

Potencial de la Realidad Virtual en los análisis de los ciclos de vida de las edificaciones

Universidad Cooperativa de Colombia
Facultad de ingeniería Civil
Sede Ibagué- Espinal

Jaime Arriagada Araya

Escuela de Obras Civiles y Construcción, Facultad de Ingeniería,
Universidad Central de Chile
Santa Isabel 1186, Santiago, Chile.
jarriagadaa@ucentral.cl.

Resumen- Este documento presenta el potencial de la realidad virtual en el análisis de los ciclos de vida de las edificaciones. Esta tecnología, que en realidad consta de 3 áreas como lo son la realidad aumentada, mixta y virtual; son una herramienta de reciente incorporación en la Industria de la construcción, y de un alto costo inicial; por otra parte, la sustentabilidad ha pasado a ser un elemento determinante en cualquier proyecto de edificación, abordándose de distintas formas para cada etapa del proyecto. Una tendencia actual tiene que ver con el ciclo de vida proveniente de la economía circular que, para la Industria, relaciona las distintas fases con consumo energético y aporte de gases de efecto invernadero. El conocimiento de las herramientas posibles de implementar en una Industria futura, en fases relevantes de la vida de un proyecto, permite establecer estrategias a nivel macro y micro en los distintos actores de los proyectos, tanto privados como públicos.

Palabras Clave- Realidad virtual, mixta y aumentada, análisis del ciclo de vida, sustentabilidad en la edificación.

I. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al artículo de la presentación llamada “Potencial de la realidad virtual en los análisis de los ciclos de vida de las edificaciones” realizado en la III Bienal Internacional de Ingenierías “Estructuras Sustentables, Seguridad Informática y Ética en la Ingeniería” organizada por la Universidad Cooperativa de Colombia. El tema abordado tiene relación con un aspecto clave en la Industria de la construcción: La incorporación de herramientas tecnológicas que permitan mejorar distintos procesos del ciclo de vida de los proyectos y por tanto mejorando su sustentabilidad.

La labor actual del Ingeniero – en sus diferentes especialidades – está constantemente enfrentada a elementos de difícil comprensión geométrica que posteriormente debe ejecutar o gestionar: Las instalaciones asociadas a procesos mineros, la estructura de un edificio o el trazado de las redes de un data center son ejemplos donde el profesional debe demostrar una capacidad de lectura de antecedentes – generalmente planimétricos – de la forma más rápida y certera posible; sin embargo, las competencias asociadas a dicha interpretación de antecedentes también se puede considerar en otras fases de la vida de los proyectos, tales como el diseño, abastecimiento, operación y demolición.

Por otra parte, el crear propuestas tridimensionales que se pueden visualizar en la pantalla del computador o ser impresas mediante impresoras tridimensionales (3D), así como las

nuevas formas de comercialización en base a experiencias en 360° son solo el inicio de una revolución que afectará a dichos profesionales y a toda la humanidad.

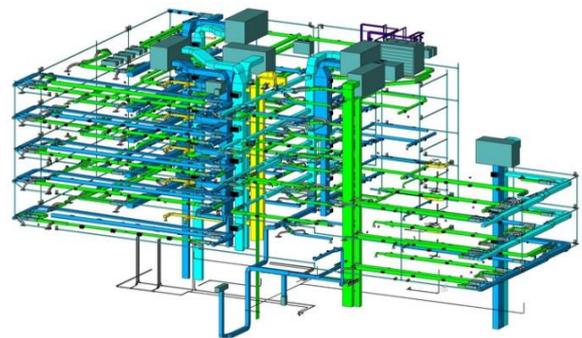


Fig. 1. Ejemplo de la visualización de las instalaciones de un edificio.
Fuente: Del autor.

Por otra parte, la incorporación de tecnología en los procesos constructivos trae resultados positivos en cuanto a eficiencia, sin embargo, el costo asociado a la incorporación de realidad virtual, mixta y aumentada es un ítem a evaluar, por lo que se deben verificar las etapas en donde dicha incorporación sería óptima; frente a esto es que se definen las fases de un proyecto a partir del concepto de análisis del ciclo de vida, donde el impacto medio ambiental se define a partir del consumo energético y del aporte de gases con efecto invernadero.

Establecer la correlación entre fases críticas del ciclo de vida de un proyecto y la incorporación de tecnología avanzada, generará el establecimiento de estrategias normativas - para los actores públicos - y de mejorar en los aspectos de costo, plazo y calidad asociados a los actores privados de un proyecto.

II. DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA

La enseñanza de la realidad virtual en el mundo aumentó desde el año 2004 a la fecha, donde del total de Universidades, 148 de ellas incluían cursos asociados a este tema (Burdea, 2004); esta cifra asciende un 84% en 4 años, con 273 Universidades que dictan cursos asociados a esta tecnología en el año 2008 (Burdea, World-wide survey of universities teaching virtual reality, 2008)

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 realizados - 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.

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).

Esta metodología es importante también en la educación superior, dado que los estudiantes tienen expectativas en torno a que, en este nivel, se les entregarán herramientas alineadas a los requerimientos futuros de la Industria, permitiendo evaluar el valor de sus soluciones de manera previa a la ejecución de la actividad.

Aplicar el conocimiento y la comprensión a un problema complejo, en un entorno tridimensional ya sea proyectado en la realidad (mixta) o absolutamente virtual, proporciona una herramienta adecuada para dividir un problema principal en varios secundarios y establecer relaciones entre ellos para crear una solución única, realista y práctica.

La realidad virtual permite reproducir desafíos ingenieriles de la vida real que no se pueden producir en el aula o laboratorios tradicionales, debido a los posibles costos en aspectos de salud y seguridad.

Los principales beneficios de la realidad virtual en la Industria son:

- 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, lo que se ha vuelto accesible a lo largo del tiempo (Abulrub, 2011), sin embargo, el costo promedio de los sistemas de realidad mixta es de USD 3165 y el de realidad virtual USD 518,8, por lo que 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.

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, 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 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. Justamente el análisis del ciclo de vida (ACV) permite definir criterios aplicables a cualquier tipo de proyecto, definiendo una metodología de evaluación que responderá a las características y se definirá a

partir del diseño (Cuna) hasta el reciclaje o reutilización (Tumba).

III. DESARROLLO

A. Realidad aumentada, mixta y virtual

Durante la última década, se han comenzado a desarrollar una serie de herramientas computacionales enfocadas a visualizar e interactuar, con elementos bidimensionales o tridimensionales previamente definidos mediante un programa computacional; dependiendo del nivel de inmersión estas quedan catalogadas en 3 opciones, por otra parte, estas herramientas se asocian a proveedores de tecnología que 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:** Permite superponer elementos virtuales sobre elementos comunes de nuestra realidad, utilizando sensores y poder de procesamiento de un equipo de apoyo. Como esta tecnología se presenta a través de pantallas de teléfonos o tablets, existe un desarrollador de la aplicación; un ejemplo importante de aplicación es el juego “Pokemon Go” de la empresa “Niantic Labs”.

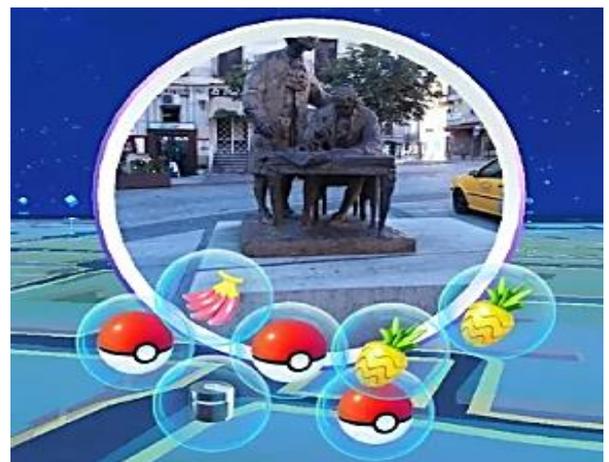


Fig. 2. Pokemon Go.

Fuente: <https://www.nianticlabs.com/es/>.

- **Realidad mixta:** Permite superponer elementos digitales sobre nuestra visión de la realidad, mediante tecnología holográfica que mezcla, en tiempo real, la imagen real con la proyectada. Los principales productos asociados a esta tecnología son Google (Glass), Microsoft (Hololens) y Daqri (Worksense y Smart Glasses).



Fig. 3. Hololens.

Fuente: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>.

- **Realidad virtual:** Escenarios pre modelados con altos niveles de percepción de realidad e interacción, 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).



Fig. 4. Oculus Rift.
Fuente: <https://www.oculus.com/>.

El costo (octubre del año 2018) 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 a continuación:

Tabla 1: Sistemas principales y costos de realidad mixta y virtual.

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	Rift touch	399	Si	Si
Oculus	Go	199	Si	Si
Oculus	Quest	399	Si	No
HTC	Pro	1098	Si	Si
HTC	Vive	499	Si	Si

Fuente: Del autor, en base a información de los proveedores.

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; la incorporación ACV en la Industria 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).

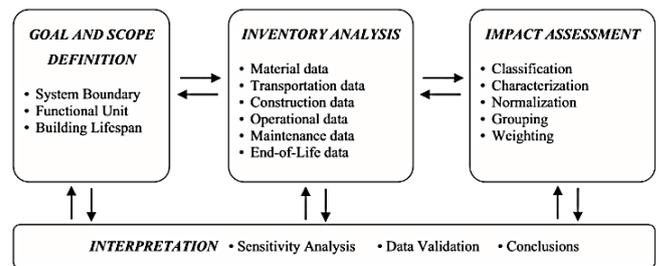


Fig. 5. Estructura base utilizada en el ACV de la Industria de la Construcción.

Fuente: A.F. Abd Rashid, S. Yusoff / Renewable and Sustainable Energy Reviews 45 (2015) 244–248

Esta metodología es aceptada Internacionalmente, 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) que han sido los más utilizados.

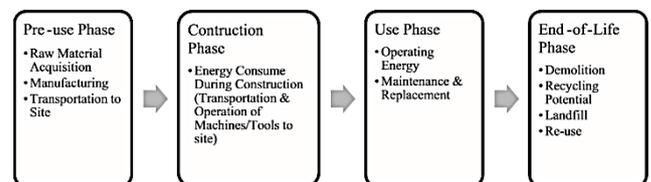


Fig. 6. Estructura utilizada en el ACV de la Industria de la Construcción.

Fuente: A.F. Abd Rashid, S. Yusoff / Renewable and Sustainable Energy Reviews 45 (2015) 244–248.

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 (Mid points – End points). 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 según indican los estudios presentados en tablas 2 y 3.

Tabla 2: Incidencia de la emisión y demanda para las diversas fases del ACV simplificado en Australia.

Variable	Emisión de gases con efecto invernadero (GHG)			Demanda de 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

Fuente: 130 H. Islam et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 42 (2015) 129–140.

Tabla 3: Incidencia de la emisión y demanda para las diversas fases del ACV simplificado en Europa.

Variable	Emisión de gases con efecto invernadero (GHG)			Demanda de 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

Fuente: 130 H. Islam et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 42 (2015) 129–140.

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.

C. Tecnología avanzada para la Industria: Realidad virtual, mixta y aumentada

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.

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 (Verdaguer, Llatas, & García, 2017). Sin embargo, es importante denotar que la información generada por las plataformas tradicionales o actuales permiten la visualización de la información de forma análoga (impresión) o digital (pantalla de computador – PC – y teléfono o Tablet (Ph-Ta); el objetivo del presente documento es relacionar tecnologías avanzadas de realidad virtual, mixta y avanzada con el ciclo de vida de las edificaciones, lo que corresponde a un paso en la evolución natural de las herramientas tecnológicas: La visualización se transporta a un ambiente inmersivo (Realidad virtual – VR) y por otra parte la realidad mixta (MR) permite combinar antecedentes predefinidos – bajo una plataforma BIM por ejemplo – en la realidad; finalmente la realidad aumentada – en su versión más simple - es una tecnología que se ha incorporado dado que existen múltiples aplicaciones que permiten utilizarla mediante la pantalla del teléfono o Tablet.

De esta forma se presentan 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 tienen 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 que sacan provecho de esta tecnología (principalmente mediante 3 métodos: Marcador, rastreo y ubicación); se pueden mencionar algunas aplicaciones generales tales como Google ARCore, Paint Space, Augmented entre otros; por otra parte, algunas opciones a utilizar en realidad aumentada para distintas labores de la Industria de la Construcción. 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)

Tabla 4: Caracterización de las 8 principales aplicaciones asociadas a la realidad aumentada para la Industria.

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

Fuente: Del autor, adaptado de <https://www.upwork.com/hiring/for-clients/building-augmented-reality-mobile-apps/>

Según se puede observar, las aplicaciones tienen distintos niveles de utilización de sensores y se pueden integrar con lentes inteligentes como Google Glass, tener reconocimiento del lugar de emplazamiento entre otros aspectos. Es importante lo indicado como “Soporte Unity” dado que es una plataforma muy utilizada de desarrollo para aplicaciones de realidad virtual y mixta.

Finalmente, la aplicación de cada una de las tecnologías indicadas y su requerimiento de computador, Tablet o equipo computacional se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5: Herramientas tecnológicas y su relación con la realidad virtual (VR), Mixta (MR), Aumentada (AR) 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	-	-	✓	✓	✓

Fuente: Del autor, en base a la información entregada por los proveedores.

D. Vinculación de la Realidad virtual, mixta y aumentada con el Análisis del Ciclo de Vida de la Edificación

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 la herramienta tecnológica de un proveedor, esta puede 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; finalmente, ofrece a través de su plataforma, la posibilidad de visualización directa mediante los equipos de realidad virtual “Cardboard” de Google y “Gear VR” de Samsung, ambos un nivel de inmersión limitado.
- **NAVVis:** Esta compañía ofrece un servicio de generación de documentación mediante nube de puntos, pero también tiene énfasis en el seguimiento del registro documental e incluso con 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 Oculus Rift o HTC Vive.
- **Oculus:** El enfoque de las diversas herramientas que ofrece este proveedor corresponde a realidad virtual inmersiva 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, esto se puede abordar desde 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: Trimble Connect, 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 que son fácilmente utilizables en 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.

Tabla 6: 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- 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

Fuente: Del autor, en base a la información entregada por los proveedores.

Conclusiones

La realidad virtual, aumentada y mixta son tecnologías con alto potencial en la Industria de la Construcción y posibles de ser utilizadas en conjunto con metodologías avanzadas de modelación de edificios que, como todo elemento tecnológico, tiene limitaciones asociadas al estado de avance actual; se observan aplicaciones existentes en diversas etapas del ciclo de vida de un proyecto dependiendo del sistema a utilizar, de esta forma 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. Como la incorporación de tecnología implica la compra de bienes y de capacitación a los usuarios, se debe definir un objetivo establecido, el que, en este caso tiene relación con el análisis del ciclo de vida en la Industria de la Construcción a partir de 2 variables ya indicadas, 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: 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.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Cooperativa de Colombia – Campus Ibagué – Espinal por su invitación a participar en la III Bienal Internacional de Ingenierías, a su equipo organizador y a la Universidad Central de Chile por permitirme asistir a dicha invitación.

REFERENCIAS

- Abulrub, A. A. (2011). Virtual Reality in Engineering Education: The Future of Creative Learning. *International Journal Of Emerging Technologies In Learning (IJET)*, 4-11. doi:<http://dx.doi.org/10.3991/ijet.v6i4.1766>
- Burdea, G. C. (2004). Teaching Virtual Reality: Why and How? *Journal Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 463-483 .
- Burdea, G. C. (2008). *World-wide survey of universities teaching virtual reality*. Obtenido de <http://vrtechnology.org/resources/public/survey.html>

Lucas, J. (2018). Immersive VR in the construction classroom to increase student understanding of sequence, assembly, and space of wood frame construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 179-194.

Verdaguer, B., Llatas, C., & García, A. (2017). Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings 136*, 110–120.