

EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL

INTEGRACIÓN Y POSIBILIDADES EN EL ÁMBITO ACADÉMICO

REFERENCIA: RENDERIZADO EN TIEMPO REAL: LUMION, TWINMOTION.

ALUMNO: SANTIAGO IGLESIAS YÁÑEZ

TUTOR: DR. JOSÉ ANTONIO VÁZQUEZ RODRÍGUEZ

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

FECHA DE ENTREGA: 13/10/2021

ÍNDICE

1.	RESUMEN	4
2.	METODOLOGÍA	6
3.	EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL	7
3.1.	BREVE HISTORIA DE LOS GRÁFICOS GENERADOS POR COMPUTADORA	
3.2.	EL RENDERIZADO	
3.3.	TIPOS DE RENDERIZADO	
3.4.	COMPARATIVA ENTRE RENDERIZADO OFFLINE Y RENDERIZADO EN TIEMPO REAL	
3.5.	TABLA COMPARATIVA DE MOTORES DE RENDERIZADO EN TIEMPO REAL	
3.6.	VENTAJAS DEL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL	
3.6.1	COMO HERRAMIENTA EN EL PROCESO PROYECTUAL	
3.6.2	FORMATOS DE EXPORTACIÓN	
3.7.	CASO PRÁCTICO: GENERACIÓN DE UN RECORRIDO VIRTUAL LIBRE CON TWINMOTION	
4.	EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL EN EL ÁMBITO ACADÉMICO	42
4.1.	INTRODUCCIÓN: LAS TIC EN EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR(EES)	
4.2.	HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN AVANZADA EN LAS ESCUELAS DE ARQUITECTURA	
4.3.	CASOS DE ESTUDIO: EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL EN EL ÁMBITO ACADÉMICO	
4.4.	CASOS DE ESTUDIO: EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL EN EL MUNDO LABORAL	
4.5.	POTENCIALIDAD DEL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL EN EL ÁMBITO ACADÉMICO	
4.6.	VISIÓN CRÍTICA	
5.	CONCLUSIONES	63
6.	BIBLIOGRAFÍA	65

1. RESUMEN

Los avances tecnológicos, han puesto al alcance del arquitecto nuevas herramientas de visualización, que le permiten desarrollar y expresar de forma más eficaz sus propuestas. Actualmente los renders, son un soporte gráfico cada vez más frecuente. Si bien, hasta hace poco, su utilización se limitaba a la mera visualización, las nuevas técnicas de renderizado en tiempo real, brindan nuevas posibilidades que facilitan su incorporación en el proceso de diseño. Así mismo, ofrecen nuevos soportes para la generación y experimentación de espacios virtuales con gran capacidad de inmersión e interacción.

El objetivo del presente documento es estudiar las posibilidades que ofrecen programas de visualización arquitectónica, como Twinmotion o Lumion. Con el fin de constatar las ventajas de su aplicación en el proceso de formación del arquitecto. En el desarrollo del trabajo, será fundamental la revisión del plan de estudios, artículos y ejemplos que aporten luz sobre la implementación de formatos de visualización en tiempo real en el ámbito académico.

Palabras clave: Renderizado, tiempo-real, formación, recorrido, virtual.

1. ABSTRACT

Technological advances have made new visualization tools available to architects, allowing them to develop and express their proposals more effectively. In this scenario, real-time rendering offers options that make it one more tool in the design process. Likewise, these rendering engines offer new supports for the generation and experimentation of virtual spaces with great capacity for immersion and interaction.

The aim of this paper is to study the possibilities offered by real-time rendering engines such as Twinmotion or Lumion. In order to verify the advantages of their application in the training process of the architect. In the development of the work, it will be essential to review the curriculum, articles and examples that shed light on the implementation of real-time visualization formats in the academic environment.

Keywords: Rendering, real-time, formation, tour, virtual.

1. RESUMO

Os avances tecnolóxicos puxeron a disposición do arquitecto novas ferramentas de visualización que lle permiten desenvolver e expresar de forma máis eficaz as súas propostas. Actualmente, os renders son un soporte gráfico cada vez máis frecuente. Neste panorama, os motores de renderizado en tempo real brindan novas posibilidades que favorecen a súa incorporación no proceso de deseño. Do mesmo xeito, estas técnicas de visualización ofrecen novos soportes para a xeración e experimentación de entornos virtuais con gran capacidade de interacción e inmersión.

O obxectivo deste documento é estudar as posibilidades que ofrecen programas de visualización arquitectónica como Twinmotion ou Lumion. Co fin de verificar as vantaxes da súa aplicación no proceso de formación do arquitecto. No desenvolvemento do traballo será fundamental revisar o plan de estudos actual, artigos e materiais didácticos que aporten luz sobre a implementación de formatos de visualización en tempo real no ámbito académico.

Palabras chave: Renderización, tempo-real, formación, recorrido, virtual.

2. METODOLOGÍA

La metodología del presente Trabajo de Fin de Grado se articula en dos partes diferenciadas:

En primer lugar, en cuanto las técnicas de visualización digital, se repasa el origen de los gráficos generados por ordenador y su rápida evolución hasta la actualidad. Mediante una investigación práctica, se destacan las posibilidades del renderizado en tiempo real frente al renderizado tradicional, como medio para agilizar el desarrollo y la comunicación de las propuestas del arquitecto. Se tendrán en cuenta, de forma práctica, las capacidades de sincronización con programas de modelado tridimensional, las herramientas de generación y tratamiento del entorno, los materiales PBR, el catálogo de personajes, objetos y animaciones, etc. Además de los formatos de exportación disponibles, que van más allá de imágenes o vídeos. En este sentido, mediante un caso práctico, se hace hincapié en los recorridos virtuales libres, un formato heredado de la industria de los videojuegos que cada vez tiene más presencia en la visualización arquitectónica debido a su capacidad de interacción e inmersión.

En segundo lugar, se relacionan las herramientas de renderizado en tiempo real con el proceso formativo de los estudiantes de arquitectura. Se analiza la presencia de las herramientas de representación digital en los planes de estudio de las escuelas de arquitectura nacionales. Teniendo en cuenta las materias obligatorias y optativas dedicadas a la formación específica de herramientas de diseño digital. También las que utilizan formatos de visualización en tiempo real como metodología de apoyo, para agilizar la comprensión de los contenidos impartidos en el aula. Con el fin de dar respuesta a la metodología de implementación y las ventajas que ofrecen las herramientas de visualización digital en tiempo real en el ámbito académico, se revisan casos y fuentes de información que demuestran la eficacia de estas metodologías en combinación o en comparación con las metodologías tradicionales. Finalmente se plasman las potencialidades de la visualización en tiempo real en el ámbito académico conjugado con una visión crítica del papel de las herramientas digitales en el campo de la arquitectura.

3. EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL

3.1 BREVE HISTORIA DE LOS GRÁFICOS GENERADOS POR COMPUTADORA.

En este apartado se pretende recoger de forma sintética los hitos más relevantes en la historia de los gráficos generados por computadora, para poder comprender la evolución exponencial que se ha producido desde mediados de S.XX hasta la actualidad en este campo.

Los gráficos generados por ordenador (Computer Graphics), tienen su origen en la computadora “Whirlwind”¹, desarrollada en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) en 1951. Esta computadora fue la primera capaz de introducir en tiempo real datos de geolocalización, que se podían visualizar a través de un CRT (Tubo de rayos catódicos), simulando la posición de escuadrones bombarderos.

Estos avances dieron lugar cinco años más tarde al sistema de defensa aérea SAGE² (SemiAutomatic Ground Equipment), convirtiéndose en una parte clave en el sistema de defensa antiaéreo de los EE.UU. También supuso la aparición del primer lápiz óptico, que era utilizado por los operarios para señalar aviones que sobrevolaban regiones de los Estados Unidos. Esto supuso una solución pionera en cuanto a la forma de interactuar con las computadoras.

El primer sistema proto-CAD, fue desarrollado por General Motor e IBM en 1959. El conocido como DAC-1³, ayudaba a los ingenieros a diseñar vehículos convirtiendo las líneas en formas tridimensionales que podían ser rotadas.

En la década de los 60 en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) se constata uno de los grandes hitos en el panorama de los gráficos generados por ordenador. Iván Shutherland, presenta como resultado de su tesis doctoral⁴ Sketchpad⁵. Para su desarrollo utilizó la computadora TX-2, con una capacidad de 320Kb y que disponía de un periférico (Lightpen) que permitía interactuar con la pantalla y mostrar de forma gráfica los resultados.

El programa asentó las bases de lo que hoy conocemos como CAD (Computer Aided Design) permitiendo realizar dibujos de forma directa en pantalla e introduciendo herramientas aún vigentes en la actualidad como la escala, las líneas rectas, la manipulación de geometrías, etc. El programa utilizaba gráficos vectoriales, es decir estaban definidos por fórmulas matemáticas, de tal manera que permitía dar órdenes precisas y realizar modificaciones mediante la configuración de parámetros.

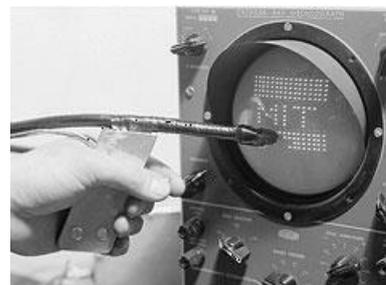


Fig . 1 , Computadora Whirlwind.
<https://history-computer.com/whirlwind-complete-history-of-the-whirlwind-computer/>



Fig . 2 , “DAC - 1” (Design Augmented by Computers).
<http://gmforcad.blogspot.com/2013/03/geometric-modeling.html>



Fig 3 , Computadora TX-2 con el dispositivo light pen.
<https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>

¹ Proyecto Whirlwind
<https://histinf.blogs.upv.es/2011/11/21/proyecto-whirlwind/>

² Whirlwind and SAGE
<https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/chapter/2-1-whirlwind-and-sage/>

³ Computerizing Car Design: The DAC-1
<https://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/215>

⁴ Sutherland, I. (1963) “Sketchpad: A man-machine graphical communication system”.

⁵ Sketchpad – Complete History of the Sketchpad Computer Program
<https://history-computer.com/software/sketchpad-complete-history-of-the-sketchpad-computer-program/>

Aunque la investigación en gráficos por computadora se remonta a la década de 1960, cuando el científico informático y profesor Ivan Sutherland introdujo el programa de software conocido como "Sketchpad", no fue hasta la década de 1970 que los investigadores comenzaron a hacer grandes avances en este campo. A lo largo de los años 70, Sutherland y su compañero David Evans continuaron estando a la vanguardia de la representación 3D y los gráficos, e incluso enseñaron la materia en la Universidad de Utah y otras instituciones educativas. Utah demostró ser el epicentro del renderizado 3D¹, y muchos de los estudiantes de Sutherland llegaron a hacer grandes cosas en la industria (como el cofundador de Pixar, Edwin Catmull, por ejemplo). Durante esta etapa aparecen grandes aportaciones.

El anteriormente mencionado Edwin Catmull junto a Fred Parke, crearon en 1972 un modelo de la mano izquierda de Catmull y le dibujaron 350 polígonos y triángulos en su superficie. Posteriormente digitalizaron esta información y crearon un modelo tridimensional animado ilustrado en el cortometraje "A Computer Animated Hand"². Esto supuso toda una revolución y sentó las bases del renderizado 3D de la actualidad.

Durante estos años se desarrollaron estudios sobre el sombreado, como es el caso del sombreado de Gouraud (1971) o el sombreado de Phong (1973), siendo el sombreado de Phong una evolución del sombreado de Gouraud. En "La reflexión de Phong y el método de Phong"³, mediante un método de interpolación consigue una mejor aproximación a las sombras en superficies suaves como por ejemplo una esfera.

En 1975, se desarrolla en la Universidad de Cornell (Nueva York) un laboratorio con el fin de estudiar las leyes físicas de la luz. La caja de Cornell⁴ fue construida para facilitar el desarrollo de los fundamentos físicos de la renderización basada en las leyes físicas de la luz. Los investigadores reconocieron desde el principio que los modelos de iluminación para gráficos por computadora estaban limitados por el hardware y software de la época. La intención era utilizar estos modelos de referencia para acercarse al renderizado fotorrealista.

Ese mismo año, el también estudiante en Utah, Martin Newell, crea un modelo informático en 3D de una tetera física. Necesitaba un objeto simple para que el ordenador lo pudiese mover con soltura y que tuviera ciertas características como por ejemplo: partes que hicieran sombras o se reflejasen sobre sí mismo, partes redondeadas, otras parcialmente convexas, etc. Este modelo se ha convertido en un icono de los gráficos generados por computadora⁵.

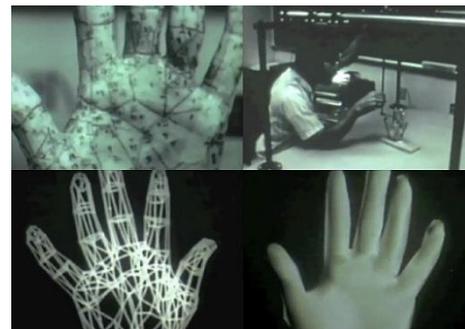


Fig 1, A Computer Animated Hand, <https://steemit.com/animation/@stino-san/-a-computer-animated-hand>

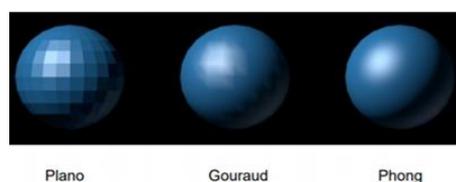


Fig 2, La reflexión de Phong y el método de Phong, <http://graficarte1.blogspot.com/2013/11/unidad-4.html>

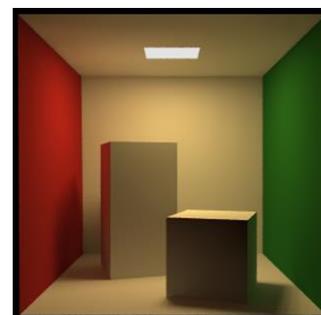


Fig 3, The Cornell Box https://cs.brown.edu/stc/research/rendering/research_R2.html

¹ The 1970s: The Dawning of the 3D Rendered Age <https://pixelperfect-studios.com/history-of-3d-rendering/>

² "A computer animated hand" – 1972 <https://www.youtube.com/watch?v=wdedV81UQ5k>

³ Phong, B.T (1973) "Illumination for Computer Generated Pictures." University of Utah

⁴ Rendering - Physically-Based Rendering(PBR)-Global Illumination-Cornell Box https://cs.brown.edu/stc/research/rendering/research_R2.html

⁵ La tetera de Newell o tetera de Utah <http://www.pensamientoscomputables.com/entrada/newell-utah-tetera-modelo-3d.html>

En el año 1977, James Blinn abordó las técnicas del modelado de superficies (Surface Modeling) en su tesis "Models of light reflection for computer synthesized pictures"¹, a través del método de ir añadiendo bloques de color compacto a un dibujo tridimensional que imitaba una estructura de alambre (Wireframe) y que posteriormente recubría con ciertas texturas para darles apariencia de realidad.

Todos estos avances, primeramente, fueron absorbidos por la industria del cine. En 1975, será fundada por George Lucas, la empresa de efectos especiales "Light and Magic", con el fin de desarrollar los efectos especiales del largometraje "Star Wars"(1977). Dado el éxito de la película, se amplía el departamento de efectos digitales contando con la dirección de Edwin Catmull² y que acabará convirtiéndose en Pixar. Este estudio fue el encargado de desarrollar efectos especiales para películas como "Abyss"(1989). En 1995 Pixar desarrollará la primera película generada completamente por ordenador, "Toy Story".

Desde ese momento, se ha producido una rápida evolución de los gráficos generados por ordenador, ofreciendo cada vez un mayor grado de fotorrealismo. La aparición de softwares y hardwares más potentes permite aplicar cálculos computacionales más precisos y especializados.

Todas estas investigaciones dieron sus frutos en el campo de la arquitectura y el diseño, permitiendo asistir y optimizar en tiempo y recursos el proceso del diseño arquitectónico. Durante los años 80 la implementación de estas nuevas tecnologías permitió la aparición de nuevas formas de representar y desarrollar arquitectura. Arquitectos como Zaha Hadid y Peter Eisenman, pasaron del dibujo a mano al diseño procedural. The Peak (1982)³, de Zaha Hadid es una de sus primeras visualizaciones realizadas con gráficos por computadora. Durante esta etapa Frank Gehry utilizó en el programa CATIA⁴ (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) como forma de representar su arquitectura, convirtiéndose en el primero en usar un software de la industria aeronáutica en arquitectura. En 1987, sale al mercado la primera versión de "ArchiCAD", desarrollado por la empresa húngara Graphisoft, fundada en 1982⁵.

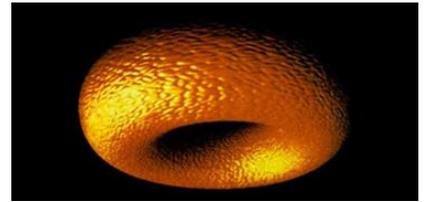


Fig 1, Bump Mapping ,
https://www.researchgate.net/figure/De-mostracion-de-la-tecnica-bump-mapping-desarrollada-por-James-Blinn-en-la-Universidad-de_fig11_328484629



Fig 2, Toy Story,
<https://computerhistory.org/profile/edwin-catmull/>



Fig 3, The Peak , Zaha Hadid,
<http://hiddenarchitecture.net/the-peak-leisure-club/>

¹ Blinn, J. F (1977) "Models of light reflection for computer synthesized pictures." University of Utah

² EDWIN CATMULL
<https://computerhistory.org/profile/edwin-catmull/>

³ The Peak Leisure Club
<http://hiddenarchitecture.net/the-peak-leisure-club/>

⁴ Frank Gehry uses CATIA for his architecture creations
<https://www.youtube.com/watch?v=UEn53Wr6380>

⁵ A Brief History of BIM
<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>

En la década de 1990, se lanzaron muchos programas de visualización en 3D, como la primera versión del actualmente denominado "Autodesk 3ds Max"¹. También aparecieron herramientas de modelado y renderizado 3D. Por ejemplo, Cinema 4D en 1990, Houdini en 1996, V-Ray en 1997, Blender y Autodesk Maya en 1998.

El año 2000 se destacó por el lanzamiento de otro líder de la industria del modelado 3D, Revit. Un programa de modelado BIM, que será comprado por Autodesk en 2002. Además, la primera década de siglo destacó por la aparición de numerosos programas de visualización 3D fotorrealista. Algunos de ellos son: la primera versión de Maxwell Render (2006), Octane Render (2009), Corona Renderer (2009), etc. Gracias a la evolución del software de visualización y modelado 3D, el renderizado ganó cada vez más popularidad en las industrias de la arquitectura y diseño².

A lo largo de la última década la industria de los videojuegos cada vez se hace cada vez más fuerte. Los avances tecnológicos en cuanto a representación de espacios virtuales e interacción con el entorno son aprovechados por campos como la arquitectura. Motores de desarrollo de videojuegos como Unreal Engine (1998) o "Unity" (1998) empiezan a utilizarse en el campo de la representación arquitectónica³. Estos motores estaban diseñados para el desarrollo de videojuegos y tenían un lenguaje difícil de dominar sin conocimientos previos. En este campo aparecen programas de renderizado en tiempo real especializados en el diseño arquitectónico como Lumion, Twinmotion, Enscape, etc. La capacidad de interacción y el cada vez mayor grado de fotorrealismo hace que los programas de renderizado tradicionales se estén viendo desplazados por estos motores de renderizado en tiempo real.

Por otro lado, se produce el auge de los programas BIM (Building Information Modeling) , especializados en el campo de la arquitectura que se enfocan tanto en el diseño , construcción , organización o productividad. El uso de esta metodología ya es obligatorio para el desarrollo de obras públicas en algunos países de Europa, estando a la cabeza Reino Unido⁴.

A medida que el campo de representación arquitectónica continúa desarrollándose en términos de potencia y calidad; nuevas herramientas van apareciendo. La industria de los videojuegos ha impulsado el desarrollo e investigación de tecnologías como la realidad virtual (Oculus Rift, HTC Vive, etc.) o la realidad aumentada. Estas tecnologías cada vez están más normalizadas en el campo del diseño y de la arquitectura⁵.



Fig 1, Metodología BIM, <https://knowledge.autodesk.com/es/search-result/caas/simplecontent/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-bim.html>



Fig 2, Realidad Aumentada, <https://archicgi.com/cgi-news/future-of-3d-visualization-for-architecture/>



Fig 3, Realidad Virtual, <https://archicgi.com/cgi-news/future-of-3d-visualization-for-architecture/>

¹ How 3D Modeling Has Impacted the Architecture and Design Industry throughout the Last 30 Years. <https://www.cadcrowd.com/blog/how-3d-modeling-has-impacted-the-architecture-and-design-industry-throughout-the-last-30-years/>

² La historia del rendering a través de mis renders y proyectos de arquitectura | 1992-2020 <https://www.youtube.com/watch?v=ds4tuAzlxJs>

³ Rawn, Evan. "Imágenes irreales: pros y contras de renderizar con software de videojuegos" <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/765249/imagenes-irreales-pros-y-contras-de-renderizar-con-software-de-videojuegos>

⁴ Jaime Montava Miró. "¿En qué países BIM es obligatorio para obras públicas?" https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/956326/en-que-paises-bim-es-obligatorio-para-obras-publicas?ad_source=search&ad_medium=search_result_all

⁵ Future Of 3D Visualization: What It Holds For Architectural Design And Construction <https://archicgi.com/cgi-news/future-of-3d-visualization-for-architecture/>

3.2 EL RENDERIZADO

DEFINICIÓN

El renderizado consiste en la generación de una imagen o secuencia de imágenes en 2D a partir de un modelo bidimensional o tridimensional¹, con el fin de imitar un espacio 3D formado por estructuras poligonales, iluminación, texturas, materiales... Simulando ambientes y estructuras físicas de forma realista. Aunque habitualmente este término es utilizado para referirse a imágenes o secuencias de imágenes generadas a partir de un entorno 3D, es común utilizar este término en otras disciplinas como la videografía, la animación o el retoque fotográfico.

¿QUE ES UN MOTOR DE RENDERIZADO?

El proceso de renderizado se lleva a cabo a través de los motores de renderizado. Por definición un motor de renderizado es un conjunto de rutinas (algoritmos), que procesan la información introducida por el usuario (iluminación, materiales, posición de la cámara, etc)², dando salida a imágenes o animaciones. La opción de generar una imagen menos real pero más rápidamente frente a otra hiperrealista más lentamente y que el control del proceso sea de visión inmediata, es decir, en tiempo real o de forma diferida en una pantalla a parte, definen el perfil y el nivel de versatilidad de cada motor a parte de un uso o interfaz más o menos intuitiva³.

El renderizado es un proceso que se desarrolla de forma independiente a la generación de modelos 3D, algunos programas incorporan su propio motor de renderizado con el fin de concentrar todo el flujo de trabajo en un mismo software. Como es el caso de Revit o Autocad que incorporan un motor de renderizado básico, denominado Autodesk Raytracer. Por otro lado, existen softwares de modelado como 3ds Max que incorporan programas de renderizado como Arnold, que permiten la generación de imágenes con resultados mucho más sofisticados. Por norma general los motores de renderizado aparecen en forma de plugin o extensión del programa de modelado como (Vray,Enscape,etc) o como un programa totalmente independiente (Lumion, Twinmotion,etc).

¹ Technical Terms : Rendering Definition
<https://techterms.com/definition/rendering>

² BIMRRAS- 071 Motores de render
<https://www.bimrras.com/episodio/071-motores-de-render/>

³Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada."
<http://hdl.handle.net/2117/187867>

¿EN QUE CONSISTE?

El objetivo en todos estos casos es obtener simulaciones verosímiles y para ello los motores de render, intentan simular los comportamientos reales o físicos de los elementos de la escena mediante diversas estrategias de cálculo que están en constante desarrollo. Estos algoritmos tienen la función de realizar tareas concretas en el proceso de renderizado. Siendo un motor de render un conjunto de algoritmos que se encargan del proceso de renderizado. Los métodos básicos de renderizado son: Rasterizado, Ray Casting, Radiosity y Ray tracing¹.

-Rasterizado: Se trata de una técnica de renderizado, que consiste en convertir las formas primitivas (vectores y curvas) que describen un modelo en un formato de mapa de bits².

Los algoritmos de rasterizado plasman la geometría de los objetos tridimensionales en un plano bidimensional basándose en los triángulos que componen la geometría de los objetos modelados. Estos triángulos, se plasman en el plano bidimensional de la siguiente manera:

-Se transforman los vértices del triángulo tridimensional en puntos bidimensionales.

-Mediante un proceso conocido como Scanline Rendering³, se completan los espacios comprendidos entre cada uno de los puntos que componen el triángulo. Esta técnica escanea la imagen realizando un barrido horizontal y vertical con el fin de identificar las primitivas.

-Una vez interpretada la geometría, el motor de renderizado calcula la posición de profundidad de los vértices de cada píxel, mediante el algoritmo Z-Buffer⁴, que almacena la información de profundidad de cada píxel con la finalidad de saber si son visibles o no desde el punto de vista del espectador, ya que si están ocultos no serán representados por el motor de renderizado. Esta información es actualizada con cada barrido realizado por el Scanline Rendering que mencionamos en el paso anterior.

-Por último, el motor de renderizado calcula la información lumínica que afecta a los píxeles representados en el plano bidimensional.

El rasterizado con Scanline Rendering es una de las técnicas más utilizadas en motores de renderizado en tiempo real debido a su velocidad de cálculo.

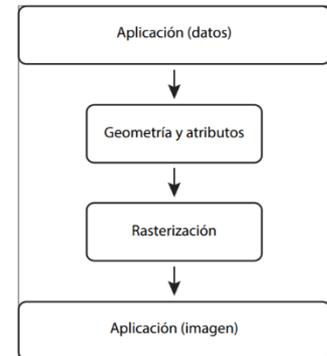


Fig 1, Esquema básico del proceso, <http://hdl.handle.net/2117/82368>

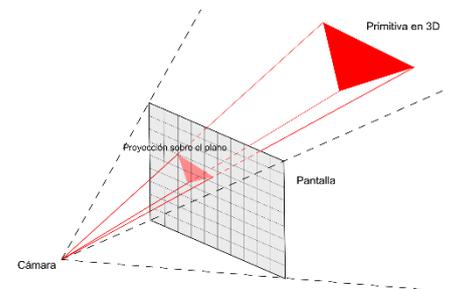


Fig 2, Esquema proceso de rasterizado

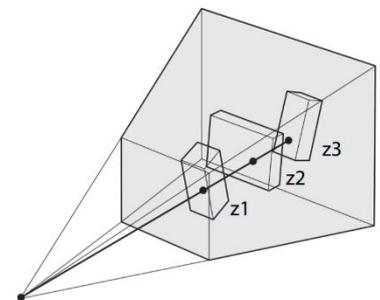


Fig 3, Esquema Z-Buffer, <http://hdl.handle.net/2117/82368>

¹ Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada." <http://hdl.handle.net/2117/187867>

Computational Techniques for Rendering <https://archicgi.com/cgi-news/computer-3d-rendering/>

² Rasterizado y ray casting: <https://disruptiveludens.wordpress.com/2017/02/23/rasterizao/>

³ Scanline rendering <https://www.youtube.com/watch?v=oE8c9yUbRYI>

⁴ Z-buffer <https://www.cs.ubc.ca/~tmm/courses/cpsc414-03-fall/Vsep2003/slides/week10.mon.slides.pdf>
Monedero Isorna, J(2015) "Simulación visual de materiales : teoría, técnicas, análisis de casos" <http://hdl.handle.net/2117/82368>

-Radiosidad: Se trata de un proceso que pretende simular como la luz difusa reflejada de una superficie es propagada por el área que la rodea¹. Originalmente, esta técnica fue investigada con el fin de determinar, mediante cálculo, el calor irradiado por una superficie y el calor absorbido por el área que la rodea. El funcionamiento de este algoritmo, de forma simplificada, es el siguiente²:

-Subdivisión de la superficie a renderizar en superficies más pequeñas denominadas patches(parches).

-Se calcula la predisposición que tiene cada una de estas subdivisiones a ser irradiada por la luz que rebota en el resto de las subdivisiones. Este proceso se denomina view factor (factor de forma) y varía en función de los objetos y el ángulo de cada uno de ellos.

El algoritmo de radiosidad es frecuentemente utilizado en motores de renderizado en tiempo real debido a su velocidad para calcular efectos de simulación complejos. Estos resultados de radiosidad suelen ser almacenados en mapas de texturas denominados light maps que contienen la información lumínica de la textura³.

-Ray tracing: Es uno de los primeros algoritmos de renderizado desarrollados⁴. Esta técnica, parte de la premisa, de que aunque existan numerosas fuentes de iluminación en escena, solo interesa calcular los rayos lumínicos que viajan desde una fuente de luz, rebotan en una superficie determinada y traspasan el plano de renderizado situado entre la cámara y la escena⁵. De forma simplificada, este algoritmo se desarrolla de la siguiente forma:

-Se traza un rayo desde el punto de vista en el que está situado la cámara, pasando por el plano de renderizado a través de un pixel para finalmente intersectar con una superficie.

-Cuando el rayo alcanza la superficie de contacto este se transforma en tres tipos de rayo dependiendo de las características del material que la compone: reflejado que viajará hasta la superficie más próxima, refractado donde el rayo viaja a través de una superficie translúcida hasta intersectar con otra superficie y sombra, donde el rayo viaja directamente hacia la luz de la escena que genera la sombra.

El trazado de rayos pretende simular las propiedades físicas de la luz, buscando el fotorrealismo. En las leyes físicas de la naturaleza, los rayos lumínicos viajan desde la fuente lumínica, intersectan con una superficie y finalmente viajan hacia el punto de vista. En esta técnica de renderizado este proceso se invierte, con el fin de calcular únicamente los rayos que son percibidos desde el punto de vista, gracias a esto se optimiza el algoritmo y se reduce el tiempo de renderizado.

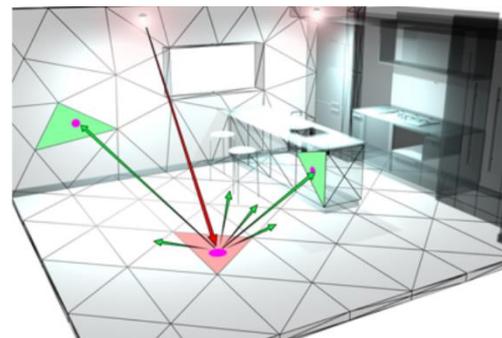


Fig 1 , Esquema de funcionamiento de algoritmo de radiosidad, Autodesk.

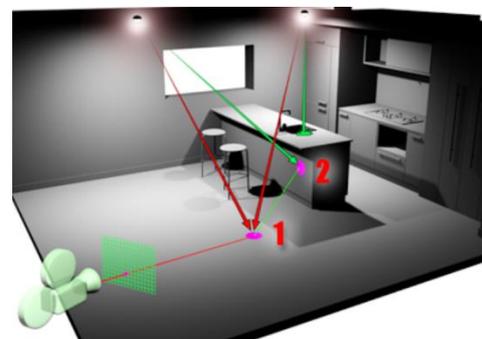


Fig 2 , Esquema de funcionamiento del algoritmo ray tracing, Autodesk.

¹ Radiosidad

<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/3DSMax-Archive/files/GUID-C5A3C77B-794B-4444-9783-7F2EA11C16BD-htm.html>

² Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada." <http://hdl.handle.net/2117/187867>

³ Martínez Rodríguez, D.G (2020) "Virtual Production y Performance Capture. Estudio de técnicas en tiempo real para la producción de efectos visuales en la industria audiovisual."

⁴ Whitted ,T (1979) "An improved illumination model for shaded display." ACM Siggraph Computer Graphics.

The Compleat Angler – First demonstration of recursive ray tracing in computer graphics animation

<https://www.youtube.com/watch?v=0KrCh5qD9Ho&t=15s>

⁵ RAY TRACING and other RENDERING METHODS

<https://www.youtube.com/watch?v=LAsnQoBUG4Q&t=601s>

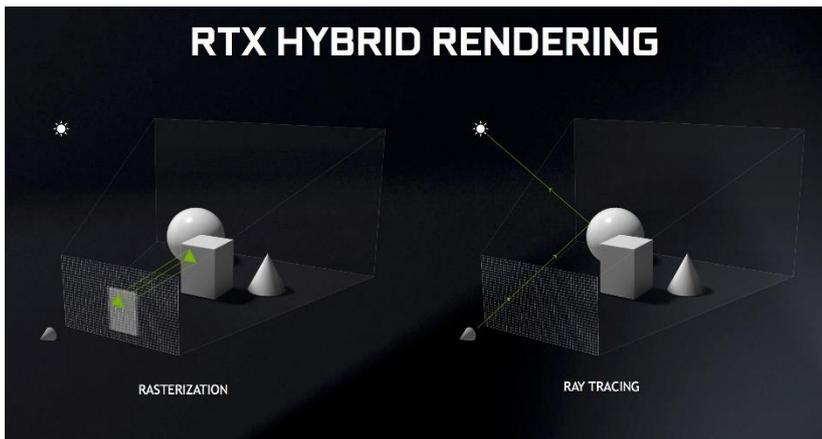


Fig 1, Esquema comparativo de técnica de rasterizado y ray tracing, Nvidia.

Una evolución del ray tracing es el path tracing. A diferencia del trazado de rayos en el que un rayo define una única trayectoria, en el path tracing ese mismo rayo rebota de forma múltiple en las distintas superficies que interseca multiplicando exponencialmente el número de rayos¹. Esta técnica ofrece resultados de gran fotorrealismo a coste de aumentar el tiempo de renderizado.

-Ray casting: Es un proceso de renderizado que tiene similitudes con el ray tracing. La principal diferencia es que el algoritmo solo calcula la geometría de los objetos visibles desde el punto de vista del espectador. Además en el ray casting solo se trazan los rayos primarios sin tener en cuenta las reflexiones, refracciones o sombras ocasionadas por las fuentes lumínicas. Este algoritmo fue muy utilizado en la década de los 90 como método de renderizado en videojuegos como Wolfenstein 3D²

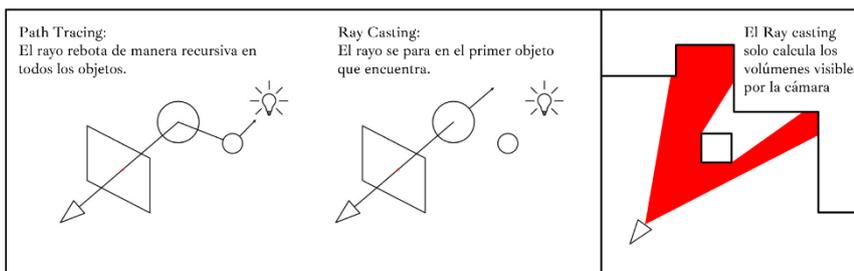


Fig 2, Esquema del funcionamiento de Ray casting, Nvidia

¹ Disney's Practical Guide to Path Tracing
https://www.youtube.com/watch?v=frLwRLS_ZR0

² Ray casting in Wolfenstein 3D
<https://lodev.org/cgtutor/raycasting.html>

3.3 TIPOS DE RENDERIZADO

PRE-RENDERIZADO O RENDERIZADO OFFLINE

Es el proceso de renderizado tradicional en la representación arquitectónica. Consiste en la generación de una imagen o secuencia de imágenes tras el cálculo de una serie de parámetros como la iluminación, materiales, etc¹.

La principal característica de los motores de renderizado offline es que permiten generar imágenes o secuencias de imágenes con un alto grado de fotorrealismo sin necesidad de recurrir a softwares de postproducción, a coste de un elevado tiempo de cálculo y una menor interacción. Esto se debe a que el proceso de renderizado normalmente usa técnicas de trazado de rayos (ray tracing)², en la que como se refleja en el apartado anterior, se trazan miles o millones de rayos desde la cámara al entorno virtual con el fin de simular unas condiciones físicas lumínicas lo más cercanas a la realidad, lo que conlleva un elevado tiempo de cálculo. Este tipo de motores tienen como único formato de salida imágenes o videos lo cual descarta cualquier formato interactivo. En el campo de la representación arquitectónica son frecuentemente utilizados en la etapa final del proceso creativo con el fin de obtener una imagen o vídeo de con un alto grado de fotorrealismo. Los motores de renderizado offline son ampliamente utilizados en la industria cinematográfica y VFX³.

Uno de los programas más utilizados de renderizado offline es V-ray, el cual funciona como plug-in de otros softwares de modelado como Sketchup, Revit, 3dsMax, etc. Además, estos programas son compatibles con software BIM como Revit o Archicad. Otros programas de renderizado similares serían Corona Render, Maxwell Renderer, etc.

Existen programas que incorporan funciones de renderizado básicas como es el caso de Autocad o Revit con su motor Autodesk Raytracer, en este caso para obtener resultados más realistas se suele hacer uso de extensiones como el anteriormente mencionado V-ray.

Por otro lado, programas de modelado 3D como 3dsMax o Blender ofrecen características de renderizado más avanzadas y con unas mayores prestaciones como herramientas de animación de objetos y personajes, aplicaciones específicas de sistemas de colisiones, gravedad, etc. Este tipo de software suele ser difícil de dominar, sus altas prestaciones los hacen idóneos en el mundo de la animación profesional. En el caso de 3dsMax con Mental Ray y Blender con el motor Cycles.



Fig 1, Corona Render,
<https://corona-renderer.com/gallery>



Fig 2, Vray,
<https://www.chaosgroup.com/gallery/voxlvision-napoli-house>



Fig 3, Blender Cycles,
<https://www.cycles-renderer.org/>

¹ Monedero Isorna, J(2015), "Simulación visual de materiales : teoría, técnicas, análisis de casos"

² An Overview of the Ray-Tracing Rendering Technique
<https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/ray-tracing-overview>

³ Martínez Rodríguez, D.G (2020) "Virtual Production y Performance Capture. Estudio de técnicas en tiempo real para la producción de efectos visuales en la industria audiovisual."

RENDERIZADO EN TIEMPO REAL

Nos referimos a software en tiempo real cuando dicho sistema permite generar imágenes virtuales con la rapidez suficiente como para inducir sensación de movimiento al mismo tiempo que el usuario interactúa con el entorno virtual.¹

Para que estos programas sean considerados en tiempo real la generación de imágenes debe darse en un determinado intervalo de tiempo. Debido a esto es muy importante la tasa de imágenes por segundo (fps) ya que determinará la fluidez con la que el usuario interactúa con el modelo. La frecuencia mínima de fotogramas por segundo para que un programa sea considerado "real time" es de 15 fps². Para alcanzar esta frecuencia de generación de imágenes, el trazado de rayos (raytracing) es un proceso de cálculo muy costoso, estos sistemas en su lugar emplean técnicas como la rasterización de triángulos z-buffer³. La evolución de la industria de los videojuegos ha favorecido enormemente el desarrollo de técnicas de renderizado en tiempo real, game engines como Unity o Unreal Engine ya incorporan técnicas de trazado de rayos, por lo que es cuestión de tiempo que programas basados en game engines como Twinmotion acaben implementando estos procesos de cálculo⁴. A diferencia de los motores offline que tienen como único formato de salida imágenes o vídeos, los motores real-time abren la puerta a experiencias inmersivas interactivas como los recorridos virtuales, las panorámicas interactivas o la realidad virtual.

Dentro de los programas de renderizado en tiempo real más frecuentes en la visualización arquitectónica podemos establecer una distinción en dos tipos: los programas de renderizado especializados en arquitectura y los game engines o motores de videojuegos.

Algunos de los motores de renderizado en tiempo real especializados en arquitectura, al igual que los motores offline son extensiones de otros programas de modelado como es el caso de Enscape o Vray Visions.

Pero la mayoría de estos programas se ejecutan de forma externa al programa de modelado como es el caso de Lumion, Twinmotion, D5Render, etc. Aplicaciones 3D completas como Blender también ofrecen opciones de renderizado en tiempo real con su motor Eevee.

Por otro lado, los game engines, son motores desarrollados por las compañías de videojuegos para la creación y ejecución de los mismos. Aparte de las funciones de renderizado ofrecen herramientas como motores físicos, de sonido, animación, etc. La amplia gama de herramientas disponibles los convierte en un software de difícil dominio. Aunque en el campo de la arquitectura estos motores son cada vez más frecuentes debido a su amplio catálogo de herramientas, sus resultados fotorrealistas y sus capacidades de interacción e inmersión.



Fig 1, Lumion

<https://www.lumion.es/simplificar-renderizado-lumion/>



Fig 2, Twinmotion <https://studioavk.com/twinmotion-community-challenge-4>



Fig 3, Unreal Engine,

<https://www.unrealengine.com>

¹ Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada." <http://hdl.handle.net/2117/187867>

² BIMRRAS- 071 Motores de render <https://www.bimrras.com/episodio/071-motores-de-render/>

³ Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada." <http://hdl.handle.net/2117/187867>

⁴ Toolfarm 3d Renderers-CPU vs. GPU Rendering https://www.toolfarm.com/tutorial/in_depth_3d_renderers/

3.4 COMPARATIVA ENTRE RENDERIZADO EN TIEMPO REAL Y RENDERIZADO OFFLINE

Se realiza una prueba comparativa entre los resultados generados por un motor de renderizado offline y un motor de renderizado en tiempo real.

Para la prueba se selecciona un modelo 3D de Sketchup y se procesa en dos programas de renderizado. Por un lado V-Ray, un motor de renderizado offline ampliamente conocido y utilizado para realizar visualizaciones arquitectónicas. Por otro lado, Twinmotion, que junto a Lumion, son los motores de renderizado en tiempo real especializados en arquitectura más utilizados¹.

Para el ensayo se ha partido de las mismas condiciones. Los parámetros de iluminación se basan en una única fuente de luz, estableciéndose los mismos valores de inclinación y orientación solar. El formato de imagen es el mismo, en este caso 1600x900 píxeles. Los materiales responden a las texturas asignadas desde el programa de modelado. Para el resto de configuraciones no se han modificado los valores por defecto de ninguno de los motores de renderizado, ofreciendo distintas interpretaciones de color y de los materiales importados.



Fig 1, Twinmotion, tiempo de procesado:11s aprox, Elaboración propia.



Fig 2, V-Ray, tiempo de procesado:17 min aprox, Elaboración propia.

En las imágenes resultantes podemos apreciar resultados similares. Aunque el mayor grado de fotorrealismo del motor de renderizado offline se hace evidente en el cálculo de la iluminación, donde se puede apreciar que las sombras generadas son más detalladas. Por ejemplo, en el pavimento, donde gracias al mejor cálculo de la iluminación se aprecian los peldaños, a diferencia de la imagen de la izquierda donde toda la superficie parece plana. Otro detalle sería en la cubierta, donde se refleja de forma más exacta el relieve de los elementos constructivos.

En cuanto al tiempo de procesado, V-Ray finalizó el cálculo de la escena en aproximadamente 17 minutos frente a los 20 segundos que tardó Twinmotion en exportar la escena.

Finalmente, el resultado del motor en renderizado en tiempo real es muy parejo, en cuanto a calidad de imagen, al del renderizado offline y además permite interactuar con la imagen y ver los cambios de forma instantánea. Por el contrario, la técnica de renderizado offline simula las condiciones físicas de la luz de forma más cercana a la realidad y ofrece un mayor grado de detalle. Pero cada vez que se interacciona con la imagen esta tiene que ser sometida a un proceso de cálculo (en este caso 17 minutos) para ser visualizada, sacrificando así la interactividad con el escenario virtual a cambio una mayor calidad de la imagen resultante.

¹ Survey shows trends in arch viz
<http://www.cgchannel.com/2020/09/cgarchitect-2020-rendering-survey-reveals-trends-in-arch-viz/>

3.5 TABLA COMPARATIVA DE MOTORES DE RENDERIZADO EN TIEMPO REAL PARA ARQUITECTURA.

A continuación, se presenta una tabla comparativa en la que se reflejan algunos de los motores de renderizado más utilizados en el ámbito de la arquitectura¹, comparado sus requisitos y características técnicas.

		TWINMOTION	LUMION	V-Ray	ENSCAPE	D5RENDER	UNREAL ENGINE 4
EMPRESA DESARROLLADORA		Epic Games	ACT-3D B.V	Chaos Group	Enscape	D5TECH LIMITED	Epic Games
REQUISITOS DE HARDWARE	CPU ²	CPU Mark: >2000	CPU Mark: >2000	CPU Mark: >2000	CPU Mark:>1300	CPU Mark> 6000	CPU Mark: >2000
				Con soporte para SSE4.2		Con soporte para SSE4.2	
	GPU ³	VRAM:6GB G3DMark: >10000	VRAM:6GB G3DMark:>10000	VRAM:4GB G3DMark:>8000	VRAM: 2 GB G3DMark:>3000	VRAM:6GB G3DMark:>10000	VRAM:2GB G3DMark:>3000
	RAM	16 GB	16 GB	8 GB	4 GB	16 GB	8 GB
PROCESO DE RENDERIZADO BASADO PRINCIPALMENTE EN:	CPU			X			
	GPU						
	HÍBRIDO	X	X	X	X	X	X
RENDERIZADO EN TIEMPO REAL		X	X	Extensión: V-Ray Vision	X	X	X
SOPORTA DE REALIDAD VIRTUAL		X			X		X
PLUG-IN DE OTRO PROGRAMA (Es necesario ejecutar el programa de modelado al mismo tiempo)				X	X		X
PROGRAMAS COMPATIBLES CON SINCRONIZACIÓN EN TIEMPO REAL CON PROGRAMAS DE MODELADO. <small>(LOS CAMBIOS EN EL PROGRAMA DE MODELADO SE REFLEJAN EN EL PROGRAMA DE RENDERIZADO SIN NECESIDAD DE REIMPORTAR EL ARCHIVO)</small>		SKETCHUP REVIT RHINO ARCHICAD RIKCAD	SKETCHUP REVIT RHINO BRICSCAD ARCHICAD VECTORWORKS AUTOCAD	SKETCHUP (V-Ray Vision)	SKETCHUP REVIT RHINO VECTORWORKS ARCHICAD	SKETCHUP 3dsMax ARCHICAD REVIT RHINO	
BIBLIOTECA DE OBJETOS INCORPORADA		X	X	X	X	LIMITADA EN LA VERSIÓN GRATUITA	X
BIBLIOTECA DE MATERIALES INCORPORADA		X	X	X	X	X	X
CURVA DE APRENDIZAJE		CURVA DE APRENDIZAJE RÁPIDA	CURVA DE APRENDIZAJE RÁPIDA	CURVA DE APRENDIZAJE LENTA	CURVA DE APRENDIZAJE RÁPIDA	CURVA DE APRENDIZAJE MEDIA	CURVA DE APRENDIZAJE LENTA
LICENCIA EDUCATIVA GRATUITA		X	X		X	LIMITADA (BIBLIOTECA LIMITADA, NO PERMITE INCORPORAR ANIMACIONES)	X

X EL SOFTWARE CONTIENE ESA CARACTERÍSTICA O FUNCIÓN

Tabla 1, Elaboración propia.

¹ Survey shows trends in arch viz
<http://www.cgchannel.com/2020/09/cqarchitect-2020-rendering-survey-reveals-trends-in-arch-viz/>

² TABLA COMPARATIVA DE GPU
https://www.videoocardbenchmark.net/high_end_gpus.html

³ TABLA COMPARATIVA DE CPU
https://www.cpubenchmark.net/high_end_cpus.html

3.6 VENTAJAS DEL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL

3.6.1 COMO HERRAMIENTA EN EL PROCESO PROYECTUAL.

SINCRONIZACIÓN CON SOFTWARES DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Como podemos observar en la tabla comparativa visible en las páginas anteriores, en cuanto a su interacción con los paquetes de modelado, podemos diferenciar dos tipos de motores de renderizado: los plugins o extensiones de que son dependientes del programa de modelado para ser ejecutados (Vray, Enscape, etc) y los programas que se ejecutan de forma independiente como (Lumion, Twinmotion, etc). Ambos presentan la posibilidad de sincronizar de forma sencilla los diseños ejecutados en el programa de modelado, creando así un flujo de trabajo en el que modelado y renderizado pueden ser desarrollados paralelamente aportando una sinergia que impulsa el desarrollo del proyecto.

El intercambio de información entre ambos softwares permite modificar la geometría y observar los resultados de forma instantánea en el motor de renderizado, viendo como iluminación, materiales y objetos afectan a nuestro modelo. Esta es una función muy atractiva ya que permite incorporar el renderizado en una fase temprana del proyecto y poder verificar de forma rápida si el resultado es el deseado, de esta manera tanto modelado como renderizado se retroalimentan en el proceso proyectual en un flujo de trabajo simultáneo.

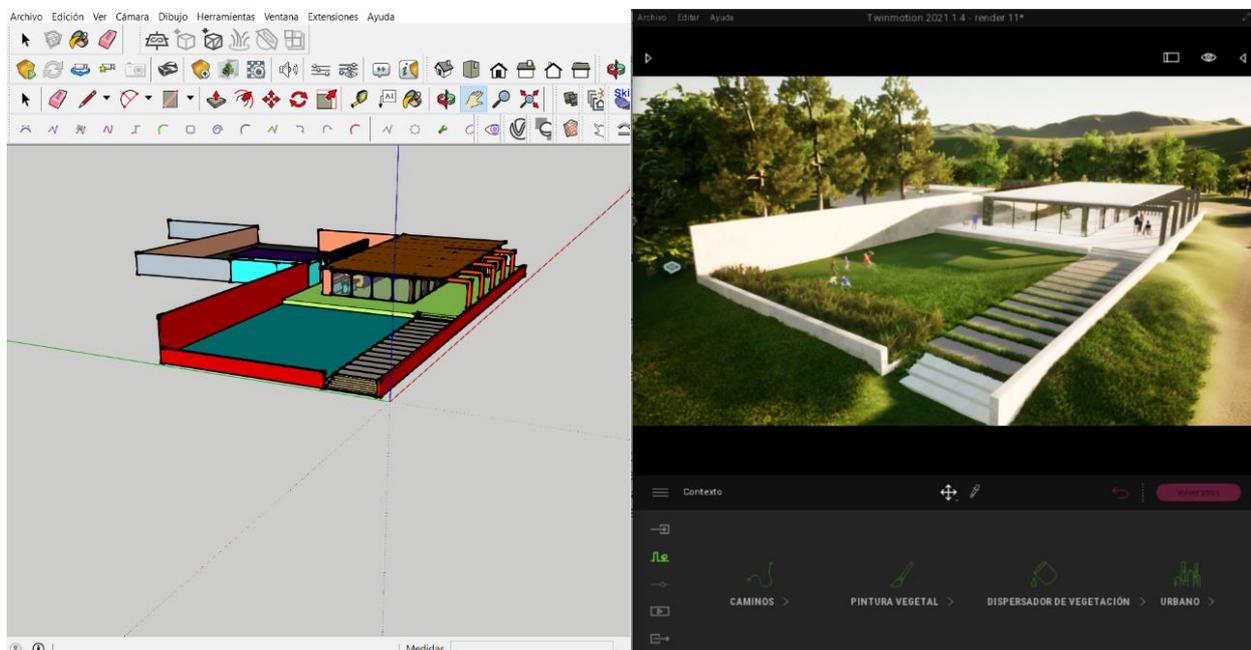


Fig 1, Sincronización de Sketchup con Twinmotion mediante Direct Link, elaboración propia.

La actual tendencia en el panorama de los softwares de diseño arquitectónico es la integración del desarrollo arquitectónico en un solo software, optimizando así tiempos y recursos. Estos softwares de renderizado permiten la sincronización con programas BIM (Building Information Modeling), permitiendo controlar desde un mismo software gran parte del proceso de diseño. Esta metodología permite realizar proyectos de una forma precisa, detallada y rápida como podemos observar en el siguiente video¹. Live Sync (Lumion), Direct Link (Twinmotion) es el nombre de las extensiones más utilizadas para conseguir el enlace entre ambos softwares de diseño arquitectónico.

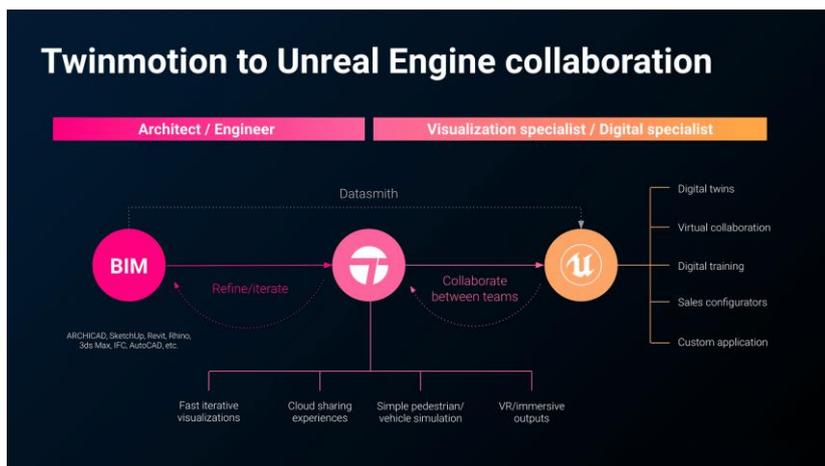


Fig 1 , Ecosistema de la compañía Epic Games , página de Epic Games.

En este sentido, la compañía Epic Games, propietaria de Unreal Engine y Twinmotion, ha desarrollado un ecosistema que permite sincronizar fácilmente los datos entre las herramientas de modelado CAD, BIM, Twinmotion y Unreal Engine. Esta interoperabilidad agiliza los procesos de diseño gracias a la interacción constante entre el programa de modelado y el programa de renderizado.

Así mismo, la extensión de Unreal Engine denominada Datasmith permite importar datos tanto de los programas de modelado como de Twinmotion. De este modo, Twinmotion destaca por la agilidad para crear y compartir visualizaciones. Si se desea aportar un mayor grado de realismo a la escena y sacar partido a las funciones interactivas de Unreal Engine , la extensión Datasmith permite vincular los datos de forma totalmente compatible sin perder los datos de la escena.

Estas funciones avanzan hacia la integración de todos los datos generados en el proceso de diseño arquitectónico en un mismo ecosistema. Además, la compañía desarrolladora ofrece todos sus paquetes de forma gratuita y cada vez suma más herramientas a su ecosistema, como Quixel Scans. Esta es una biblioteca de texturas y objetos de alta calidad, disponibles para todos sus paquetes de software.

¹ EJEMPLOS REALES IMPLEMENTACION REVIT + ENSCAPE
https://www.youtube.com/watch?v=L_JB-mZnFAE

HERRAMIENTAS DE CONTEXTUALIZACIÓN

Motores de renderizado en tiempo real como Lumion o Twinmotion cuentan con herramientas nativas que nos permiten contextualizar el proyecto arquitectónico. Ubicación, contexto urbano, caminos, esculpir terreno, climatología y vegetación son las principales herramientas que nos permiten definir el entorno cercano de nuestro proyecto.



Fig 1, Levantamiento de La Coruña realizado con Lumion, Elaboración propia.

La compatibilidad de Lumion y Twinmotion con Open Street Maps nos permite geolocalizar de forma sencilla nuestro proyecto. Generando un levantamiento volumétrico de los edificios circundantes, permite apreciar cómo se relaciona nuestro proyecto con el entorno urbano. Además, genera de forma simplificada vías de circulación y la vegetación de la zona.

A diferencia de Twinmotion, Lumion permite realizar un levantamiento topográfico aproximado a partir de la información de mapas de alturas proporcionados por ArcGis, como se puede apreciar en el levantamiento superior que fue generado en menos de 15 minutos. Este contexto, puede ser transformado con las herramientas de modificación topográfica que el programa pone a disposición del usuario. Esta función tiene sus limitaciones, la falta de precisión tanto de las construcciones reflejadas mediante volúmenes simples y una topografía basada en mapas de altura a menudo desactualizados, impiden el estudio del contexto de forma precisa.

Para un estudio más riguroso y cercano a la realidad, otra opción es importar la topografía desde otros softwares para poder ser tratada en el programa de renderizado, siendo cada vez más frecuente técnicas como la fotogrametría que nos permiten generar y trabajar con modelos muy detallados del entorno, como se ilustra en el video citado a pie de página.

Una vez geolocalizado el modelo levantado, esta opción también permite obtener datos como la orientación del modelo y modificar parámetros como la hora o el mes, lo cual repercutirá en el recorrido solar y las sombras que genera en los volúmenes. Todo esto visualizado en tiempo real, permitiéndonos realizar un primer análisis del entorno de actuación.



Fig 2, Posición solar: Este, Elaboración propia.



Fig 3, Posición solar: Sur, Elaboración propia.

Para completar el contexto generado, son de gran utilidad herramientas que nos permiten: simular las condiciones de tráfico, situar la vegetación existente, añadir mobiliario urbano ...

En el siguiente ejemplo, a partir de un modelo tridimensional de un sector de la ciudad de Londres, se genera el tráfico urbano tanto de vehículos como peatones. Esto nos permite tener en cuenta la accesibilidad y estudiar la implantación de nuestro proyecto en relación con estos factores. Estas circulaciones pueden ser modificadas en parámetros como su recorrido, velocidad o densidad.



Fig 1, Simulación de tráfico urbano en Twinmotion a partir de un modelo 3D de Londres obtenido de Accucities, Elaboración propia.

En este sentido es interesante citar casos como el de EFLA¹. Se trata de una empresa de ingeniería civil de Islandia, que trabaja en grandes proyectos de infraestructura como carreteras, puentes, autopistas, etc.

En el desarrollo de sus proyectos la empresa utiliza Twinmotion, para localizar y detallar el contexto de implantación. Según Thor Bragason, especialista en visualización en EFLA: “Usamos la opción de localización en Twinmotion para agregar rápidamente más edificios alrededor de las áreas de enfoque. La población de la escena con detalles fue muy sencilla, y se trataba más de saber cuándo dejar de agregar detalles que de cualquier otra cosa”².

La posibilidad de simular e interaccionar rápidamente con parámetros como el tráfico es una gran ventaja en este tipo de proyectos. “Con Twinmotion, tenemos más tiempo para iteraciones y experimentación” afirma Bragason.

¹ EFLA ENGINEERS

<https://www.efla-engineers.com/>

² EFLA supercharges its road and infrastructure visualization pipeline with Twinmotion

https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/efla-supercharges-its-road-and-infrastructure-visualization-pipeline-with-twinmotion?utm_medium=website&utm_source=plataformaarquitectura.cl

Por otro lado, cuenta, con unas herramientas que nos permiten generar y modificar una topografía para contextualizar nuestro proyecto¹. Esta herramienta consiste en un sencillo pincel que nos permite configurar la escala de actuación para esculpir el terreno, permitiéndonos generar entornos naturales como la costa o la montaña. Un ejemplo puede ser el siguiente proyecto próximo a un lago, su topografía fue generada y adaptada con esta herramienta tomando como bases planos de topografía. El terreno puede ser transformado además añadiendo vegetación. Twinmotion cuenta con una opción que permite dispersar vegetación pudiendo configurar la escala de actuación, esto permite situar la vegetación de forma puntual o crear grandes extensiones de naturaleza de forma rápida.



Fig 1 y 2, Generación del terreno e implantación del proyecto, Elaboración propia.

La herramienta de vegetación conjugada con parámetros climatológicos y del paso del tiempo, nos permite visualizar el impacto que tiene sobre nuestro proyecto en las distintas épocas del año y condiciones climatológicas. Ésto conjugado con parámetros como la orientación solar nos permite observar cómo afecta la vegetación a la iluminación y al entorno del proyecto al mismo tiempo que interactuamos con la escena virtual en tiempo real.



Fig 3,4,5 y 6, Vegetación y su respuesta a distintas condiciones climatológicas y épocas del año, Elaboración propia.

¹ VIDEO EN EL QUE SE MUESTRA LA MODIFICACIÓN DE UN TERRENO.
<https://www.youtube.com/watch?v=sH7cM7gX6s8>

MATERIALES PBR (PHYSICALLY BASED RENDERING)

Los materiales PBR (Physically Based Rendering) describen las propiedades visuales de una superficie basándose en el comportamiento físico de la luz, con el fin de simular materiales lo más cercanos a la realidad posible.

Con PBR, podemos crear materiales que reaccionen de manera realista con el entorno que los rodea, comportándose como un material físico real, interpretando luz y todos sus componentes y comportamientos de manera precisa.¹

Las técnicas PBR, son una evolución de los métodos de cálculo clásicos utilizados para reproducir el comportamiento físico de la luz. La implementación de estos algoritmos en procesos de renderizado en tiempo real suponía un costoso proceso computacional. Esto cambió con la aparición de un algoritmo desarrollado por Disney-Pixar², que simplificaba estos cálculos permitiendo incorporar las técnicas PBR en programas de renderizado en tiempo real.

Los materiales PBR están formados por un conjunto de mapas o texturas que contienen toda la información que define las propiedades de la superficie y su comportamiento basado en las leyes físicas de la luz. Principalmente, existen dos métodos para la generación de un material PBR: Metallic / Roughness y Specular / Glossiness³.

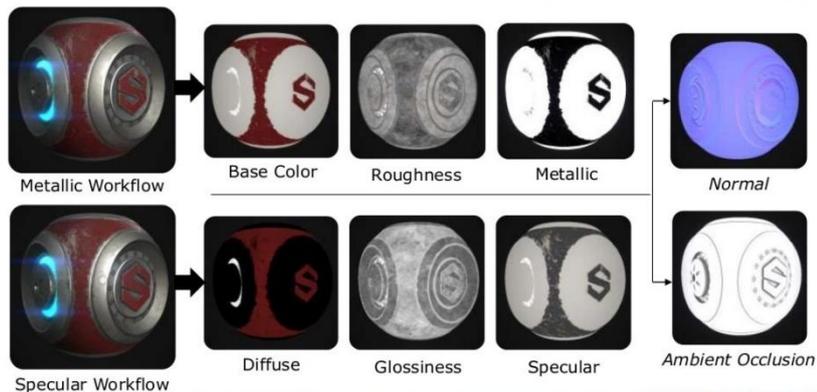


Fig 1, Método Metallic/Roughness y Specular / Glossiness ,

<https://www.gdcvault.com/play/1022969/An-End-to-End-Approach>

Mediante ambos métodos se pueden reproducir materiales con resultados similares. Motores de renderizado en tiempo real como Lumion, Twinmotion o Unreal Engine utilizan el flujo de trabajo Metallic/Roughness.

¹McDermott ,W (2015)“The PBR Guide: A Handbook for Physically Based Rendering”

² Physically Based Lighting at Pixar

<https://graphics.pixar.com/library/PhysicallyBasedLighting/paper.pdf>

³ GDC 2016 End-to-End Approach to Physically Based Rendering

<https://www.gdcvault.com/play/1022969/An-End-to-End-Approach>

En el siguiente ejemplo se refleja el flujo de trabajo para importar un material PBR a Twinmotion. Como se menciona en la página anterior, Twinmotion utiliza el flujo de trabajo Roughness / Metallic para crear un material PBR. Se requieren cinco mapas diferentes: base color/difuso, Normal/Bump, Roughness/Rugosidad, Metallic/Metálico y Heigh/Altura¹.

- Base Color: Es la información de color del material.

- Normal/Bump: Es un mapa que permite crear el efecto de relieve sobre un objeto. Es un efecto visual encargado de generar una sensación de relieve mediante una textura plana.

- Metallic/Metalico: Define si el objeto es metálico o no. En este caso, podríamos detallar qué minerales son más metálicos y diferenciarlos en esta textura. Por norma general se utiliza en objetos totalmente metálicos.

- Roughness/Rugosidad: Mapa de rugosidad que indica el detalle de la difusión de la luz sobre una superficie, determinado si es un material suave o rugoso. Este mapa de textura se encarga contiene la información referente a los detalles como arañazos, roturas ...

-Height/Altura: Textura que indica el desplazamiento de los vértices. Para que este mapa funcione correctamente, la malla de polígonos debe tener una cantidad de polígonos considerable. El height map no produce un efecto óptico, divide la malla y desplaza polígonos reales, es por esto aportan mucho más realismo.

Cada vez los motores de renderizado cuentan con una biblioteca de materiales más amplia, Lumion tiene una biblioteca de más de 1000 materiales y Twinmotion de más de 600. Estos softwares de renderizado son compatibles con plataformas con un amplio catálogo de superficies PBR (Physical Based Rendering) como Quixel Megascans(Twinmotion) y Poliigon(Lumion)².

Estas texturas son extraídas de superficies reales mediante fotogrametría. Esta técnica consiste en generar superficies o objetos 3D, a partir de numerosas fotografías tomadas desde diferentes ángulos.

En la imagen inferior podemos ver las distintas formas de asignar un material a una superficie. Por un lado, la asignación de un material importando las distintas texturas y por otro lado la asignación de un material procedente de la Biblioteca de Twinmotion.

Procedencia de los materiales de la imagen:

-A: Muro de ladrillo de la Biblioteca Quixel Megascans.

-B: Pavimento de adoquín agregado al motor de render mediante los distintos tipos de texturas.



Fig 5, Materiales PBR , Elaboración propia.



Fig 1, Base color ,
Elaboración propia.



Fig 2 , Normal,
Elaboración propia.



Fig 3, Roughness,
Elaboración propia.

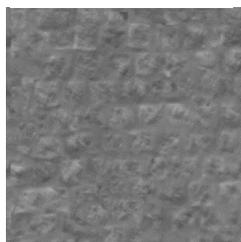


Fig 4, Height ,
Elaboración propia.

¹ Como hacer materiales PBR.

<https://www.youtube.com/watch?v=ge2KlqxCeyo>

² Crear un material PBR en Twinmotion

<http://arqual.com/bim/crear-un-material-pbr-en-twinmotion/>

OBJETOS Y PERSONAJES

Para complementar el escenario virtual, programas como Lumion o Twinmotion cuentan con un amplio catálogo de objetos en el que podemos encontrar elementos para todo tipo de situaciones como puede ser mobiliario urbano o interior, vehículos, volúmenes como agua, partículas etc.

En la siguiente imagen se aprecia la utilización del mobiliario interior en la totalidad de la escena renderizada. Lo realmente interesante de estos objetos la posibilidad de poder configurar parámetros como el color o las dimensiones para poder adaptarlos a la escena. Así mismo estos responden a las diferentes condiciones lumínicas. Por otro lado, permiten añadir una biblioteca personal de objetos que una vez añadidos se podrán implementar en otras escenas.



Fig 1, Mobiliario interior, Elaboración propia.

La visualización en tiempo real da sentido a la aparición de elementos animados en la escena. Programas de renderizado en tiempo real como Lumion o Twinmotion cuentan con una biblioteca de objetos y personajes configurados con acciones predeterminadas.

En el caso de los personajes pueden ser programados para realizar una determinada acción en la escena. Seguir un recorrido, interactuar con otros personajes, estar sentado o hablar por teléfono son algunas de las opciones disponibles.

En el caso de los objetos, están programados para realizar acciones ejecutadas cuando el usuario se posiciona dentro de su rango de ejecución, como es el caso de las puertas o ventanas animadas.

Otra posibilidad, asignar animaciones de rotación o traslación aplicables a cualquier elemento de la escena con la posibilidad de configurar parámetros como la velocidad, ángulo o el circuito a seguir.

La configuración de personajes y elementos animados simular entornos realmente vivos como podemos ver en algunas demostraciones en la red¹.



Fig 2, Interacción entre personajes, Elaboración propia.

¹ Twinmotion Animation City Street Project
<https://www.youtube.com/watch?v=9F05MN315lw>

3.6.2 FORMATOS DE EXPORTACIÓN

FORMATOS DE EXPORTACIÓN NO INTERACTIVOS.

Una vez preparada la escena, se puede exportar el trabajo en diferentes formatos. Imagen, video y panorámicas son algunos de los formatos frecuentes en los programas de renderizado. Por otro lado, dentro de los formatos no interactivos, motores como Lumion o Twinmotion amplían sus posibilidades con formatos como la phasing tool o animación por fases, que permite comunicar procesos a través de la escena virtual.

ANIMACIÓN POR FASES

La herramienta fases permite generar distintas fases de una escena virtual de forma progresiva. Habitualmente esta herramienta es utilizada para ilustrar procesos constructivos, del paso del tiempo, las sucesivas transformaciones de un entorno, etc. Para realizar este contenido es necesario disponer de un modelo 3D, bien organizado por capas, para poder asignar la capa o capas a la fase correspondiente. En un proyecto arquitectónico por ejemplo la primera fase sería la cimentación, la segunda la estructura y así sucesivamente hasta la fase de acabados. En las imágenes de la derecha se ilustra una fase correspondiente a la estructura y una segunda en la que se añade la subestructura que conforma la fachada. Esto se trata de un simple ejemplo, el grado de detalle puede ser mucho mayor.

Esta herramienta es de gran interés en el campo docente, pues permite ilustrar procesos constructivos con todo tipo de detalle. Estos programas permiten añadir maquinaria de construcción y programar de forma sencilla animaciones, que junto con el catálogo de personajes relacionados con la ejecución de la construcción dan vida a la escena. Esto permite utilizar los programas de renderizado no solo para visualizar el proyecto una vez realizada su construcción, sino que permite visualizar las distintas etapas de su construcción teniendo en cuenta los agentes que participan en este proceso como por ejemplo la maquinaria pesada, que puede ser implementada para estudiar su accesibilidad.

Otra posibilidad es aplicar la herramienta fases para reflejar distintos cambios en la escena y visualizar de forma rápida las distintas opciones. Un ejemplo de esto sería una escena en la que se barajan distintos materiales, mobiliario, iluminaciones etc. Mediante esta herramienta se podrían comparar rápidamente todas las opciones a través de un mismo archivo exportable.

Tanto Twinmotion como Lumion, permiten realizar este contenido. Para ilustrar el formato de fases es interesante el siguiente video "Cinematic Construction Simulation"¹ en el que se ilustran las fases de construcción de un edificio de gran escala.

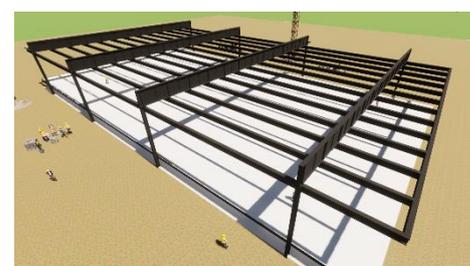


Fig 1, 2,3 y 4 , Herramienta fases , Elaboración propia.

¹ [Twinmotion 2021.1] 4K Cinematic Construction Simulation
<https://www.youtube.com/watch?v=dLn5g8CL58Y>

FORMATOS DE EXPORTACIÓN INTERACTIVOS.

Los recorridos virtuales interactivos pueden presentarse en distintos formatos. Dependiendo del formato seleccionado el usuario tendrá un determinado grado de libertad para explorar el ambiente virtual. Principalmente distinguiremos dos tipos.

IMÁGENES Y VÍDEOS 360°

En estos formatos el usuario puede visualizar todo su entorno en un rango de 360°, desde uno o varios puntos prefijados. Para crear un recorrido se pueden generar varias imágenes 360° y enlazarlas creando recorridos virtuales a partir de imágenes estáticas en las que el usuario tiene una libertad de movimiento de 360°. Este formato es utilizado por Google Street View y entidades como museos para crear visitas virtuales. Actualmente los motores de renderizado en tiempo real como Lumion, Twinmotion o Enscape ofrecen la posibilidad de generar este tipo de formato a partir de escenas virtuales de forma rápida e intuitiva.



Fig 1, Imagen 360 desplegada generada con Twinmotion, Elaboración propia.

RECORRIDOS VIRTUALES LIBRES

Los recorridos libres suponen un paso más en cuanto a interactividad. Este formato se lleva desarrollando desde hace décadas en la industria del videojuego, permitiendo cada vez una mayor libertad al jugador. Algunos ejemplos son la franquicia “GTA ” o “Assassins Creed” donde se recrean ciudades completas llenas de detalle.

Los motores de videojuegos como Unreal Engine o Unity, son cada vez más utilizados en la profesión de arquitecto¹, debido a que permiten desarrollar entornos interactivos con una calidad gráfica cada vez más cercana a la realidad, ya que ponen a disposición del usuario todo tipo de parámetros para profundizar en cada mínimo detalle de la escena.



Fig 2, Recreación de París en Assassins Creed ,
Ubisoft.

¹ Rawn, Evan. "Imágenes irreales: pros y contras de renderizar con software de videojuegos"
https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/765249/imagenes-irreales-pros-y-contras-de-renderizar-con-software-de-videojuegos?ad_source=search&ad_medium=search_result_all

La principal desventaja de estos programas es su complicada curva de dificultad, ya que están diseñados para el desarrollo de videojuegos y cuentan con numerosas funciones que no son necesarias en la profesión.

Recientemente, softwares de renderizado en tiempo real especializados en visualización arquitectónica como Twinmotion o Enscape dan la posibilidad de crear nuestros propios recorridos virtuales de forma sencilla, aunque con una calidad inferior a la proporcionada por los “game engines”. Caminar por un entorno virtual con la posibilidad de variar parámetros básicos como la iluminación al mismo tiempo que percibimos los espacios de forma eficaz es una de las ventajas principales.

Tanto Twinmotion con su función Presenter¹, como Enscape permiten exportar este tipo de contenido de forma local, es decir un archivo ejecutable desde la propia computadora o exportar directamente el contenido a la red y compartirlo, de forma que el recorrido virtual es ejecutado en un ordenador de gama alta mientras se visualiza en tiempo real vía streaming en la pantalla de nuestros ordenadores.

La creación y exportación de ambientes virtuales abre nuevas puertas en la formación de los arquitectos. La recreación de escenarios históricos, obras de arquitectura de referencia, grandes diseños que nunca pudieron materializarse, visualización de sistemas constructivos, etc. Son algunas de las posibilidades reproducibles que ayudarían a los alumnos a comprender los contenidos impartidos en clases de forma eficaz.

Un gran ejemplo para ilustrar las posibilidades de este formato es la recreación realizada recientemente de la casa Errazuriz², diseñada por Le Corbusier en 1930 y que nunca llegó a ser construida. Noventa y un años después gracias a la labor del docente Stewart Hicks podemos recorrer de forma virtual esta obra renderizada en tiempo real con el motor Enscape en el siguiente enlace³.

Estos formatos de exportación interactivos dan soporte a gafas de realidad virtual, aumentando la sensación de inmersión e interacción con el entorno simulado. Esta tecnología se está desarrollando de forma acentuada en los últimos años apareciendo en primer lugar en los game engines. Actualmente, motores de renderizado especializados en arquitectura como Enscape o Twinmotion también dan soporte a esta tecnología. Esto supone una gran ventaja puesto que permite al usuario sumergirse en un entorno virtual apreciando el espacio a una escala 1:1 y ejecutando decisiones en tiempo real.

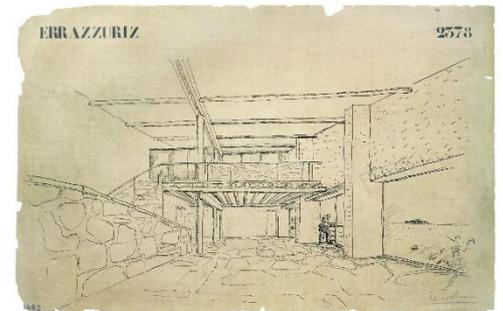


Fig 2, Casa Errazuriz , dibujo de Le Corbusier, FLC/ADAGP

¹ Sharing and presenting with Twinmotion Cloud

<https://www.youtube.com/watch?v=rRVYd4JhDFk>

² Inside Le Corbusier's LOST House Design [Errazuriz House]

<https://www.youtube.com/watch?v=OMODJiBFWjs&t=4s>

Maison Errazuriz, Not located, Chile, 1930

http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5977&sysLanguage=en-en&itemPos=1&itemSort=en-en_sort_string1&itemCount=2&sysParentName=Home&sysParentId=11

³ Recorrido virtual Casa Errázuriz (Enscape)

<https://api2.enscape3d.com/v1/view/a8462610-3966-44df-8ce9-2875679923df>

3.7 CASO PRÁCTICO: GENERACIÓN DE UN RECORRIDO VIRTUAL CON TWINMOTION.

Una vez reflejadas las ventajas de los motores de renderizado en tiempo real, se realiza un caso práctico en el que se genera un recorrido virtual. Este formato ha sido principalmente impulsado por la industria de los videojuegos, programas como Unity o Unreal Engine ofrecen un amplio catálogo de herramientas para su elaboración. El dominio de estos programas exige de horas de formación para adaptarse al manejo de la herramienta y obtener resultados. En este ámbito Twinmotion es un gran ejemplo de un software que parte de una herramienta de diseño muy compleja (Unreal Engine), que ha sido reelaborada de forma simplificada para ofrecer al usuario una experiencia de gran accesibilidad y centrada en el diseño arquitectónico.

El edificio seleccionado para la realización del caso práctico es el Crown Hall, diseñado por Mies Van Der Rohe. Su diseño empezará en 1950 y su construcción es finalizada en 1956. Esta pieza arquitectónica es proclamada por el mismo arquitecto como la mejor forma de expresar su filosofía, actualmente es considerado un hito de la historia de la arquitectura moderna.

El interés como pieza arquitectónica, su solución conceptual y su vinculación con la docencia, han sido las motivaciones principales para seleccionar esta obra de arquitectura.



Fig 1, Mies con la maqueta del Crown Hall,
<http://www.arquitecturaenacero.org/sites/arquitecturaenacero.org/files/historia/mies-1-620x497.jpg>

METODOLOGÍA

Antes de proceder a la realización del modelo práctico se realiza una investigación sobre la obra de arquitectura, teniendo en cuenta artículos, tesis y trabajos¹.

El objetivo de esta parte práctica es testear el programa de renderizado en tiempo real Twinmotion, generando un recorrido virtual libre. El modelo renderizado del Crown Hall se plantea como un museo virtual. En este caso, en su interior albergará un compendio de contenido expositivo relacionado con la obra: planos, fotografías, videos de Mies, etc. La idea es integrar distintos soportes gráficos en un espacio virtual interactivo y accesible por todo el mundo. Además, este contenido será compatible con periféricos de realidad virtual.

Para la elaboración del recorrido virtual se procederá de acorde a los siguientes pasos:

1. Obtención y elaboración tanto de material en 2D como de un modelo 3D listo para ser exportado al programa de renderizado, en este caso Twinmotion.
2. Elaboración de la escena:
 - Aplicación de materiales.
 - Integración de material expositivo sobre la obra representada en el recorrido virtual.
 - Definición del entorno.
3. Exportación del recorrido virtual interactivo. La exportación será realizada a la "Twinmotion Presenter Cloud". De esta forma el archivo podrá ser iniciado en línea, de tal manera que el usuario interactuará con el recorrido virtual y este será ejecutado en un equipo de alta gama en la nube.

¹ García Requejo, Zaida (2019) "*Mies en el IIT (Illinois Institute of Technology): conexiones entre docencia y arquitectura.*"
García Requejo, Zaida (2021) "*Cuando menos fue más: la construcción del Crown Hall de Mies van der Rohe.*"

Mies's Crown Hall.
<https://www.miessociety.org/mies-birthday-projects2b/crown-halls>

MIES VAN DER ROHE. Fundación Caja de Arquitectos.
<https://www.youtube.com/watch?v=7uNnE9HSEnk>

Jimenez Gómez , Eva(2017) "EL PILAR EN MIES VAN DER ROHE, El léxico del acero"

DESARROLLO DEL CASO PRÁCTICO

PASO 1: OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE UN MODELO 3D.

La elaboración del contenido práctico se hará en base a los planos de la restauración llevada a cabo por “*Krueck + Sexton Architects*”¹, imágenes y artículos relacionados con la obra.

Para el desarrollo del modelo tridimensional se ha optado por utilizar el software Sketchup Pro en su versión 2020. Esta decisión personal, se debe a la familiarización con el software y con su flujo de trabajo. Además, su compatibilidad con la extensión Direct Link, permite trabajar paralelamente en el modelado y renderizado de la escena. Otros programas compatibles actualmente con esta función son los siguientes: Revit, Rhino, Archicad y Rikcad.

En esta etapa de modelado, se tiene en cuenta el número de polígonos para conseguir una mayor eficiencia en el programa de renderizado. Para esto será muy importante un flujo de trabajo organizado en capas. Estas capas serán exportadas al software de renderizado donde se podrán ocultar o visibilizar en función de las necesidades de la escena. A mayores la creación de componentes dinámicos optimizará el flujo de trabajo y facilitará las modificaciones del modelo virtual. Por ejemplo, elementos repetidos en la escena como pilares o carpinterías son asignados como componentes dinámicos, esto quiere decir que, si se modifica algún parámetro, como la geometría o el material de uno de estos componentes, el cambio repercutirá en todas las copias del mismo. Programas como Lumion muestran en su página web consejos para la optimización de modelos 3D².

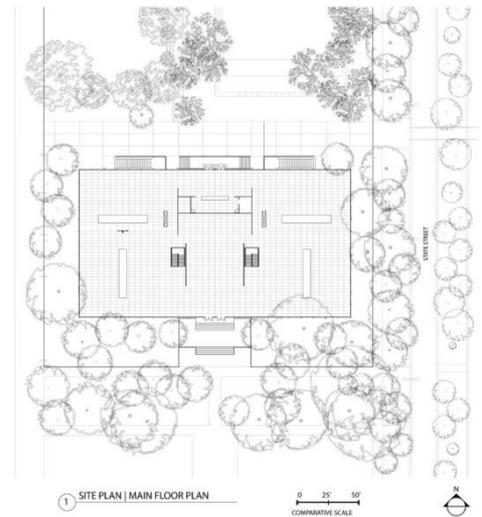


Fig 1, Plano de situación de la restauración de Krueck + Sexton Architects

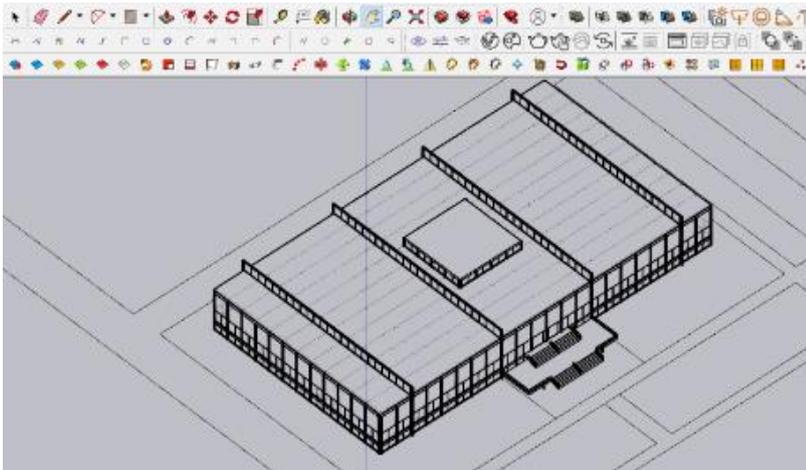


Fig 2, Modelo 3D en Sketchup. Elaboración propia.

¹ Sexton, Mark (2017), "Restoration of Crown Hall"
https://www.docomomo.com/wp-content/uploads/2019/04/DocomomoJournal56_2017_MSexton.pdf

²Cómo optimizar tu modelo 3D para un rendimiento de Lumion más rápido
<https://www.lumion.es/optimizar-modelo-3d/>

PASO 2: ELABORACIÓN DE LA ESCENA

Una vez desarrollado el modelo tridimensional, se vincula el archivo con un programa de renderizado de mayor calidad. Sketchup, nos ofrece un renderizado básico suficiente para modelos previos, trabajar con un motor de renderizado permitirá generar un resultado más cercano a la realidad, tratando materiales, iluminación, localización, vegetación, etc. Previamente, se instala la extensión denominada Direct Link¹, que permite sincronizar mediante un clic toda la información y geometría del modelo.



Fig 1, Captura de la interfaz de la extensión en Sketchup Direct Link.

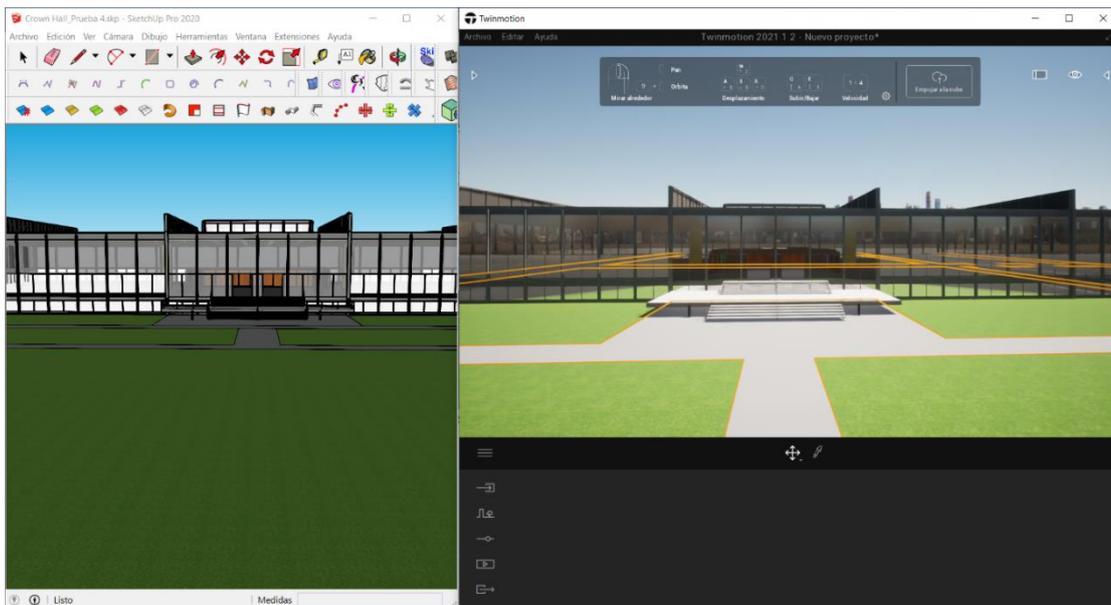


Fig 1, Direct Link con Sketchup, Elaboración propia.

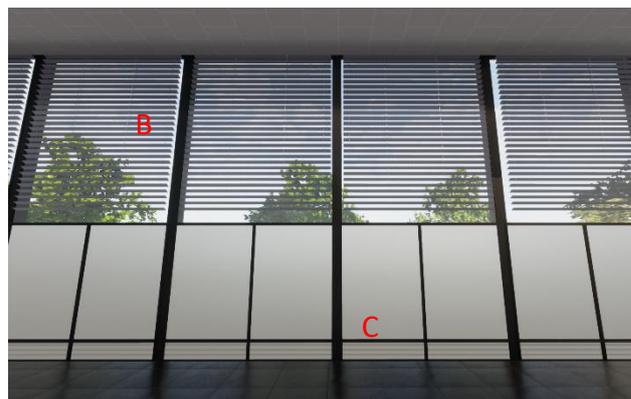
Trabajar paralelamente en el motor de modelado 3D, nos permite ver de forma instantánea los cambios realizados en la geometría del modelo 3D. En este caso en particular, el uso de esta extensión ha permitido subsanar algunos errores de geometría que ocasionaban que las texturas no aparecieran en el software de renderizado en tiempo real. Pero también nos permite experimentar con el modelo variando su geometría y viendo sus resultados con sus respectivos materiales en tiempo real.

¹ Direct Link
<https://www.unrealengine.com/enUS/twinmotion/plugins?sessionInvalidated=true>

Una vez importado el modelo en el motor de renderizado, comenzamos a aplicar los materiales. El programa cuenta con una sencilla interfaz que nos permite cambiar determinados parámetros, a medida que estos se van ajustando, el usuario puede ver los cambios en pantalla de forma inmediata. En las imágenes inferiores podemos ver la interfaz de configuración de los materiales.



Fig 1 y 2 ,Captura de Interfaz de configuración de materiales de Twinmotion.



Distintas muestras de materiales en la escena:

- A: Acero negro
- B: Vidrio transparente
- C: Vidrio translúcido
- D: Madera de roble
- E: Terrazo

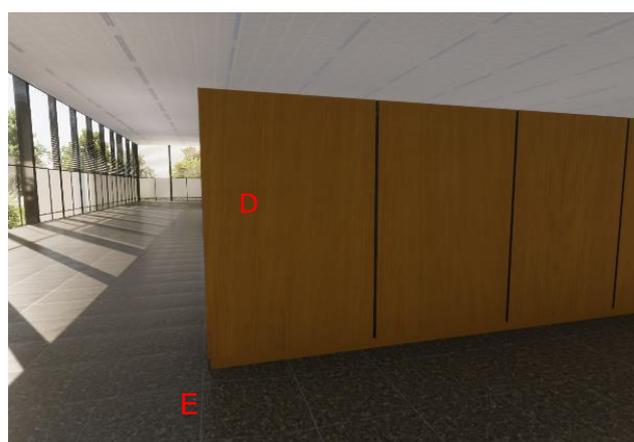


Fig 3 ,4 y 5, Muestra de materiales PBR, Elaboración propia.

Una vez seleccionados los materiales correspondientes, pasaremos a definir el entorno circundante al edificio. Esta fase corresponderá principalmente en asignar la localización en la que está construida la obra arquitectónica (IIT, Chicago, Illinois, Estados Unidos), para que el programa asigne de forma automática su orientación.

La herramienta de localización de Twinmotion nos permite importar un urbanismo básico para dar contexto a nuestros renders, en este caso la herramienta se ha utilizado para orientar el edificio en su ubicación real y tener sus mismas condiciones lumínicas. Una vez ubicado el edificio se procede a añadir la vegetación, tomando como base el plano de situación de Krueck + Sexton Architects¹.



Fig 2 , Invierno , Elaboración Propia



Fig 3 , Verano , Elaboración Propia

El software nos permite configurar aspectos ambientales como la vegetación o el clima. En las imágenes superiores podemos apreciar la transformación que se produce variando la temporada climatológica del proyecto donde parámetros como iluminación, posición solar, vegetación..., varían de forma dinámica en función de la época del año. Esta funcionalidad nos permite comparar de forma instantánea como varía la percepción del edificio en base a sus condiciones ambientales.

Además, cuenta con una amplia biblioteca de objetos y personajes que podemos añadir para completar nuestra escena. En el caso de los personajes estos pueden ser configurados para permanecer realizando una actividad, creando así un determinado ambiente en la escena. Los objetos son configurables en cuanto a su situación escala y rotación. Estos elementos pueden ser añadidos desde el propio programa de renderizado sin necesidad de recurrir al programa de modelado. En caso de que el objeto deseado no se encuentre disponible en la biblioteca del software, es posible crear una biblioteca personalizada añadiendo tus propios objetos creados mediante un software de modelado.



Fig 3 y 4 , Mobiliario de la biblioteca de objetos, Elaboración propia

¹ Sexton, Mark (2017), "Restoration of Crown Hall"
https://www.docomomo.com/wp-content/uploads/2019/04/DocomomoJournal56_2017_MSexton.pdf

CONTENIDO EXPOSITIVO

El objetivo no es solo crear un recorrido virtual, sino que el entorno virtual albergue una atractiva base de datos de la obra posibilitando acceder a conocimientos en un contexto en el que el espacio virtual es el propio objeto de estudio.

Para generar esta base de datos, haremos una recopilación de información que nos permita entender la obra del arquitecto y que al mismo tiempo podamos contrastar esta información con el modelo virtual. La parte expositiva se dividirá en tres sectores: el primero contendrá planos arquitectónicos de la obra que además expliquen la solución constructiva¹, una segunda en la que se podrán visualizar fotografías del proceso constructivo² y una tercera en la que se expondrán fotografías una vez finalizado el edificio².

El espacio seleccionado para albergar el contenido expositivo es el hall principal, pero existen numerosas configuraciones que podrían ser aplicables debido a la flexibilidad funcional del edificio. Añadir estos paneles informativos es sencillo, simplemente se deben asignar los documentos seleccionados en formato jpg como si se tratase de un material más. El software además permite añadir videos. En este caso en particular se han utilizado fragmentos del documental “MIES VAN DER ROHE”³ que podemos encontrar en la página de Fundación Aquia. Para complementar la documentación gráfica, el motor de renderizado dispone de una función que permite añadir notas, que el usuario puede activar y desactivar de forma instantánea.



Fig 1, Zona expositiva, Elaboración propia.



Fig 2, Fragmento de video, Elaboración propia.

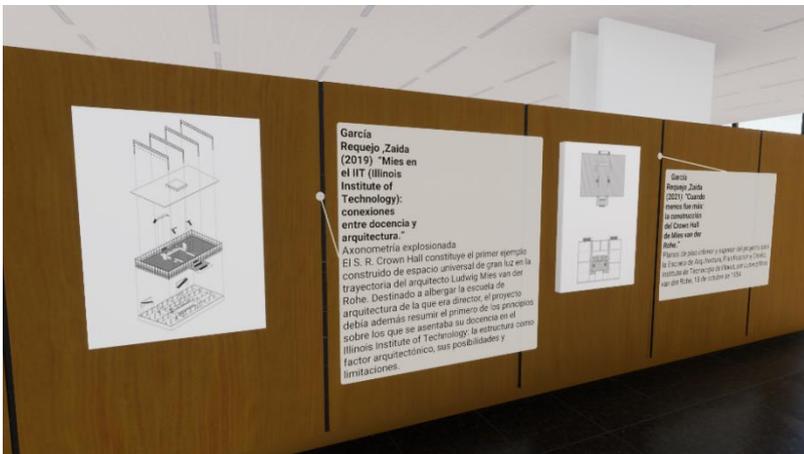


Fig 3, Zona expositiva con planos arquitectónicos, Elaboración propia.

¹ García Requejo, Zaida (2019) “Mies en el IIT (Illinois Institute of Technology): conexiones entre docencia y arquitectura.”
García Requejo, Zaida (2021) “Cuando menos fue más: la construcción del Crown Hall de Mies van der Rohe.”

² Mies's Crown Hall.
<https://www.miessociety.org/mies-birthday-projects2b/crown-halls>

³ MIES VAN DER ROHE. Fundación Caja de Arquitectos.
<https://www.youtube.com/watch?v=7uNnE9HSEnk>

PASO 3: EXPORTACIÓN DEL RECORRIDO VIRTUAL

Para poder visualizar el contenido desde otros dispositivos, es necesario exportarlo. El programa ofrece dos modalidades para exportar los archivos deseados : por un lado la exportación del contenido de forma local para ser ejecutado desde el propio ordenador y por otro lado también permite exportar el contenido a una plataforma online denominada “Twinmotion Presenter Cloud”¹, a través de la que se podrá interactuar y compartir el recorrido virtual mientras se ejecuta en un equipo de gama alta en la nube , por lo tanto en este caso el rendimiento gráfico no está limitado por el hardware del usuario sino por su conexión a internet.

Una vez transferido el archivo a la plataforma online del programa, se podrá tanto visualizar como compartir el archivo para que otros usuarios puedan acceder de forma sencilla al mismo.



Fig 1, Imagen exterior, Elaboración Propia.

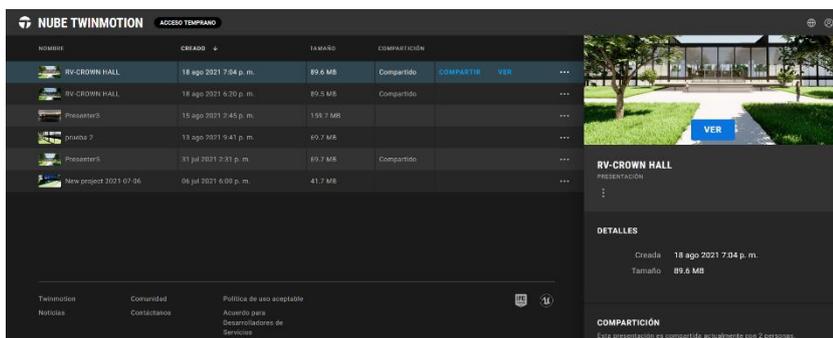


Fig 2 , Interfaz Twinmotión Cloud

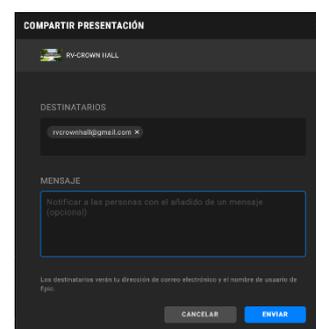


Fig 3, Compartir Presentación, Elaboración Propia

Una vez transferido el archivo a la plataforma online del programa, se podrá tanto visualizar como compartir el archivo para que otros usuarios puedan acceder de forma sencilla al mismo. Para acceder a la presentación es necesario seguir los siguientes pasos:

- Acceder al siguiente [Link](#).
- Introducir los siguientes datos:
 - Correo electrónico: rvcrownhall@gmail.com
 - Contraseña: JpGD1z3l9f

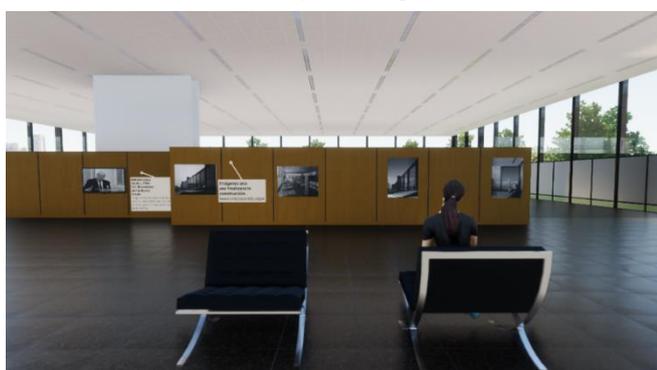


Fig 4 , Imagen interior ,Elaboración Propia.

¹ Twinmotion 2021 tutorial - Sharing and presenting with Twinmotion Cloud <https://www.youtube.com/watch?v=rRVYd4JhDFk>

Una vez, que se accede al contenido, clicando en el logo del programa situado en la parte lateral derecha, accederemos a un menú. Este contara con tres apartados. El apartado de la derecha, como podemos observar en la imagen inferior, tiene la finalidad de mostrar los controles para navegar por la escena.



Fig 1 , Captura de pantalla de la interfaz de usuario ,controles , Elaboración propia.

Por otro lado, el apartado situado a la izquierda corresponde a los ajustes. Estos ajustes permiten modificar la hora del día en tiempo real, el modo de desplazamiento (para esta experiencia se recomienda seleccionar la configuración “caminar” para simular el comportamiento y punto de vista humano), la velocidad de desplazamiento, la altura de los ojos y por último los modos de representación que son una serie de filtros que se aplican a la escena.



Fig 2 , Captura de pantalla de la interfaz de usuario , Ajustes , Elaboración propia.

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

	ESPECIFICACIONES DEL DISPOSITIVO	ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS DEL LDA DE LA ETSAC.	REQUISITOS RECOMENDADOS
Sistema operativo	Windows 10 (64 bits)	Windows 10 (64 bits)	Windows 10 (64 bits)
RAM	8 GB	16GB	16GB
GPU	NVIDIA GTX 960M	NVIDIA GFORCE RTX 3070. VRAM:8GB	VRAM:6GB
	G3DMark: 3464	G3DMark:21903	G3DMark:>10000 ¹
CPU	Intel Core i5-6300HQ 2.30 GHz CPUMark:4671	Intel Core I9-9900KF 36 GHz CPUMark:18784	CPU con una puntuación de referencia de más de 2000 ²

Sobre el papel las especificaciones del dispositivo utilizado para la parte práctica no cumplen los requisitos de hardware recomendados en dos campos: el de memoria RAM y el más importante que es la GPU.

En el lateral derecho podemos observar una tabla comparativa del rendimiento del programa durante la prueba práctica. En esta se compara la fluidez del motor antes de la preparación de la escena y una vez finalizada la escena. A medida que la carga de polígonos y texturas aumenta, los fps se resienten más. Para trabajar con una fluidez aceptable sobre la escena, la mayor parte del tiempo se ha utilizado una configuración gráfica media, reservando la calidad alta y ultra para operaciones en las que la tasa de fps no era lo primordial.

A pesar de ser ejecutado en un hardware que no alcanza los requisitos mínimos, el software se desenvuelve de forma fluida con una calidad gráfica media-alta. Debido a esto podemos afirmar que se trata de un motor de renderizado bien optimizado.

En este aspecto, algunos programas de renderizado tienen funciones integradas que permiten renderizar en la nube, sin necesidad de tener un ordenador que cumpla los requisitos de hardware. Twinmotion con su "Presenter Cloud" permite exportar y ejecutar presentaciones en la nube, como hemos visto en el apartado anterior, pero no permite trabajar en la escena y procesarla. Programas como V-Ray (Chaos Cloud) ofrecen servicios de renderizado en la nube integrados que permite renderizar vía streaming en equipos de altas prestaciones, mediante un programa de pago³. En este sentido, para los estudiantes de la ETSAC, se pone a disposición de toda la comunidad el acceso remoto al Laboratorio de Diseño Asistido (LDA) que actualmente dispone de 40 equipos de altas prestaciones, con la ventaja de poder hacer uso de todo el software instalado en estos equipos⁴, que como podemos observar en la tabla superior, superan holgadamente los requisitos recomendados.

	ANTES DE PREPARAR LA ESCENA	DESPUÉS DE PREPARAR LA ESCENA
B A J A		
M E D I A		
A L T A		
U L T R A		

Fig 1, Tabla de comparativa de Rendimiento, Elaboración propia.

¹ TABLA COMPARATIVA DE GPU: https://www.videocardbenchmark.net/high_end_gpus.html

² TABLA COMPARATIVA DE CPU: https://www.cpubenchmark.net/high_end_cpus.html

³ Chaos Cloud <https://www.chaosgroup.com/es/cloud>

⁴ Acceso remoto LDA <https://udcgal.sharepoint.com/sites/DIXITALETSAC/SitePages/02010%20AccesoRemoto.aspx>

RESULTADO FINAL

A continuación, se tomarán algunas capturas tomadas experimentando el recorrido virtual.

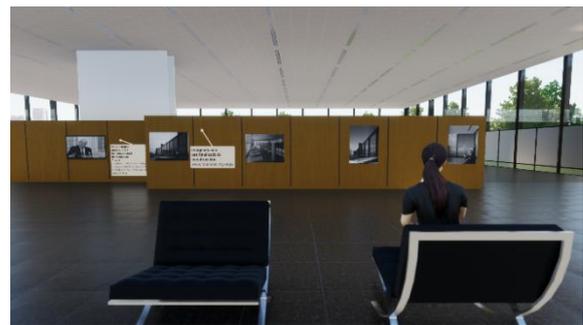


Fig 1,2,3,4 y 5, Capturas realizadas en línea del recorrido virtual, Elaboración propia.

4. EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL EN EL ÁMBITO ACADÉMICO.

4.1 LAS TIC EN EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR (EEES).

Durante los últimos años se está viviendo un proceso de cambio dentro del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). El sistema educativo mundial está siendo transformado de forma continua debido al desarrollo de las TIC, que cada vez tienen más presencia en las aulas.

En este ámbito se proponen metodologías basadas en La Teoría Constructivista de Seymour Papert. El Constructivismo Pedagógico defiende el aprendizaje como una construcción en la que el alumno participa de forma activa en el proceso, rechazando la transmisión de conocimiento del profesor hacia el alumno como principal método educativo¹. Según Papert :*“El mejor aprendizaje no derivará de encontrar mejores formas de instrucción, sino de ofrecer al educando mejores oportunidades para construir”*²

El autor también considera que las TIC son una poderosa herramienta para la construcción del pensamiento del alumno: *“El trabajo con computadoras puede ejercer una poderosa influencia sobre la manera de pensar de la gente”*. Las Tecnologías de la Ciencia de la Educación y la Información están muy presentes en el día a día de la sociedad. Los avances en este campo se producen cada vez con más frecuencia, ofreciendo interesantes herramientas con grandes ventajas en el ámbito educativo. Según Juanes y Espinel, *“Todo profesional de la enseñanza debe concienciarse que, educar para el futuro incluye introducir a los alumnos en el uso y manejo de los recursos informáticos, de lo contrario reforzarán un modelo de enseñanza desconectado de la realidad en la que nos movemos”*³

Los nuevos métodos pedagógicos traen consigo la aparición de nuevas estrategias y materiales didácticos. El uso de las nuevas tecnologías cada vez cobra más fuerza, debido a su capacidad de adaptación, creatividad e interactividad.

En este campo la visualización digital juega un gran papel y por lo tanto debemos tener en cuenta nuevas tecnologías emergentes como los motores de renderizado en tiempo real, que ya comienza a tener impacto en las aulas⁴. La capacidad de interacción e inmersión de estas herramientas digitales permite simular experiencias basadas en los contenidos del aula, en las que el alumno experimenta en primera persona espacios virtuales alcanzando una comprensión más directa que mediante metodologías tradicionales. Según el cono del aprendizaje de Edgar Dale, el aprendizaje es más efectivo cuando está basado en la participación activa del alumno, de tal manera que la retención de conocimiento es más efectiva mediante la experimentación que únicamente mediante la recepción pasiva.

EL CONO DEL APRENDIZAJE		
Después de dos semanas Usualmente recordamos		Naturaleza de la participación
90% de lo que decimos y hacemos	Vivir la experiencia real	Activa
	Simular la Experiencia	
70% de lo que decimos	Hacer una representación	
	Dar una charla	
50% de lo que escuchamos y vemos	Participar en una discusión	Pasiva
	Ver una demostración	
30% de lo que vemos	Asistir a una exposición	
	Ver una película	
20% de lo que escuchamos	Ver imágenes	
10% de lo que leemos	Escuchar palabras	
	Leer	

Fig 1, Cono del aprendizaje de Edgar Dales, <https://www.emprendedoreseducativos.org/2015/01/el-cono-del-aprendizaje.html>

¹ Vicario Solórzano, C (2009). "Construccionismo. Referente sociotecnopedagógico para la era digital"

² Papert, S.; Harel, I (1991). "Constructionism"

³ Juanes, J-A; Espinel, J-L (1995). "Realidad Virtual ¿Futuro en la enseñanza?"

⁴ Belén Maiztegui. "Clases virtuales: ¿Podrán los modelos 3D y renders reemplazar a las maquetas y los dibujos a mano?"

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/960147/clases-virtuales-podran-los-modelos-3d-y-renders-reemplazar-a-las-maquetas-y-los-dibujos-a-mano>

4.2 HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN DIGITAL EN EL PLAN DE ESTUDIOS.

La expresión gráfica es la principal vía de comunicación del arquitecto. Las nuevas técnicas de representación digitales suponen un avance en este campo permitiendo complementar los soportes expresión arquitectónica tradicionales, optimizar y comunicar mejor los diseños del arquitecto¹. Con el fin de reflejar el papel de estas herramientas en la formación del arquitecto, se analizará el plan de estudios primeramente centrándonos en las materias impartidas de forma obligatoria y seguidamente se estudiarán las materias optativas que complementan esta formación.

Actualmente en la Grado de Estudios en Arquitectura de la Universidad de A Coruña está vigente el Plan Bolonia, o Proceso de Bolonia. Este establece un sistema basado en créditos, asignando de 25 horas de dedicación por cada crédito, siendo 10 horas presenciales y 15 de trabajo autónomo del alumno.

Dentro del plan de estudios², adjuntado en el pie de página, existen seis asignaturas obligatorias dedicadas a la expresión gráfica, focalizadas en enseñar al alumno las habilidades y herramientas necesarias en el campo de la representación gráfica, aportando la base para que el alumno pueda desarrollar y comunicar arquitectura de forma correcta.

En Dibujo de Arquitectura y Análisis de Formas Arquitectónicas, de primer curso, el objetivo es dotar al alumno de las capacidades gráficas necesarias para desarrollar y comunicar sus diseños a través del dibujo a mano alzada, además de introducir el dibujo arquitectónico.

En materias como Geometría Descriptiva y Geometría de la Forma Arquitectónica, de primer curso, se concibe la geometría descriptiva como soporte del lenguaje gráfico, posibilitando el uso del dibujo como expresión y representación del espacio arquitectónico. Aporta rigor geométrico a la representación y análisis de la arquitectura y desarrolla la capacidad de imaginación y lectura espacial. En ambas materias se complementa la formación del alumno en el uso de programas de base CAD 3D.

Análisis Arquitectónico I y II, de segundo curso, dota al alumno de los conocimientos necesarios para analizar y representar el espacio arquitectónico, por medio de herramientas analógicas o digitales. En Análisis Arquitectónico II, se intensifica la formación en cuanto a el software de representación digital siendo una parte importante del contenido que se desarrolla en la asignatura. Su papel junto con las herramientas analógicas, su efecto en el ámbito profesional y social, su utilización en la ideación, análisis, comunicación y ejecución de la arquitectura serán alguno de los temas desarrollados en esta materia. Se introducen programas de dibujo digital, ilustración, modelado 3D, herramientas de renderizado y realidad aumentada, programas de modelado de la edificación y otros formatos de representación digitales. Estos conocimientos serán aplicados por el alumno en prácticas específicas destinadas al uso de herramientas gráficas.

Estas materias suponen una carga lectiva de $6 \times 6 = 36$ ECTS, que sería equivalente a $36 \times 25 = 900$ horas de dedicación, en las que el alumno aprende a comunicar de forma gráfica arquitectura, estableciendo las bases para el correcto uso de herramientas analógicas y digitales. La enseñanza de herramientas de representación digital es impartida principalmente en Análisis II donde se dota al alumno de una visión amplia del papel de estas herramientas en la arquitectura y su utilización, sin ser este el único objetivo de la materia.

Esta formación puede ser complementada con asignaturas optativas impartidas en el último curso del grado. En la asignatura Geometrías de Formas complejas en Arquitectura se incide en la utilización de software de base CAD 3D para desarrollar y representar superficies complejas. En la materia Estructuras singulares se profundiza en la utilización de procesos BIM (Building Information Modeling) y en programas de diseño paramétrico para el diseño y análisis de estructuras complejas. A continuación, se comparan las propuestas de otras Escuelas de Arquitectura Españolas, con el fin de reflejar el papel e integración de estas herramientas en algunos de los planes de estudio actuales.

¹ Navarro, I (2017) " Nuevas tecnologías de visualización para la mejora de la representación arquitectónica en educación"

² PLAN DE ESTUDIOS ETSAC
<https://estudios.udc.es/es/study/detail/630G02V01#plan-structure>

4.3 HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN AVANZADA EN EL ÁMBITO ACADÉMICO.

En la siguiente tabla, con el fin de estudiar la formación del alumno con respecto a las herramientas digitales de representación gráfica avanzada, se estudian los planes de estudio de facultades públicas a nivel nacional que imparten el Grado en Estudios de Arquitectura, que incluyen la formación en la utilización de dichas herramientas en el contenido de algunas de las materias tanto de carácter obligatorio como optativo. Para contrastar esta información se adjuntan los planes de estudio a pie de página.

	VISUALIZACIÓN GRÁFICA AVANZADA				
	MATERIA	TIPO	CURSO	FORMACIÓN EN HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN DIGITAL	ECTS
ETSAM:Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (UPM) ¹	Taller de Infografía	Opt.	1º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	6
ETSA de Alcalá de Henares ²	TALLER DE DIBUJO II	Oblig	2º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	6
ETSAG: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Granada ³	Expresión Gráfica Arquitectónica	Oblig	2º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	6
	Técnicas de Visualización y Presentación	Opt.	3º, 4º, 5º	-RENDERIZADO	6
ETSAB: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona ⁴	Representación Arquitectónica I	Oblig	2º	-MODELADO 3D	5
	Representación Arquitectónica II	Oblig	2º	-BIM	5
	Representación Arquitectónica III	Oblig	2º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	5
	Innovaciones en Arquitectura y Tecnología	Opt.	5º	-BIM -FOTOGRAMETRÍA	3
ETSA de Girona ⁵	Expresión Gráfica 3	Oblig	2º	-BIM -RENDERIZADO	6
	Informática gráfica	Opt.	5º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	5
ETSAS: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla ⁶	Dibujo y Vanguardia	Opt.	5º	-BIM -RENDERIZADO	6
ETSAUN: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Navarra. ⁷	Graphic Lab I	Oblig	2º	-DISEÑO PARAMÉTRICO -IMPRESIÓN 3D	3
	Graphic Lab II	Oblig	3º	-BIM -RENDERIZADO	3
	Graphic Lab III("RENDERING THE UNBUILT")	Opt.	4º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	3
	Virtual Architecture	Opt.	5º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	4,5

¹ PLAN DE ESTUDIOS ETSAM

http://etsamadrid.aq.upm.es/sites/default/files/2016-2017/plan2010/programas_asignaturas_p2010.pdf

² PLAN DE ESTUDIOS ETSA Alcalá de Henares

<https://www.uah.es/es/estudios/estudios-oficiales/grados/asignaturas/index.html?codPlan=G256>

³ PLAN DE ESTUDIOS ETSAG

https://grados.ugr.es/arquitectura/pages/infoacademica/estudios#__doku_guia_docente

⁴ PLAN DE ESTUDIOS ETSAB

<https://etsab.upc.edu/es/estudios/garqetsab/guia-docente>

⁵ PLAN DE ESTUDIOS ETSA DE GIRONA

<https://www.udg.edu/es/estudia/Oferta-formativa/Graus/Fitxes?IDE=1050&ID=3105G1214#plaEstudis>

⁶ PLAN DE ESTUDIOS ETSAS

<https://www.us.es/estudiar/que-estudiar/oferta-de-grados/grado-en-fundamentos-de-arquitectura#edit-group-plan1>

⁷PLAN DE ESTUDIOS ETSAUN

<https://www.unav.edu/web/grado-en-estudios-de-arquitectura/plan-de-estudios>

	VISUALIZACIÓN GRÁFICA AVANZADA				
	MATERIA	TIPO	CURSO	FORMACIÓN EN HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN DIGITAL	ECTS
ETSAE de Cartagena ¹	Análisis y dibujo arquitectónico II	Oblig.	1º	MODELADO 3D(CAD)	6
	Métodos de Expresión gráfica avanzada	Opt.	5º	DISEÑO PARAMÉTRICO	3
	Ampliación de Dibujo por ordenador	Opt.	5º	MODELADO 3D(CAD)	3
	Imagen de síntesis y animación	Opt.	5º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	3
EINA de Zaragoza ²	Expresión Gráfica 5	Oblig.	2º	-BIM -RENDERIZADO	6
ETSASS:Escuela Técnica Superior de San Sebastian. ³	Arquitectura Paramétrica y Fabricación Digital	Opt.	5º	-MODELADO 3D -DISEÑO PARAMÉTRICO -RENDERIZADO	5
ETSAV: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. ⁴	Expresión Gráfica Arquitectónica	Oblig.	2º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	6
	Formalización Visual de la Arquitectura y Su Tratamiento Informático	Opt.	5º	-MODELADO 3D -DISEÑO PARAMÉTRICO -RENDERIZADO	4,5
	Técnicas gráficas para la generación de formas complejas	Opt.	5º	MODELADO 3D -DISEÑO PARAMÉTRICO -RENDERIZADO	4,5
EPSA: Escuela politécnica Superior de Alicante. Grado en Fundamentos de Arquitectura ⁵ .	Dibujo 3	Oblig.	2º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	6
ETSAVA: Escuela Técnica Superior de Valladolid. ⁶	Representación avanzada de la arquitectura I	Opt.	5º	-MODELADO 3D -RENDERIZADO	3
	Representación avanzada de la arquitectura II	Opt.	5º	-BIM -RENDERIZADO	3
EA LPGC:Escuela de Arquitectura Las Palmas de Gran Canaria ⁷ .	CAD y tratamiento de la Imagen digital en arquitectura.	Oblig.	1º	MODELADO 3D(CAD)	6

Como podemos observar en la tabla comparativa, en la mayoría de los planes de estudio analizados, se contempla la formación en la introducción del alumno en la utilización de herramientas de modelado y renderizado. Esta formación es impartida de forma obligatoria, a través de asignaturas pertenecientes a la rama de expresión gráfica, planeadas para el segundo curso. Este es el caso de las ETSA de: Alcalá de Henares, Zaragoza, Alicante y Navarra.

Otras facultades contemplan de forma similar la formación del alumno con respecto a estas herramientas y además ofrecen la posibilidad de complementar esta formación, a través de materias optativas que basan sus contenidos de forma específica en la utilización de software de modelado 3D, BIM, renderizado y diseño paramétrico. Son el caso de las ETSA de: Valencia, Granada, Barcelona, Girona y Navarra.

En el resto de facultades analizadas el contenido formativo con respecto a estas herramientas digitales se limita a ser impartido únicamente en materias de carácter optativo ofertadas en los últimos cursos del grado. Este es el caso de las ETSA de: Cartagena, San Sebastián y Valladolid. En el caso de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid se oferta en primer curso de forma optativa una materia dedicada a las infografías en las que se forma al alumno en el uso de programas de modelado y renderizado.

¹ PLAN DE ESTUDIOS ETSA DE Cartagena
<https://etsae.upct.es/plan-de-estudios/5191>

² PLAN DE ESTUDIOS EINA de Zaragoza
https://estudios.unizar.es/estudio/asignaturas?anyo_academico=2021&estudio_id=20210157¢ro_id=110&plan_id_nk=470&sort=curso

³ PLAN DE ESTUDIOS ETSASS
<https://www.ehu.es/es/grado-fundamentos-arquitectura/creditos-y-asignaturas>

⁴ PLAN DE ESTUDIOS ETSAV
https://www.upv.es/titulaciones/GFA/menu_1013973c.html

⁵ PLAN DE ESTUDIOS EPSA
<https://web.ua.es/es/oia/documentos/publicaciones/grados-folleto/grado-fundamentos-de-la-arquitectura.pdf>

⁶ PLAN DE ESTUDIOS ETSAVA
<https://www.uva.es/export/sites/uva/2.docencia/2.01.grados/2.01.02.ofertaformativagrados/detalle/Grado-en-Fundamentos-de-la-Arquitectura/>

⁷ PLAN DE ESTUDIOS EA LPGC
http://www2.ulpgc.es/index.php?pagina=estudios&ver=weees002&tipoplan=1&codigo=100_4039_40_G

4.4 ACCIONES PARA LA INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍA DE VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL EN EL ÁMBITO ACADÉMICO.

Siendo el objetivo general de este trabajo investigar las ventajas del uso de softwares de visualización en tiempo real en el ámbito de la enseñanza, se tendrán en cuenta diversos casos de estudio de interés llevados a cabo en el ámbito académico.

El análisis de estos casos se realiza con el fin de dar respuesta a preguntas como: ¿Quién genera los entornos virtuales?; ¿En qué momento del proceso formativo se implementa este tipo de contenido?; Cuales son las ventajas de la integración de estas tecnologías de visualización en el ámbito académico con respecto a las metodologías tradicionales?...

Dentro de los casos de estudio seleccionados, podemos diferenciar dos tipos, según el grado de implicación del alumno. Por un lado, los contenidos virtuales preelaborados, se presentan como un contenido didáctico en el que los alumnos no forman parte en su elaboración, su implicación se basa en la utilización del software en tiempo real para navegar por el entorno virtual, por lo tanto, no es necesaria la formación del alumno con respecto a la elaboración de modelos tridimensionales con programas de visualización avanzada. Estas experiencias interactivas pueden ser exploradas mediante un control similar a los videojuegos en primera persona permitiendo realizar multitud de movimientos, siendo este un medio cotidiano para los estudiantes. Por ello este sistema resulta más atractivo y aumenta la motivación del estudiante¹. En las siguientes páginas se reflejarán algunos ejemplos de contenidos preelaborados con el fin de generar una metodología para apoyar o desarrollar el desarrollo de competencias como la comprensión espacial² o la comprensión de sistemas constructivos³.

Por otro lado, se estudiarán casos en los que se implementan herramientas de renderizado en tiempo real como apoyo en el desarrollo proyectual. La visualización en tiempo real facilita al estudiante la comprensión y análisis del espacio que está proyectando, permitiendo visualizar de una forma cercana a la realidad el impacto visual de su proyecto. El grado de interacción que nos permite el uso de tecnología en tiempo real permite al estudiante explorar y diseñar paralelamente el espacio que está diseñando, permitiéndole evaluar de forma visual el impacto de sus decisiones dándole así un enfoque constructivista⁴, ya que el estudiante puede aprender de sus decisiones erróneas a través de su propia experiencia, viendo directamente los resultados.

¹ Martin Gutierrez, J., Saorin, JL, Contero, M., Alcaniz, M (2010) "AR_Dehaes: An Educational Toolkit Based on Augmented Reality Technology for Learning Engineering Graphics".

² Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J. (2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

³ Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) "Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica"

⁴ Papert, S (1980) "Desafío a la mente: computadoras y educación:"

CASOS DE ESTUDIO: ACCIONES PARA LA INTEGRACIÓN DE LA VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL EN EL ÁMBITO ACADÉMICO

CASOS DE ESTUDIO	CENTRO UNIVERSITARIO.	CURSO	MATERIA	IMPLICACIÓN DEL ALUMNO	OBJETIVO	TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN
MUSEOS VIRTUALES [1]	Colegio Mayor de Antioquia.	-TODOS	-TALLER DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO.	-NAVEGACIÓN EN EL ENTORNO VIRTUAL.	-ÁREA EXPOSITIVA DE LOS TRABAJOS DE LOS ALUMNOS. -EXPERIENCIA INMERSIVA Y COLABORATIVA.	-VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL.
VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA COMPRENSIÓN DEL ESPACIO TRIDIMENSIONAL. [2]	Universidad EAFIT.(Medellín)	-1º	-TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA.	-NAVEGACIÓN EN EL ENTORNO VIRTUAL.	-COMPRENSIÓN DEL ESPACIO TRIDIMENSIONAL	-VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL -VR(Virtual Reality)
VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA COMPRENSIÓN DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS. [3]	Escuela Politécnica Superior en la Universidad de Alicante.	-2º	- CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS I -CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS II	-MODELADO 3D -VISUALIZACIÓN DE DETALLES CONSTRUCTIVOS CON TÉCNICAS DE REALIDAD AUMENTADA.	-COMPRENSIÓN DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.	-VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL -AR(Augmented Reality)
VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA SIMULACIÓN DE ESPACIOS URBANOS. [4]	- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. - Escuela Técnica Superior de Arquitectura de La Salle	-TODOS	-PLANIFICACIÓN URBANA.	-NAVEGACIÓN EN EL ENTORNO VIRTUAL.	-COMPARACIÓN DE UN ESPACIO URBANO REAL CON UNA PROPUESTA SIMULADA PARA ESE MISMO ESPACIO. -AYUDAR AL ESTUDIANTE A REFLEXIONAR SOBRE EL DISEÑO DE ESPACIOS PÚBLICOS.	-VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL -VR(Virtual Reality)
VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL COMO HERRAMIENTA DE APOYO PROYECTUAL. [5],[6]	- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. - Escuela Técnica Superior de Arquitectura de La Salle. - Hammons School of Architecture.	-2º -4º -3º	-REPRESENTACIÓN ARQUITECTÓNICA. -PLANIFICACIÓN URBANA. -DISEÑO V ¹	-MODELADO 3D. -RENDERIZADO. -GENERACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE ENTORNOS VIRTUALES INTERACTIVOS. -INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL EN EL DESARROLLO Y COMUNICACIÓN DEL DISEÑO.	-PROBAR Y EVALUAR LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO URBANO INTEGRANDO HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN AVANZADA PARA MEJORAR EL ANÁLISIS Y COMUNICACIÓN DE LOS DISEÑOS DE LOS ALUMNOS. -INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA MEJORAR EL DESARROLLO Y LA COMUNICACIÓN DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO.	-VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL -VR(Virtual Reality) -VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL -VR(Virtual Reality)

[1] MUVA, FABLAB (Laboratorio de Fabricación Digital y Diseño Paramétrico) para el Colegio Mayor de Antioquia.

[2] Botero, T ; Botero ,L.F (2017)“La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura ,la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción.

[3] Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) “Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica”

[4] Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) “Videogame Technology in Architecture Education.”

[5] Redondo, E. [et al.](2020) “EDUGAME4CITY. A Gamification for Architecture Students. Viability Study Applied to Urban Design”.

<http://hdl.handle.net/2117/342659>

[6] Twinmotion's use in architectural tectonics course helps students land coveted internships

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/twinmotion-s-use-in-architectural-tectonics-course-helps-students-land-coveted-internships>

¹Diseño V: Síntesis Programa, Estructura, Envoltente y Clima
<https://sites.google.com/view/hsaarch31519/home>

4.4.1 MUSEOS VIRTUALES

Los museos virtuales son un recurso educativo al que cada vez podemos acceder con mayor facilidad. Los recorridos que se presentan en los museos son de relevancia para la enseñanza de la arquitectura y el diseño en tanto muestran espacios y construcciones desde diversas perspectivas. En el campo de la arquitectura la utilización de museos virtuales facilita la comprensión histórica y social del patrimonio cultural con la ventaja de poder acceder a este contenido desde cualquier lugar¹. En Galicia contamos con grandes exponentes en este campo, obras de gran interés arquitectónico que además contienen en su interior recursos de un gran valor cultural y artístico.

A través de la página “Museos de Galicia” podemos acceder a un amplio catálogo de museos de gran interés arquitectónico y cultural como : “*Museo del Vino de Galicia(Ribadavia), Museo del Mar de Galicia(Vigo), Centro Gallego de Arte Contemporáneo(Santiago de Compostela) , Museo Pedagógico de Galicia (Mupega) , Conjunto Etnográfico de O Cebreiro(Pedrafita do Cebreiro) , Museo del Castro de Viladonga(Castro de Rei), Museo Massó (Bueu) , Museo Etnológico de Ribadavia , Museo Arqueológico Provincial de Ourense, Museo de las Peregrinaciones y de Santiago, Museo de Bellas Artes de A Coruña y la añadida recientemente Casa-Museo de Rosalía de Castro*”.²

Los recorridos virtuales generados a partir de construcciones reales permiten, la movilidad por una serie de puntos programados en los que puedes explorar el espacio a partir de imágenes panorámicas 360° tomadas del propio museo. Como podemos ver en las imágenes cuentan con una interfaz muy poco intrusiva y el desplazamiento se realiza de forma muy intuitiva.

Una vez presentado este contenido, y remarcando que una visita virtual a un museo u obra arquitectónica no se puede equiparar a su visita de forma presencial, es cierto que se trata de un contenido de gran calidad y un recurso a considerar debido a la ventaja que representa recorrer museos de gran interés cultural, patrimonial y arquitectónico trascendiendo tanto del espacio como del tiempo.

En este punto surge la pregunta: ¿Qué contenido podrían aportar los motores de renderizado en tiempo real cuando no es posible que superen el grado de fotorrealismo de los ejemplos reflejados en los párrafos anteriores? Siendo la principal característica de estas herramientas la interacción, algunas de las posibilidades serían reflejar los procesos de transformación de construcciones históricas, ilustrar su evolución a lo largo del tiempo e incluso plantear sobre el modelo virtual futuras intervenciones.

Esto se traduce en casos como el de la arquitectura tradicional China, donde se están utilizando herramientas de renderizado en tiempo real con el fin de recrear arquitecturas históricas con el objetivo de preservar el patrimonio cultural³.

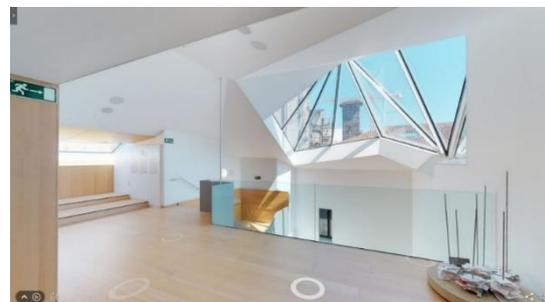


Fig 1, Visita Virtual Museo de las Peregrinaciones.

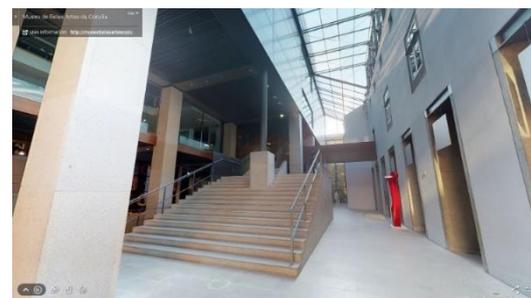


Fig 2, Visita Virtual Museo de Bellas Artes de Coruña.

¹ Elisondo, RC. y Melgar, MF. (2019). Museos virtuales y enseñanza creativa en arquitectura y diseño.

² Museos virtuales de Galicia
<https://museos.xunta.gal/es/visitas-3d>

³ Renders, ¿una herramienta para restaurar la antigua arquitectura china?

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/960270/el-renderizado-como-herramienta-para-restaurar-la-gloria-de-la-antigua-arquitectura-china>

Los museos virtuales no solo son una representación de museos reales, sino que comienzan a surgir museos plenamente virtuales. En este ámbito los motores de renderizado en tiempo real permiten la creación de contenido virtual donde el único límite es la creatividad del usuario. En las siguientes páginas reflejaremos el caso de dos museos virtuales generados mediante el motor de videojuegos Unity, el MUVA y el MUV.

MUVA, FABLAB (Laboratorio de Fabricación Digital y Diseño Paramétrico) para el Colegio Mayor de Antioquia.

Se trata de una iniciativa del FABLAB (Laboratorio de Fabricación Digital y Diseño Paramétrico) para el Colegio Mayor de Antioquia ¹, con el fin de apoyar la enseñanza virtual en tiempos de COVID-19. Este museo virtual fue desarrollado mediante el motor de renderizado en tiempo real UNITY y su acceso es libre.

Según sus desarrolladores: "MUVA, se traduce en Museografía Virtual de Arquitectura, y busca generar un compendio de trabajos, muestras y exposiciones virtuales donde los estudiantes logren una experiencia inmersiva y colaborativa de los trabajos de arquitectura de la facultad, susceptible a ser aplicado en todos los programas que requieran cualquier tipo de muestra que podemos apoyar desde el mismo laboratorio de fabricación."²

Este recurso ha sido implementado en el programa de Arquitectura de la facultad de arquitectura e ingeniería de la I.U. Colegio Mayor de Antioquia .Al final de cada cuatrimestre se realiza una entrega conjunta de los ejercicios de los cursos de la materia de diseño arquitectónico y se exponen en el MUVA como método de divulgación y punto de encuentro virtual de todas las propuestas de los alumnos.

Este contenido digital interactivo también responde a la pregunta de cómo generar espacios expositivos que permitan divulgar tanto dentro como fuera de la facultad las variadas propuestas que surgen en las aulas de las diferentes escuelas de arquitectura, ofreciendo un espacio virtual abierto a todo el mundo³.



Fig 1, Área expositiva del taller de diseño arquitectónico, MUVA ,
<https://fablabcolmayor.com/muva-2021/>

¹ FABLAB COLMAYOR
<https://fablabcolmayor.com/muva-2021/>

²MUVA FABLAB
https://issuu.com/fablab_colmayor/docs/portafolio_2021

³ ACCESO AL MUVA
<https://fablabcolmayor.com/muva-2021/>

MUV, Fundación María José Jove.

El MUV se trata del primer museo totalmente virtual de España, es decir es un museo que solo podemos acceder de forma virtual. Al igual que al anterior museo virtual, este también fue generado mediante el mismo motor de renderizado en tiempo real, Unity.

“El edificio ha sido diseñado por el estudio de arquitectura Creus e Carrasco (Juan Creus, Cee, A Coruña [1966] y Covadonga Carrasco, Ribadeo, Lugo [1965]) y se emplaza en un lugar imaginario de Galicia, recogiendo el espíritu del paisaje y la identidad de la tierra. Al MUV se puede acceder a través de la página web¹ con una visualización digital o recorrerlo en Realidad Virtual, para lo cual son necesarias unas gafas RV.”²

Se trata del primer museo totalmente virtual de España y tiene como principal finalidad ser un punto de conexión y divulgación cultural:

“El MUV es una iniciativa pionera en el panorama museístico internacional y ha sido concebido como una estructura de intercambio que facilitará la conexión entre artistas, comisarios, investigadores y entidades culturales de todo el mundo, ámbitos y disciplinas.

La condición de virtualidad de este museo ofrece posibilidades únicas con respecto a un museo real. La naturaleza digital del museo lo convierte en un espacio versátil, flexible y nómada, que facilita el desarrollo de aquello que no se puede realizar en un museo real. Esta propuesta apoyará proyectos innovadores que se articulen en torno a temas como la preservación del patrimonio cultural y natural.”³



Fig 1 , MUV , <https://muv.fmjj.org/>.



Fig 2 ,MUV, <https://muv.fmjj.org/>

¹ Visita Virtual MUV

<https://muv.fmjj.org/>

² Creus e Carrasco diseñan el MUV, el primer museo 100% virtual de España

<https://www.viaconstruccion.com/creus-e-carrasco-disenan-el-muv-el-primer-museo-100-virtual-de-espana/>

³ Creus e Carrasco diseñan el MUV, el primer museo 100% virtual de España

<https://www.viaconstruccion.com/creus-e-carrasco-disenan-el-muv-el-primer-museo-100-virtual-de-espana/>

4.4.2 VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA COMPRESIÓN DEL ESPACIO TRIDIMENSIONAL.

El desarrollo de capacidades espaciales es fundamental en la formación del arquitecto¹. Las nuevas tecnologías de visualización en tiempo real facilitan la comprensión de espacios tridimensionales y aumenta el interés y aceptación de los alumnos.

En “La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura ,la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción”² , se pone a prueba el uso de la realidad virtual en el curso de expresión gráfica del programa de Ingeniería Civil de la EAFIT , sede Medellín .En este caso de estudio se plantea un ejercicio en el que se presentan los modelos isométricos listos para ser recorridos de forma virtual por los alumnos .Siendo el principal objetivo , mostrar que el uso de esta herramienta tecnológica permite abstraer de forma más ágil y precisa las distintas vistas del modelo , comparado con el método tradicional basado en la observación del modelo mediante vistas isométricas en un papel. El experimento concluyó, que el 87% de los alumnos afirmaba que el uso de la realidad virtual les permitía apreciar de mejor manera las vistas del isométrico y les proporcionaba una mejor comprensión del modelo.

4.4.3 VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA COMPRESIÓN DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.

La comprensión y funcionamiento de los sistemas constructivos es fundamental en el ámbito arquitectónico. Estos conceptos pueden ser difíciles de transmitir a los estudiantes en el proceso inicial de aprendizaje. Las nuevas tecnologías de visualización en tiempo real y soportes como la realidad aumentada permiten transmitir y comprender de una forma eficaz estos contenidos.

Como podemos ver en “*Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica*”³, se plantea la visualización de diversas soluciones constructivas mediante aplicaciones de realidad aumentada que pueden ser utilizadas con dispositivos móviles. La propuesta permite, visualizar detalles constructivos singulares, incluso a escala real, facilitando la comunicación y el entendimiento de los conceptos constructivos por los estudiantes. La visualización en tiempo real de estos detalles se realiza mediante el uso de marcadores, aplicaciones descargables y dispositivos móviles.

Se concluyó, que la realidad aumentada como herramienta docente en las asignaturas de Construcción y Estructuras ayudaban a una mayor comprensión e interiorización de los conceptos de desarrollo en estas asignaturas.

¹Cho, JY, Suh, J (2019) “UNDERSTANDING SPATIAL ABILITY IN INTERIORDESIGN EDUCATION: 2D-TO-3D VISUALIZATIONPROFICIENCY AS A PREDICTOR OF DESIGNPERFORMANCE”

² Botero, T ; Botero ,L.F (2017)“La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura ,la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción.

³ Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) “Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica”

<http://hdl.handle.net/10045/58459>

4.4.4 VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA SIMULACIÓN DE ESPACIOS URBANOS

En un estudio¹, realizado por miembros de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona² y de la Escuela de Arquitectura, La Salle Universitat Ramon Llull³ de Barcelona, estudian los beneficios de la implementación de motores de videojuegos en la educación arquitectónica.

El objetivo educativo de la experiencia descrita en este artículo fue probar la aplicabilidad del uso de motores de renderizado en tiempo real, explorando su utilidad en el campo de la arquitectura en comparación con los medios más tradicionales, específicamente para investigar la percepción de los estudiantes sobre el uso de esta tecnología y analizar si podría mejorar su motivación. Se desarrolló un prototipo que modelaba un espacio urbano propuesto utilizando Unreal Engine y se pidió a un grupo de estudiantes de arquitectura que usaran el software para navegar por el entorno virtual.

En cuanto a su aplicación en la planificación urbana las simulaciones mediante game engines permiten al estudiante evaluar los resultados de sus propuestas en primera persona, como una herramienta para promover el pensamiento crítico en los estudiantes de arquitectura. Colocándolos en entornos simulados, beneficiados por el uso de una perspectiva en primera persona y la interactividad en tiempo real, permiten estimular la reflexión sobre múltiples aspectos que muchas veces se pasan por alto en el diseño de espacios públicos.

En el caso de estudio se plantea a los estudiantes el diseño de un espacio urbano, en un entorno cercano a la facultad con el fin de poder comparar el entorno propuesto simulado con el entorno real. El diseño del entorno consistió en las siguientes fases: (a) insertar los objetos 3D en la escena, (b) definir los materiales, (c) configurar la iluminación, (d) configurar el entorno de reflexión y (e) efectos visuales.

Finalmente, los alumnos pudieron caminar de forma virtual por el espacio de forma libre y se les realizó una encuesta sobre su experiencia. Como herramienta educativa, se preguntó a los estudiantes si la simulación fomentaba el pensamiento diferente sobre algunos aspectos del espacio, como su tamaño, proporciones, materiales o funcionalidad. También se preguntó los participantes sobre la aplicabilidad de los motores de juego en la arquitectura en diferentes contextos (diseño, urbanismo, representación visual, patrimonio).

Los resultados reflejan que los estudiantes valoraron de forma positiva la experiencia y, los autores del estudio piensan que esta aceptación aumentará a medida que los motores de renderizado en tiempo real evolucionen y sean más accesibles⁴.



Fig 1, Imagen obtenida del artículo.

¹ Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

² Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona
<https://etsab.upc.edu/es>

³ Escuela de Arquitectura, La Salle Universitat Ramon Llull
<https://www.salleurl.edu/es/estudios/grado-en-estudios-de-la-arquitectura>

⁴ Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

4.4.5 EL RENDERIZADO COMO HERRAMIENTA DE APOYO PROYECTUAL.

Siguiendo la línea de desarrollo del anterior caso de estudio, EDUGAME4CITY¹, es una investigación, que tiene como objetivo analizar la integración de dinámicas de visualización en tiempo real y realidad virtual en el diseño urbano colaborativo, en el que participaran tanto alumnos como ciudadanos².

La principal hipótesis de esta investigación se basa en demostrar que el uso de tecnologías de visualización inmersivas, en el ámbito de la planificación urbana permiten generar un entorno colaborativo eficaz y dinámico tanto para la ciudadanía como para los alumnos y profesionales en ese campo, además de mejorar las competencias de comprensión del espacio tridimensional.

La metodología de esta investigación consistirá, primeramente, en la generación del escenario urbano. En esta fase, a diferencia del caso de estudio anterior, la participación del alumno es activa. Se cuenta con dos grupos, uno de ellos formado por alumnos de 4º curso de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. El otro grupo cuenta con estudiantes de 2º curso Escuela Técnica Superior de Arquitectura de La Salle. Para la generación de entornos virtuales interactivos se utilizaron motores de renderizado en tiempo real como Twinmotion, Enscape o Lumion. También se utilizaron motores de videojuegos como Unreal o Unity y dispositivos de realidad virtual.

Posteriormente, los entornos generados fueron optimizados y se ponen a disposición de parte de la ciudadanía de la zona, para que puedan ser visualizados mediante un dispositivo de realidad virtual y poder describir su participación.

Finalmente, se realiza una encuesta a los participantes. Esta refleja un aumento de la motivación de los estudiantes³. Además, se concluye, que los cursos en los que se imparten metodologías de renderizado en tiempo real, permitiendo diseñar e interactuar con el espacio a la vez, ofrecen mejores resultados frente al uso de técnicas convencionales.

¹ EDUGAME4CITY
<https://www.salleurl.edu/en/research/project/edugame4city>
Proyecto EduGame4City
<https://www.youtube.com/watch?v=1aKxyW0NlpY>

² Redondo, E. [et al.](2020) "EDUGAME4CITY. A Gamification for Architecture Students. Viability Study Applied to Urban Design".

³ Sein-Echaluze Laclea, M.L., Fidalgo Blanco, A. & García-Peñalvo, F.J. (2017). "La innovación docente como misión del profesorado. Actas del IV Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad."

La integración de herramientas de renderizado en tiempo real como apoyo proyectual cada vez está más presente en las aulas. David Beach, profesor asociado de arquitectura en la Escuela de Arquitectura Hammons de la Universidad Drury¹, ha estado trabajando con software para visualización arquitectónica. Durante los últimos años ha implementado en sus clases herramientas de renderizado en tiempo real como Unity, Lumion y Twinmotion.

En una entrevista realizada en el canal de Epic Games , centrada en el uso del programa en tiempo real Twinmotion en la Educación , Beach cuenta el principal motivo que lo llevo a implementar esta herramienta en el entorno académico² : “Hay una característica destacada que me obligó a llevarla al entorno del aula como una herramienta central y obligatoria para enseñar a todos nuestros estudiantes de arquitectura: Twinmotion es una caja de arena virtual viviente y que respira para que un diseñador explore y desarrolle sus ideas ”³, dice, citando la forma en que el diseño y la metodología permiten el pensamiento no lineal.

Twinmotion se imparte actualmente en dos clases de la Universidad de Drury. Una de ellas es una materia de segundo año enfocada en modelar precedentes arquitectónicos y la otra es el taller de diseño arquitectónico de tercer año centrado en la tectónica.

El uso del renderizado en tiempo real permite los estudiantes hacer avanzar sus diseños con una comunicación más clara, exploraciones más formales y materiales: “Si el diseño no se combina bien, no se verá bien en Twinmotion: pueden ver claramente dónde la paleta de materiales no tiene éxito, dónde la disposición formal no está alcanzando su potencial y dónde la navegación es complicada y confusa. Cada uno de esos elementos es increíblemente difícil de transmitir como educador y requiere tiempo y práctica como estudiante. Twinmotion proporciona a los estudiantes esa retroalimentación y claridad inmediatas que, cuando se combinan con una buena instrucción académica, nos permiten avanzar más rápido hacia soluciones de diseño más atractivas “, afirma David Beach.

Otra de las ventajas de la visualización en tiempo real, es la percepción de los espacios, según Beach: “Mis alumnos obtienen una mejor comprensión del espacio y muy rápidamente comienzan a comprender sus diseños desde una perspectiva inmersiva. Navegar en primera persona crea momentos de descubrimiento y revelación que crean nuevas formas de ver el diseño y expresar el producto creado”



Fig 1 , Render de Olivia Smith , Drury University.



Fig 2 , Render de Benjamin Reents , Drury University.

¹ Drury University

<https://www.drury.edu/>

²Twinmotion 2020 for Education | Unreal Educator Livestream

<https://www.youtube.com/watch?v=cECOy5tqRyw>

³ Twinmotion's use in architectural tectonics course helps students land coveted internships

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/twinmotion-s-use-in-architectural-tectonics-course-helps-students-land-coveted-internships?sessionInvalidated=true>

4.5 EL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL EN EL MUNDO LABORAL. CASOS DE ESTUDIO

El uso de esta herramienta cada vez está más extendido en el ámbito laboral, su capacidad de interacción y experimentación con el modelo digital posibilita la incorporación de esta herramienta en una etapa cada vez más temprana del desarrollo proyectual. La implementación de estas herramientas en la formación del arquitecto supondría disminuir la distancia entre su formación y el mundo laboral en el que cada vez el manejo de herramientas en tiempo real es más solicitado. A continuación, reflejamos algunos estudios a la vanguardia en la utilización del renderizado en tiempo real.

ZAHA HADID ARCHITECTS (ZHA)

Fundada en 1980, Zaha Hadid Architects (ZHA) ha diseñado 950 proyectos en 44 países, creando algunas de las arquitecturas más impresionantes de la época y ganando literalmente cientos de premios en el proceso¹.

En este estudio, han incorporado desde hace mucho tiempo la visualización de sus proyectos mediante recorridos virtuales. Actualmente utilizan el software en tiempo real Twinmotion y Unreal Engine. Destacan del renderizado en tiempo real la capacidad de iterar rápidamente sobre las ideas y comunicarlas a las partes interesadas. Esto les permite comunicar la idea de manera efectiva desde el principio facilitando el entendimiento y la cooperación de los distintos integrantes del estudio.

Según el diseñador Marko Margeta: “Los primeros estudios de diseño siempre funcionan muy bien con Twinmotion, las nuevas funciones, permiten incorporar este flujo de trabajo en todo el proceso de diseño”

Margeta continúa: “Los beneficios de usar Twinmotion para los diseñadores son la simplicidad de la interfaz, la alegría con la que puedes articular tus escenas y no tener que preocuparte por todos los aspectos técnicos que suele traer el tiempo real, como mapas de luz, flujos de trabajo PBR, u otros detalles técnicos ”².

Helmut Kinzler, asociado senior de ZHA, desataca las ventajas que ofrece el renderizado en tiempo real para comunicar el proyecto al cliente:

“Los clientes en general responden muy bien y parecen captar nuestras ideas más rápidamente y en un nivel más individual”, dice. “Además de la sensación del nuevo medio, vemos claramente una mejor y persistente comprensión de nuestras propuestas. Hace que el espacio sea mucho más fácil de entender para los clientes, lo que acelera el proceso de toma de decisiones y nos ayuda a identificar los cambios de diseño necesarios en las primeras etapas del proceso de diseño”³



Fig 1 , Zaha Hadid , primeros estudios de diseño ,
<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-turns-to-twinmotion-for-early-design-studies>

¹ Zaha Hadid Architects use VR visualization to gain and give new perspectives.

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-use-vr-visualization-to-gain-and-give-new-perspectives>

² Zaha Hadid Architects turns to Twinmotion for early design studies.

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-turns-to-twinmotion-for-early-design-studies>

³ Zaha Hadid Architects use VR visualization to gain and give new perspectives.

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-use-vr-visualization-to-gain-and-give-new-perspectives>

SHAU ARCHITECTS

SHAU fue establecida en 2008 por Florian Heinzelmann, Tobias Hofmann y Daliana Suryawinata con oficinas en Rotterdam, Munich y Bandung. Su práctica ofrece un enfoque integral a proyectos desde el diseño de arquitectura hasta la planificación urbana y la estrategia regional¹. En una entrevista realizada al cofundador y director de SHAU, Florian Heinzelmann, nos cuenta las ventajas de trabajar con motores de renderizado en tiempo real.

En los últimos años, se ha convertido en un converso a herramientas de visualización en tiempo real como Twinmotion, gracias a sus rápidos flujos de trabajo. "No hay que andar torpemente con la configuración, luego presionar renderizar, esperar y reiterar hasta que esté satisfecho con el resultado: los cambios aparecen directamente en la pantalla en tiempo real y la imagen o animación exportada se ve de la misma forma, sin sorpresas"², dice Florian Heinzelmann.

Heinzelmann también destaca las ventajas que ofrecen las herramientas de renderizado en tiempo real para la creación del contexto y del entorno ayudando a integrar el proyecto en el paisaje: "Twinmotion ayudó enormemente a ajustar diseño, pero también a mostrar cómo las plantas podrían integrarse en el diseño y la construcción reales". Plantar todo un bosque alrededor del edificio, esculpir un paisaje, cepillar el césped y el follaje en poco tiempo es simplemente increíble"

El equipo utiliza herramientas de visualización en tiempo real para transmitir sus proyectos al cliente, permitiendo una mayor comprensión y acercando al cliente al proceso proyectual. En uno de sus proyectos el estudio afirma que la implementación de la visualización en tiempo real permitió una mayor interactividad con el cliente: "Fue un proyecto participativo con el cliente, donde el director principal era originalmente un arquitecto capacitado. Tuvimos un proceso de diseño bastante intenso e iterativo en el que el edificio se convirtió en algo mucho más grande de lo anticipado anteriormente. Tener la capacidad de producir una gran cantidad de imágenes y opciones de diseño de buena calidad en poco tiempo ayudó enormemente".

Es mucho más fácil convencer a un cliente de que una decisión de diseño en particular tiene sentido si puede llevar el último modelo a una herramienta en tiempo real y recorrerlo para evaluar diferentes conceptos u opciones de diseño, y demostrar cómo esas decisiones aparecen en primera persona.



Fig 1, Propuesta library in Bandung, SHAU , <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/shau-explores-design-concepts-for-tropical-buildings-with-twinmotion>



Fig 2, Propuesta library in Bandung, SHAU , <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/shau-explores-design-concepts-for-tropical-buildings-with-twinmotion>

¹ SHAU Architects

<https://worldarchitecture.org/architecture-offices/ppnfh/shau-office-profile-page.html>

² SHAU explores design concepts for tropical buildings with Twinmotion

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/shau-explores-design-concepts-for-tropical-buildings-with-twinmotion>

KPF (Kohn Pedersen Fox Associates)

Kohn Pedersen Fox Associates (también conocido por sus siglas KPF) es una de las principales firmas de arquitectura a nivel mundial, fue fundada en 1976 por Eugene Kohn, Pedersen William y Sheldon Fox. Con sede en Nueva York, y oficinas en Londres, Abu Dhabi, Hong Kong y Seúl, la compañía es conocida por proyectos arquitectónicos a gran escala como algunas de las torres y aeropuertos más grandes del mundo, así como planes maestros innovadores y ciudades inteligentes¹.

El diseño de una estructura grande es un proceso iterativo, y KPF encuentra que Twinmotion les ayuda a compartir información con las partes interesadas fácilmente para un proceso de diseño verdaderamente colaborativo.

Uno de los diseñadores de KPF, Ayman Tawfeeq, habla de la sincronización que les permite este software de renderizado en tiempo real con el programa de modelado y cómo influye en su flujo de trabajo: "El software de elección de KPF para el diseño es Rhino, que se puede vincular y sincronizar directamente con Twinmotion; A medida que los diseñadores trabajan en el diseño en Rhino, la visualización se actualiza en Twinmotion en tiempo real. Es realmente importante la forma en que trabajamos en KPF porque queremos que esta retroalimentación visual sea inmediata"²

En una entrevista, dirigida por el director de ArchDaily, David Basulto, miembros del equipo KPF, relatan cómo las herramientas en tiempo real como Unreal Engine y Twinmotion pueden transformar la forma en que diseñan y entregan³.

Miembros del estudio cuentan como utilizan inmersiones en realidad virtual en los modelos 3D de sus proyectos de forma colaborativa. Esta herramienta es utilizada con el fin de comunicar las diferentes oficinas del estudio repartidas por el mundo en el desarrollo de sus proyectos. Esta suprimir los costosos y largos viajes, y sumergirse de forma virtual en el modelo 3D del proyecto.

También destacan la posibilidad de trabajar en el proyecto en distintas escalas. Afirman que poder ver el proyecto en forma de maqueta o en escala real e interactuar con el mismo, hace muy frutíferas las reuniones virtuales del estudio. Esto unido a la capacidad de experimentación que les proporciona tomar decisiones y ver las modificaciones de forma instantánea de forma inmediata, hace que las herramientas de renderizado en tiempo real cobren gran importancia en el desarrollo de sus proyectos.



Fig 1 , Renderizado con Twinmotion, extraída de la página del estudio KPF

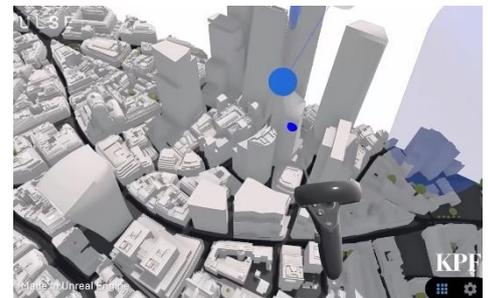


Fig 2 , Inmersión en el modelo 3D con Unreal Engine , https://www.youtube.com/watch?v=XZr_xRh-vmo



Fig 3 , Inmersión en el modelo 3D con Unreal Engine , https://www.youtube.com/watch?v=XZr_xRh-vmo

¹ KPF (Kohn Pedersen Fox Associates)

<https://www.kpf.com/>

² KPF builds and shares design experiences with Twinmotion

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/kpf-builds-and-shares-design-experiences-with-twinmotion>

³ Virtual Spaces & the Future of Collaboration | The Pulse | Unreal Engine

https://www.youtube.com/watch?v=XZr_xRh-vmo

4.5 POTENCIALIDAD DEL RENDERIZADO EN TIEMPO REAL EN EL ÁMBITO ACADÉMICO

El campo de la arquitectura se basa significativamente en la comunicación visual. Las herramientas de renderizado en tiempo real tienen un gran potencial para mejorar el proceso de diseño y la comunicación de ideas. Como se ha comprobado en el apartado anterior, estas tecnologías son cada vez más frecuentes en el ámbito laboral, donde se destacan sus cualidades para agilizar el desarrollo y la comunicación del proyecto de arquitectura. Por lo tanto, si la academia está alineada con la industria, los estudiantes estarán mejor preparados para la integración en el lugar de trabajo. Como resultado, la integración de las herramientas de visualización en tiempo real en la formación del arquitecto preparará a los alumnos en el uso de tecnologías emergentes en el panorama laboral.¹

La principal característica de los motores de renderizado en tiempo real es la capacidad de interacción inmediata con el espacio virtual. Esto abre un mundo de posibilidades de experimentación, donde el alumno puede visualizar el resultado de sus interacciones conforme va avanzando en sus proyectos y visualizar de forma eficaz errores de diseño y corregirlos.

Las nuevas funciones de estos programas permiten implementarlos desde las primeras fases de diseño donde el análisis y la toma de datos es fundamental, hasta las últimas fases donde se concreta con detalle el espacio arquitectónico. Geolocalizar el proyecto, generar levantamientos volumétricos del entorno construido y topográficos, añadir flujos de tráfico tanto rodado como peatonal, introducir objetos, mobiliario... son algunas de las herramientas que proporcionan estos motores de renderizado. Esto conjugado con la posibilidad de recorrer el entorno virtual e interactuar de forma inmediata con parámetros como iluminación, materiales, climatología, etc, son algunas de las posibilidades que permiten al usuario analizar y evaluar los espacios que está generando desde una primera concepción del proyecto hasta la total definición del mismo.

Iniciativas en el ámbito académico como "Videogame Technology in Architecture Education" arrojan luces sobre la utilización de estas herramientas en el área de urbanismo, donde los estudiantes utilizan motores de renderizado en tiempo real para comprender y planificar el espacio urbano: "...los cursos gráficos donde se imparte el renderizado en Tiempo Real y que permitieron explorar de manera continua y diseñar a la vez, están mejor evaluados que el uso de técnicas convencionales."²

Las funciones de sincronización con los programas de modelado BIM y CAD, permiten modelar y renderizar al mismo tiempo con la ventaja de poder visualizar de forma instantánea las interacciones llevadas a cabo en el programa de modelado y el de renderizado consiguiendo así una retroalimentación entre ambos programas facilitando la experimentación con el modelo y la toma de decisiones.

¹ Sein-Echaluce Laclleta, M.L., Fidalgo Blanco, A. & García-Peñalvo, F.J. (2017). "La innovación docente como misión del profesorado. Actas del IV Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad."

²Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

Estos softwares permiten la agregación de datos y parámetros consiguiendo un flujo de trabajo completo que acompaña el proceso de diseño desde los primeros análisis y prototipos a la concreción del espacio arquitectónico con la ventaja de poder interactuar y verificar cada una de las decisiones. El profesor de la universidad David Beach resalta las ventajas de la utilización de herramientas de renderizado en tiempo real como Twinmotion en el flujo de trabajo de los alumnos: "...destaca por ofrecer ese tipo de espacio de trabajo virtual rápido, no lineal y creativo que hace más que visualización. Les permite a mis estudiantes hacer avanzar sus diseños con una comunicación más clara, exploraciones más formales y materiales, y el uso de la inmersión para comprender el espacio y la escala a través de la exploración en tiempo real de los espacios."

Las herramientas de renderizado en tiempo real ofrecen ventajas en la fase de diseño, pero también son una potente herramienta de comunicación gráfica. La principal característica de esta herramienta en el ámbito de la comunicación arquitectónica es la capacidad de crear y visualizar el espacio arquitectónico de forma interactiva. Tradicionalmente la transmisión de los conceptos de las diferentes asignaturas estaba ligado a las clases magistrales en las que el docente es el protagonista y el alumno tiene una participación principalmente pasiva como receptor del contenido impartido en el aula. El desarrollo de las nuevas tecnologías como la visualización en tiempo real, permite la implementación de metodologías en las que el alumno experimenta de forma activa entornos virtuales interactivos que favorecen la participación del alumno y el entendimiento por sí mismo de los conceptos propuestos. Así mismo estas herramientas de renderizado en tiempo real dan soporte a tecnologías inmersivas como la realidad virtual o la realidad aumentada.

A lo largo del presente documento se han reflejado textos e investigaciones en el ámbito académico que reflejan la versatilidad y la potencialidad de las experiencias virtuales en tiempo real. En "*La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura, la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción*"¹ evidencia como el uso de entornos virtuales inmersivos facilitan el desarrollo de las capacidades espaciales de los alumnos de primer curso al mismo tiempo que aumenta su interés.

"*EDUGAME4CITY. A Gamification for Architecture Students. Viability Study Applied to Urban Design.*"²relata cómo se emplearon técnicas de renderizado tiempo para visualizar el espacio urbano y fomentar la reflexión crítica y propositiva de los estudiantes de 2º y 4º curso a través de un entorno inmersivo e interactivo.

En el texto "*Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica*"³, se constatan las ventajas de la visualización en tiempo real mediante técnicas de realidad aumentada, para agilizar y alcanzar una mejor comprensión de los sistemas constructivos frente a los métodos tradicionales.

¹ Botero, T ; Botero ,L.F (2017)"La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura ,la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción.

² Redondo, E. [et al.](2020) "EDUGAME4CITY. A Gamification for Architecture Students. Viability Study Applied to Urban Design".

³ Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) "Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica"
<http://hdl.handle.net/10045/58459>

Otras iniciativas como el MUVA, demuestran la versatilidad de estas herramientas para la generación de espacios virtuales colaborativos. En este caso se desarrolla un museo virtual en el que participan todos los talleres de diseño arquitectónico exponiendo sus trabajos y que puede ser visitado por todo el mundo.

Las posibilidades de las herramientas de renderizado en tiempo real son múltiples. En *“La realidad virtual como herramienta proyectual y pedagógica en la arquitectura”* se hace alusión a la utilización de entornos virtuales para asignaturas que requieren de visitas a obras civiles para comprender los contenidos de forma activa, como puede ser procesos constructivos, sistemas de instalaciones, etc: “Con esto, sería posible complementar el proceso de diseño, en los talleres, para el desarrollo de una idea de proyecto arquitectónico íntegra y cercana a la realidad del campo de acción profesional, sin salir del aula”¹

En este mismo documento mencionado citado en el anterior párrafo, se incide en la capacidad de los recorridos virtuales para facilitar el entendimiento de asignaturas como historia de la arquitectura:

“...se podrían recrear escenarios históricos, desde los primeros asentamientos en el paleolítico, pasando por ciudades desaparecidas como Babilonia y sus monumentales puertas y murallas, también, poder recorrer el interior de los templos y pirámides de Egipto, y sus enigmas constructivos, las calles del imperio romano y entender esos principios claves para el desarrollo en términos urbanísticos de las ciudades de hoy en día, igualmente sería importante experimentar la sensación de recorrer obras arquitectónicas contemporáneas y museos de arte.”²

En este sentido, cada vez es más frecuente que museos de gran interés cultural, apuesten por la virtualidad, creando recorridos virtuales a partir de panorámicas 360º del propio museo. Este contenido ofrece una interacción similar a la de Google Street View. En cambio, los contenidos generados mediante programa de modelado y renderizado permiten modificar todos sus aspectos adaptándose a las necesidades del aula. En cuanto a la recreación de obras de gran interés en la historia de la arquitectura, es de gran interés citar el recorrido virtual de la casa Errazuriz³, que fue diseñada por Le Corbusier en 1930 y que nunca llegó a ser construida, gracias a las herramientas de renderizado en tiempo real (Enscape) actualmente es posible visitarla de forma virtual siendo la forma más cercana a la realidad de su posible construcción.

Cada vez la generación de este tipo de contenido es más accesible. Twinmotion es un gran ejemplo de herramienta de diseño muy compleja (Unreal Engine) que se adapta de forma simplificada creando un software accesible y centrado en el diseño arquitectónico que permite generar formatos como recorridos virtuales libres.

Para concluir, las herramientas de renderizado en tiempo real destacan por su capacidad para experimentar e interactuar con espacios virtuales. Sus posibilidades en el ámbito académico son muy amplias, desde su incorporación como una herramienta más de apoyo al desarrollo proyectual hasta la experimentación de contenidos pre-elaborados que apoyen los contenidos impartidos en el aula o la propia generación de estos contenidos.

¹ Espinosa Sierra, A ; Durán ,W (2020) “La realidad virtual como herramienta proyectual y pedagógica en la arquitectura”

² Espinosa Sierra, A ; Durán ,W (2020) “La realidad virtual como herramienta proyectual y pedagógica en la arquitectura”

³ Inside Le Corbusier's LOST House Design [Errazuriz House]

<https://www.youtube.com/watch?v=OMODJiBFWjs&t=4s>

4.6 VISIÓN CRÍTICA.

Hemos reflejado numerosas aportaciones positivas que nos aporta el renderizado en tiempo real, pero es importante aportar una visión crítica con respecto al uso de las nuevas formas de representación gráfica.

“Hoy en día hay algunos que prefieren pensar en la arquitectura sólo en términos de acción, dando primacía a lo instantáneo. Pero en mi opinión la arquitectura puede y debe aspirar a una cierta durabilidad. Aquellos que explotan la tecnología como una cuestión ideológica o estética, están a menudo intentado evitar la responsabilidad que implica una elección deliberada de la forma. Confunden los fines con los medios. Por supuesto, me interesa la tecnología, pero al servicio de las intenciones de la arquitectura”

(Rafael Moneo, Entrevista de William J.R. Curtis publicada en la revista El Croquis nº 98)

La proliferación de estas herramientas gráficas y su gran atractivo en la sociedad actual, provoca que en muchos casos, las imágenes virtuales no sean solo una vía de comunicación, sino que se convierten , en un fin artístico en sí mismo .

“la imagen existe independientemente del concepto, al ser evaluado como un gráfico. Arquitectura por diseño gráfico”.

(Belmont Freeman, “Digital Deception,” Places Journal, mayo de 2013)

Esto provoca que la imagen generada se desligue totalmente del proyecto de arquitectura, proporcionando una representación irreal e idílica del mismo. En este mismo artículo Freeman dice lo siguiente: *“Temo que la proliferación de estas fotografías haga que los clientes y el público tengan grandes expectativas de la arquitectura y una necesidad de perfección y calidad, imposible de entregar en el mundo real”.*

Alberto Altés recalca que cuando el realismo y la artificialidad cobran demasiada importancia en una representación arquitectónica, la representación misma se convierte en objeto de deseo y el anhelo del objeto real se desvanece¹.

Podemos decir que uno de los principales desafíos de la implementación de estas nuevas tecnologías, es evitar que opaquen las formas de representación tradicional, pues el dibujo siempre ha sido y será el núcleo de desarrollo de la idea del arquitecto. Esos primeros trazos y bocetos en los que el arquitecto plasma sus intenciones y pensamientos. Según Altés: *“La contundencia con la que el dibujo transmite la información más relevante es posible gracias al esfuerzo y precisión con los que se han reducido a la mínima expresión los detalles menos importantes, restando ‘ruido’ innecesario al conjunto y evitando todo tipo de interferencias.”*² Debido a esto es importante distinguir el dibujo como una herramienta fundamental en la etapa del pensamiento proyectual, mientras que las formas de representación digitales ofrecen un gran apoyo en la etapa de maduración del proyecto, por lo que es de gran importancia no confundir el campo de actuación en el que estas nuevas herramientas tecnológicas son más efectivas.



Fig 1 , BIG , Render Vancouver House , <https://big.dk/#projects>

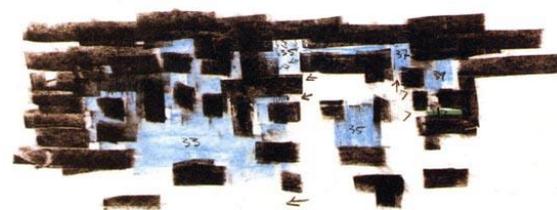


Fig 2 , P.Zumthor ,Croquis de las Termas de Vals http://www.mindeguia.com/dibex/Zumthor_partituras.htm

¹ Altés , A (2010) “Partituras e imágenes. Acerca de la insuficiencia de la representación.”

² Altés , A (2010) “Partituras e imágenes. Acerca de la insuficiencia de la representación.”

6. CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el trabajo se confirma la hipótesis inicial. Las herramientas de renderizado en tiempo real ofrecen un amplio abanico de posibilidades susceptibles de ser aplicables en la formación del arquitecto para potenciar el desarrollo, comprensión y comunicación de los contenidos impartidos en el aula.

La principal ventaja de los softwares de renderizado en tiempo real es la interactividad con el entorno virtual. La posibilidad de poder modificar múltiples parámetros como la iluminación, la climatología, el terreno, la vegetación o añadir objetos, permite incorporar esta herramienta en el proceso de desarrollo proyectual. Así mismo la compatibilidad con paquetes de modelado permite trabajar de forma simultánea modelando y visualizando de forma instantánea los cambios.

Esta capacidad de interacción permite al estudiante comprender y desarrollar mejores soluciones en sus trabajos académicos puesto que puede visualizar el resultado de sus decisiones de una forma cercana a la realidad, permitiendo visualizar desde los primeros conceptos e ideas hasta la concreción detallada del proyecto, consiguiendo una retroalimentación con los soportes gráficos tradicionales. Su utilidad para comprender, analizar y planificar el espacio urbano, o la incorporación en materias de diseño arquitectónico son algunos de los ejemplos expuestos en este trabajo.

Las nuevas técnicas de visualización en tiempo real, no solo optimizan el flujo de trabajo, además permiten crear experiencias con gran capacidad de interacción e inmersión. Los game engines han demostrado su potencialidad en la visualización arquitectónica, a partir de esta base surgen programas reelaborados centrados en el diseño arquitectónico como Twinmotion. Esto facilita la creación de experiencias interactivas como los recorridos virtuales en los que se pueden explorar espacios tridimensionales como en un videojuego, facilitando un mayor entendimiento que difícilmente se puede transmitir de forma tan eficaz únicamente a través de planos, escritos o maquetas. Además, estas tecnologías ofrecen soporte a dispositivos de realidad virtual permitiendo sumergirse en un espacio a escala 1:1.

La versatilidad de estas herramientas limitadas únicamente por la creatividad del usuario ha permitido su aplicación en diversos contextos de la formación del arquitecto. La mejora de la comprensión espacial mediante técnicas de realidad virtual, el entendimiento de soluciones constructivas o la creación de museos virtuales como espacio integrador de las propuestas de los alumnos son algunas de las posibilidades

Los casos de estudio analizados también reflejan un mayor interés por parte de los alumnos al tratarse de un contenido que requiere de la participación del alumno y se basan en un formato de gran familiaridad para las nuevas generaciones, el de los videojuegos.

Otra posibilidad es la recreación de edificios históricos y de gran interés cultural para ayudar a la comprensión de la historia de la arquitectura. Desde hace unos años, edificios históricos y de gran interés patrimonial además de museos, ofrecen visitas virtuales completas desarrolladas a partir de imágenes tridimensionales tomadas del propio edificio, esta práctica ha sido impulsada en los últimos años debido a la pandemia.

En este aspecto la tecnología en tiempo real ofrece un soporte para visualizar edificios históricos reflejando todas sus intervenciones pasadas y permitiendo el planeamiento de futuras. Por otro lado, podemos recorrer civilizaciones y construcciones pasadas trascendiendo del espacio y del tiempo, todo esto con la libertad que nos permiten estas herramientas para adaptar el modelo a la idea que se pretende transmitir.

De igual manera, se destaca la convivencia de las herramientas de visualización en tiempo real con los soportes tradicionales, entendiendo la implementación de las herramientas informáticas como el renderizado en tiempo real como una forma de dar diversidad, estimular el pensamiento multidireccional y retroalimentar los soportes del proyecto arquitectónico, potenciado su calidad de diseño. En este sentido, me gustaría recalcar la importancia del dibujo y su presencia en el ámbito académico. Las nuevas tecnologías han proporcionado al arquitecto nuevas herramientas para desarrollar y transmitir sus ideas, pero ninguna de estas ha sido capaz de sustituir al dibujo, capaz de expresar, mediante sencillos trazos de identidad única, la esencia del proyecto arquitectónico.

En definitiva, las capacidades de las herramientas de renderizado en tiempo real permiten agilizar el desarrollo y comunicación de los espacios arquitectónicos, al mismo tiempo que permite generar espacios virtuales interactivos, aplicables como metodología para facilitar el entendimiento de los conceptos impartidos en el aula. Por otro lado, la implementación de estas nuevas herramientas digitales formaría al alumno para afrontar un mundo laboral en el que cada vez están más presentes.

7. BIBLIOGRAFÍA

PÁGINA 7

1. Proyecto Whirlwind

<https://histinf.blogs.upv.es/2011/11/21/proyecto-whirlwind/>

2. Whirlwind and SAGE

<https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/chapter/2-1-whirlwind-and-sage/>

3. Computerizing Car Design: The DAC-1

<https://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/215>

4. Sutherland, I. (1963) "Sketchpad: A man-machine graphical communication system".

5. Sketchpad – Complete History of the Sketchpad Computer Program

<https://history-computer.com/software/sketchpad-complete-history-of-the-sketchpad-computer-program/>

PÁGINA 8

1. The 1970s: The Dawning of the 3D Rendered Age

<https://pixelperfect-studios.com/history-of-3d-rendering/>

2. "A computer animated hand" – 1972

<https://www.youtube.com/watch?v=wdedV81UQ5k>

3. Phong, B.T (1973) "Illumination for Computer Generated Pictures." University of Utah

4. Rendering - Physically-Based Rendering(PBR)-Global Illumination-Cornell Box

https://cs.brown.edu/stc/resea/rendering/research_R2.html

5. La tetera de Newell o tetera de Utah

<http://www.pensamientoscomputables.com/entrada/newell-utah-tetera-modelo-3d.html>

PÁGINA 9

1. Blinn, J. F (1977) "Models of light reflection for computer synthesized pictures." University of Utah

2. EDWIN CATMULL

<https://computerhistory.org/profile/edwin-catmull/>

3. The Peak Leisure Club

<http://hiddenarchitecture.net/the-peak-leisure-club/>

4. Frank Gehry uses CATIA for his architecture creations

<https://www.youtube.com/watch?v=UEn53Wr6380>

5. A Brief History of BIM

<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>

PÁGINA 10

1. How 3D Modeling Has Impacted the Architecture and Design Industry throughout the Last 30 Years.

<https://www.cadcrowd.com/blog/how-3d-modeling-has-impacted-the-architecture-and-design-industry-throughout-the-last-30-years/>

2. La historia del rendering a través de mis renders y proyectos de arquitectura | 1992-2020

<https://www.youtube.com/watch?v=ds4tuAzlxJs>

3. Rawn, Evan. "Imágenes irreales: pros y contras de renderizar con software de videojuegos"

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/765249/imagenes-irreales-pros-y-contras-de-renderizar-con-software-de-videojuegos>

4. Jaime Montava Miró. "¿En qué países BIM es obligatorio para obras públicas?"

https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/956326/en-que-paises-bim-es-obligatorio-para-obras-publicas?ad_source=search&ad_medium=search_result_all

5. Future Of 3D Visualization: What It Holds For Architectural Design And Construction

<https://archicgi.com/cgi-news/future-of-3d-visualization-for-architecture/>

PÁGINA 11

1. Technical Terms : Rendering Definition

<https://techterms.com/definition/rendering>

2. BIMRRAS- 071 Motores de render

<https://www.bimrras.com/episodio/071-motores-de-render/>

3. Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada."

<http://hdl.handle.net/2117/187867>

PÁGINA 12

1. Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada."

<http://hdl.handle.net/2117/187867>

2. Computational Techniques for Rendering

<https://archicgi.com/cgi-news/computer-3d-rendering/>

3. Rasterizado y ray casting:

<https://disruptiveludens.wordpress.com/2017/02/23/rasterizao/>

4. Scanline rendering

<https://www.youtube.com/watch?v=oE8c9yUbRYI>

5. Z-buffer

<https://www.cs.ubc.ca/~tmm/courses/cpsc414-03-fall/Vsep2003/slides/week10.mon.slides.pdf>

6. Monedero Isorna, J(2015) "Simulación visual de materiales : teoría, técnicas, análisis de casos"

<http://hdl.handle.net/2117/82368>

PÁGINA 13

1. Radiosidad

<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/3DSMax-Archive/files/GUID-C5A3C77B-794B-4444-9783-7F2EA11C16BD-htm.html>

2. Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada."

<http://hdl.handle.net/2117/187867>

3. Martínez Rodríguez, D.G (2020) "Virtual Production y Performance Capture. Estudio de técnicas en tiempo real para la producción de efectos visuales en la industria audiovisual."

4. Whitted, T (1979) "An improved illumination model for shaded display." ACM Siggraph Computer Graphics.

The Compleat Angler – First demonstration of recursive ray tracing in computer graphics animation

<https://www.youtube.com/watch?v=0KrCh5qD9Ho&t=15s>

5. RAY TRACING and other RENDERING METHODS

<https://www.youtube.com/watch?v=LAsnQoBUG4Q&t=601s>

PÁGINA 14

1. Disney's Practical Guide to Path Tracing

https://www.youtube.com/watch?v=frLwRLS_ZR0

2. Ray casting in Wolfenstein 3D

<https://lodev.org/cgtutor/raycasting.html>

PÁGINA 15

1. Monedero Isorna, J (2015), "Simulación visual de materiales : teoría, técnicas, análisis de casos"

2. An Overview of the Ray-Tracing Rendering Technique

<https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/ray-tracing-overview>

3. Martínez Rodríguez, D.G (2020) "Virtual Production y Performance Capture. Estudio de técnicas en tiempo real para la producción de efectos visuales en la industria audiovisual."

PÁGINA 16

1. BIMRRAS- 071 Motores de render

<https://www.bimrras.com/episodio/071-motores-de-render/>

2. Redondo Domínguez, E (2019) "De la realidad al proyecto, del proyecto a la realidad aumentada. 6 - Simulación visual comparada."

<http://hdl.handle.net/2117/187867>

3. Toolfarm 3d Renderers-CPU vs. GPU Rendering

https://www.toolfarm.com/tutorial/in_depth_3d_renderers/

PÁGINA 18

1. Survey shows trends in arch viz

<http://www.cgchannel.com/2020/09/cgarchitect-2020-rendering-survey-reveals-trends-in-arch-viz/>

2. TABLA COMPARATIVA DE GPU

https://www.videocardbenchmark.net/high_end_gpus.html

3. TABLA COMPARATIVA DE CPU

https://www.cpubenchmark.net/high_end_cpus.html

PÁGINA 20

1. EJEMPLOS REALES IMPLEMENTACION REVIT + ENSCAPE

https://www.youtube.com/watch?v=l_JB-mZnFAE

PÁGINA 22

1. EFLA supercharges its road and infrastructure visualization pipeline with Twinmotion

https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/efla-supercharges-its-road-and-infrastructure-visualization-pipeline-with-twinmotion?utm_medium=website&utm_source=plataformaarquitectura.cl

PÁGINA 19

1. VIDEO EN EL QUE SE MUESTRA LA MODIFICACIÓN DE UN TERRENO.

<https://www.youtube.com/watch?v=sH7cM7gX6s8>

PÁGINA 24

1. McDermott, W. (2015) "The PBR Guide: A Handbook for Physically Based Rendering"

2. Physically Based Lighting at Pixar

<https://graphics.pixar.com/library/PhysicallyBasedLighting/paper.pdf>

3. GDC 2016 End-to-End Approach to Physically Based Rendering

<https://www.gdcvault.com/play/1022969/An-End-to-End-Approach>

PÁGINA 25

1. Como hacer materiales PBR.

<https://www.youtube.com/watch?v=ge2KlqxCeyo>

2. Crear un material PBR en Twinmotion

<http://arqual.com/bim/crear-un-material-pbr-en-twinmotion/>

PÁGINA 26

1. Twinmotion Animation City Street Project

<https://www.youtube.com/watch?v=9F05MN315lw>

PÁGINA 27

1. [Twinmotion 2021.1] 4K Cinematic Construction Simulation

<https://www.youtube.com/watch?v=dLn5g8CL58Y>

PÁGINA 28

1. Rawn, Evan. "Imágenes irreales: pros y contras de renderizar con software de videojuegos"

https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/765249/imagenes-irreales-pros-y-contras-de-renderizar-con-software-de-videojuegos?ad_source=search&ad_medium=search_result_all

PÁGINA 29

1. Sharing and presenting with Twinmotion Cloud

<https://www.youtube.com/watch?v=rRVYd4JhDFk>

2. Inside Le Corbusier's LOST House Design [Errazuriz House]

<https://www.youtube.com/watch?v=OMODJiBFWjs&t=4s>

3. Maison Errazuriz, Not located, Chile, 1930

http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5977&sysLanguage=en-en&itemPos=1&itemSort=en-en_sort_string1&itemCount=2&sysParentName=Home&sysParentId=11

4. Recorrido virtual Casa Errázuriz (Enscape)

<https://api2.enscape3d.com/v1/view/a8462610-3966-44df-8ce9-2875679923df>

PÁGINA 31

1.García Requejo, Zaida (2019) *“Mies en el IIT (Illinois Institute of Technology): conexiones entre docencia y arquitectura.”*

García Requejo, Zaida (2021) *“Cuando menos fue más: la construcción del Crown Hall de Mies van der Rohe.”*

Mies's Crown Hall.

<https://www.miessociety.org/mies-birthday-projects2b/crown-halls>

MIES VAN DER ROHE. Fundación Caja de Arquitectos.

<https://www.youtube.com/watch?v=7uNnE9HSEnk>

Jimenez Gómez , Eva(2017) *“EL PILAR EN MIES VAN DER ROHE, El léxico del acero”*

PÁGINA 32

1.Sexton, Mark (2017), *“Restoration of Crown Hall”*

https://www.docomomo.com/wp-content/uploads/2019/04/DocomomoJournal56_2017_MSexton.pdf

2.Cómo optimizar tu modelo 3D para un rendimiento de Lumion más rápido

<https://www.lumion.es/optimizar-modelo-3d/>

PÁGINA 32

1.Direct Link

<https://www.unrealengine.com/enUS/twinmotion/plugins?sessionInvalidated=true>

PÁGINA 35

1. Sexton, Mark (2017), *“Restoration of Crown Hall”*

https://www.docomomo.com/wp-content/uploads/2019/04/DocomomoJournal56_2017_MSexton.pdf

PÁGINA 36

1.García Requejo, Zaida (2019) *“Mies en el IIT (Illinois Institute of Technology): conexiones entre docencia y arquitectura.”*

García Requejo, Zaida (2021) *“Cuando menos fue más: la construcción del Crown Hall de Mies van der Rohe.”*

2.Mies's Crown Hall.

<https://www.miessociety.org/mies-birthday-projects2b/crown-halls>

3. MIES VAN DER ROHE. Fundación Caja de Arquitectos.

<https://www.youtube.com/watch?v=7uNnE9HSEnk>

PÁGINA 37

Twinmotion 2021 tutorial - Sharing and presenting with Twinmotion Cloud

<https://www.youtube.com/watch?v=rRVYd4JhDFk>

PÁGINA 39

1.TABLA COMPARATIVA DE GPU:

https://www.videocardbenchmark.net/high_end_gpus.html

2.TABLA COMPARATIVA DE CPU:

https://www.cpubenchmark.net/high_end_cpus.html

3.Chaos Cloud

<https://www.chaosgroup.com/es/cloud>

4.Acceso remoto LDA

<https://udcgal.sharepoint.com/sites/DIXITALETSAC/SitePages/02010%20AccesoRemoto.aspx>

PÁGINA 42

1. Vicario Solórzano, C (2009). "Construccionismo. Referente sociotecnopedagógico para la era digital"
2. Juanes, J-A; Espinel, J-L (1995). "Realidad Virtual ¿Futuro en la enseñanza?"
3. Belén Maiztegui. "Clases virtuales: ¿Podrán los modelos 3D y renders reemplazar a las maquetas y los dibujos a mano?"
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/960147/clases-virtuales-podran-los-modelos-3d-y-renders-reemplazar-a-las-maquetas-y-los-dibujos-a-mano>

PÁGINA 43

1. Navarro, I (2017) "Nuevas tecnologías de visualización para la mejora de la representación arquitectónica en educación"
2. PLAN DE ESTUDIOS ETSAC
<https://estudios.udc.es/es/study/detail/630G02V01#plan-structure>

PÁGINA 44

1. PLAN DE ESTUDIOS ETSAM
http://etsamadrid.aq.upm.es/sites/default/files/2016-2017/plan2010/programas_asignaturas_p2010.pdf
2. PLAN DE ESTUDIOS ETSA Alcalá de Henares
<https://www.uah.es/es/estudios/estudios-oficiales/grados/asignaturas/index.html?codPlan=G256>
3. PLAN DE ESTUDIOS ETSAG
https://grados.ugr.es/arquitectura/pages/infoacademica/estudios#__doku_guia_docente
4. PLAN DE ESTUDIOS ETSAB
<https://etsab.upc.edu/es/estudios/garqetsab/guia-docente>
5. PLAN DE ESTUDIOS ETSA DE GIRONA
<https://www.udg.edu/es/estudia/Ofertra-formativa/Graus/Fitxes?IDE=1050&ID=3105G1214#plaEstudis>
6. PLAN DE ESTUDIOS ETSAS
<https://www.us.es/estudiar/que-estudiar/oferta-de-grados/grado-en-fundamentos-de-arquitectura#edit-group-plan1>
7. PLAN DE ESTUDIOS ETSAUN
<https://www.unav.edu/web/grado-en-estudios-de-arquitectura/plan-de-estudios>

PÁGINA 45

1. PLAN DE ESTUDIOS ETSA DE Cartagena
<https://etsae.upct.es/plan-de-estudios/5191>
2. PLAN DE ESTUDIOS EINA de Zaragoza
https://estudios.unizar.es/estudio/asignaturas?anyo_academico=2021&estudio_id=20210157¢ro_id=110&plan_id_nk=470&sort=cursos
3. PLAN DE ESTUDIOS ETSASS
<https://www.ehu.eus/es/grado-fundamentos-arquitectura/creditos-y-asignaturas>
4. PLAN DE ESTUDIOS ETSAV
https://www.upv.es/titulaciones/GFA/menu_1013973c.html
5. PLAN DE ESTUDIOS EPSA
<https://web.ua.es/es/oia/documentos/publicaciones/grados-folletos/grado-fundamentos-de-la-arquitectura.pdf>
6. PLAN DE ESTUDIOS ETSAVA
<https://www.uva.es/export/sites/uva/2.docencia/2.01.grados/2.01.02.ofertativagrados/detalle/Grado-en-Fundamentos-de-la-Arquitectura/>

7.PLAN DE ESTUDIOS EA LPGC

http://www2.ulpgc.es/index.php?pagina=estudios&ver=weees002&tipoplan=1&codigo=100_4039_40_G

PÁGINA 46

- 1.Martin Gutierrez, J., Saorin, JL, Contero, M., Alcaniz, M (2010) "AR_Dehaes: An Educational Toolkit Based on Augmented Reality Technology for Learning Engineering Graphics".
- 2.Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J. (2016) "Videogame Technology in Architecture Education."
- 3.Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) "Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica"
- 4.Papert, S (1980) "Desafío a la mente: computadoras y educación."

PÁGINA 47

- 1.Diseño V: Síntesis Programa, Estructura, Envolvente y Clima

<https://sites.google.com/view/hsaarch31519/home>

PÁGINA 48

1. Elisondo, RC. y Melgar, MF. (2019). Museos virtuales y enseñanza creativa en arquitectura y diseño.

- 2.Museos virtuales de Galicia

<https://museos.xunta.gal/es/visitas-3d>

PÁGINA 49

- 1.FABLAB COLMAYOR

<https://fablabcolmayor.com/muva-2021/>

- 2.MUVA FABLAB

https://issuu.com/fablab_colmayor/docs/portafolio_2021

- 3.ACCESO AL MUVA

<https://fablabcolmayor.com/muva-2021/>

PÁGINA 50

- 1.Visita Virtual MUV

<https://muv.fmjj.org/>

- 2.Creus e Carrasco diseñan el MUV, el primer museo 100% virtual de España

<https://www.viaconstruccion.com/creus-e-carrasco-disenan-el-muv-el-primer-museo-100-virtual-de-espana/>

- 3.Creus e Carrasco diseñan el MUV, el primer museo 100% virtual de España

<https://www.viaconstruccion.com/creus-e-carrasco-disenan-el-muv-el-primer-museo-100-virtual-de-espana/>

PÁGINA 51

- 1.Cho, JY, Suh, J (2019) "UNDERSTANDING SPATIAL ABILITY IN INTERIORDSIGN EDUCATION: 2D-TO-3D VISUALIZATIONPROFICIENCY AS A PREDICTOR OF DESIGNPERFORMANCE"

- 2.Botero, T ; Botero ,L.F (2017)"La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura ,la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción.

- 3.Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) "Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica"

<http://hdl.handle.net/10045/58459>

PÁGINA 51

1.Cho, JY, Suh, J (2019) "UNDERSTANDING SPATIAL ABILITY IN INTERIORDSIGN EDUCATION: 2D-TO-3D VISUALIZATIONPROFICIENCY AS A PREDICTOR OF DESIGNPERFORMANCE"

2.Botero, T ; Botero ,L.F (2017)"La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura ,la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción.

3.Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) "Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica"

<http://hdl.handle.net/10045/58459>

PÁGINA 52

1.Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

2.Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona

<https://etsab.upc.edu/es>

3.Escuela de Arquitectura, La Salle Universitat Ramon Llull

<https://www.salleurl.edu/es/estudios/grado-en-estudios-de-la-arquitectura>

4.Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

PÁGINA 53

1.EDUGAME4CITY

<https://www.salleurl.edu/en/research/project/edugame4city>

Proyecto EduGame4City

<https://www.youtube.com/watch?v=1aKxyW0NlpY>

2.Redondo, E. [et al.](2020) "EDUGAME4CITY. A Gamification for Architecture Students. Viability Study Applied to Urban Design".

3.Sein-Echaluze Lacleta, M.L., Fidalgo Blanco, A. & García-Peñalvo, F.J. (2017). "La innovación docente como misión del profesorado.Actas del IV Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad."

PÁGINA 54

1.Drury University

<https://www.drury.edu/>

2.Twinmotion 2020 for Education | Unreal Educator Livestream

<https://www.youtube.com/watch?v=cECOy5tqRyw>

PÁGINA 55

1.Zaha Hadid Architects use VR visualization to gain and give new perspectives.

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-use-vr-visualization-to-gain-and-give-new-perspectives>

2.Zaha Hadid Architects turns to Twinmotion for early design studies.

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-turns-to-twinmotion-for-early-design-studies>

3.Zaha Hadid Architects use VR visualization to gain and give new perspectives.

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-use-vr-visualization-to-gain-and-give-new-perspectives>

PÁGINA 56

1.SHAU Architects

<https://worldarchitecture.org/architecture-offices/ppnfh/shau-office-profile-page.html>

2.SHAU explores design concepts for tropical buildings with Twinmotion

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/shau-explores-design-concepts-for-tropical-buildings-with-twinmotion>

PÁGINA 57

1.KPF (Kohn Pedersen Fox Associates)

<https://www.kpf.com/>

2.KPF builds and shares design experiences with Twinmotion

<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/kpf-builds-and-shares-design-experiences-with-twinmotion>

3.Virtual Spaces & the Future of Collaboration | The Pulse | Unreal Engine

https://www.youtube.com/watch?v=XZr_xRh-vmo

PÁGINA 58

1.Sein-Echaluze Laclea, M.L., Fidalgo Blanco, A. & García-Peñalvo, F.J. (2017). "La innovación docente como misión del profesorado. Actas del IV Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad."

2.Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

PÁGINA 59

1.Botero, T ; Botero ,L.F (2017)"La realidad virtual inmersiva como herramienta de aprendizaje en la arquitectura ,la ingeniería civil y la ingeniería de la construcción.

2.Valls, F. Redondo, E. Fonseca, D. García-Almirall, P. Subirós, J.(2016) "Videogame Technology in Architecture Education."

3.Piedecausa García, B ; Pérez Sánchez, J.C.; Mateo Vicente, J.M. (2015) "Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica"

<http://hdl.handle.net/10045/58459>

PÁGINA 60

1.Espinosa Sierra, A ; Durán ,W (2020) "La realidad virtual como herramienta proyectual y pedagógica en la arquitectura"

2.Espinosa Sierra, A ; Durán ,W (2020) "La realidad virtual como herramienta proyectual y pedagógica en la arquitectura"

3. Inside Le Corbusier's LOST House Design [Errazuriz House]

<https://www.youtube.com/watch?v=OMODJiBFWjs&t=4s>

PÁGINA 61

1.Altés , A (2010) "Partituras e imágenes. Acerca de la insuficiencia de la representación."

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

-Kajiya , J.T (1986) "The rendering equation". ACM Siggraph Computer Graphics.

-Whitted ,T (1979) "An improved illumination model for shaded display." ACM Siggraph Computer Graphics.

-Lévy, P(1995) "¿Qué es lo virtual?"

-Pharr,M.; Jakob,W.; Humphreys,G (2004) "Physically Based Rendering:From Theory To Implementation"

FIGURAS

PÁGINA 7

Fig . 1 , Computadora Whirlwind.

<https://history-computer.com/whirlwind-complete-history-of-the-whirlwind-computer/>

Fig . 2, "DAC - 1" (Design Augmented by Computers).

<http://gmforcad.blogspot.com/2013/03/geometric-modeling.html>

Fig 3, Computadora TX-2 con el dispositivo light pen.

<https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>

PÁGINA 8

Fig 1, A Computer Animated Hand.

<https://steemit.com/animation/@stino-san/-a-computer-animated-hand>

Fig 2, La reflexión de Phong y el método de Phong,

<http://graficarte1.blogspot.com/2013/11/unidad-4.html>

Fig 3, The Cornell Box

https://cs.brown.edu/stc/resea/rendering/research_R2.html

PÁGINA 9

Fig 3, Bump Mapping ,

https://www.researchgate.net/figure/Demostracion-de-la-tecnica-bump-mapping-desarrollada-por-James-Blinn-en-la-Universidad-de_fig11_328484629

Fig 2, Toy Story,

<https://computerhistory.org/profile/edwin-catmull/>

Fig 3, The Peak , Zaha Hadid,

<http://hiddenarchitecture.net/the-peak-leisure-club/>

PÁGINA 10

Fig 1, Metodología BIM,

<https://knowledge.autodesk.com/es/search-result/caas/simplecontent/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-bim.html>

Fig 2, Realidad Aumentada,

<https://archicgi.com/cgi-news/future-of-3d-visualization-for-architecture/>

Fig 3, Realidad Virtual,

<https://archicgi.com/cgi-news/future-of-3d-visualization-for-architecture/>

PÁGINA 12

Fig 1, Esquema básico del proceso,

<http://hdl.handle.net/2117/82368>

Fig 4, Esquema proceso de rasterizado

Fig 3, Esquema Z-Buffer,

<http://hdl.handle.net/2117/82368>

PÁGINA 13

Fig 1 , Esquema de funcionamiento de algoritmo de radiossidad, Autodesk.

Fig 2, Esquema de funcionamiento del algoritmo ray tracing, Autodesk.

PÁGINA 14

Fig 1, Esquema comparativo de técnica de rasterizado y ray tracing, Nvidia.

Fig 2, Esquema del funcionamiento de Ray casting, Nvidia

PÁGINA 15

Fig 1, Corona Render

<https://corona-renderer.com/gallery>

Fig 2, Vray

<https://www.chaosgroup.com/gallery/voxlvision-napoli-house>

Fig 3, Blender Cycles,

<https://www.cycles-renderer.org/>

PÁGINA 16

Fig 1, Lumion

<https://www.lumion.es/simplificar-renderizado-lumion/>

Fig 2, Twinmotion

<https://studioavk.com/twinmotion-community-challenge-4>

Fig 3, Unreal Engine,

<https://www.unrealengine.com>

PÁGINA 17

Fig 1 y 2, Blender Eevee, Elaboración a partir de modelo 3D de la galería de Blender.

Fig 3 y 4, Blender Cycles, Elaboración a partir de modelo 3D de la galería de Blender.

PÁGINA 19

Fig 1, Sincronización de Sketchup con Twinmotion mediante Direct Link, Elaboración propia.

PÁGINA 20

Fig 1, Ecosistema de la compañía Epic Games ,página de Epic Games

PÁGINA 21

Fig 1, Levantamiento de La Coruña realizado con Lumion, Elaboración propia.

Fig 2, Posición solar:Este , Elaboración propia.

Fig 3, Posición solar: Sur, Elaboración propia.

PÁGINA 22

Fig 1, Simulación de tráfico urbano en Twinmotion a partir de un modelo 3D Londres obtenido de Accucities, Elaboración propia.

PÁGINA 23

Fig 1 y 2, Generación del terreno e implantación del proyecto, Elaboración propia.

Fig 3,4,5 y 6, Vegetación y su respuesta a distintas condiciones climatológicas y épocas del año, Elaboración propia.

PÁGINA 24

Fig 1, Método Metallic/Roughness y Specular / Glossiness ,

<https://www.gdcvault.com/play/1022969/An-End-to-End-Approach>

PÁGINA 25

Fig 1, Base color, Elaboración propia.

Fig 2, Normal (Bump), Elaboración propia.

Fig 3, Roughness, Elaboración propia.

Fig 4, Height, Elaboración propia.

PÁGINA 26

Fig 1, *Mobiliario interior, Elaboración propia.*

Fig 2, *Interactuación entre personajes, Elaboración propia.*

PÁGINA 27

Fig 1,2,3 y 4, *Herramienta fases, Elaboración propia.*

PÁGINA 28

Fig 1, *Imagen 360 desplegada generada con Twinmotion, Elaboración propia.*

Fig 2, *Recreación de París en Assasins Creed , Ubisoft.*

PÁGINA 29

Fig 1 , *Casa Errazuriz , dibujo de Le Corbusier, FLC/ADAGP*

PÁGINA 30

Fig 1, *Mies con la maqueta del Crown Hall,*

<http://www.arquitecturaenacero.org/sites/arquitecturaenacero.org/files/historia/mies1-620x497.jpg>

PÁGINA 32

Sexton, Mark (2017), "Restoration of Crown Hall"

https://www.docomomo.com/wp-content/uploads/2019/04/DocomomoJournal56_2017_MSexton.pdf

PÁGINA 33

Fig 1 , *Direct Link con Sketchup , Elaboración propia.*

PÁGINA 34

Fig 1 y 2, *Interfaz de configuración de materiales, Elaboración propia.*

Fig 3 ,4 y 5, *Muestra de materiales PBR , Elaboración propia.*

PÁGINA 35

Fig 1 , *Invierno , Elaboración Propia.*

Fig 2, *Verano , Elaboración Propia.*

Fig 3 y 4, *Mobiliario de la biblioteca de objetos, Elaboración propia*

PÁGINA 36

Fig 1, *Zona expositiva , Elaboración propia.*

Fig 2, *Fragmento de video, Elaboración propia.*

Fig 3 , *Zona expositiva con planos arquitectónicos , Elaboración propia.*

PÁGINA 37

Fig 1, *Imagen exterior, Elaboración Propia.*

Fig 2 , *Interfaz Twinmotión Cloud*

Fig 3, *Compartir Presentación, Elaboración Propia*

Fig 4 , *Imagen interior ,Elaboración Propia.*

PÁGINA 38

Fig 1 , *Captura de pantalla de la interfaz de usuario ,controles , Elaboración propia.*

Fig 2, *Captura de pantalla de la interfaz de usuario, Ajustes , Elaboración propia.*

PÁGINA 39

Fig 1, *Tabla de comparativa de Rendimiento, Elaboración propia.*

PÁGINA 40

Fig 1,2,3,4 y 5 , Capturas realizadas en línea del recorrido virtual , Elaboración propia.

PÁGINA 48

Fig 1,2,3,4 y 5 , Capturas realizadas en línea del recorrido virtual , Elaboración propia.

PÁGINA 48

Fig 1, Visita Virtual Museo de las Peregrinaciones, Elaboración Propia.

Fig 2, Visita Virtual Museo de Bellas Artes de Coruña, Elaboración propia.

PÁGINA 49

Fig 1, Área expositiva del taller de diseño arquitectónico, MUVA ,
<https://fablabcolmayor.com/muva-2021/>

PÁGINA 50

Fig 1 , MUV ,
<https://muv.fmji.org/>.

Fig 2 ,MUV,
<https://muv.fmji.org/>

PÁGINA 52

Fig 1, Imagen obtenida del artículo de investigación.

PÁGINA 54

Fig 1 , Render de Olivia Smith , Drury University

Fig 2 , Render de Benjamin Reents , Drury University.

PÁGINA 55

Fig 1 , Zaha Hadid , primeros estudios de diseño ,
<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/zaha-hadid-architects-turns-to-twinmotion-for-early-design-studies>

PÁGINA 56

Fig 1, Propuesta library in Bandung, SHAU ,
<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/shau-explores-design-concepts-for-tropical-buildings-with-twinmotion>

Fig 2, Propuesta library in Bandung, SHAU ,
<https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/shau-explores-design-concepts-for-tropical-buildings-with-twinmotion>

PÁGINA 57

Fig 1 , Renderizado con Twinmotion, extraída de la página del estudio KPF

Fig 2 , Inmersión en el modelo 3D con Unreal Engine ,
https://www.youtube.com/watch?v=XZr_xRh-vmo

Fig 3 , Inmersión en el modelo 3D con Unreal Engine ,
https://www.youtube.com/watch?v=XZr_xRh-vmo

PÁGINA 61

Fig 1 , BIG , Render Vancouver House ,
<https://big.dk/#projects>

Fig 2 .P.Zumthor ,Croquis de las Termas de Vals
http://www.mindeguia.com/dibex/Zumthor_partituras.htm

