



Received: 03-12-2019
Accepted: 15-12-2019

Anales de Edificación
Vol. 5, N°3, 92-99 (2019)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2019.4375

Potencial de las tecnologías inmersivas en el análisis del ciclo de vida de las edificaciones Potential of immersive technologies in the analysis of the life cycling of buildings

Jaime Arriagada^{a, b} & Mercedes Valiente^a

^aUnivesidad Politécnica de Madrid (Spain, jaime.arriagada.araya@alumnos.upm.es; mercedes.valiente@upm.es), ^bCentral Universty of Chile (Chile)

Resumen— La presente propuesta establece el potencial de la incorporación de tecnologías inmersiva enfocada en 3 herramientas: Realidad Virtual, Mixta y Aumentada en el Análisis del Ciclo de Vida de las Edificaciones, dos tendencias que se han incorporado fuertemente en la Industria durante la última década. La inversión en esta tecnología tiene un costo inicial en equipamiento que oscila entre los 199 y 4995 USD y tienen distintos enfoques y grados de inmersión; por otra parte, los proyectos de edificación se clasifican en distintas fases, buscando establecerla demanda de energía y la emisión de gases con efecto invernadero en cada una de ellas. El reconocimiento de las herramientas tecnológicas inmersivas posibles de utilizar, en fases relevantes del ciclo de vida, permite establecer estrategias de implementación adecuadas a los requerimientos actuales de un proyecto. Se puede observar que, toma relevancia en la etapa de diseño, la tecnología de Realidad Virtual y visualización (Matterport, NavVis, Oculus y HTC); en las etapas intermedias - desde la fabricación a la construcción – el potencial viene dado por las herramientas asociadas a la Realidad Aumentada (Hololens y Daqri) y finalmente, varias de las herramientas estudiadas cuentan con potencial para ser incorporadas en las últimas fases llamadas de funcionamiento y demolición o reciclaje.

Palabras Clave— Realidad virtual; Realidad mixta; Realidad aumentada, Análisis del ciclo de vida, Sustentabilidad de la edificación.

Abstract— This proposal establishes the potential of the incorporation of immersive technologies focused on 3 tools: Virtual, Mixed and Augmented Reality in the Analysis of the Building Life Cycle, two trends that have been strongly incorporated in the Industry during the last decade. The investment in this technology has an initial cost in equipment that oscillates between 199 and 4995 USD and they have different approaches and degrees of immersion; On the other hand, building projects are classified into different phases, seeking to establish energy demand and the emission of greenhouse gases in each of them. The recognition of the immersive technological tools possible to use, in relevant phases of the life cycle, allows to establish implementation strategies appropriate to the current requirements of a project. It can be seen that, it takes relevance in the design stage, Virtual Reality technology and visualization (Matterport, NavVis, Oculus and HTC); In the intermediate stages - from manufacturing to construction - the potential is given by the tools associated with Augmented Reality (Hololens and Daqri) and finally, several of the tools studied have the potential to be incorporated into the last phases of operation. and demolition or recycling.

Index Terms— Virtual reality; Mixed reality; Augmented reality; Life Cicle analysis; Building sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

La labor actual del Ingeniero – en sus diferentes especialidades – está constantemente enfrentada a

elementos de difícil comprensión geométrica (Hilfert & König, 2016) que posteriormente debe ejecutar o gestionar: Las instalaciones asociadas a la climatización de un edificio (Fig.

1), la estructura de un proyecto mineros o el trazado de las redes de un data center son ejemplos donde el profesional debe demostrar una capacidad de lectura de antecedentes – generalmente mediante planos impresos – de la forma más rápida y certera posible; las competencias asociadas a dicha interpretación de antecedentes son también relevantes en fases previas y posteriores a la ejecución, como el diseño, abastecimiento, operación y demolición, por tanto la incorporación de esta tecnología puede incidir sobre todos los actores de la llamada Industria de la Construcción al influenciar sobre la habilidad de visualización espacial (Katsioloudis et al., 2017). El crear propuestas tridimensionales que se pueden visualizar con lentes que otorgan plena sensación de inmersión, así como la grabación de videos en 360°, donde el usuario puede elegir la perspectiva de lo que quiere observar, son solo el inicio de una revolución que afectará la metodología de trabajo asociada al cómo se enfrentan los proyectos.

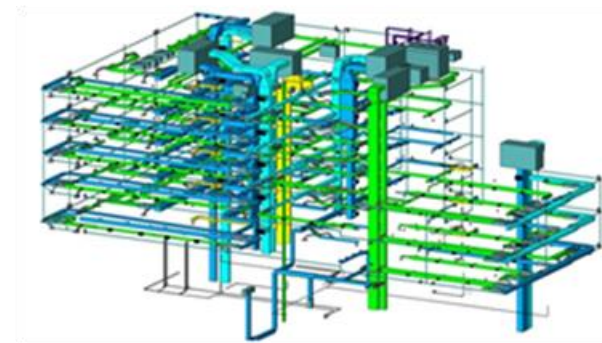


Fig. 1. Ejemplo de la visualización de las instalaciones de un edificio.

La incorporación de tecnología en la Industria de la Construcción se ha potenciado debido a la incorporación de la metodología BIM (Building Information Modelling), tecnología que ha tenido una fuerte incidencia en las fases de pre-construcción, construcción y operación / mantención (Wang & Chong, 2015) y que se relaciona fuertemente con la Realidad Virtual debido a que el modelado tridimensional de aquella metodología conforma la base que luego será el escenario de Realidad Virtual a interactuar (Pratama & Dossick, 2019).

El costo asociado a la incorporación de Realidad Virtual, Mixta y Aumentada es un ítem a evaluar en la Industria, debido a que además se debe considerar el equipamiento computacional y la programación de la actividad, por lo que tener el modelo tridimensional no es suficiente para abordar una experiencia de este tipo. Frente a eso, se deben verificar las etapas de un proyecto en donde dicha incorporación es óptima y con potencial de incidir positivamente.

El concepto llamado “Análisis del Ciclo de Vida” (ACV o LCA) define fases diferenciadas de un proyecto, permitiendo evaluar el impacto medio ambiental a partir del consumo energético y del aporte de gases con efecto invernadero al ambiente. El rápido crecimiento de la Industria de la

Construcción, y el impacto que ella tiene en el consumo de energía y el aporte de CO₂ al ambiente, en especial aquellos asociados al ámbito residencial (Nejat et al., 2015) ha generado un constante interés de establecer metodologías que permitan evaluar estrategias que mejoren el impacto de las edificaciones en dichas variables. Estas estrategias han cambiado en el tiempo (McManus & Taylor 2015) y en los distintos países del mundo; así como la Industria de la construcción responde a diferentes características estableciendo una multiplicidad de escenarios, desde los procesos hasta los materiales y diseños de cada uno (Abd Rashid & Yusoff, 2015), esta clasificación de las distintas etapas de un proyecto permite definir criterios aplicables a cualquier uso, definiendo una metodología de evaluación que responderá a las características, y se definirá a partir del diseño (Cuna) hasta el reciclaje o reutilización (Tumba) (Rebitzer et al., 2004).

El valor de la realidad virtual inmersiva tiene relación con situar al participante en escenarios complejos, estableciendo relaciones que no se ven fácilmente con otros métodos; a su vez estos entornos tridimensionales, previamente modelados, aumentan el compromiso y la motivación, generando un impacto que estimula la actividad cerebral y de recuperación cognitiva debido a que el cerebro codifica las experiencias como si ocurrieran físicamente (Faria et al., 2016); esta tecnología se ha utilizado a nivel mundial en diversos campos cuando el tiempo, la accesibilidad, la seguridad y otros aspectos se tornan complejos; es importante denotar que el nivel de interactividad, de inmersión, el dominio de la interfaz y las herramientas de interacción en el entorno son aspectos a tener en consideración, esto con el fin de disminuir potenciales efectos negativos asociados a desajustes sensoriales que causan sensación de malestar (Lucas, 2018).

Los principales beneficios de la realidad virtual en la Industria son (Abulrub et al., 2011):

- Disminución del costo de activos a largo plazo.
- Reducción del riesgo en el uso de materiales peligrosos.
- Mejora de la oportunidad de explorar lugares inaccesibles o restringidos.
- Hacer que la experiencia de aprendizaje, en caso de utilizar dicha tecnología en capacitación, sea atractiva para los estudiantes.

Estos beneficios tienen, sin embargo, un desafío clave asociado al costo de la implementación, los que, si bien se han vuelto accesibles a lo largo del tiempo, promedian los USD 3165 para los sistemas de realidad aumentada y USD 518,8 en Realidad Virtual.

II. OBJETIVOS

Invertir en esta tecnología, en función de mejorar los distintos procesos e incidir en el ciclo de vida, es una decisión que se debe abordar acorde a las características que cada fase ofrece, por tanto se evidencia la necesidad de estudiar, de

manera exploratoria, el potencial de estas tecnologías en el Análisis del Ciclo de Vida de las Edificaciones en función de establecer aquella relación entre inversión y beneficio; el objetivo general del presente estudio corresponde a determinar el potencial de la Realidad Virtual, Mixta y Aumentada con el Ciclo de Vida de un Proyecto de Edificación.

III. METODOLOGÍA

Este proyecto se sustenta en el paradigma positivista ya que intenta dar respuesta a la pregunta de investigación a través de un diseño cuantitativo que permita examinar los datos de manera científica y que posteriormente sea un sustento teórico que facilite la generalización de sus resultados, además corresponde a un estudio de tipo exploratorio, puesto que aborda aspectos que no han sido relacionados previamente como lo es la incidencia de la tecnología inmersiva en el análisis del ciclo de vida de los proyectos. Se clasifica dentro de la categoría de revisión bibliográfica ya que recopila información existente de diversas fuentes en función de establecer la correlación entre los aspectos estudiados.

IV. ANÁLISIS

A. Realidad aumentada, mixta y virtual

Durante la última década, se han comenzado a potenciar una serie de herramientas computacionales enfocadas a que un usuario visualice e interactúe, con elementos bidimensionales o tridimensionales previamente definidos, y a través de una interface que otorga distintos niveles de inmersión con los llamados entornos virtuales, los que son usados para permitir al usuario interactuar con lugares, personajes y objetos Busch et al., 2014). Esta interacción se asocia a 3 opciones con objetivos diferenciados: Realidad Aumentada, Mixta y Virtual; estas herramientas se asocian a proveedores de tecnología que

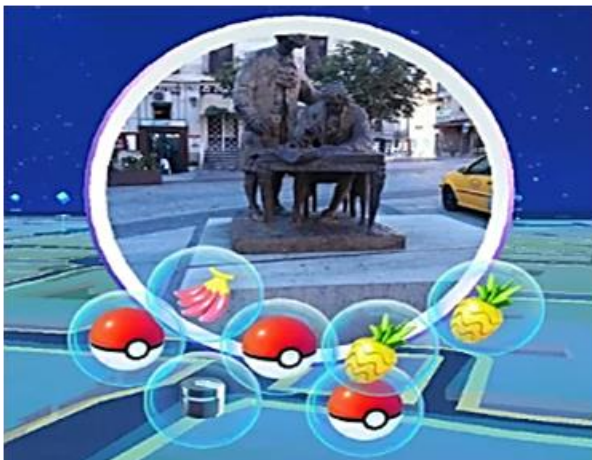


Fig. 2. PokémonGo.

generan nuevos productos, así como programas computacionales de apoyo a ellos.

La definición de estas herramientas, el proveedor y su enfoque se presentan a continuación:

- Realidad aumentada: Esta tecnología se fundamenta en tomar ventaja del escenario real en donde se emplaza el usuario, utilizando conectividad propia de los teléfonos o tablets, aumentando la conexión de los sentidos especialmente la ubicación y el movimiento Velosa et al., 2018). Un ejemplo importante de aplicación es el juego “PokémonGo” de la empresa “NianticLabs” (Fig. 2).
- Realidad mixta: Son dispositivos que se usan como lentes



Fig. 3. HoloLens.

normales y que son capaces de superponer información virtual sobre elementos comunes de nuestra realidad. Utilizando sensores, conectividad y poder de procesamiento, el equipo puede analizar y entender el escenario físico del usuario (Potentials, 2016). Los principales productos asociados a esta tecnología son Google (Glass), Microsoft (HoloLens – Fig. 3, Fuente: Microsoft) y Daqri (Worksense y Smart Glasses).

- Realidad virtual: Escenarios pre modelados con altos niveles de percepción de realidad e interacción, debido a un conjunto de estímulos visuales y auditivos que proporcionan un entorno muy absorbente (Freina & Ott, 2015), donde el usuario utiliza diversos elementos – especialmente en las extremidades – para acceder a dicho escenario. Los principales proveedores y sus herramientas son Oculus VR (Quest, Rift y Go) y Vive (Pro y Vive).

El costo (enero del año 2019) de adquirir este equipamiento viene dado por la necesidad o no de equipo de apoyo – computacional (PC), teléfono (Ph), Tablet (Ta) -, que debe cumplir requerimientos técnicos establecidos, además del lente o HDM (Head Mounted Display); en general los casos presentados están asociados a una plataforma digital (Store) desde donde se descargan las aplicaciones, las que algunas son pagadas.

Los costos del equipamiento para realidad mixta y virtual se indican en la Tabla.

TABLA I
SISTEMAS PRINCIPALES Y COSTOS DE REALIDAD VIRTUAL MIXTA

Proveedor	Sistema	Costo (USD)	Incluye control	Requiere equipamiento adicional
Google	Glass	1500	No	No
Microsoft	Hololens	3000	No	No
Daqri	Smart Glasses	4995	No	No
Oculus	Rifttouch	399	Si	Si
Oculus	Go	199	Si	Si
Oculus	Quest	399	Si	No
HTC	Pro	1098	Si	Si
HTC	Vive	499	Si	Si

B. Análisis del ciclo de vida

A nivel mundial, la construcción de edificios representa un consumo de hasta el 40% de la energía, y son responsables de la mitad de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Abd Rashid & Yusoff, 2015); el Análisis del Ciclo de Vida es un método para ayudar a cuantificar y evaluar los aspectos ambientales potenciales de bienes y servicios, pudiendo ser aplicada a cualquier decisión en la que resulte interesante el impacto ambiental de todo o parte del ciclo de vida, de cualquier tipo de producto (Rebitzer et al., 2004). La incorporación ACV en la Industria de la Construcción ha sido relevante, dado que permite cuantificar estos aspectos de consumos y emisiones en cada etapa del proyecto reconociendo, además, las características de cada uno de los edificios en sus etapas desde la cuna hasta la tumba (Diseño a demolición) según se presenta en la Fig. 5 (Fuente: Abd Rashid & Yusoff, 2015).

La estructura base del ACV – Fig. 4 (Fuente: Abd Rashid & Yusoff, 2015) se divide en 4 fases: La definición del objetivo y el alcance, el análisis de inventario, la evaluación del impacto y la interpretación. Al realizar un estudio comparativo, se evaluará la equivalencia en los sistemas que se comparan antes de interpretar los resultados según la ISO 14044:2006(E) Jia Wen et al., 2015).

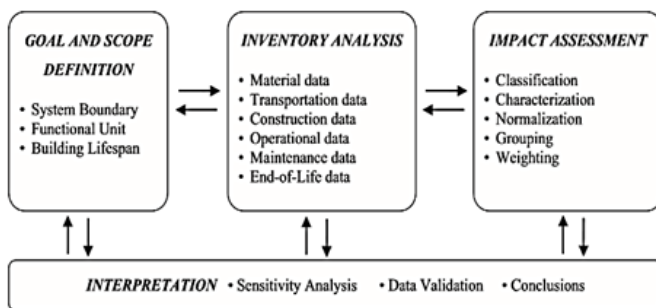


Fig. 4. Estructura base utilizada en el ACV de la Industria de la Construcción.

Esta metodología es aceptada Internacionalmente y utilizada principalmente en países desarrollados (Cabeza et al., 2014), ayudando al equipo de Diseñadores, Ingenieros e Inversionistas a establecer estrategias de disminución del impacto ambiental de los proyectos. Como el ACV se aplica a cualquier Industria, Rashid y Yusoff proponen una metodología enfocada a la Industria de la Construcción que establece las siguientes fases principales:

- Definición de objetivos y metas que determinarán el propósito del estudio, limitando el sistema y la variable de comparación a considerar.
- Inventario del ciclo de vida, donde se recopilarán los datos de entrada y salida relevantes del ciclo de vida.
- Evaluación del impacto del ciclo de vida que, a partir de la información anterior, donde se evaluarán los posibles impactos ambientales y estimarán los recursos utilizados en el estudio.
- Finalmente, la fase de interpretación identificará problemas importantes, evaluará los resultados para llegar a conclusiones, explicando las limitaciones y proporcionando recomendaciones.

Es importante señalar que, donde se produce un enfoque importante hacia la Industria de la construcción, es en el llamado “Límite del sistema” (System boundary) en donde se establecen las características del proyecto, la vida útil proyectada, las fases a considerar en el proyecto: Cuna a puerta (Análisis de productos de construcción), puerta a puerta (Análisis de procesos de construcción) o desde la cuna hasta la tumba y, finalmente la unidad funcional que corresponde a la variable de comparación, donde el aporte de CO₂ por metro cuadrado (GHG) y el consumo de energía por metro cuadrado (CED) (Cabeza et al., 2014).

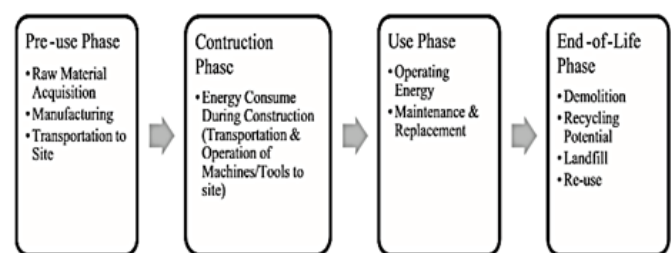


Fig. 5. Estructura utilizada en el CV de la Industria de la Construcción.

Se consideran además para este estudio la fase de análisis del inventario - con información sobre los materiales - el transporte, la construcción, los datos operacionales, el mantenimiento, el reciclaje y la demolición y transporte de los residuos. Finalmente, la evaluación del impacto debe ser capaz de abordar la complejidad del proyecto y de enfocarse en la cadena causa-efecto bajo los llamados puntos medios y finales (Midpoints – Endpoints). Si bien existe una amplia variedad de

metodologías de análisis de esta fase, en la Industria generalmente se traducen las emisiones y extracciones de recursos en un número limitado de puntajes de impacto ambiental mediante factores de caracterización.

Los estudios han demostrado que el consumo energético y el aporte de CO₂ cambia de acuerdo a la localización del proyecto Buyle et al., 2013). A continuación, en las tablas 2 y 3 (Fuente: Islam et al., 2015), se presenta la incidencia de la emisión y demanda para las fases del ACV simplificado en Australia y Europa (Islam et al., 2015) en función de establecer las fases prioritarias de esta metodología en relación con la Industria y la incorporación de tecnología:

TABLA II
INCIDENCIA DE LA EMISIÓN Y DEMANDA PARA LAS DIVERSAS FASES DE ACV SIMPLIFICADO EN AUSTRALIA

Variable	Emisión de gases con efecto invernadero (GHG)			Demanda energía acumulada (CED)		
	MIN (%)	MAX (%)	PROM (%)	MIN (%)	MAX (%)	PROM (%)
Fase						
Construcción	27	32	29	31	44	38
Operación	68	76	72	67	80	74
Mantenimiento	4	6	5	5	6	6
Eliminación de desechos	-1	-2	-1	-1	-3	-2
Total	98	112	105	102	127	115

TABLA III
INCIDENCIA DE LA EMISIÓN Y DEMANDA PARA LAS DIVERSAS FASES DE ACV SIMPLIFICADO EN EUROPA

Variable	Emisión de gases con efecto invernadero (GHG)			Demanda energía acumulada (CED)		
	MIN (%)	MAX (%)	PROM (%)	MIN (%)	MAX (%)	PROM (%)
Fase						
Construcción	10	19	15	14	20	17
Operación	25	84	54	68	77	73
Mantenimiento	7	11	9	6	13	10
Eliminación de desechos	2	3	2	1	2	2
Total	44	118	81	89	112	101

Se puede observar que la emisión de gases con efecto invernadero, así como la demanda de energía acumulada se concentran en las etapas de construcción y operación para ambos casos, sin embargo, es importante señalar que es un escenario presentado en el año 2015, por lo que las nuevas tendencias en la edificación pueden modificar dicha tendencia; ejemplo de aquello es la incorporación de la prefabricación, la modelación integrada de edificaciones, la arquitectura paramétrica, la robotización, la robótica entre otras tecnologías.

V. RESULTADOS

La incorporación de tecnología siempre ha sido beneficiosa en la Industria, teniendo un importante impacto en aspectos asociados a la gestión, el diseño, la evaluación y el seguimiento de los proyectos que se realiza en base a contenido digital de

plataformas de ofimática y de dibujo asistido por computadora; los países desarrollados incluyen plataformas de modelado de información para la edificación (BIM – Building Information Modeling) que integran toda la información requerida para las distintas etapas del proyecto en un archivo que se encuentra disponible en línea y que puede ser consultado y actualizado desde los distintos profesionales del proyecto (Pyung et al., 2016), recientes estudios norteamericanos demuestran que esta plataforma mejora las métricas de construcción, específicamente en calidad, cumplimiento del plazo, productividad, costo por unidad y costo global del proyecto (Soust-Verdaguer et al., 2017). Tal como es sabido, la información generada por las plataformas tradicionales permite la visualización de la información de forma análoga (impresión) o digital (pantalla de computador – PC – y teléfono o Tablet (Ph-Ta), sin embargo, la tendencia actual de las herramientas tecnológicas asociadas a la visualización se está orientando hacia ambiente inmersivos (Realidad virtual y/o aumentada) debido a su mejor evaluación en términos de presencia, disfrute y credibilidad (Hendriks et al., 2016), además del ahorro de fabricación de prototipos en escala real (Santamarta Martínez & Mas Domínguez, 2018). Estas características se pueden asociar a 6 plataformas y proveedores existentes en la actualidad, enfocando cada una de ellas a la realidad virtual, mixta y aumentada, además de establecer si requiere equipamiento tecnológico adicional:

- Matterport: Empresa Norteamericana dedicada a la venta de cámaras para captura tridimensional, generación de experiencias de realidad virtual y gestión y desarrollo de contenido asociado a estas tecnologías. Su orientación principal está dada a visualización de contenido (<https://matterport.com/>).
- NAVVis: Empresa Europea dedicada a la venta de cámaras para captura tridimensional, generación de experiencias de realidad virtual, gestión y desarrollo de contenido asociado a estas tecnologías y seguimiento de obras. Su orientación principal está definida en el seguimiento e inspección remota de proyectos de diversa índole (<https://www.navvis.com/>).
- Oculus: Compañía Norteamericana que desarrolla equipamiento y aplicaciones de realidad virtual, dependiendo del sistema ofrecido y el nivel de inmersión propuesto, tiene sistemas que requieren de un computador con altos requerimientos técnicos (Rift) hasta sistemas de menor inmersión (Go) que funcionan relacionados al poder de cómputo del teléfono (<https://www.oculus.com/>).
- Hololens: Son lentes de realidad mixta desarrollados por Microsoft con sensores, procesador, memoria, conectividad y almacenamiento incorporados. Su orientación principal está definida hacia cualquier

requerimiento donde se necesite visualizar e interactuar con información o personas en tiempo real mezclando realidad con datos digitales (<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>).

- Daqri: Compañía Norteamericana que desarrolla equipamiento y aplicaciones de realidad mixta con sensores, procesador, memoria, conectividad y almacenamiento incorporados. La orientación principal de los productos desarrollados por la empresa tiene relación con combinar información digital con elementos reales para mejorar procesos en base a una plataforma de desarrollo de contenido enfocado en 5 acciones: Mostrar, Etiquetar, Escanear, Modelar y Guiar (<https://www.daqri.com/>).
- Teléfono / Tablet: Estos sistemas, de acuerdo al modelo y tecnología que tengan, se relacionan a la realidad aumentada en función de diversas aplicaciones acordes con la tecnología del Teléfono / Tablet (principalmente mediante 3 métodos: Marcador, rastreo y ubicación); se pueden mencionar algunas aplicaciones tales como Google ARCore, Paint Space, Augmented entre otras.

Algunas opciones a utilizar en realidad aumentada para distintas labores de la Industria de la Construcción, se presentan a continuación en la Tabla 4 (Fuente: Delos autores). Por razones de espacio los nombres de las aplicaciones se han decodificado por número: Vuforia (1), Wikitude (2), EasyAR (3), Kudan (4), ARToolKit (5), Maxst (6), Apple ARKit (7) y XZIMG (8). Según se puede observar, las aplicaciones tienen distintos niveles de utilización de sensores, vinculación con plataformas de desarrollo (Unity) e integración con lentes inteligentes como Google Glass.

TABLA IV
CARACTERIZACIÓN DE LAS 8 PRINCIPALES APLICACIONES ASOCIADAS A LA REALIDAD AUMENTADA PARA LA INDUSTRIA

Ítem AR	1	2	3	4	5	6	7	8
Soportes de lentes inteligentes	✓	✓			✓	✓	✓	
Soporte de Unity	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Archivos en línea	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Reconocimiento 3D	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Geolocalización	✓	✓			✓		✓	
Localización y mapeo simultaneo		✓	✓	✓		✓	✓	

La aplicación de cada una de las tecnologías indicadas y su requerimiento de computador, Tablet o equipo computacional se presentan en la tabla 5 (Fuente: De los autores); esto es relevante debido a que a lo menos 2 fases del ACV (Construcción y operación) requieren trabajo en terreno y por tanto una cierta independencia en el desplazamiento del equipo.

TABLA V
HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON LA REALIDAD VIRTUAL (VR), MIXTA (MR), AUMENTADA (MR), Y SU REQUERIMIENTO DE TELÉFONO-TABLET (PH-TA) O COMPUTADOR (PC)

Sistema/empresa	VR	MR	AR	Ph - Ta	PC
Matterport	✓	-	-	✓	✓
NAVVis	✓	-	-	✓	✓
Oculus - HTC	✓	-	-	-	✓
Hololens	-	✓	-	-	-
Dacri	-	✓	-	-	-
Tablet / Teléfono	-	-	✓	✓	✓

La tecnología presentada previamente tiene beneficios en distintas fases del proyecto y en función del enfoque que sus desarrolladores han querido darle; es importante establecer que, como existe un proveedor detrás de las herramientas abordadas, estas pueden ir cambiando y agregando opciones diferentes, por tanto, este análisis se realiza en torno a lo que las compañías y fabricantes presentan en este momento.

- Matterport: Su enfoque principal está dado en el registro digital de recintos, se genera documentación que se puede utilizar – mediante nube de puntos – en plataformas BIM. Por otra parte, aquello será información base para los escenarios pre modelados que la realidad virtual requiere, es importante denotar que la tecnología de nube de puntos ofrece resultados dispares en torno a la precisión (Wang et al., 2015) del recinto escaneado, pero que son tolerables para experiencias de Realidad Virtual – no así mixta - ; finalmente, ofrece a través de su plataforma, la posibilidad de visualización directa mediante los equipos “Cardboard” de Google y “Gear VR” de Samsug, ambos un nivel de inmersión limitado.
- NAVVis: Esta compañía ofrece un servicio de generación de documentación mediante nube de puntos, también con énfasis en el seguimiento del registro documental incluyendo herramientas de medición y filtrado de capas, lo que facilita la visualización e interacción remota de las distintas etapas de desarrollo de un proyecto; si bien el registro asociado a la nube de puntos es posible de convertir a un modelo reconocible en plataformas de modelado de información para la edificación BIM, la plataforma no ofrece una conversión directa del registro temporal a equipos de realidad virtual en cualquiera de sus niveles. Se debe evaluar la compatibilidad de visualizar directamente mediante un navegador web, en sistemas como OculusRift o HTC Vive.
- Oculus / HTC: El enfoque de las diversas herramientas que ofrece estos proveedores corresponde a Realidad Virtual en sus más altos niveles de inmersión (Kress & Cummings, 2017) con y sin la necesidad de equipo de apoyo. Para asociar Oculus a un archivo bajo plataforma BIM, se debe exportar mediante alguna aplicación

existente para eso (SentioVR, IrisVR, WorldViz, Revisto, Enscape). La empresa Autodesk – proveedora del programa Revit – genera esta conversión directamente desde el programa 3DSMax Interactive; otra forma de vincular modelos tridimensionales de proyectos de edificación tiene relación con la exportación de ellos y la programación de las acciones en plataformas gratuitas como Unity.

- Hololens y Daqri: El potencial de estos sistemas está en la relación documentación digital y realidad, conformando la experiencia más avanzada en lo referente a Realidad Mixta (Kress & Cummings, 2017). Esto se puede abordar en la Industria y sus fases en varios aspectos, desde la pre visualización a escala real - sin tener aún construido el proyecto-, dar instrucciones a operarios que realizan actividades recurrentes, escaneo de elementos, supervisión y asesoría en tiempo real, comparación de elementos virtuales con reales. La utilización de esta tecnología requiere – en algunos casos – la programación previa de las actividades, sin embargo, existe compatibilidad mediante aplicaciones posibles de instalar en Hololens: TrimbleConnect, BIM Holoview o Visuallive; en Daqri se utiliza la plataforma Worksense con la aplicación BIM360; para ambos casos se pueden visualizar los modelados tridimensionales además de las propiedades del elemento modelado, controlando la visualización de cada elemento.
- Teléfono / Tablet: Son herramientas fácilmente utilizables bajo el concepto de Realidad Aumentada; esta tecnología se puede utilizar de forma transversal en cualquier fase del ACV dependiendo de la aplicación a utilizar, por lo que se requiere una programación que establezca el enfoque asociado a las necesidades del proyecto.

En base al análisis anterior, en la tabla 6, se pueden vincular los proveedores y herramientas tecnológicas, de acuerdo a las fases establecidas previamente.

TABLA VI
 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Fase del ACV	Herramienta tecnológica potencial
Diseño	Matterport, NavVis, Oculus y HTC
Fabricación/ extracción de materiales	Hololens y Daqri
Distribución y transporte	Hololens y Daqri
Construcción	Hololens y Daqri
Funcionamiento	NavVis, Hololens y Daqri
Demolición / reciclaje	NavVis, Hololens y Daqri
Transversal a las distintas fases del proyecto	Teléfono y Tablet

VI. CONCLUSIONES

La realidad virtual, aumentada y mixta son tecnologías con potencial en la Industria de la Construcción y posibles de ser

utilizadas en conjunto con metodologías de modelación de edificios, como los utilizados en la plataforma BIM. Este desarrollo tridimensional se puede realizar a partir del modelado bajo las herramientas propias del programa computacional o mediante tecnologías que permiten escanear los volúmenes, siendo digitalizados y por tanto reconocidos en sus características geométricas e incluso materiales; con respecto al primero, se espera un alto nivel de precisión geométrica – no así en cuanto a materiales - en torno a su conversión hacia tecnologías inmersivas. En cuanto a las tecnologías asociadas a nube de puntos, es importante confirmar la precisión del modelo geométrico en función de reducir las diferencias entre el modelo real y el obtenido.

Como la incorporación de tecnología implica a lo menos la compra de bienes, el desarrollo de la experiencia y la capacitación a los usuarios, se debe evaluar la incidencia de la incorporación con respecto a los beneficios que traerá para el usuario; de esta forma se observan usos que inciden en diversas etapas del ciclo de vida de un proyecto: La realidad virtual tiene una alta incidencia en la etapa de diseño y la realidad mixta en la ejecución, sin embargo – al igual que en el caso de la realidad aumentada – se pueden encontrar implementaciones de manera transversal; los beneficios de las tecnologías inmersivas son conocidos y fácilmente asociables a la Industria de la Construcción, un aspecto fundamental tiene que ver con la disminución de costos de activos a largo plazo, evaluación que es relevante abordar en estudios a futuro.

Los medios tecnológicos abordados permiten visualizar, interactuar, seguir y validar un proyecto que se ubica geográficamente en cualquier parte del mundo, así como optimizar procesos antes, durante y después de su ejecución; por otra parte, las fases prioritarias del ACV en cuanto a la Emisión de gases con efecto invernadero y la Demanda de energía acumulada están claramente establecidas, por tanto reconocer esta relación herramientas versus ciclo de vida para una Industria futura, permitirá establecer estrategias normativas en actores públicos y de inversión en actores privados.

REFERENCES

Abd Rashid A.F., Yusoff S. (2015). A review of life cycle assessment method for building industry. *Renew Sustain Energy Rev*, 45, 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.043>

Abulrub A-H.G., Attridge A.N., Williams M.A. (2011). Virtual reality in engineering education: The future of creative learning BT - 2011 IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON 2011, April 4, 2011 - April 6, 751–757. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773223>

Busch M., Lorenz M., Tscheligi M. (2014). Being there for real. *Proc 8th Nord Conf Human-Computer Interact Fun, Fast, Found - Nord '14*, 117–126. <https://doi.org/10.1145/2639189.2639224>

Buyle M., Braet J., Audenaert A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renew Sustain Energy Rev*, 26, 379–388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>

- Cabeza L.F., Rincón L., Vilariño V. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renew Sustain Energy Rev*, 29, 394–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
- Faria A.L., Andrade A., Soares L., Badia S.B. (2016). Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients. *J Neuroeng Rehabil*, 13, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0204-z>
- Freina L., Ott M. (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State of the Art and Perspectives. *Rethink Educ by Leveraging Elearning Pillar Digit Agenda Eur Vol I* 1, 133–141. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-15-020>
- Hendriks Vettehen P., Wiltink D., Huiskamp M. (2019). Taking the full view: How viewers respond to 360-degree video news. *Comput Human Behav*, 91, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.018>
- Hilfert T., König M. (2016). Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. *Vis Eng*, 4. <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0031-5>
- Islam H., Jollands M., Setunge S. (2015). Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings - A review. *Renew Sustain Energy Rev*, 42, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.006>
- Jia Wen T., Chin Siong H., Noor Z.Z. (2015). Assessment of embodied energy and global warming potential of building construction using life cycle analysis approach: Case studies of residential buildings in Iskandar Malaysia. *Energy Build*, 93, 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.002>
- Katsioloudis P., Jones M., Jovanovic V. (2017). Use of virtual reality head-mounted displays for engineering technology students and implications on spatial visualization. *Eng Des Graph J*, 81, 11–24. <https://doi.org/10.1089/cmb.2009.0231>
- Kress B.C., Cummings W.J. (2017). 11-1: Invited Paper: Towards the Ultimate Mixed Reality Experience: HoloLens Display Architecture Choices. *SID Symp Dig Tech Pap*, 48, 127–131. <https://doi.org/10.1002/sdtp.11586>
- Lucas J. (2018). Immersive VR in the construction classroom to increase student understanding of sequence, assembly, and space of wood frame construction. *J Inf Technol Constr*, 23, 179–194.
- McManus M.C., Taylor C.M. (2015). The changing nature of life cycle assessment. *Biomass and Bioenergy*, 82, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.024>
- Nejat P., Jomehzadeh F., Taheri M.M. (2015). A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renew Sustain Energy Rev*, 43, 843–862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>
- Potentials V. (2016). *Enterprise Social Networks*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-12652-0>
- Pratama L.A., Dossick C.S. (2019). *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*. Springer International Publishing.
- Pyung K., Ma T., Amanjot S. (2016). Investigation of Readiness for 4D and 5D BIM Adoption in the Australian Construction Industry. *Manag Rev An Int J*, 11, 43–64
- Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht R. (2004). Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ Int*, 30, 701–720. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>
- Santamarta Martínez J., Mas Domínguez J. (2018). BIM, realidad aumentada y técnicas holográficas aplicadas a la construcción = BIM, increased reality and holographic techniques applied to construction. *An Edif*, 4, 27. <https://doi.org/10.20868/ade.2018.3731>
- Settgast V., Pirker J., Guetl C. (2016). *Entertainment Computing - ICEC 2016*. 9926. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46100-7>
- Soust-Verdaguer B., Llatas C., García-Martínez A. (2017). Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy Build*, 136, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>
- Velosa J.D., Cobo L., Castillo F. (2018). Online Engineering & Internet of Things, 22. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6>
- Wang C., Cho Y.K., Kim C. (2015). Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. *Autom Constr*, 56, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.001>
- Wang X., Chong H-Y. (2015). Setting new trends of integrated Building Information Modelling (BIM) for construction industry. *Constr Innov*, 15, 2–6. <https://doi.org/10.1108/CI-10-2014-0049>



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.