneo ya que sus orígenes se remontan a los siglos XI y XII además de contar con vestigios repartidos por toda la época medieval.

De manera igualmente equivocada, el Renacimiento ha sido rebajado por los críticos de arquitectura a un movimiento "neorománico", como si solamente se tratase de una revisión de antiguos estándares, negándole así todo valor creativo e innovador. El principal elemento nuevo que aparece en el Renacimiento es un profundo estudio de la métrica gótica y románica, pero desde un punto de vista matemático. Se trata de controlar el espacio mediante una ley y una disciplina inexistentes hasta la fecha; para ello se usaría una métrica espacial asentada sobre relaciones matemáticas elementales.

*"Se trata de una innovación radical desde el punto de vista psicológico y espiritual: hasta ahora el espacio del edificio había determinado el tiempo del camino del hombre, había conducido sus ojos a lo largo de las directrices buscadas por el arquitecto; con Brunelleschi, por primera vez, ya no es el edificio quien posee al hombre, sino es el hombre mismo que, aprehendiendo la simple ley del espacio, posee el secreto del edificio."* (Zevi 1948, p.83).

Cuando se visita una obra renacentista como San Lorenzo no se tiene la impresión de estar ante una obra conmovedora que sobrepasa al espectador. Todo lo contrario; se percibe que el arquitecto a cargo tiene el espacio bajo control en todo momento, cada decisión proyectual ha sido estudiada, reposada y tomada en base a unos métodos y leyes.

El edificio transmite un equilibrio y serenidad que evoca los templos griegos; sin embargo, ahora, esta sensación no sólo se limita al exterior, sino que penetra al campo de los espacios internos.



Figura 1.17 - Imagen del interior de la iglesia del Santo Spirito, Florencia.



Figura 1.18 - Imagen del interior de la iglesia de San Lorenzo, Florencia.

En cuanto a la distribución en planta, parece lógico que un esquema centralizado sea lo más indicado para concebir un espacio unitario; por ello cuando aparece la cruz latina se acorta el brazo largo o incluso se tiende a la cruz griega, donde los brazos se encuentran en equilibrio.

Para reforzar la idea unitaria se eliminan las naves laterales para regalar ese espacio a la nave central creando así un solo ambiente regido por una ley: la voluntad humanística del Renacimiento.

Las naves laterales no son el único "elemento de dispersión" que se eliminan, ya que todos los tratamientos superficiales anteriores (cromatismo, ornamentaciones...), desaparecen y las superficies se controlan de la misma forma que el espacio: siendo divididas en base a medidas matemáticas.

Resulta irónico que el Renacimiento haya sido tildado de clasicista cuando, aparte de las innovaciones espaciales ya comentados, fue el periodo en el que se sentaron las bases ideológicas de toda la arquitectura contemporánea. Rompiendo con todo lo anterior. Aclarando que es el hombre quien dicta leyes al edificio y no viceversa; siendo este pensamiento la base de la arquitectura y urbanismo contemporáneos siempre en busca de la adaptación y del ser capaces de satisfacer las necesidades de habitantes siempre en evolución.



## VOLUMETRÍA Y PLÁSTICA DEL SIGLO XVI



Figura 1.19 - Maqueta del templete San Pietro in Montorio, Roma.

En el siglo XVI no se da una revolución de ideales como lo acontecida en el siglo anterior, sin embargo, no por eso se trata de una época infructuosa desde el punto de vista de la arquitectura.

Las intenciones presentadas en el siglo anterior serán el elemento director y se prolongan en siglos sucesivos, aunque por supuesto aparecerán matices, fruto de la madurez de la propia corriente artística.

Si en el siglo XV se trata de conseguir una concepción espacial uniforme a través del uso de ritmos y proporciones, en el siglo XVI se trata de llevarlo más allá consiguiendo un efecto mayor reincidiendo en el espacio simétrico y apareciendo soluciones volumétricas dotadas de una plasticidad, casi escultural, ausente en el siglo anterior.

Todas estas intenciones son apreciables en el templo de Bramante en San Pietro in Montorio de Roma, donde encontramos una reafirmación del esquema central, un especial cuidado en las proporciones entre las partes del edificio y una sólida plasticidad, evocando a los antiguos templos griegos.

*“El carácter de la arquitectura del siglo XVI se concreta, por ende, no tanto en una renovación de las concepciones espaciales, cuanto en un nuevo sentido de la volumetría y del equilibrio estático y formal de las masas, con el que se viste de una significación nueva la dialéctica espacial del siglo anterior, reforzada y solidificada por un gusto que antepone a una línea y a un plano cromático, una superabundancia plástica escultural y una solidez consistente y, a menudo, monumental.” (Zevi 1948, p.89).*

En este fragmento Bruno Zevi intenta aclarar la dirección de la nueva corriente artística, algo que quizás se pueda completar con una comparación entre dos obras reales como son: la cúpula de Santa María del Fiore y la de San Pedro.

En Florencia se aprecian los ideales góticos del espacio infinito por ejemplo en el contraste entre los nervios de la bóveda y las zonas neutras de relleno existentes entre ellas; además de recordar que el perímetro de conexión con el resto de la basílica se haya tratado con un tambor que permite a la cúpula "levitar" sobre el resto de la obra, reforzando así la búsqueda de ese espacio infinito. Por otro lado, en Roma, las zonas neutras internervales prácticamente desaparecen además de penetrar la cúpula en la basílica, mediante un pequeño solapamiento con la misión de relacionar la masa de la cúpula y la masa de la iglesia (valores volumétricos y macizos).

Estos nuevos recursos formales también fueron de aplicación en la tipología del palacio. Al desaparecer las directrices lineales, se sobreponen la volumetría y la forma. El desarrollo de esta tipología, por tanto, se centra en el gusto por la centralidad y la búsqueda de la simetría sin renunciar a la claridad espacial y las leyes métricas perseguidas en el siglo anterior; alcanza su máximo esplendor en varias villas de Palladio, repartidas por toda la campiña de Vicenza.



Figura 1.20 - Imagen de la cúpula de la Iglesia de Santa María del Fiore, Florencia.

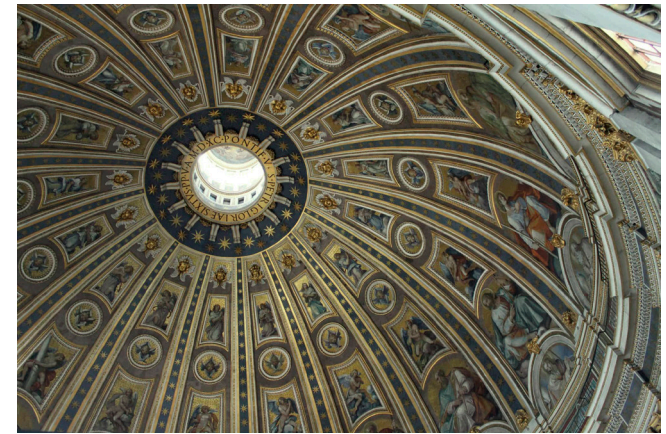


Figura 1.21 - Imagen de la cúpula de la Iglesia de San Pedro, El Vaticano.

## EL MOVIMIENTO Y LA INTERPENETRACIÓN DEL ESPACIO BARROCO

En la segunda mitad del siglo XVI comienza a emerger un conflicto latente que tiende a abrir la cerrada y estática espacialidad anterior, aunque sin infringirla. Este anhelo queda plasmado en la entrada de la Biblioteca Laurenciana de Miguel Ángel. La ornamentación no aparece reposadamente como antes. Los órdenes gigantes transmiten la necesidad de romper con el espacio y la elasticidad. Además, por supuesto, de la escalinata, la cual domina completamente el espacio y parece encarnar perfectamente las ansias de romper los límites y los tratados en los que algunos arquitectos de la época se sentían encorsetados.

Es cierto que Miguel Ángel no continuó con esta corriente. Sin embargo, al poner de manifiesto su crítica a la envoltura mural abrió el camino del espacio barroco.

*“El barroco es liberación espacial, es liberación mental de las normas de los tratadistas, de las convenciones, de la geometría elemental y de todo lo estático, es también liberación de la simetría y de la antítesis entre espacio interno y espacio externo. Por esta su voluntad de liberación, el barroco alcanza un significado psicológico, que trasciende hasta la arquitectura de los siglos XVII y XVIII, logrando un estado de ánimo de libertad, una actitud creadora liberada de prejuicios intelectuales y formales.” (Zevi 1948, p.93).*

De manera extendida se entiende por arquitectura barroca aquella que se liberó del conformismo clásico y que, mediante la fantasía, el coraje y la valentía se desprendió de las cadenas que lo contenían.

Si bien esto es cierto, también es incompleto ya que para no confundir el Barroco con el Romanticismo también hay que entender su espacio arquitectónico siendo el movimiento y la interpenetración sus señas de identidad y no sólo hablando a nivel plástico sino también en la concepción espacial.



Figura 1.22 - Imagen de la escalinata de acceso a la Biblioteca Laurenciana, Florencia.



Figura 1.23 - Imagen exterior de la Iglesia de Santa María de la Salute, Venecia.

Erróneamente se puede confundir el movimiento barroco con el dinamismo gótico, aunque la realidad es que no tienen nada que ver, ya que el gótico se basaba en la contraposición de dos direcciones visuales creando un juego bidimensional sobre la superficie de la "caja de muros", mientras que en el espacio barroco es el propio muro el que se pliega y se retuerce sobre sí mismo creando una nueva concepción espacial, impulsando así una completa negación de las divisiones rítmicas de los vacíos, presentes en el renacimiento.



Figura 1.24 - Fachada frontal de la iglesia de San Carlo alle Quattro Fontane, Roma.

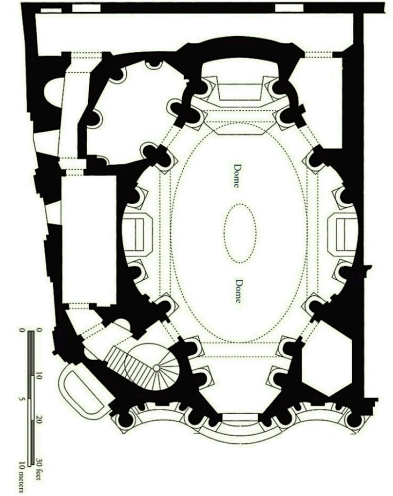


Figura 1.25 - Planta de la iglesia de San Carlo alle Quattro Fontane, Roma.

## LA "PLANTA LIBRE" Y EL ESPACIO ORGÁNICO DEL MODERNISMO

A diferencia de periodos anteriores, en la época moderna la arquitectura trata de resolver problemas derivados de la exigencia social, siendo el más importante de ellos la vivienda para la familia media.

Esto, unido a los avances técnicos en la construcción, los cuales permiten concentrar la resistencia del edificio en elementos que conforman un verdadero esqueleto, propician la creación de la "la planta libre".

A través de este nuevo sistema las particiones interiores pueden plegarse, moverse y conectar ambientes, ya que no responden a funciones estáticas. Debido a esto también aparecen las divisiones interior-exterior formadas por grandes paneles de vidrio permitiendo el contacto absoluto entre ambos ambientes, difuminando los límites de la arquitectura y su entorno; continuando así con el ideal gótico en el espacio.

Pese a que el movimiento moderno continua con esta tendencia gótica, es obligatorio diferenciar que en este caso es fruto de una reflexión social y consecuencia funcional directa, a diferencia de lo que ocurría en la arquitectura gótica donde no se trataba de un "medio" sino de un "fin" en sí mismo.

El gótico no es el único periodo que nos recordará la arquitectura moderna; la ondulación de los muros y el dinamismo en la consecución de los volúmenes bebe directamente del barroco, aunque de nuevo este fenómeno será fruto de los objetivos y reflexiones de la época.

A estas alturas está claro que el elemento más característico de la arquitectura moderna es la planta libre; sin embargo, surgieron dos interpretaciones espaciales completamente diferentes que originaron dos corrientes ideológicas dentro de un mismo movimiento, se tratan del funcionalismo y del movimiento orgánico, encarnados en dos grandes maestros

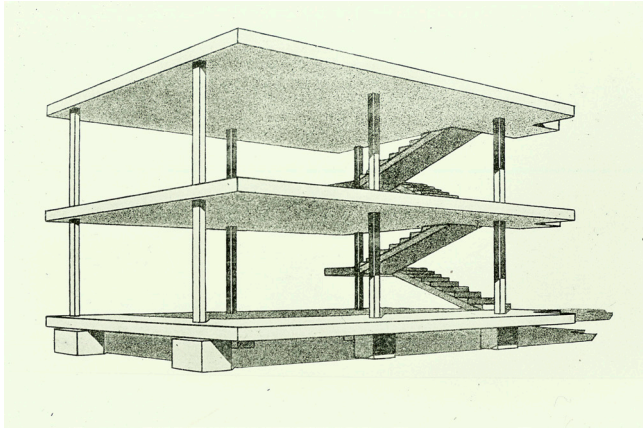


Figura 1.26 - Dibujo de la estructura Dom-Ino, Le Corbusier.

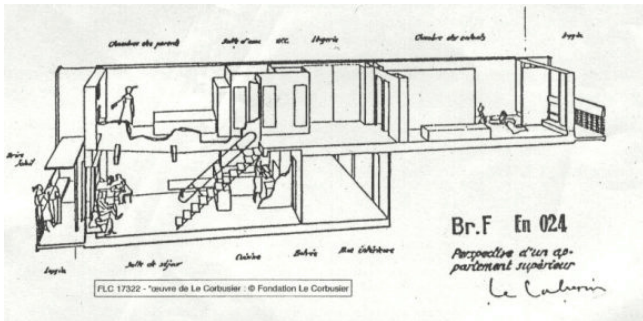


Figura 1.27 - Esquema funcional de la Unité d'Habitation, Le Corbusier.

En primer lugar, el funcionalismo trata de solucionar los problemas habitacionales de una sociedad cada vez más industrial con soluciones "industriales", como la búsqueda de un sistema estandarizado que permita la creación de "máquinas de habitar". La mayoría de las herramientas arquitectónicas usadas para ese fin están presentes en la Ville Savoye de Le Corbusier. En primer lugar, se contiene el espacio en una planta cuadrada dividida regularmente por columnas, siendo ésta una definición clara de la "planta libre".

Una vez sentada la base aparecen las divisiones interiores, pero en ningún momento se tratan de divisiones estáticas, sino conformadas por paredes móviles, rectas o curvas, a veces de vidrio, que permiten una fluidez y relaciones espaciales inéditas hasta ahora.

Por último, para Wright la continuidad espacial no sólo responde a fines funcionales, sino también a la ideología del hombre y su vitalidad. Una ideología que busca, dentro de una sociedad cada vez más estandarizada, una reivindicación de su identidad, de su esencia, que es lo que diferencia del resto.

Siendo este el motor ideológico del organicismo y partiendo también de la "planta libre", espacialmente se genera desde un núcleo que proyecta los vacíos en varias direcciones, creando así una arquitectura rica en movimiento, en ilusiones de perspectiva y todo ello completamente genuino, ya que no tiene por objeto impresionar al espectador, sino representar en la obra la propia experiencia vital del ser humano.

*"Una pared ondulada ya no es ondulada solamente para responder a una visión artística, sino para acompañar mejor un movimiento, un camino del hombre."* (Zevi 1948, p.107).

La ornamentación en las obras vira completamente hacia el gusto por la intersección y uso de diferentes materiales y un nuevo sentido del color en vez de recursos caprichosos que solamente tienen por objeto impresionar.



Figura 1.28 - Imagen del interior de la Falling Water House, Pennsylvania.



Figura 1.29 - Imagen del interior de la Zimmerman House, New Hampshire.



## - EVOLUCIÓN DE LA REPRESENTACIÓN ARQUITECTÓNICA -

Una vez analizado en el apartado anterior el recorrido de la conciencia humana de la espacialidad característica de las construcciones, se procederá a indagar en cómo el ser humano ha tratado de plasmar esta cualidad genuina de la arquitectura a lo largo de la historia.

A diferencia de la historia de la arquitectura, la cual cuenta con periodos más o menos definidos, incluyendo aquellos consistentes en transiciones, la historia del dibujo contaría con una estructura más particular ya que, por ejemplo, el considerado como primer documento gráfico de arquitectura conocido data del siglo IX; pero además, después de él apenas se conservan documentos hasta el S.XIII.

Se podría comentar cuál es la primera representación en planta de un edificio, quién dibujó el primer alzado o cuando se realizó la primera vista perspectiva, sin embargo, parece más interesante repasar la historia del dibujo de la arquitectura deteniéndose en diferentes obras gráficas a lo largo de los siglos y analizar como concebían en ese momento la espacialidad de la arquitectura y que herramientas y métodos usaron para tratar de representar dicha espacialidad.

No obstante, antes de empezar dicho recorrido cabe recordar la breve definición que Jorge Sainz en su libro *El dibujo de arquitectura* dio a la representación gráfica de arquitectura.

*"El lenguaje gráfico de la arquitectura participa, como es natural, de algunas características inherentes a su condición de "dibujo" en general y, al mismo tiempo, posee algunas dimensiones que le son propias, tanto en función del objeto que representa (la arquitectura) como en función de los objetivos que persigue (objetivos muy diversos, uno de los cuales es, sin duda, la transmisión de conceptos arquitectónicos)." (Sainz 2009, p.20)*



Figura 1.30 - Arquitectos delineando un plano urbanístico.



## CASA DE LAS VIRTUDES, FILARETE. principios S.XV

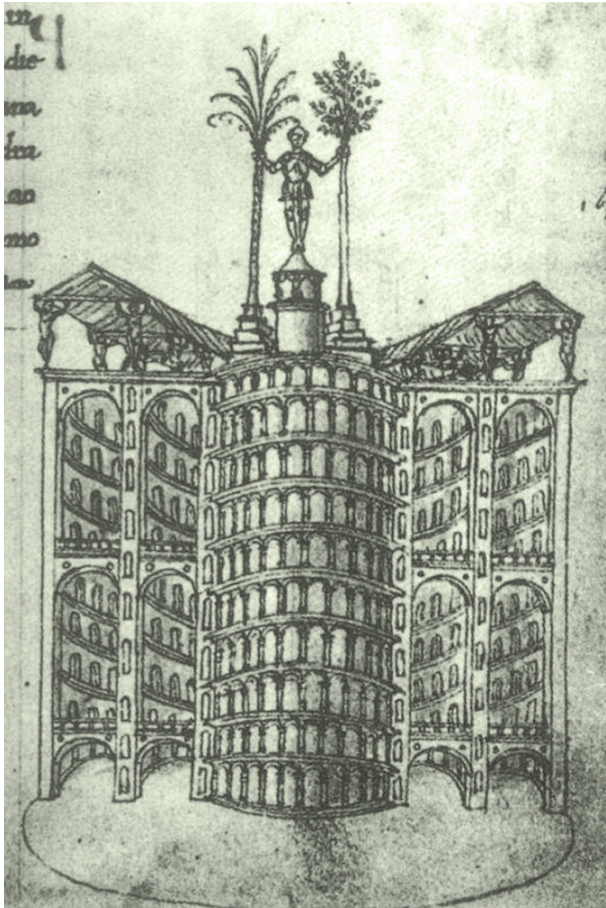


Figura 1.31 - Dibujo original de la Torre de las virtudes de Filarete.

En el “Tratado de Arquitectura” de Filarete encontramos uno de las primeras perspectivas interiores que se conservan de un arquitecto toscano del Renacimiento. Existen representaciones arquitectónicas previas en perspectiva pero se tratan únicamente de vistas exteriores de edificios, por ello, hasta ese momento quedan englobadas en la categoría pictórica. En el dibujo se ve el imaginario edificio de la Casa de las Virtudes, una biblioteca en Florencia donde los estudiosos de la ciudad pudieran reunirse y debatir; cada rama del conocimiento tendría asignada una planta de la torre. (Lotz 1977, p.6-14)

*“En la conocida edificación pedagógica de Filarete, la “Casa de las virtudes y de los vicios”, la última planta se reserva para la astrología, así que esa es demostrada como la ciencia más alta por excelencia.” (Hub 2008, p.21).*

Se trata de un edificio de planta circular con escalera de caracol central, la cual se encuentra rodeada por dos loggias concéntricas. La escalera aparece sin seccionar pese a traspasar el plano imaginario de corte. Esto se debe a que, según su autor, el dibujo de la escalera seccionada resultaría difícil de comprender y complicaría la lectura del conjunto. El autor deja entrever la planta circular completa, esto ayuda a situar el punto de vista del observador, localizado en algún punto un poco alejado del edificio y a una altura aproximada a la de la segunda planta de la construcción. Teniendo en cuenta la referencia anterior se aprecia que las fugas son imprecisas y algunos trazados carecen de coherencia.

Pese a que hay otros dibujos en el mismo manuscrito que cuentan con sombreados, aquí no aparecen, al igual que ningún detalle referente al aspecto de los interiores. Esto es debido, probablemente, a que en esta representación el objetivo era describir la edificación en conjunto y no sus detalles, recordando que se trataba de un proyecto imaginario que nunca se encontró en vías de construcción.

## MONASTERIO SAN JUAN DE LOS REYES, JUAN GUAS. 1485-1490

Este documento forma parte del proyecto arquitectónico del monasterio de San Juan de los Reyes, realizado por el arquitecto y escultor español Juan Guas.

Este monasterio, localizado en Toledo, fue encargado construir por los Reyes Católicos para conmemorar el nacimiento del príncipe Juan y la victoria de Toro. El edificio cuenta con una sola nave central, capillas situadas entre los contrafuertes y su particular cimborrio en la cabecera de la capilla mayor; se trata de una particularidad ya que este tipo de elementos estaban reservados para construcciones más grandes como catedrales.

El dibujo representa una sección fugada del monasterio con el plano de corte situado en la capilla mayor. Si se compara con la obra real aparecen algunas diferencias, en el dibujo se representa la bóveda con una crucería mucho más compleja que la que posteriormente se ejecutó, las ventanas también cuentan con una decoración completamente diferente a la realizada, y sobretodo, Juan Guas nos presenta un cimborrio de una esbeltez mucho menor a la que se puede apreciar hoy en día.

Pese a encontrarnos ante un dibujo que pertenece a la fase de proyecto, la parte inferior de la capilla guarda una gran similitud con la obra construida.

En esta representación quedan plasmadas las contradicciones latentes, comentadas en el apartado anterior, típicas del periodo Gótico, tratando de enfrentar la fuerte direccionalidad de una construcción con nave única contra la verticalidad que le añade el cimborrio a la capilla mayor del monasterio. (MUSEO DEL PRADO 2019, web 1)

El documento data de los años 1485-1490 y actualmente se encuentra expuesto en el Museo del Prado.



Figura 1.32 - Comparativa entre el dibujo de Juan Guas y la actual capilla mayor de San Juan de los Reyes.

PROYECTO BASÍLICA DE SAN PEDRO, ANTONIO DA SANGALLO. 1530-1535

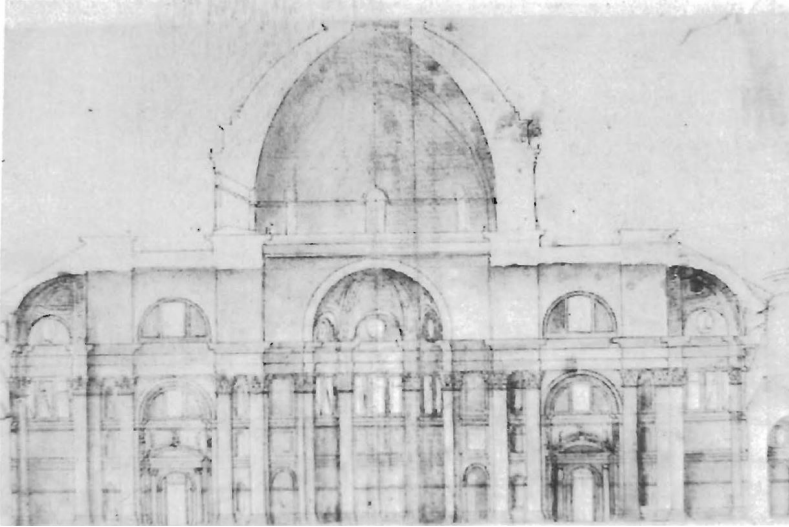


Figura 1.33 - Sección ortogonal del proyecto para la basílica de San Pedro, dibujada por Antonio da Sangallo.

Este dibujo representa una sección con proyección ortogonal del proyecto de la basílica de San Pedro, en el Vaticano, realizado por Antonio da Sangallo, colaborador de Rafael Sanzio.

Tras tomar la decisión de construir una nueva basílica en lugar de restaurar la existente, el proyecto de la basílica de San Pedro pasó por varias fases y arquitectos al mando. Su construcción comenzó en 1506, sin embargo en 1514, con la muerte de Bramante sufrió el primer revés. Tras ello, León X dejó la obra en manos de Rafael, el mejor artista de la época, quién contó con la ayuda de un joven Antonio da Sangallo. (VOXMUNDI 2017, Web 2)

Con la muerte de Rafael en 1520, Antonio da Sangallo se convirtió en el maestro de obras de la basílica hasta 1546. Bajo su cargo, el proyecto fue modificado, ampliando la planta original de Bramante para incluir por completo el área anteriormente ocupada por la antigua basílica. Sin embargo, aquí el interés no reside en el proyecto, sino en las formas de representación usadas por el artista en este proceso.

*“Hasta que Rafael se hizo cargo de las obras de la basílica de San Pedro, en Italia la planta y la maqueta se consideraban los dos documentos necesarios y suficientes para poder construir un edificio. Ni siquiera en construcciones tan importantes como la iglesia del Santo Spirito en Florencia, de Filippo Brunelleschi, se estimó preciso conocer por adelantado los alzados ni las secciones del edificio completo.”* (Sainz 2009, p.81)

Además el descubrimiento de las perspectivas interiores, visto en la torre de las virtudes, trajo consigo una corriente de arquitectos que usaron esta nueva técnica desde un punto de vista pictórico, siendo muy criticados por otros artistas como Alberti.

Si bien Rafael propuso el sistema de representación de planta/alzado/sección, fue Antonio da Sangallo quien "oficializó" este método usando en todas sus representaciones la proyección ortogonal.

Estas características son apreciables en este documento, en el cual se puede apreciar una sección con un grafismo muy cuidado y de un fuerte aspecto técnico. Antonio da Sangallo no se formó como pintor, sino como arquitecto, algo que queda plasmado en sus dibujos, muy diferentes a las perspectivas de acabado pictórico muy comunes en la época.

Además de la línea, el único recurso empleado es un tenue sombreado usado para facilitar la lectura espacial de sus dibujos. Aparte de las representaciones gráficas, en el proyecto, el arquitecto invirtió 8 años en realizar la mayor maqueta del Renacimiento, de unos 4,5 metros de altura, la cual todavía se conserva en la basílica.

Actualmente este documento se puede revisar, ya que se encuentra expuesto en la Galería de los Uffizi, en Florencia.

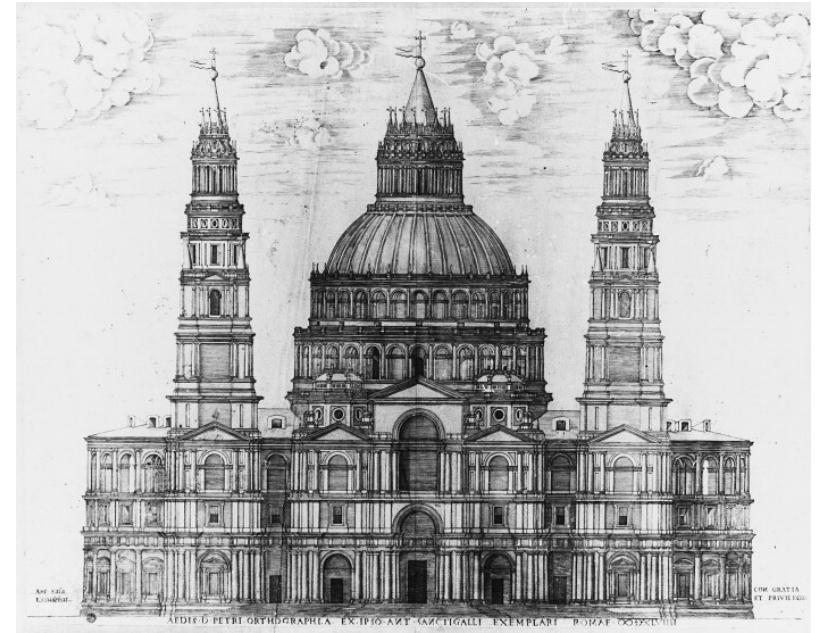


Figura 1.34 - Alzado principal del proyecto para la basílica de San Pedro, dibujada también por Antonio da Sangallo.

## BASÍLICA DE FANO, CLAUDE PERRAULT. 1663

Claude Perrault realizó en este documento una sección fugada de la basílica de Fano, introduciendo algunas modificaciones al diseño original de Vitruvio.

En su famoso tratado "Los diez libros de Arquitectura" Vitruvio recoge una serie de conocimientos y recomendaciones sobre arquitectura divididos en diez tomos. Cabe recordar que antiguamente el campo de conocimientos abarcados por un arquitecto era mucho mayor. También es ampliamente considerada la primera obra escrita sobre arquitectura que ha llegado a nuestro tiempo, ya que Vitruvio cita otras obras en su tratado.

Es en el capítulo primero del Libro V De Architettura donde se tratan las construcciones civiles del foro y las basílicas. Aquí Vitruvio expone una serie de reglas y medidas, algo típico del Renacimiento, para guiar al arquitecto a la hora de enfrentarse a la construcción de una basílica.

"Comenta Vitruvio que la altura de las columnas de las basílicas será la misma que la anchura de los pórticos, no debiendo exceder estos la tercera parte del espacio intermedio libre.

*"Las columnas superiores serán más pequeñas que las inferiores, al modo de la plaza forense. Al comienzo del capítulo, explica Vitruvio que las columnas superiores del foro deben ser un cuarto menores que las inferiores, emulando de este modo a la naturaleza de las plantas."* (Pedreño 2007, p.5)

El autor apoya la exposición de estas recomendaciones en su propia experiencia construyendo la basílica de Fano, de la cual no se han encontrado restos. El edificio contaba con un espacio central abovedado, donde unas pilastras adosadas a la columnas eran las encargadas de sustentar los forjados del deambulatorio perimetral. Además se trataba de un edificio cerrado con muro, es decir, que el acceso no se realizaba de forma libre a través del pórtico.



Figura 1.35 - Sección fugada de la basílica de Fano, Claude Perrault.

Para Vitruvio las medidas eran fundamentales, por ello todas las dimensiones de los elementos están reflejadas en el documento. Sin embargo, los encuentros y detalles constructivos no quedan especificados en el tratado, este hecho, unido a la ausencia completa de los restos arqueológicos, ha provocado la aparición de diferentes interpretaciones a lo largo de la historia.

*“Los planos de este edificio nos permiten rastrear, en los distintos ilustradores que lo representan, no sólo la fidelidad de la imagen al texto, sino, sobre todo, los aspectos específicos que interesaron a cada uno de ellos. Las sucesivas interpretaciones gráficas de esta obra se podrían agrupar en dos etapas: por un lado, las primeras propuestas, donde las soluciones imaginadas por Fra Giocondo y Cesariano marcan la pauta seguida por los autores que les siguen o copian; y, por el otro, las realizadas a partir de la interpretación de Palladio en el Vitruvio de Daniele Barbaro que marcaría el punto de inflexión.”* (Calduch 2014. Recuperado de [http://www.mindeguia.com/dibex/Vitruvio\\_Fano.htm](http://www.mindeguia.com/dibex/Vitruvio_Fano.htm))

Claude Perrault realizó a mediados del siglo XVII una de estas interpretaciones con una planta y con una sección de la basílica. En la planta aparece el edificio con el pórtico lateral abierto al exterior con las escaleras situadas a continuación del acceso. El cerramiento carece de zócalo y se modula con la ayuda de unas pilastras que atraviesan por completo la fachada.

En la sección, Perrault coloca el plano de corte en el primer vano de columnas con el fin de mostrar el sistema constructivo y la interacción entre las columnas y las pilastras. También se aprecia que la altura de las columnas sobrepasa un poco la de los deambulatorios laterales permitiendo así la entrada de luz a través de ese pequeño desfase. Por último aparece una bóveda de cañón de madera cubriendo el espacio central y apoyada sobre el entablamento de las columnas, además de estar rematada por una cumbre de madera a dos aguas.

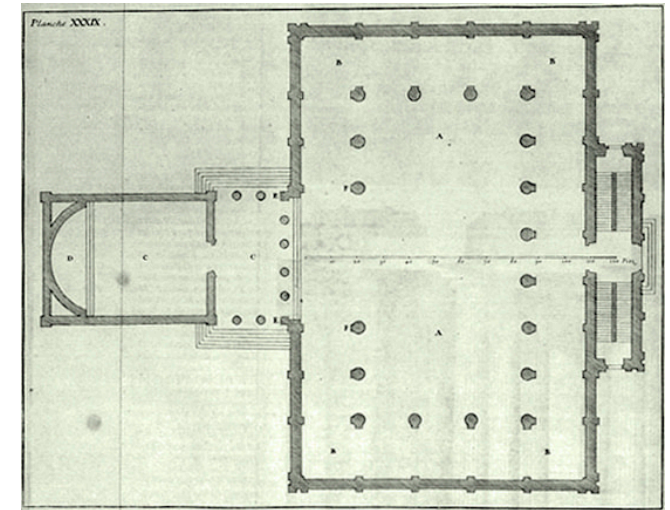


Figura 1.36 - Planta de la basílica de Fano, Claude Perrault.

## BANCO DE INGLATERRA, MICHAEL GANDY. 1830



Figura 1.37 - Sección a vista de pájaro del Banco de Inglaterra, dibujada por Joseph Michael Gandy.

Este documento forma parte de la exposición organizada por John Soane en la Royal Academy. Forma parte de un encargo que realizó al arquitecto Joseph Michael Gandy.

Soane exhibió esta acuarela de Gandy para ilustrar los resultados de sus casi 40 años de trabajo como arquitecto en el Banco de Inglaterra. Cuando finalizó la construcción del edificio, Soane afirmó que se trataba de “el orgullo y logro de su vida” y por este motivo este dibujo fue expuesto en la Royal Academy.

A menudo se encuentran referencias a esta acuarela como “El banco en ruinas”, no obstante, Soane y Gandy no compartían esta descripción, ya que técnicamente se trata de una axonometría seccionada pero con una ambientación similar a la usada por Piranesi en sus estudios sobre las ruinas en Italia.

La visión de Gandy engrandece tanto al edificio como a la propia institución, así como las soluciones técnicas y la poética empleadas en la obra.

*“Bordeando lo sublime, la exaltación romántica en sus interpretaciones se consuma en la perspectiva a vista de pájaro del Banco de Inglaterra tal como fue completada por Sir Soane en 1830, de Joseph Gandy, una visión en la que una ruina se escenifica como un acontecimiento estético y como efecto, como un monumento y como un memento.”* (Marchán 2010, p.152)

En definitiva, esta acuarela es una combinación de planta, alzado y sección; todos los logros de Soane quedan representados: el interior, el exterior y la estructura del edificio. Todo se muestra como si de una maqueta se tratase. Soane estaba preparado para que de forma inevitable los asistentes a la exposición experimentaran una lectura errónea de la acuarela, interpretándola como un hipotético estado ruinoso futuro.

Este hecho tampoco desagradó del todo al arquitecto ya que esa interpretación evocaba, casi de manera inevitable, las ruinas del Imperio Romano, colocando así al mismo nivel su obra y las impresionantes e iconicas ruinas romanas.





- ENTORNOS DE REALIDAD VIRTUAL -

## - JUGAR CON LA PERCEPCIÓN -

Una vez se llega al punto en la evolución de la representación de arquitectura en el que se cuenta con varios software dedicados al dibujo asistido por ordenador, además de otros que permiten la creación de vistas y renders hiperrealistas, a veces imposibles de distinguir de una fotografía, parece evidente que el siguiente paso lógico sea la creación de entornos virtuales hiperrealistas y no únicamente un punto de vista elegido, como es el caso de las vistas renderizadas.

Para realizar esta labor cabría plantearse dos problemáticas. La primera sería entender cómo un ser humano percibe su entorno inmediato, es decir que información de su alrededor resulta determinante y como procesa esta información. En el momento que este proceso sea conocido aparece la segunda problemática, cómo emular o imitar dicho proceso mediante las herramientas de las que disponemos para producir una experiencia, al menos similar, en un ser humano.

Para abrir el segundo gran bloque de este trabajo, se expondrá de manera rápida el proceso cognitivo citado en la primera problemática, mientras que el siguiente capítulo se centrará en la segunda.

Por último y para cerrar el bloque, se presentarán algunos ejemplos prácticos de las diferentes aplicaciones que puede tener a día de hoy la Realidad Virtual en el ámbito de la representación de arquitectura.

El proceso mediante el cual una persona reconoce su entorno y su situación respecto a éste puede resultar más complejo de lo que a priori puede parecer. Se podría pensar que está totalmente basado en los estímulos visuales (distancia, tamaño, sombras, colores, etc...). Sin embargo, el sistema cinestésico, responsable del equilibrio e implicado en la psicomotricidad del individuo juega un papel muy importante. Es decir, existe una gran diferencia entre una experiencia "simulada" visual y otra que tenga el componente motriz añadido; la segunda será mucho más inmersiva sin duda.



Figura 2.1 - Representación actual de un proyecto de arquitectura.



Figura 2.2 - Persona usando visor tipo headset.

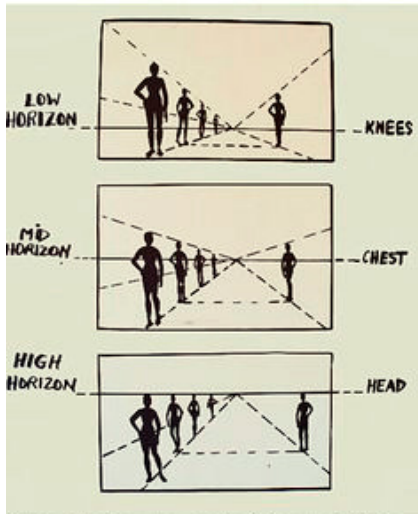


Figura 2.3 - Diferentes ejemplos de perspectivas.



Figura 2.4 - Un adulto y un niño experimentan el mismo espacio a escalas totalmente diferentes.

Trasladando esto a la representación virtual de espacios, los dos puntos más importantes para que una persona pueda reconocer e interpretar un espacio son la distancia y la profundidad; información que se recoge de manera multisensorial y el cerebro es capaz de interpretar y extraer la información deseada. En esta fase de reconocimiento juega un papel fundamental la visión de binocular, ya que gracias a ella se recogen dos imágenes diferentes y se interpretan para conformar una sola pero con mayor información que las dos imágenes previas por separado. Esta capacidad del ser humano es especialmente útil a la hora de reconocer y situarse en entornos próximos a la persona, ya que conforme aumenta el tamaño del entorno y, en definitiva, la distancia, la comprensión del espacio de una manera estática basada únicamente en la información binocular comienza a ser menos concreta.

Aquí entran en juego otros mecanismos de la percepción anteriormente comentados, como el sistema cinésico. Cuando los espacios que rodean al sujeto alcanzan ciertas dimensiones es fundamental para la comprensión del entorno que el propio individuo pueda moverse y desplazarse para recoger información desde diferentes puntos de vista, consiguiendo de esta manera una comprensión más genuina del espacio; ya que no hay que olvidar que ésta es subjetiva. (Hernández et al. 2011)

Un ejemplo fácil de la última afirmación queda de manifiesto al recordar algún entorno de la infancia y cómo el sistema cognitivo interpretaba ese espacio con una escala; a diferencia de la interpretación que realizaba esa misma persona cuando visitaba ese mismo ámbito, años más tarde.

## - EVOLUCIÓN HISTÓRICA -

El concepto de realidad virtual data de los años 30 cuando un escritor de ciencia ficción llamado Stanley G. Weinbaum publicó una historia llamada *"Las gafas de Pygmalion"* presentó la idea de unas gafas que permitían a quien las llevara experimentar un mundo ficticio a través de hologramas. La descripción de Stanley de la experiencia de aquellos que llevaban las gafas se asemeja en gran medida a la emergente y moderna experiencia de la realidad virtual.

A mediados de los 50 tuvo lugar la invención de *"El Sensorama"* por parte de Morton Heilig, un trabajador de la industria del cine de Hollywood. Heilig perseguía que la gente se sintiera como si estuvieran dentro de la película. El Sensorama simulaba un entorno de una ciudad real la cual se podía "recorrer" pilotando una motocicleta. El dispositivo contaba con estímulos multisensoriales, ya que podías ver la carretera, oír el motor, sentir la vibración e incluso percibir el olor característico de un tubo de escape.

Además del Sensorama, en 1960 Heilig también patentó un visor tipo headset llamado *"Telesphere Mask"*.

En el año 1965, Ivan Sutherland desarrolló el *"Ultimate Display"* un sistema de visor que podía simular la realidad hasta tal punto que resultaba difícil notar la diferencia entre el mundo real y el virtual. El concepto de Sutherland incluía un mundo virtual que contaba con feedback visual y táctil, consiguiendo así una experiencia mucho más inmersiva.

Más tarde, en 1969, Myron Krueger, quién a día de hoy es considerado uno de los primeros investigadores de realidad virtual y aumentada, desarrolló una serie de experiencias denominadas realidad artificial, en las cuales él había diseñado entornos que interactuaban con el usuario. Sus proyectos fueron *"Glowflow"*, *"Metaplay"* y *"Phisic Space"*.

# PYGMALION'S SPECTACLES

By **STANLEY G. WEINBAUM**

Author of *"The Black Flame," "A Martian Odyssey,"* etc.

© 1935 by Continental Publications, Inc.

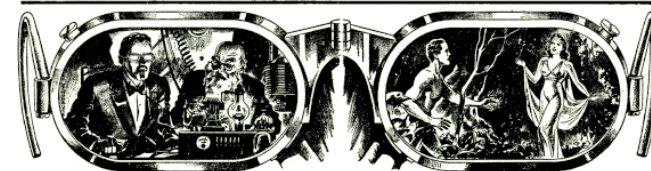


Figura 2.5 - Cartel de la película de Weinbaum "Las gafas de Pygmalion".

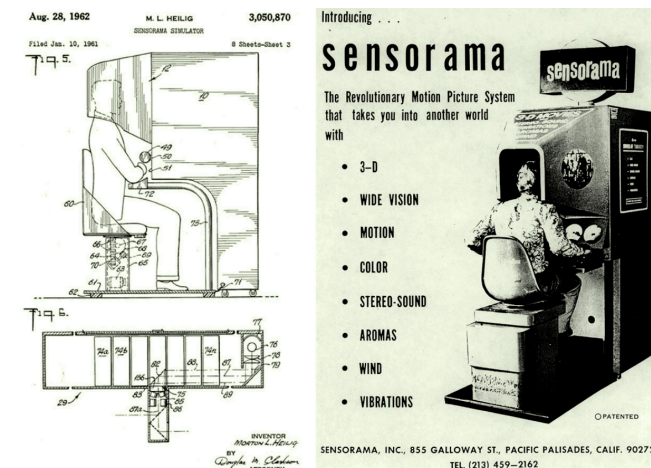


Figura 2.6 - Ilustraciones de "Sensorama", inventada por Morton Heilig en 1950.



Figura 2.7 - La consola "Virtual Boy" de Nintendo.



Figura 2.8 - Fotograma de la película Matrix.

El término de realidad virtual no fue usado para referirse a este campo de investigación hasta que Jaron Lanier, fundador del "Visual Programming Lab" (VPL), lo acuñó en 1987.

A principios de los 90, los dispositivos de realidad virtual ya se distribuían de manera comercial. Sin embargo esta tecnología todavía tenía unos precios prohibitivos para la mayoría de la gente. La compañía Virtuality Group lanzó al mercado una serie de juegos arcade en los que los jugadores podían llevar un set de gafas de realidad virtual y disfrutar del videojuego con gráficos estereoscópicos 3D.

En 1993, Sega anunció el "Sega VR headset" para la consola Sega Genesis. El prototipo contaba con un dispositivo de seguimiento en la cabeza, además de sonido estereo envolvente y pantallas LCD. La intención de Sega era que una vez desarrollado el producto final tuviera un precio máximo de 200 dólares americanos, unos 350 dólares en la actualidad. Sin embargo, debido a problemas técnicos el dispositivo no pasó de la fase de prototipo.

Dos años después, en 1995, se anunció el lanzamiento "Nintendo Virtual Boy", una videoconsola 3D que supuso el primer dispositivo portátil capaz de producir verdaderos gráficos en tres dimensiones. El producto vio la luz primero en Norte América y Japón, no obstante, se trató de un gran fracaso económico. Las principales razones que explican este descalabro fueron la ausencia de gráficos en color, la ausencia de software de soporte y la dificultad de usar la consola en una posición cómoda.

En el año 1999, de las manos de Lana y Lilly Wachowski, vio la luz Matrix, que pese a no ser una innovación tecnológica como tal en el campo de la realidad virtual, hizo llegar al público general el concepto de realidad simulada con un impacto cultural significativo.

Con el comienzo del nuevo milenio, Hirokazu Kato, del Instituto de Ciencia y Tecnología de Nara en Japón, creó un software de realidad aumentada llamado "AR-ToolKit", herramienta que en 2009 permitió a los navegadores web acceder a la realidad aumentada.

El impresionante crecimiento que han tenido durante las dos últimas décadas, tanto de la realidad virtual como de la realidad aumentada en videojuegos y en otras aplicaciones ha contribuido de manera significativa a la proliferación de estos dispositivos en el mercado.

En 2014, la adquisición de Oculus por parte de Facebook supuso un punto de inflexión para la industria de la realidad virtual, ya que supuso el comienzo de la "carrera virtual" por parte de los grandes de la industria de la tecnología. Google lanzó sus gafas "Google Cardboard", compatibles con cualquier smartphone. Otras compañías como Samsung han decidido dar un paso más con productos como el "Galaxy Gear", que cuenta con características como reconocimiento gestual. (EVE 2018, Web 3)

Parece claro que los próximos años serán claves para la industria de la realidad virtual y la realidad aumentada. Mientras que la concepción de estas tecnologías viene de tiempo atrás, es ahora cuando los avances en el campo están cobrando verdadera importancia.



Figura 2.9 - Persona usando el dispositivo Oculus Rift.



Figura 2.10 - Gafas Google Cardboard, con un precio de mercado menor de 3 euros.

## - APLICACIONES EN LA ACTUALIDAD -

En el capítulo anterior ha quedado de manifiesto el aumento de la presencia de herramientas digitales que ha tenido lugar en los últimos años en el mundo de la arquitectura.

Si bien es cierto que cada nueva herramienta que surgía facilitaba y hacía más preciso el proceso proyectual tradicional, es posible que sea la aparición de la realidad virtual la que pueda tener más influencia en la fase de diseño tal y como se concebía hasta hace unos años.

La arquitectura hoy en día, ha sufrido un cambio de paradigma, al igual que la sociedad en general, tratando de optimizar al máximo las construcciones y que requieran la menor cantidad de recursos. Para conseguir este fin se necesita proyectar y construir con gran exactitud y precisión. Es aquí donde entra la realidad virtual, ya que no parece haber mejor forma para conseguir la certeza de que una obra arquitectónica cumplirá sus objetivos que la de visitarla y revisarla "desde dentro", antes de su finalización. Aunque las ventajas que presenta esta nueva herramienta no son exclusivas de la fase de diseño proyectual.

La arquitectura, en comparación con el resto de artes figurativas (pintura, escultura,...) siempre ha jugado un papel diferente. La carencia de popularidad comparándola con el resto de artes es notable; algunos lo achacan a la incapacidad tradicional por parte de los arquitectos de acercar la arquitectura a las personas "no iniciadas". Otros señalan que la arquitectura cuenta con un gran hándicap de las que el resto de artes carece: la intraslacionalidad.

Puede resultar muy enriquecedor visitar una colección de obras de Caravaggio en una pinacoteca, y comprender así su evolución pictórica hasta el claroscuro. Es muy fácil escuchar las sinfonías de Beethoven en orden cronológico y aprender a diferenciar los matices que imprimió a sus piezas musicales. Sin embargo, resulta imposible realizar una retrospectiva de Mies Van Der Rohe colocando sus obras paradigmáticas formando el bulevar "Menos es más".

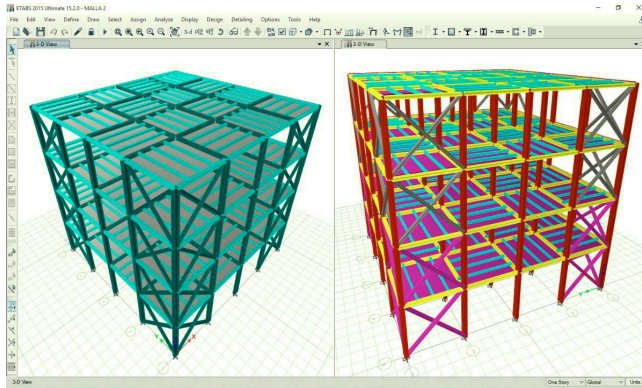


Figura 2.11 - Interfaz del software de cálculo de estructuras SAP.

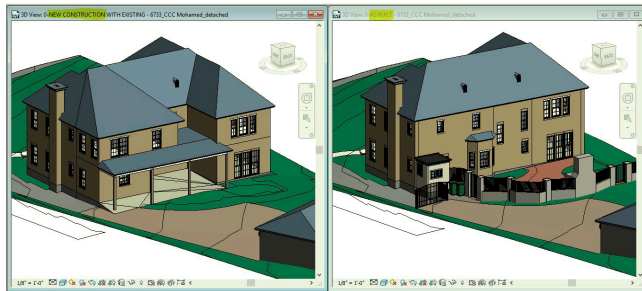


Figura 2.12 - Interfaz del software de BIM, Revit.

Pero, ¿y si no fuera así?. ¿Y si mediante el uso de la realidad virtual se pudiese acercar la arquitectura al público en general?. Puede que de esta forma el lugar que ocupa la arquitectura como arte se equiparase, o al menos acercase, al que ocupan otras como la música, el cine ó la pintura.

Una vez abierta esa puerta, ¿por qué quedarnos en el umbral?. ¿Por qué no realizar visitas virtuales a grandes edificios y obras que no han logrado llegar, al menos de manera completa, a nuestros días?. Es más, ¿por qué limitarse a respresentar arquitectura existente?, ¿por qué no usar este mundo virtual, dónde las leyes de la física son inexistentes, para vivir arquitectura y espacios que, a día de hoy, serían imposibles de construir?.

Queda expuesto por tanto, que cuando se habla de arquitectura virtual, los únicos límites son los de la imaginación.

Ahora se presentarán algunos de los ejemplos existentes en la actualidad de usos de la realidad virtual en el campo de la arquitectura.



Figura 2.13 - La aparición de ciudades virtuales tendrá lugar pronto gracias a la realidad virtual .



## REALIDAD VIRTUAL EN FASE DE DISEÑO

Para las grandes industrias del diseño uno de sus mayores retos es el de convencer al cliente de que el producto, una vez finalizado, será igual o incluso mejor que una representación en 2D ó 3D.

No importa cuanto talento tenga el diseñador, gran parte de la implicación del cliente en la idea recaerá siempre sobre su visión e imaginación.

La arquitectura no es diferente en este aspecto, es por que esto que la realidad virtual tiene tanto potencial tanto para arquitectos como para diseñadores. Desde los primeros esquemas de diseño a la coordinación en el proyecto, pasando por los pequeños detalles que hacen que un buen edificio se convierta en una gran obra,; la realidad virtual posee la capacidad de vender una idea mejor que cualquier otro medio.

Las plantas, los renders 3D y las maquetas son usadas a menudo al expresar una idea para un espacio en concreto, pero incluso estos métodos pueden resultar a veces ineficaces para comunicar los conceptos a los clientes. Aquí es donde entra en juego la realidad virtual. Al tratarse de una tecnología inmersiva, permite a los usuarios transportarse al interior de un entorno 3D completamente interactivo, dándoles la oportunidad de explorar una representación virtual de un espacio, un edificio o cualquier construcción.

Hasta el momento, se ha tratado la realidad virtual como una herramienta de presentación muy efectiva. Sin embargo, para ser realmente efectiva, la tecnología de realidad virtual deberá permitir a los clientes interactuar con el modelo: manipular carpinterías, encender y apagar luces, mover objetos a través de los espacios,...

Una vez se consiga un alto nivel de implicación del cliente con el modelo se podrá usar ese feedback visual del usuario y aplicarlo casi de manera inmediata al diseño final.



Figura 2.14 - Cliente participando en el diseño gracias a la realidad virtual.



Figura 2.15 - Imagen generada por ordenador de unas oficinas.

El siguiente paso a tratar sería el modo de introducir esta nueva herramienta en la metodología de trabajo de un estudio de arquitectura y que la accesibilidad a la tecnología necesaria para llevarla a cabo no supusiera un problema.

Gracias a la proliferación de los dispositivos móviles inteligentes, ó smartphones, las aplicaciones de realidad virtual pueden ser diseñadas para ser fácilmente descargadas en el móvil del cliente. Esto significa que no es necesario invertir una gran cantidad de dinero en un hardware, ya que un visor común, ó headset podrá realizar el trabajo correctamente, ya que la mayoría de smartphones actuales cuentan con potencia suficiente para proyectar gráficos de realidad virtual cómodamente.

Actualmente el número de startups y aplicaciones relacionadas con la arquitectura y el diseño que están trabajando con realidad virtual no deja de aumentar. A continuación se presentan algunos ejemplos de ello:

En primer lugar aparece Symmetry. Este paquete de herramientas permite a arquitectos e ingenieros convertir dibujos CAD 3D en entornos virtuales completamente inmersivos que explorar. Lo más interesante de esta opción es la capacidad de interactuar con el diseño además de modificarlo directamente desde el espacio virtual.

La siguiente es Iris VR, pese a que es muy similar a Symmetry, ya que transforma archivos creados con los programas más comunes de renderizado 3D en entornos virtuales inmersivos, resulta ser mucho más intuitivo y fácil de usar que el anterior.

Otra herramienta creada específicamente para arquitectos es ARQVR usa un mando y el visor Oculus Rift para recrear estructuras. Ofrece una novedosa interfaz para modelar y ordenar objetos, además de poder añadir algunos toques estéticos.

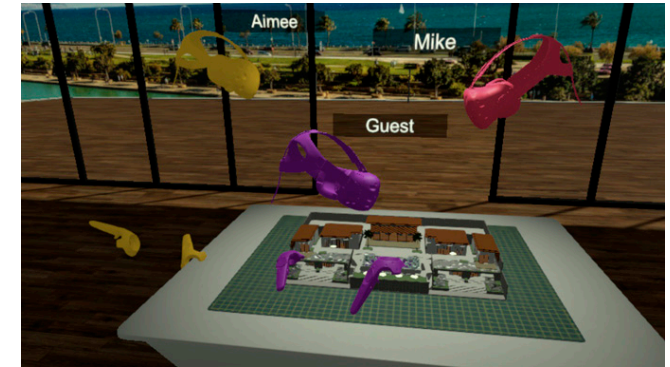


Figura 2.16 - Interfaz del software Symmetry, donde se aprecian varios usuarios interactuando al mismo tiempo.

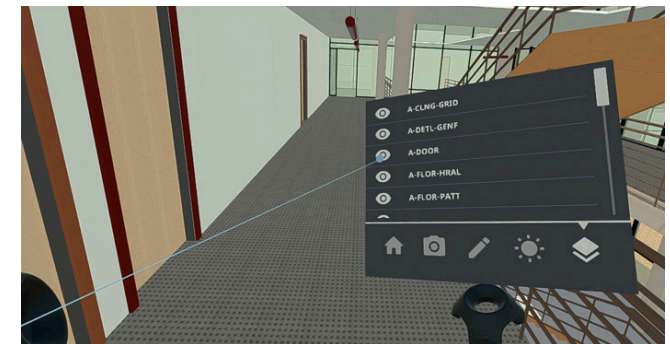


Figura 2.17 - Interfaz del software Iris VR Prospect, el cual permite realizar cambios dentro del modelo.



Figura 2.18 - Usuario probando las gafas de Truision en una feria tecnológica.

Para continuar, se encuentra Truision, la cual recrea entornos virtuales, permitiendo a los arquitectos pasear, observa e interactuar. Utilizando un visor interactivo los usuarios pueden identificar problemas estructurales antes de la construcción, ahorrando así tiempo y dinero.

Por último, la aplicación NBBJ consigue llevar la realidad virtual para la arquitectura al siguiente nivel, ya que permite al usuario no solo explorar estructuras virtuales por dentro, sino interactuar con ellas en el proceso, además de poder crear proyectos urbanísticos inmersivos.

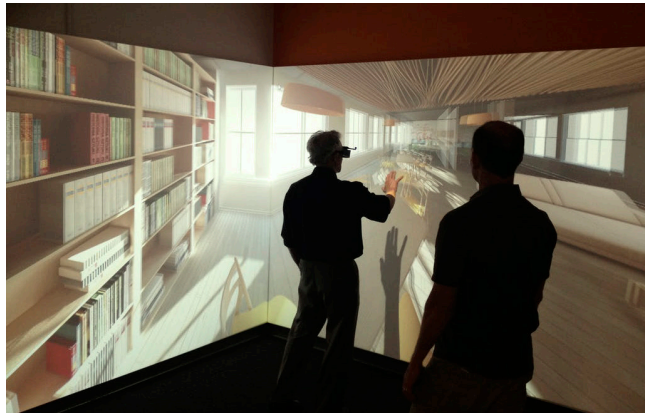


Figura 2.19 - El software NBBJ, gracias a su "entorno cueva" permite una experiencia inmersiva también en espacios urbanísticos.

*"para los arquitectos, el uso de la realidad virtual les permitirá entender las cualidades espaciales de sus diseños inmediatamente".*

Chan, C.S (1997, p.2)

## LAS TERMAS DE CARACALLA

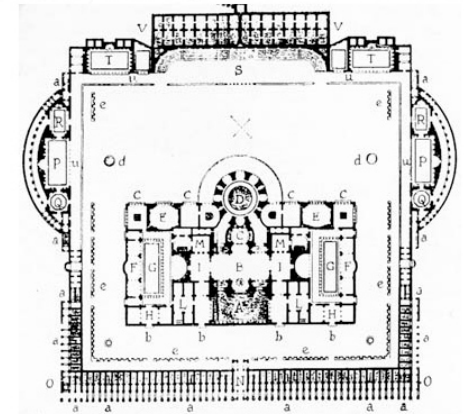
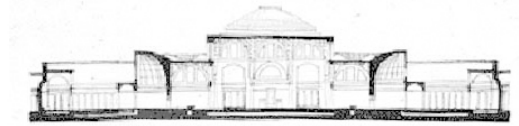
Existen varios ejemplos de arquitectura de la época imperial romana que han perdurado en el tiempo para seguir asombrandonos en la actualidad. El Coliseo, el arco de Tito y el Panteón de Agripa, todos en Roma, son algunos de estos ejemplos. Sin embargo hay otros que no han corrido la misma suerte, como por ejemplo, las Termas de Caracalla, de la que sólo nos han llegado a día de hoy algunos fragmentos de mosaico, unas pocas esculturas y ruinas, fruto de su destrucción en el año 847.

El emperador Caracalla tuvo intención, al igual que sus predecesores, de realizar una obra arquitectónica monumental que le permitiese ser recordado a lo largo de la historia. Por este motivo se invirtieron grandes recursos y riquezas para erigir lo que en aquel entonces fue el mayor centro de baño visto nunca.

En la sociedad romana, los baños jugaban un papel semejante al del foro ya que su disfrute era gratuito, por tanto, no se trata únicamente de un balneario. Esta obra era un verdadero centro de ocio que contaba con bibliotecas, gimnasio, restaurantes, sitios para reunirse al aire libre, además claro está de varias piscinas y baños con agua a diferentes temperaturas. (Tuero del Prado 2013)

La construcción del edificio fue un proceso muy rápido, debido a la cantidad de recursos destinados a ello por el emperador Caracalla. La rapidez de ejecución unido a la ornamentación a base de esculturas de mármol, mosaicos en el pavimento y cubiertas decoradas con oro, se trataba todo ello de una muestra de poder más que intencionada por parte del emperador.

Desde el punto de vista arquitectónico se trataba de un edificio con planta simétrica respecto a un eje central siendo sus espacios más importantes las tres piscinas: Frigidarium, Tepidarium y Calidarium. De agua fría, templada y caliente respectivamente.



(Ripostelli, *Thermas de Caracalla*).

### PLANTA DE LAS TERMAS DE CARACALLA

A Frigidarium	N Ingreso principal
B Tepidarium	O O Talleres y oficinas
C Nympheum	PP Gimnasio
D Calidarium	QQ Nympheum
E E Salas de reunión	RR Musea
F F Scholae (Guardia Imperial)	S Gradetas
GG Palestras	TT Bibliotecas
HH Vestibulos	UU Deambulatorio
II Cortes	VV Cisternas
LL Apodyteria	Z Acueducto
MM Sudatoria	

aa, escaleras a los pisos superiores. bb, ingreso a los baños. cc, oleonaria e, coqueria. dd, fuentes. ee, podio

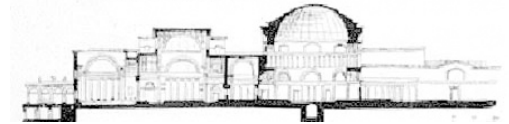


Figura 2.20 - Planta y secciones de las Termas de Caracalla, Roma.



Figura 2.21 - Vista aérea del estado actual de las Termas de Caracalla, Roma.

*“es imposible imaginar nada anterior a estos edificios, que les igualara en grandiosidad, en riqueza y en la proporción de las formas verdaderamente colosales”.*

Guillén (1977, p.336)

El acceso principal, situado en la parte norte del complejo, se realizaba a través de un gran pórtico, precedido por tiendas situadas a dos niveles. A continuación se llegaba a los vestuarios desde donde se podía acceder al gimnasio, espacio consistente en un gran patio descubierto rodeado por tres pórticos con cubierta abovedada.

Una vez hubieran terminado los ejercicios físicos los romanos pasaban en primer lugar al Caldarium, una enorme sala circular rematada por una cúpula ornamentada. Se trataba de uno de los espacios principales del complejo, por ello cuenta con una situación privilegiada dentro del complejo ya que al estar situado a continuación del gimnasio descubierto, era capaz de absorber una gran cantidad de luz, motivo por el cual contaba con grandes ventanas bajo la cúpula.

En el centro del edificio se encontraba el Tepidarium, que contaba con dos grandes bañeras donde poder tomar baños templados. El Tepidarium formaba parte del espacio central o basílica, una gran nave transversal al eje central del edificio que estaba cubierta por tres grandes bóvedas de crucería.

Por último se encuentra el Frigidarium, parte destinada a tomar baños de agua fría que contaba con una gran piscina descubierta de dimensiones semejantes a las de una olímpica actual. Pese a ser, normalmente, el punto final del recorrido más común, se encuentra inmediatamente después del pórtico norte de acceso; de hecho, la parte trasera del pórtico se encontraba decorada con nichos y estatuas, ya que servía para delimitar el Frigidarium por la parte norte.

Esta obra no se trata únicamente de un hito arquitectónico, ya que para el funcionamiento de todos los baños y piscinas se requería una enorme infraestructura hidráulica que permitiese transportar y calentar unas enormes cantidades de agua. Todo ello se realizaba con un entramado de canales y calderas completamente separadas situadas bajo el complejo.

No obstante, en la actualidad si se visita la zona donde un día estuvo el monumental complejo apenas quedan un puñado de vestigios que no permiten más que intuir la grandiosidad de la que algún día gozó el edificio.

La iniciativa "Caracalla 4ª dimensión", promovido por la Superintendencia de Bienes Culturales de Roma y CoopCulture, trata de devolver a la vida los restos arqueológicos de las termas mediante el uso de la realidad virtual. Mediante un dispositivo compuesto únicamente por un visor, un smartphone y un software se consigue una experiencia virtual e inmersiva, acercando así al espectador a la percepción que tuvieron un día los romanos de esta obra arquitectónica.

El funcionamiento del sistema consiste en primer lugar en la recreación virtual llevada a cabo por CoopCulture. Para ello es fundamental una enorme cantidad de información acerca del edificio: monografías, planos, dibujos, textos. Si se trabaja con información incompleta se puede llegar a un resultado inexacto que inequívocamente se traduce en una peor experiencia para el usuario.

Una vez realizado el modelado 3D del edificio usando las medidas contrastadas y extraídas de todas las fuentes de información se procede a dotar de texturas al modelo del mayor realismo posible pero teniendo siempre en cuenta el dispositivo al que está destinado, en este caso un smartphone, ya que de producir mapas de texturas demasiado pesados podrían aparecer problemas de fluidez durante la experiencia virtual.

En el caso de las Termas de Caracalla se trata de un uso de la realidad virtual combinada con la visita física in situ; por ello al estar visitando las verdaderas ruinas de los baños no se trata de un entorno controlado y libre de obstáculos. Es por esto que, al menos por el momento, no se incluye la posibilidad de que el espectador pueda explorar el espacio virtual, sino que se usa la técnica de una fotografía estereoscópica o 360° sólo que introduciendo la reproducción virtual previamente realizada.



Figura 2.22 - Recreación virtual y estado actual del Frigidarium.

El dispositivo móvil usado en la visita cuenta con un software instalado el cual contiene la biblioteca de imágenes virtuales 360° además de utilizar el GPS del teléfono para identificar en qué punto de las ruinas se encuentra el espectador y de forma automática reproducir en el visor la recreación de esa estancia; produciéndose así la interacción entre realidad (las propias ruinas) y entorno virtual (reconstrucción virtual 3D).

Con la inclusión de este avance tecnológico las Termas de Caracalla se convirtieron en el primer yacimiento arqueológico de Italia en contar con la posibilidad de realizar una visita virtual y a pesar de tratarse un proyecto relativamente sencillo, la experiencia virtual dota al monumento de un gran atractivo añadido y de una gran acogida por parte de los visitantes..



Figura 2.23 - Recreación virtual y estado actual del Tepidarium.

## LARKIN VR

En un caso similar al anterior encontramos *Larkin VR*, un proyecto realizado por el arquitecto David Romero y el estudio de soluciones de realidad virtual Isostopy. Consiste en la recreación del famoso edificio de oficinas Larkin, diseñado por uno de los maestros del siglo XX, Frank Lloyd Wright y demolido en 1959.

El edificio Larkin se encontraba en Buffalo, Nueva York y fue diseñado en 1903 por un joven Wright. Se trata de una obra tan revolucionaria que los críticos necesitaron algún tiempo para entender el impacto de la propuesta y actualmente el edificio Larkin ocupa un lugar privilegiado en la historia de la arquitectura moderna por sus avances técnicos, estéticos y sociales. Mientras que, a día de hoy, algunos de sus elementos parecen extraños, como el organo en mitad del atrio central ó los escritorios de obra, otros se han convertido en parte del entorno arquitectónico de muchos lugares de trabajo, como las puertas de cristal ó los espacios de trabajo abiertos.

La obra tuvo 47 años de vida, hasta que la compañía que lo construyó, la Larkin Soap Company desapareció. Tras un tiempo sin ocupantes, en 1950 se decidió demolerlo, algo que actualmente sería impensable. A pesar de que estuvo casi medio siglo en pie, apenas se conservan fotografías de calidad que permitan admirar con claridad el edificio, y las pocas que existen son en blanco y negro.

La iniciativa *Larkin VR* consigue devolver a la vida este edificio permitiendo realizar una visita por el interior de los diferentes espacios gracias a unos renders con alto nivel de fidelidad y detalle, contando incluso con el mobiliario original diseñado por Frank Lloyd Wright.

El resultado consiste en una aplicación gratuita para smartphones, disponible tanto para Android como IOS, que una vez descargada permite la visualización de las imágenes con el dispositivo móvil, además de ser compatible con headsets de realidad virtual.

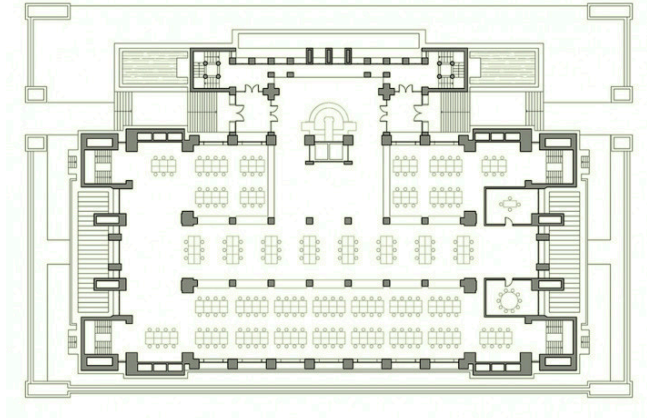


Figura 2.24 - Planta original del edificio Larkin.



Figura 2.25 - Fotografía original del espacio central abierto de oficinas.



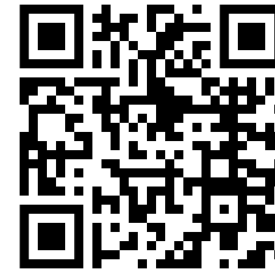


Figura 2.26 - Recreación virtual del atrio central del edificio.



Figura 2.27 - Imagen estereoscópica de la recreación virtual del edificio.

La aplicación consigue una experiencia inmersiva de gran calidad a pesar de carecer de la posibilidad de la realización de un recorrido libre. El sistema, al igual que en el ejemplo anterior, consiste en una serie de imágenes estereoscópicas extraídas del modelo virtual renderizado. Sin embargo, al contar con un gran número de estas imágenes, lo que produce un recorrido más fluido, unido al gran nivel de detalle del modelo además del sonido ambiente característico de un edificio de oficinas que incluye el software, el resultado final es muy convincente. (Romero 2017, Web 9)



Enlace QR al vídeo demostración de la aplicación *Larkin VR*.

## MUSEOS VIRTUALES

La irrupción de la tecnología en la sociedad actual es innegable a estas alturas. Han cambiado las formas de comunicarse, socializarse, informarse incluso de aprender. Los museos no son una excepción. Cada día son más las galerías de arte que buscan formas de mejorar la experiencia de sus visitantes a través de la tecnología. La realidad virtual y aumentada son una de las mejores maneras de conseguirlo, siendo los siguientes sus principales beneficios.

- Aumentar la experiencia del espectador.

La realidad virtual y aumentada se han popularizado en todo el mundo, se usan con éxito en campos tan diversos como en la medicina, en el mercado inmobiliario y en la educación. Por este motivo estas herramientas tienen una gran capacidad para atraer gente y traer algo nuevo a la experiencia tradicional de un museo de "pasear y observar".

- Captar más visitantes.

No son pocas las personas que buscan experiencias nuevas. Para este público la oportunidad de observar una obra de arte desde otro punto de vista completamente diferente gracias a la realidad virtual supondría un producto de gran interés.

- Nuevo flujo de ingresos.

Según las estadísticas, muchos museos solamente cubren el 30% de su presupuesto con la venta de entradas. La realidad virtual supondría una nueva forma de hacer que los visitantes repitieran, además de los nuevos usuarios. Con el uso de estas nuevas herramientas se pueden crear exposiciones nuevas e interactivas y producir una experiencia totalmente diferente; una que inmersa al espectador en un conocimiento de las obras mucho mayor.

Los costes de desarrollo de este proyecto podrán ser algo elevados, pero sin duda se amortizarán en un breve periodo de tiempo.

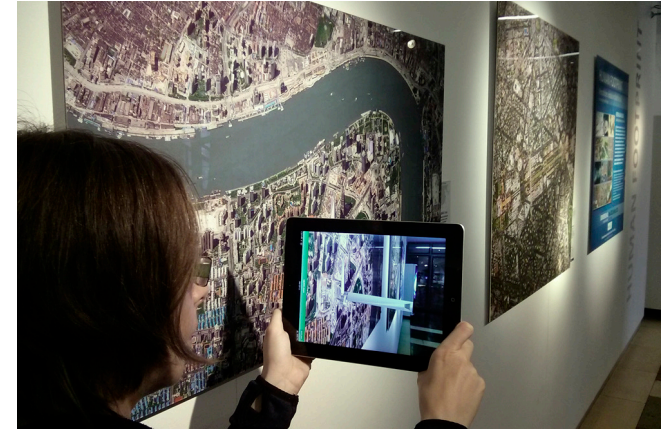


Figura 2.28 - Cada día son más los museos que usan la realidad virtual y aumentada.

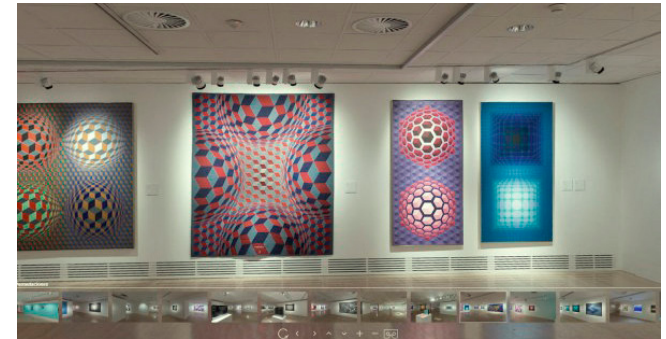


Figura 2.29 - Imagen de la visita virtual disponible en la web del Museo Thyssen-Bornemisza.



Figura 2.30 - Uso de realidad aumentada en el Museo Isabella Stewart Gardner.

Actualmente son muchos los museos, físicos y virtuales, que se apoyan en la realidad virtual para llevar más allá la visita de sus obras y expandir el concepto clásico de museo. Aquí algunos ejemplos. (Bianchini 2018, Web 10)

En 1990, el Museo Isabella Stewart Gardner fue el escenario de uno de los robos más famosos de la historia. Trece obras de arte, valoradas en unos 500 millones de dólares, fueron sustraídas del museo y nunca se recuperaron. Si hoy se visita el museo, en el lugar de las obras robadas se encuentran marcos vacíos a modo de recordatorio, sin embargo esto está lejos de ser una simple anécdota, ya que la organización del museo supo sacarle el máximo partido a la situación con la ayuda de realidad aumentada. "Hackeando el atraco" es una aplicación para móviles que permite a los visitantes ver las obras robadas en el mismo punto donde un día estuvieron colgadas, simplemente apuntando hacia los marcos con sus dispositivos.



Figura 2.31 - Imagen estereoscópica de la exposición de Egipto del MET.

Otros ejemplos pueden ser el British Museum y en el Metropolitan Museum of Art, el Met. No sólo se trata de dos de los museos más importantes del mundo, sino también dos de los más visitados. Cada uno puede albergar unos siete millones de visitantes anuales, algo que sin duda afecta a la experiencia de visitar estas galerías. Como intento de aliviar esta masificación, ambas instituciones cuentan con tours virtuales para varios dispositivos; siendo posible el disfrute de una visita inmersiva ya que son compatibles con cualquier smartphone y gafas 3D.

En el caso del Museo Kremer no se habla de una entidad que usa herramientas de realidad virtual, sino que el propio museo es virtual. Se trata del primer museo concebido para existir únicamente en el ámbito virtual. Fue fundado por los coleccionistas de arte George y Joël Kremer con la intención de construir una galería de arte de calidad disponible para cualquier persona en cualquier lugar. Los usuarios son trasladados a una galería virtual a través de la app para móviles "Viveport". Una vez allí pueden disfrutar de casi un centenar de piezas de arte. Cada obra fue fotografiada miles de veces, usando el método de la fotogrametría, para poder recrearla virtualmente de una forma realista.

Dentro de nuestras fronteras también aparecen ejemplos interesantes del uso de la realidad virtual: es el caso del "Museo Vacío". Desarrollado por Luis Hernández, Javier Taibo, Antonio Seoane y Alberto Jaspe, se trata de un espacio de realidad virtual capaz de producir una experiencia inmersiva gracias a gráficos muy realistas y a la combinación de elementos virtuales en un espacio real.

El sistema funciona con dos dispositivos de manera simultánea. El primero, llamado "base", controla y sigue al usuario dentro del entorno. Por otro lado, aparece el "satélite", el cual será el encargado de generar los gráficos 3D.

Una vez que estas herramientas están funcionando el resultado es un espacio híbrido, ya que el espectador está paseando realmente por un espacio, la base, y gracias a los satélites, recibe las imágenes creadas por realidad virtual dependiendo de la posición que ocupe en la base en cada momento.

Al principio el espectador experimentará un sensación dual de estar moviéndose por un lugar real, aunque percibiendo estímulos visuales y auditivos virtuales. No obstante, al cabo de un breve periodo de tiempo el usuario asociará sus pasos y movimientos al "mundo virtual" consiguiendo una desconexión casi total del lugar real.

Con el fin de evitar cualquier problema que pudiera surgir al transitar la parte real de la instalación, en el espacio virtual se colocan obstáculos que hagan la función de límites para que el usuario se mantenga dentro de los límites reales del espacio. El Museo Vacío puede ser utilizado por más de un visitante al mismo tiempo, es por esto que cada usuario contara con un avatar en el espacio virtual para evitar que colisionen entre ellos en la realidad. (Hernández et al. 2011)

El Museo Vacío ha estado expuesto en Santiago de Compostela varios años, en los que miles de visitantes han podido disfrutar de esta experiencia virtual inmersiva.



Figura 2.32 - Atrio virtual del Museo Kremer.



Figura 2.33 - Usuarios experimentando la realidad virtual en la instalación "Museo Vacío".



## - CONCLUSIONES -

En la primera parte del trabajo se ha tratado de definir la cualidad más característica de la arquitectura, el espacio. Se ha realizado un repaso a la evolución que el concepto ha experimentado a lo largo de la historia y las diferentes formas que se utilizaron para representarlo. Sin embargo, parece claro que ninguna de estas herramientas consigue un resultado tan satisfactorio como la realidad virtual.

La realidad es la herramienta adecuada para representar el espacio en la arquitectura. Esta es la máxima que debe calar en el lector de este trabajo.

Se han presentado ejemplos de aplicación de la realidad virtual en la actualidad y pese a ser útiles y creativos no se trata más que de la punta del iceberg, queda mucho trabajo por hacer y mucho que investigar; pero no debe quedar ninguna duda de que al final de este camino se encuentra una arquitectura accesible para todos. La persecución de un objetivo en el que tantos recursos se han invertido a lo largo de la historia, el fin del lugar marginal que ocupa la arquitectura en relación a las otras artes.

El vivir arquitecturas "inexistentes" es algo muy interesante, sobre todo a nivel docente. Pero a mi parecer, lo más importante que puede alcanzar la realidad virtual es facilitar la comprensión de la arquitectura, dejando así de ser un concepto abstracto sólo reservado para los formados en el campo.

Espero que en un futuro próximo todo el mundo pueda diseñar arquitectura desde el salón de su casa, usando un hardware de precio asequible a través de un software sencillo e intuitivo y pudiendo subir y mostrar sus diseños al resto del mundo mediante una plataforma global en la nube.

## - BIBLIOGRAFÍA -

BERTHOLD, H. (2008) *"La Sforzinda de Filarete. Ciudad ideal y recreación del mundo."*

GULLBERG, J. (2016) *"Voids and bodies: August Schmarsow, Bruno Zevi and space as a historiographical theme."*

HERNÁNDEZ, L. et al. (2011) *"La percepción del espacio en la visualización de arquitectura mediante realidad virtual inmersiva"*

IBORRA, F. (2018) *"De la basílica vitruviana a la basílica ilustrada."*

LOTZ, W. (1985) *"La arquitectura del renacimiento en Italia."*

MARCHÁN, S. (2010) *"La disolución del clasicismo y la construcción de lo moderno."*

MARCO, J. & HERRANZ, G. (2012) *"Realidad Virtual aplicada a la Arquitectura."*

PEDREÑO, F. (2007) *"La basílica romana en época republicana. Una breve aproximación."*

RHEINGOLD, H. (1992) *"La realidad virtual, Simon & Schuster."*

SAINZ, J. (2009) *"El dibujo de arquitectura. Teoría e historia de un lenguaje gráfico."*

TUERO DEL PRADO, C. (2013) *"Las termas romanas, establecimientos precursores de los actuales centros acuáticos de ocio."*

VAGNETTI, L. (1958) *"Disegno e architettura."*

ZEVI, B. (1948) *"Saber ver la arquitectura."*

## - ENLACES WEB -

CALDUCH, J. *“Del texto al dibujo: La Basílica en Fano de Vitruvio.”* [http://www.mindeguia.com/dibex/Vitruvio\\_Fano.htm](http://www.mindeguia.com/dibex/Vitruvio_Fano.htm) (Agosto 2019)

MARTÍNEZ, F. *“MICHAEL GANDY, El Banco de Inglaterra en ruinas, 1830”* [http://www.mindeguia.com/dibex/Soane\\_BInglaterra.htm](http://www.mindeguia.com/dibex/Soane_BInglaterra.htm) (Agosto 2019)

WEB 1: MUSEO DEL PRADO *“Capilla mayor de San Juan de los Reyes, Toledo”* <https://www.museodelprado.es/coleccion/obra-de-arte/capilla-mayor-de-san-juan-de-los-reyes-toledo/67ed9983-b75f-4448-9cac-102e38571d10> (Agosto 2019)

WEB 2: VOXMUNDI *“Los arquitectos de la basílica de San Pedro”* <https://www.voxmundi.eu/los-arquitectos-de-la-basilica-de-san-pedro/?lang=es> (Agosto 2019)

WEB 3: ESPACIO EVOLUCIÓN EUROPA *“Breve historia de la realidad virtual.”* <https://evemuseografia.com/2018/03/30/breve-historia-de-la-realidad-virtual/> (Agosto 2019)

WEB 4: Symmetry. <https://symmetryvr.com/> (Agosto 2019)

WEB 5: IrisVR. <https://irisvr.com/> (Agosto 2019)

WEB 6: ArqVR. <http://arqvr.com/es/> (Agosto 2019)

WEB 7: Truvisión. <https://www.facebook.com/truvisiónvr/> (Agosto 2019)

WEB 8: NBBJ. <http://www.nbbj.com/> (Agosto 2019)

WEB 9: ROMERO, D. (2017) *“Virtual reality”* <http://www.hookedonthepast.com/virtual-reality/> (Agosto 2019)

WEB 10: BIANCHINI, R. (2018) <https://www.inexhibit.com/case-studies/virtual-museums-part-1-the-origins/> (Agosto 2019)



## - ÍNDICE DE IMÁGENES -

- Figura 1.1** - Render del proyecto Heydar Aliyev Centre, producido por Zaha Hadid Architects, Bakú.  
<https://images.adsttc.com/media/images/55e6/3499/2347/5d14/8500/02ae/slideshow/captura-de-pantalla-2011-09-26-a-las-16-38-27.jpg?1441150100>
- Figura 1.2** - Render del proyecto Messner Mountain Museum, producido por Zaha Hadid Architects, Bolzano.  
<https://archiscapes.files.wordpress.com/2014/11/render-c2a9-zaha-hadid-architects-2.jpg?w=1180&>
- Figura 1.3** - Dibujo de Gian Lorenzo Bernini, Sant' Andrea al Quirinale, Roma.  
*Imagen extraída de: El dibujo de arquitectura. Teoría e historia de un lenguaje gráfico. Jorge Sainz, 2005 p.8*
- Figura 1.4** - Dibujo de Andrea Palladio, alzado-sección Villa Capra, Vicenza.  
*Imagen extraída de: El dibujo de arquitectura. Teoría e historia de un lenguaje gráfico. Jorge Sainz, 2005 p.120*
- Figura 1.5** - Fotografía de la fachada frontal del Partenón de la Acrópolis, Atenas.  
[http://apuntes.santanderlasalle.es/arte/grecia/arquitectura/partenon/partenon\\_vista\\_fachada.jpg](http://apuntes.santanderlasalle.es/arte/grecia/arquitectura/partenon/partenon_vista_fachada.jpg)
- Figura 1.6** - Fotografía de la entrada del British Museum, Londres.  
<https://aws-tiqets-cdn.imgix.net/images/content/0d6b788dfc2c4e1aa6a6caee78a4cd65.jpg?auto=format&fit=crop&iplib=python-1.1.2&q=25&s=6f16a65decb19a4c355fc5f40978ae60&w=400&h=320&dpr=2.625>
- Figura 1.7** - Fotografía del espacio interior del Panteón de Agripa, Roma.  
<https://losojosdehipatia.com.es/wp-content/uploads/Interior-del-Pante%C3%B3n.jpg>
- Figura 1.8** - Recreación digital del espacio interior de la Basílica de Majencio, Roma.  
<https://i.pinimg.com/originals/29/89/04/2989046a056534865f8c20079558b9be.jpg>
- Figura 1.9** - Imagen del interior de la Iglesia de San Clemente, Roma.  
[https://www.artehistoria.com/sites/default/files/styles/full\\_horizontal/public/imagenobra/AUI27269.jpg?itok=AhfLOCVR](https://www.artehistoria.com/sites/default/files/styles/full_horizontal/public/imagenobra/AUI27269.jpg?itok=AhfLOCVR)
- Figura 1.10** - Imagen del interior de la Basílica de Santa Constanza, Roma.  
<https://i.pinimg.com/originals/29/89/04/2989046a056534865f8c20079558b9be.jpg>
- Figura 1.11** - Imagen del interior de la Basílica de Santa Sofía, Estambul.  
<https://images.ctfassets.net/niwziy2l9cvz/XWwk7XTZE28WKcYY6u2su/c16dec1725dd0686e9744ab1ef4274d3/istanbul-Temple-of-Solomon-1500x850.jpg>
- Figura 1.12** - Planta de la Basílica de Santa Sofía, Estambul.  
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b7/Hagia-Sophia-Grundriss.jpg/1024px-Hagia-Sophia-Grundriss.jpg>
- Figura 1.13** - Planta de la Basílica de Sant'Ambrogio, Milán.  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/1911\\_Britannica-Architecture-S.\\_Ambrogio.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/1911_Britannica-Architecture-S._Ambrogio.png)
- Figura 1.14** - Planta y alzado de la Abadía de Cluny, Cluny.  
<http://art.lostonsite.com/wp-content/uploads/2015/09/Cluny-Abad%C3%ADa-de-Cluny-III-1088-1130.jpg>
- Figura 1.15** - Imagen del interior de Notre Dame, París.  
[https://live.staticflickr.com/3766/11232274605\\_9c7c62564f\\_b.jpg](https://live.staticflickr.com/3766/11232274605_9c7c62564f_b.jpg)
- Figura 1.16** - Imagen del interior de la abadía de Westminster, Londres.  
[https://www.guias.travel/wp-content/uploads/2018/12/westminster-abbey-tickets\\_header-20456.jpeg](https://www.guias.travel/wp-content/uploads/2018/12/westminster-abbey-tickets_header-20456.jpeg)
- Figura 1.17** - Imagen del interior de la iglesia del Santo Spirito, Florencia.  
[https://live.staticflickr.com/1893/42349196530\\_cf58051375\\_b.jpg](https://live.staticflickr.com/1893/42349196530_cf58051375_b.jpg)
- Figura 1.18** - Imagen del interior de la iglesia de San Lorenzo, Florencia.  
<https://i.pinimg.com/originals/bc/e0/42/bce0421bbcea06cc8196db57e5129e28.jpg>
- Figura 1.19** - Maqueta del templete San Pietro in Montorio, Roma.  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/WLA\\_vanda\\_Model\\_of\\_Bramantes\\_Tempietto\\_of\\_San\\_Pietro\\_in\\_Montorio.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/WLA_vanda_Model_of_Bramantes_Tempietto_of_San_Pietro_in_Montorio.jpg)
- Figura 1.20** - Imagen de la cúpula de la Iglesia de Santa María del Fiore, Florencia.  
[https://www.mibauldeblogs.com/wp-content/uploads/2013/04/IMG\\_0325-800x600.jpg](https://www.mibauldeblogs.com/wp-content/uploads/2013/04/IMG_0325-800x600.jpg)
- Figura 1.21** - Imagen de la cúpula de la Iglesia de San Pedro, El Vaticano.  
<https://www.fuiservijante.com/wp-content/uploads/2017/07/c%C3%BApula-da-basilica-de-sao-pedro-10.jpg>
- Figura 1.22** - Imagen de la escalinata de acceso a la Biblioteca Laurenciana, Florencia.  
[https://live.staticflickr.com/7176/6846665524\\_4e82fea25d\\_b.jpg](https://live.staticflickr.com/7176/6846665524_4e82fea25d_b.jpg)

**Figura 1.23** - Imagen exterior de la Iglesia de Santa María de la Salute, Venecia.

[https://image.freepik.com/foto-gratis/vista-basilica-santa-maria-salud-venecia-italia\\_106485-1450.jpg](https://image.freepik.com/foto-gratis/vista-basilica-santa-maria-salud-venecia-italia_106485-1450.jpg)

**Figura 1.24** - Fachada frontal de la iglesia de San Carlo alle Quattro Fontane, Roma.

<https://i.pinimg.com/originals/90/f4/81/90f481e1111cff7a51fd227025f85866.jpg>

**Figura 1.25** - Planta de la iglesia de San Carlo alle Quattro Fontane, Roma.

[https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/San\\_Carlo\\_alle\\_Quattro\\_Fontane\\_28529-1024x778.jpg](https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/San_Carlo_alle_Quattro_Fontane_28529-1024x778.jpg)

**Figura 1.26** - Dibujo de la estructura Dom-Ino, Le Corbusier.

<https://i.pinimg.com/originals/31/d0/8a/31d08ab684d51a69be63a093e5c703e5.jpg>

**Figura 1.27** - Esquema funcional de la Unité d'Habitation, Le Corbusier.

<http://www.fadu.edu.uy/viaje2015/files/2016/07/c%C3%A1ceres-00-580x287.jpg>

**Figura 1.28** - Imagen del interior de la Falling Water House, Pennsylvania.

<https://i.pinimg.com/originals/ea/5a/b6/ea5ab60c3021a9d9739b8472391d75c4.jpg>

**Figura 1.29** - Imagen del interior de la Zimmerman House, New Hampshire.

<https://www.trbimg.com/img-5951b17f/turbine/la-1498526074-mq99aqmndw-snap-image>

**Figura 1.30** - Arquitectos delineando un plano urbanístico.

<https://rolloid.net/wp-content/uploads/2018/11/15-imagenes-antiguas-muestran-como-trabajan-arquitectos-banner.jpg>

**Figura 1.31** - Dibujo original de la Torre de las virtudes de Filarete.

<http://www.epdlp.com/fotos/filarete2.jpg>

**Figura 1.32** - Comparativa entre el dibujo de Juan Guas y la actual capilla mayor de San Juan de los Reyes.

<https://laexuberanciadehad.es.files.wordpress.com/2015/06/san-juan-de-los-reyes7.jpg>

**Figura 1.33** - Sección ortogonal del proyecto para la basílica de San Pedro, dibujada por Antonio da Sangallo.

Imagen extraída de: Saber ver la arquitectura. Bruno Zevi, 1948 p.64

**Figura 1.34** - Alzado principal del proyecto para la basílica de San Pedro, dibujada también por Antonio da Sangallo.

<https://oscartenreiro.files.wordpress.com/2015/04/15-san-pedro-proy-de-antonio-da-sangallo-el-joven.jpg?w=700>

**Figura 1.35** - Sección fugada de la basílica de Fano, Claude Perrault.

[http://www.mindeguia.com/dibex/imatges/Vitruvio6\\_Perrault.jpg](http://www.mindeguia.com/dibex/imatges/Vitruvio6_Perrault.jpg)

**Figura 1.36** - Planta de la basílica de Fano, Claude Perrault.

[http://www.mindeguia.com/dibex/imatges/Vitruvio5\\_Perrault.jpg](http://www.mindeguia.com/dibex/imatges/Vitruvio5_Perrault.jpg)

**Figura 1.37** - Sección a vista de pájaro del Banco de Inglaterra, dibujada por Joseph Michael Gandy.

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Aerial\\_cutaway\\_view\\_of\\_Soane%27s\\_Bank\\_of\\_England\\_by\\_JM\\_Gandy\\_1830.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Aerial_cutaway_view_of_Soane%27s_Bank_of_England_by_JM_Gandy_1830.jpg)

**Figura 2.1** - Representación actual de un proyecto de arquitectura.

<https://3fesnf3017m3znelb81u4lp9e-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/07/3DBuildingModel.jpg>

**Figura 2.2** - Persona usando visor tipo headset.

<https://i.pinimg.com/564x/c3/f7/e2/c3f7e2f7e8965b02ef5d58882c293b6a.jpg>

**Figura 2.3** - Diferentes ejemplos de perspectivas.

<https://i.pinimg.com/564x/3d/dc/01/3ddc013b93996c13ed6ecaa54c9da30b.jpg>

**Figura 2.4** - Un adulto y un niño experimentan el mismo espacio a escalas totalmente diferentes.

[https://www.shelknows.com/wp-content/uploads/2018/08/toddler-on-mothers-lap-on-slide\\_lqqwwe.jpeg](https://www.shelknows.com/wp-content/uploads/2018/08/toddler-on-mothers-lap-on-slide_lqqwwe.jpeg)

**Figura 2.5** - Cartel de la película de Weinbaum "Las gafas de Pygmalion".

<https://musingsofamariominion.files.wordpress.com/2017/09/pygmalions-spectacles.png?w=565>

**Figura 2.6** - Ilustraciones de "Sensorama", inventada por Morton Heilig en 1950.

<https://www.avadirect.com/blog/wp-content/uploads/2015/08/Sensorama-History-of-VR.png>

**Figura 2.7** - La consola "Virtual Boy" de Nintendo.

<https://www.hit-japan.com/console2/V10017442001.jpg>

**Figura 2.8** - Fotograma de la película Matrix.

<https://images-wixmp-ed30a86b8c4ca88773594c2.wixmp.com/aa333bf8-0ac0-4dd0-9063-8fa6c449aabe/dsphd-a219e8d0-c59e-44>

**Figura 2.9** - Persona usando el dispositivo Oculus Rift.

<https://d234pm57oy3062.cloudfront.net/product-59831d1bf37b6-Oculus-Touch-2.jpg>

- Figura 2.10** - Gafas Google Cardboard, con un precio de mercado menor de 3 euros.  
[https://cdn.shopify.com/s/files/1/0263/9827/products/Untitled-1\\_fe7e1483-b5e4-4c2f-b937-2aebdb26ee6e\\_1024x1024.jpg?v](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0263/9827/products/Untitled-1_fe7e1483-b5e4-4c2f-b937-2aebdb26ee6e_1024x1024.jpg?v)
- Figura 2.11** - Interfaz del software de cálculo de estructuras SAP.  
[https://http2.mlstatic.com/sap2000-csi-curso-material-completo-de-estructuras-D\\_NQ\\_NP\\_960894-MLA27310875513\\_052018-F.jpg](https://http2.mlstatic.com/sap2000-csi-curso-material-completo-de-estructuras-D_NQ_NP_960894-MLA27310875513_052018-F.jpg)
- Figura 2.12** - Interfaz del software de BIM, Revit.  
[https://static.turbosquid.com/Preview/001257/568/42/\\_D.jpg](https://static.turbosquid.com/Preview/001257/568/42/_D.jpg)
- Figura 2.13** - La aparición de ciudades virtuales tendrá lugar pronto gracias a la realidad virtual.  
<https://cdnb.artstation.com/p/assets/images/images/010/962/529/large/galan-pang-0516-city-concept-copy.jpg?1527152335>
- Figura 2.14** - Cliente participando en el diseño gracias a la realidad virtual.  
<http://www.interiorarchitects.com/blog/wp-content/uploads/2015/07/walking-a-client-through-the-VR-enviro-IA-Interior-Architects.gif>
- Figura 2.15** - Imagen generada por ordenador de unas oficinas.  
[http://1.bp.blogspot.com/\\_0TYbOcFcuYI/TI2JTiW4yGAI/AAAAAAAAAQ/GfvW5g73Tg8/s1600/AssistCardMaxiNegro08w.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_0TYbOcFcuYI/TI2JTiW4yGAI/AAAAAAAAAQ/GfvW5g73Tg8/s1600/AssistCardMaxiNegro08w.jpg)
- Figura 2.16** - Interfaz del software Symmetry, donde se aprecian varios usuarios interactuando al mismo tiempo.  
[https://s3-ap-northeast-1.amazonaws.com/panora-t-download/wp-content/uploads/2017/08/simmetry\\_1\\_3\\_1.jpg](https://s3-ap-northeast-1.amazonaws.com/panora-t-download/wp-content/uploads/2017/08/simmetry_1_3_1.jpg)
- Figura 2.17** - Interfaz del software Iris VR Prospect, el cual permite realizar cambios dentro del modelo.  
[https://www.aecmag.com/images/stories/2017/02\\_2017/From\\_Revit\\_to\\_VR/Iris/3-Iris-Layer-Control.jpg](https://www.aecmag.com/images/stories/2017/02_2017/From_Revit_to_VR/Iris/3-Iris-Layer-Control.jpg)
- Figura 2.18** - Usuario probando las gafas de Truvisión en una feria tecnológica.  
[https://scontent.fmad3-5.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/21762022\\_1468028023266134\\_6471928590451519176\\_n.jpg?](https://scontent.fmad3-5.fna.fbcdn.net/v/t1.0-9/21762022_1468028023266134_6471928590451519176_n.jpg?)
- Figura 2.19** - El software NBBJ, gracias a su "entorno cueva" permite una experiencia inmersiva también en espacios urbanísticos.  
<https://archinect.imgix.net/uploads/x8/x8ufquiqn8q0ja8.jpg?fit=crop&auto=compress%2Cformat&w=514&dpr=2>
- Figura 2.20** - Planta y secciones de las Termas de Caracalla, Roma.  
[https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Termas\\_de\\_Caracalla\\_Plano\\_1.jpg](https://es.wikiarquitectura.com/wp-content/uploads/2017/01/Termas_de_Caracalla_Plano_1.jpg)
- Figura 2.21** - Vista aérea del estado actual de las Termas de Caracalla, Roma.  
[https://www.artehistoria.com/sites/default/files/styles/full\\_horizontal/public/imagenobra/AUT27249.jpg?itok=uvmPTsrV](https://www.artehistoria.com/sites/default/files/styles/full_horizontal/public/imagenobra/AUT27249.jpg?itok=uvmPTsrV)
- Figura 2.22** - Recreación virtual y estado actual del Frigidarium.  
[https://www.telegraph.co.uk/content/dam/news/2017/12/20/TELEMMGLPICT000149673783\\_1\\_trans\\_NvBQzQNjv4BqNjJjoeBT78QlaY-dkJdEY4CnGTJFJS74MYhNY6w3GNbO8.jpeg?imwidth=1400](https://www.telegraph.co.uk/content/dam/news/2017/12/20/TELEMMGLPICT000149673783_1_trans_NvBQzQNjv4BqNjJjoeBT78QlaY-dkJdEY4CnGTJFJS74MYhNY6w3GNbO8.jpeg?imwidth=1400)
- Figura 2.23** - Recreación virtual y estado actual del Tepidarium.  
[https://i2.wp.com/www.kidsandcompass.com/wp-content/uploads/2018/02/27265262\\_1850872848258209\\_2091299782\\_o.jpg?resize=1020%2C574&ssl=1](https://i2.wp.com/www.kidsandcompass.com/wp-content/uploads/2018/02/27265262_1850872848258209_2091299782_o.jpg?resize=1020%2C574&ssl=1)
- Figura 2.24** - Planta original del edificio Larkin.  
[https://www.vitruvius.com.br/media/images/magazines/grid\\_12/f883c2a0cf3a\\_larkingranada18.jpg](https://www.vitruvius.com.br/media/images/magazines/grid_12/f883c2a0cf3a_larkingranada18.jpg)
- Figura 2.25** - Fotografía original del espacio central abierto de oficinas.  
[http://3.bp.blogspot.com/\\_HCFuHK4mCtQ/SQhVHLrAq3I/AAAAAAAAASo/U9s6sfKvJ4g/w1200-h630-p-k-no-nu/larkin.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_HCFuHK4mCtQ/SQhVHLrAq3I/AAAAAAAAASo/U9s6sfKvJ4g/w1200-h630-p-k-no-nu/larkin.jpg)
- Figura 2.26** - Recreación virtual del atrio central del edificio.  
[https://live.staticflickr.com/5555/31168662282\\_ebf9653ee5\\_b.jpg](https://live.staticflickr.com/5555/31168662282_ebf9653ee5_b.jpg)
- Figura 2.27** - Imagen estereoscópica de la recreación virtual del edificio.  
[https://i1.wp.com/live.staticflickr.com/4196/34884145662\\_968371a687\\_c.jpg?resize=800%2C400&ssl=1](https://i1.wp.com/live.staticflickr.com/4196/34884145662_968371a687_c.jpg?resize=800%2C400&ssl=1)
- Figura 2.28** - Cada día son más los museos que usan la realidad virtual y aumentada.  
[https://cdn.wikitude.com/static-website/2014/01/20112007/screenshot\\_ar\\_art\\_11.jpg](https://cdn.wikitude.com/static-website/2014/01/20112007/screenshot_ar_art_11.jpg)
- Figura 2.29** - Imagen de la visita virtual disponible en la web del Museo Thyssen-Bornemisza.  
[https://imagenes.museothyssen.org/sites/default/files/styles/16x9\\_medium/public/imagen/2018-06/vasalery\\_vv\\_inmersiva.jpg?h=723405ad](https://imagenes.museothyssen.org/sites/default/files/styles/16x9_medium/public/imagen/2018-06/vasalery_vv_inmersiva.jpg?h=723405ad)
- Figura 2.30** - Uso de realidad aumentada en el Museo Isabella Stewart Gradner.  
<https://news.artnet.com/app/news-upload/2018/03/HiRes-ISGM-Christ-in-the-Storm-on-the-Sea-of-Galilee-1-1024x677.jpg>
- Figura 2.31** - Imagen estereoscópica de la exposición de Egipto del MET.  
[https://www.metmuseum.org/-/media/images/art/online-features/met-360/the-met-360-project\\_xl.jpg?h=940&w=2320&la=en&hash=8724F95DC2A1492C2DA7768385C7E31DF1438A95](https://www.metmuseum.org/-/media/images/art/online-features/met-360/the-met-360-project_xl.jpg?h=940&w=2320&la=en&hash=8724F95DC2A1492C2DA7768385C7E31DF1438A95)
- Figura 2.32** - Atrio virtual del Museo Kremer.  
<https://www.realovirtual.com/files/images/10001-11000/10113/5a9e4af2b4873.jpeg>
- Figura 2.33** - Usuarios experimentando la realidad virtual en la instalación "Museo Vacío".  
 Imagen extraída de: *La percepción del espacio en la visualización de arquitectura mediante realidad virtual inmersiva*. Hernández, Taibo, Seoane, Jaspe.