

IMPACTO DE LA REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA EN LA GESTIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

P. Orihuela ^{(1) (2) (3)}, M. Noel ^{(2) (3)}, S. Pacheco ^{(1) (3)}, J. Orihuela ^{(1) (3)}, C. Yaya ^{(2) (3)}, R. Aguilar ^{(2) (3)}
⁽¹⁾ MOTIVA S.A. ⁽²⁾ Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP; Departamento de Ingeniería ⁽³⁾ Grupo de Investigación Ingeniería 4.0

Tradicionalmente, el diseño de las edificaciones ha sido representado en planos 2D. Esta forma de comunicación dificulta la transmisión de información entre los involucrados en las distintas etapas de los proyectos de construcción, por el trabajo adicional que requiere interpretar los planos o documentos para acceder a la información que necesitan. Prueba de ello es la investigación realizada por Golparvar-Fard en su artículo del 2006, que muestra que el 77% del tiempo de las reuniones de diseño se emplea en actividades descriptivas y explicativas y solo el 23% en tareas de evaluación o predictivas (Figura 1). Los defectos y retrabajos producidos por el mal entendimiento de los planos y especificaciones durante el diseño y construcción pueden ser evitados, además de con el uso de los modelos BIM, con la inclusión de tecnologías como Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), que permiten mejorar la transmisión de información entre el equipo de diseño, abastecimiento y construcción. La aplicación de este tipo de tecnologías también mejora la comunicación entre el equipo del proyecto y los involucrados no especialistas (inversionistas y usuarios finales) permitiendo que estos aporten valor al diseño del proyecto de manera más efectiva.

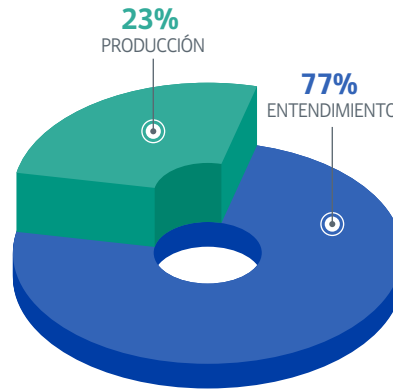


Figura 1. Porcentaje de tiempo en las reuniones ICE (Golparvar-Fard 2006).

Algunos autores hablan de la Realidad Virtual como la 8va dimensión del BIM, sin embargo no se trata de una dimensión más, sino de una alternativa más potente para la visualización de los proyectos de construcción. En la Figura 2 se muestra el impacto de estas tecnologías dentro del marco BIM. Como se observa en la figura, la RA presenta gran ventaja respecto a la visualización que ofrece el modelo BIM-3D debido a que permite mezclar lo real con lo virtual, mientras que la RV permite generar un entorno inmersivo e interactivo para el usuario. Adicionalmente, debido al potencial de estas tecnologías, no deberíamos descartar que estas dos tecnologías avancen hacia el lado derecho cubriendo también las demás dimensiones.

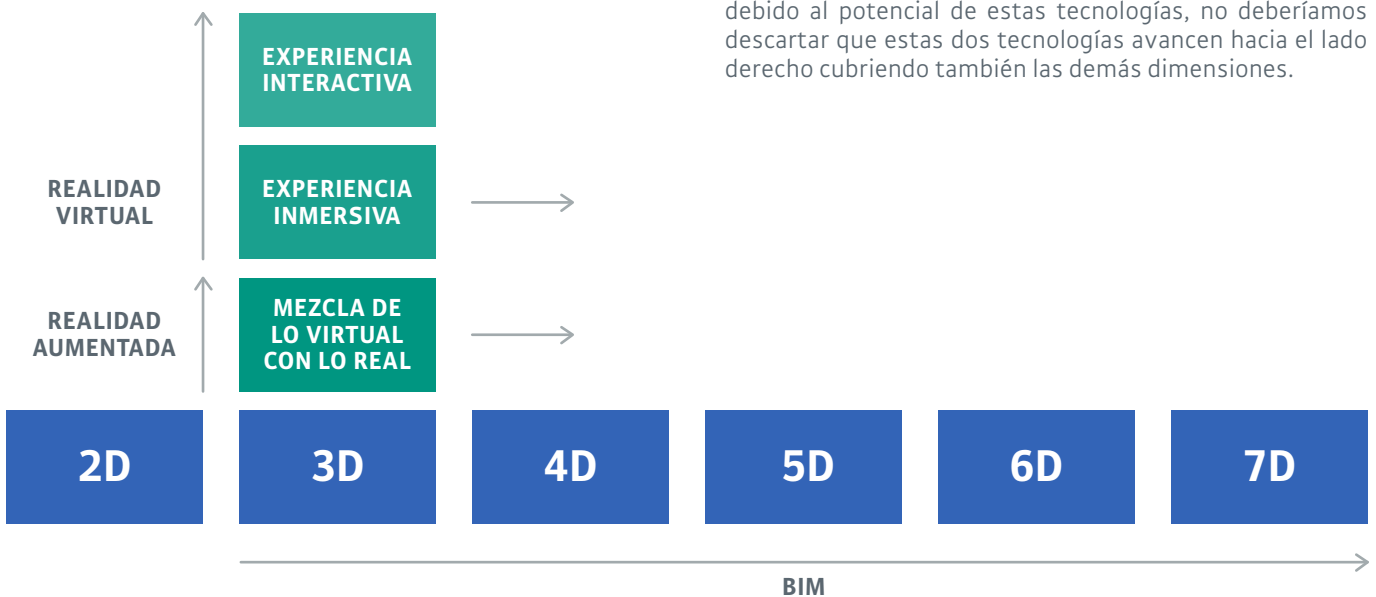


Figura 2. La RV y RA dentro del concepto BIM.

TÉCNOLOGÍAS DE REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA

La RV se define como la simulación virtual de entornos que le permite al usuario interactuar en simulaciones tridimensionales realistas (Sherman y Craig, 2018). En términos simples, es cualquier espacio artificial generado por computadora en el que es posible vivir experiencias que no están pasando en ese instante ni en ese lugar (ver Figura 3a). El equipo utilizado para recrear estas experiencias consiste en unos lentes de pantallas estereoscópicas que permiten proyectar la simulación. La calidad de los lentes está ligada en gran medida a la sofisticación de la experiencia. Los lentes de mayor calidad se conectan a una computadora para ejecutar aplicaciones y juegos, mientras que los más económicos usan un teléfono celular en la parte frontal de los lentes para la visualización y ejecución de las aplicaciones.

La tecnología de la RV ha avanzado exponencialmente en los últimos años y está siendo aplicada en diferentes industrias con el objetivo de mejorar la productividad y competitividad (Krasnov, 2018). En el campo de la arquitectura, ingeniería y construcción, está recibiendo considerable atención debido a su capacidad para reducir costos, tiempo de entrega, problemas de calidad, entre otros. Su potencial está en la creación de experiencias de proyectos que todavía no han sido construidos, visualizando detalles complejos en entornos inmersivos (Juan, Chen, Chi 2018).

Por otro lado, la realidad aumentada (RA) es una técnica que permite a los usuarios interactuar con su entorno físico a través de la superposición de información digital (Gruberte et al, 2017). La RA puede ser considerada un tipo de RV en la cual el mundo real no es reemplazado por uno virtual, sino que el mundo real que el usuario observa se mantiene y es complementado con información virtual (Sherman y Craig, 2018) (ver Figura 3b). En la actualidad las aplicaciones de realidad aumentada se ejecutan en una amplia gama de dispositivos, como Smartphones, Tablets, PCs, o visores específicos para esta función. El potencial de esta tecnología recae en la posibilidad de observar modelos tridimensionales en dispositivos portátiles sin la necesidad de softwares especializados.

La Figura 4, muestra el proceso de implementación de una experiencia de RV y RA resumido en tres etapas y presenta algunos de los softwares más usados para el desarrollo del proceso. La primera etapa es la de simplificación de los planos arquitectónicos que consiste en la eliminación de información innecesaria para el modelado como dimensiones, mobiliario, sombreado de elementos, entre otros. La segunda etapa implica el modelado 3D de la edificación y el desarrollo de texturas fotorrealistas de los materiales. En la última etapa se implementan las experiencias de RV y RA. Las aplicaciones de RV pueden ser experiencias inmersivas e interactivas con la posibilidad de desplazamiento y manipulación de objetos o tan solo inmersivas donde se visualizan entornos 360. En el caso de RA las aplicaciones creadas mezclan el entorno real con modelos virtuales 3D.

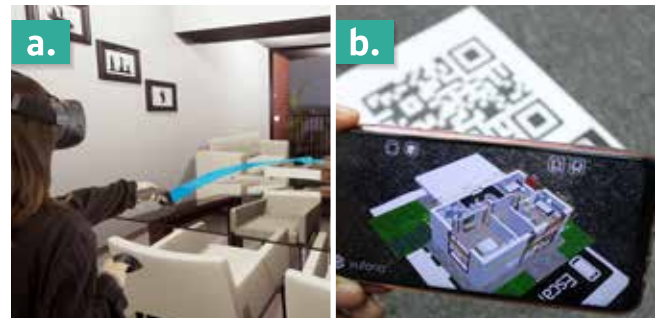


Figura 3. Diferencias en la visualización con RA y RV: (a) visualización inmersiva e interactiva de un departamento piloto con RV, (b) visualización de un modelo 3D proyectado en el entorno real con RA.

FASE 1. Simplificación de la arquitectura



FASE 2. Modelado 3D



FASE 3

Implementación de RV



← Inmersión + Interacción

Implementación de vista 360-RV



← Inmersión

Implementación de RA



← Realidad / Virtual

Figura 4. Esquema del proceso de implementación de un proyecto de construcción en RA.

APLICACIONES DURANTE LAS FASES LEAN

Para la evaluación del impacto de las tecnologías de RA y RV, se llevaron a cabo cuatro aplicaciones para proyectos de edificación enfocadas a potenciar al menos una de las 5 fases del Lean Project Delivery System (LPDS). La experiencia de uso de estas aplicaciones fue evaluada por personas involucradas en los proyectos.

Durante la fase de Definición del Proyecto

La fase de Definición del Proyecto, implica entender y alinear los propósitos de los involucrados, especialmente los del propietario del proyecto y los de los usuarios finales. En esta fase se evalúan algunas restricciones como las condiciones de sitio, las condiciones de mercado, las normas y reglamentos; para finalmente proponer los Conceptos de Diseño, que son presentados al propietario del proyecto (Ballard, 2008).

En una primera reunión, estos Conceptos de Diseño implican presentar los datos mínimos necesarios para realizar una primera estimación de la factibilidad económica y financiera del proyecto, de manera tal que el propietario del proyecto pueda validar sus expectativas financieras. Para ello, es necesario conocer las áreas que permitan calcular los costos de construcción y los ingresos por la venta del producto. En esta parte es muy importante que el propietario del proyecto, además de las cifras financieras, entienda la volumetría arquitectónica del Concepto de Diseño. Aun cuando los dibujos a lápiz y papel probablemente continuarán siendo herramientas útiles para presentar alternativas de Conceptos de Diseño, los modelos 3D juegan un importante rol (Ballard, 2008). La Realidad Aumentada, haciendo uso de dispositivos tecnológicos sencillos y sin necesidad de softwares especializados puede facilitar este entendimiento.

La Figura 5a, muestra una aplicación de RA que permite visualizar áreas y volúmenes de un edificio multifamiliar usando un Smartphone. Los botones del menú superior permiten que el usuario interactúe con el modelo preñdiendo y apagando zonas de costo diferenciado. En este caso, para la activación de la visualización de la experiencia se ha usado el plano de ubicación como target (ver Figura 5b).

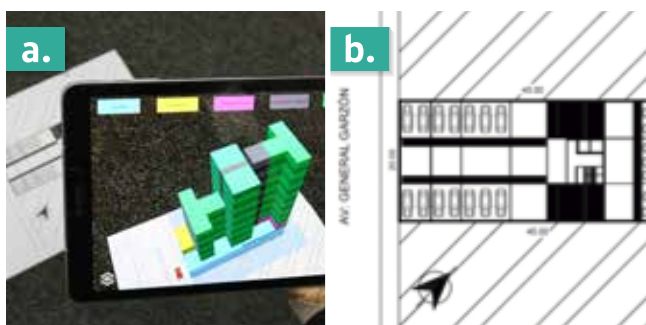


Figura 5. Aplicación de RA para evaluar un concepto de diseño: (a) modelo volumétrico en Realidad Aumentada (b) Plano 2D como target.

Durante la fase de Diseño Lean

Durante el desarrollo del diseño, es de suma importancia la aprobación tanto del propietario del proyecto como la del usuario final. Esta aprobación es fundamentalmente arquitectónica, por lo que la correcta visualización de los espacios y dimensiones, durante el desarrollo del proyecto, evita las frecuentes pérdidas por re-trabajo y por iteraciones negativas. Las figuras 6a y 6b muestran la visualización en RV de las áreas comunes interiores (lobby) y en RA las áreas comunes exteriores (azotea) de un proyecto en la fase diseño.



Figura 6. Visualización RV/RA durante el proceso de diseño: (a) Visualización de espacios interiores con RV (b) Visualización de espacios exteriores con RA.

Evaluación de la Satisfacción del Usuario Final durante la fase de Diseño Lean

Una vez terminado el diseño es de suma importancia realizar la validación del nivel de satisfacción del usuario. El potencial de la Realidad Virtual es que permite añadir la experiencia del usuario como un input de diseño, siendo un enfoque innovador que va más allá de los recursos tradicionales tales como la experiencia personal del diseñador y la normativa correspondiente (Ventura et al, 2018). Estas evaluaciones, asistidas por la RV, se pueden desarrollar de forma interactiva durante el proceso de diseño y también luego de concluirlo, tanto para validar la calidad del diseño antes de la construcción, como para apoyar a la preventa inmobiliaria. Adicionalmente, en este último caso, la RV tiene un costo mucho menor al de un piloto de preventas real, con la posibilidad de mostrar el departamento y el edificio completo en cualquier momento y lugar; y con ventajas técnicas, como la de mostrar las vistas exteriores reales, ofreciendo al comprador una decisión de compra más segura.

Si los diseñadores de programas de vivienda pudieran contar con la verificación en etapas tempranas del proyecto, se podrían hacer las adecuaciones con la realidad y con los requerimientos de los compradores, evitando así futuros problemas (Silva et al, 2019). Existen 13 atributos valorados por los usuarios finales, entre los cuales, los más apreciados aparte de la seguridad son la distribución arquitectónica, los espacios y dimensiones, los acabados, las vistas exteriores, la estética interior y exterior y la iluminación (Orihuela y Orihuela, 2014). Los atributos mencionados pueden ser evaluados con mucha efectividad utilizando la Realidad Virtual.

La Figura 7a, muestra los resultados de una entrevista llevada a cabo en una feria inmobiliaria, a 20 compradores potenciales interesados en un departamento modelado en RV. Para la ponderación de los resultados se utilizó la escala Likert, donde el puntaje del 1 al 5 va de muy malo a muy bueno. Los resultados evidenciaron que los usuarios finales aprecian el aporte de la RV en la visualización y mejor entendimiento del proyecto.

La Figura 7b, presenta otra encuesta dirigida al uso de la tecnología RV. El estudio se realizó sobre una muestra más extendida compuesta por 72 personas de toda edad, respecto a la comodidad del uso de los lentes y manubrios para el desarrollo de la experiencia. Se puede apreciar claramente que en promedio el 90% de los encuestados aceptan el uso de esta nueva tecnología sin mayores inconvenientes.

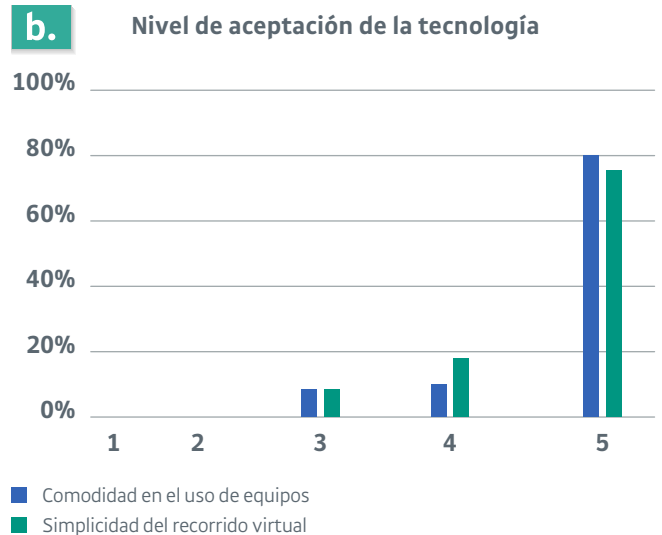
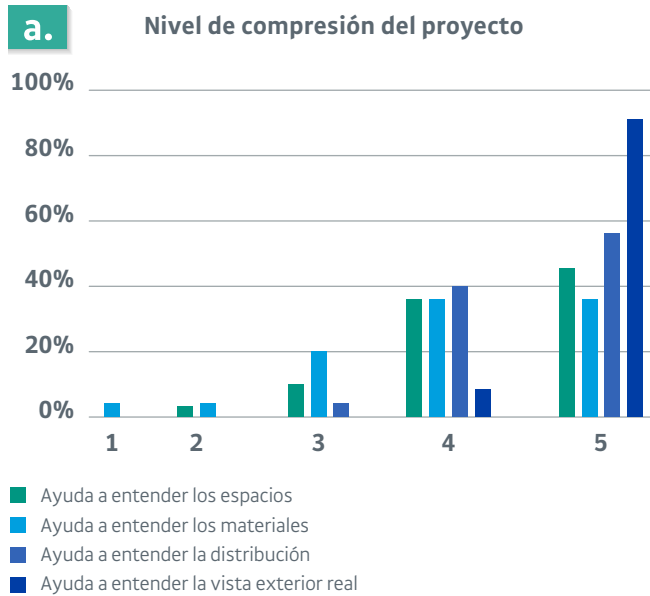


Figura 7. Resultados de las entrevistas a compradores potenciales (a) nivel de comprensión del proyecto (b) nivel de aceptación de la tecnología.

La Figura 8, muestra un plano de un departamento en venta. Si con la ayuda de un Smartphone (en este caso limitado a iPhones), se lee el Código QR que se encuentra al costado izquierdo inferior, se obtendrá una visualización de 360° desde

el punto de observación señalado en la flecha roja. Además, si se coloca el Smartphone en sentido horizontal se obtendrá una vista estereoscópica que permitirá ver el departamento en RV inmersita con el uso de un Cardboard.

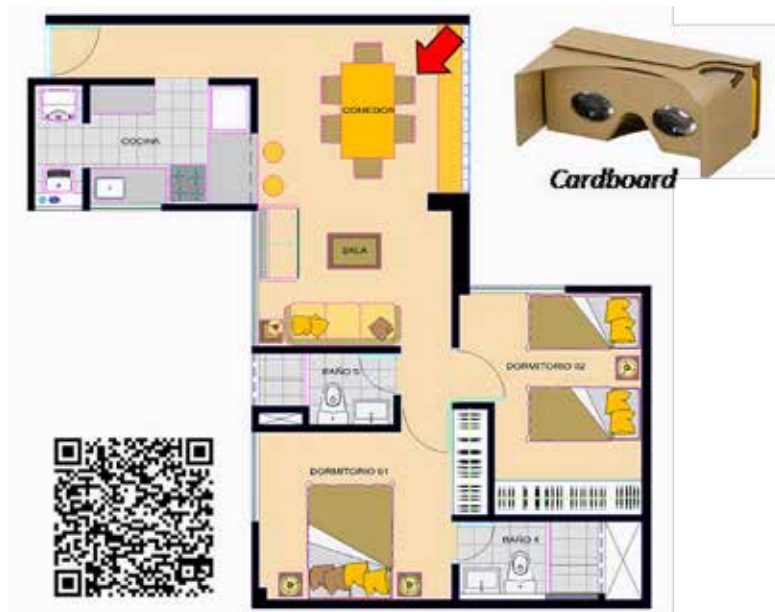


Figura 8. Vista 360° de un departamento en venta usando un código QR.

Las alternativas más comunes en nuestro mercado inmobiliario actual para ayudar a los compradores de vivienda con la visualización de los proyectos inmobiliarios son los siguientes: (1) los planos en 2D y los brochures de venta, (2) las maquetas convencionales o electrónicas, (3) los paseos virtuales, (4) los departamentos pilotos de preventa, y (5) La

Realidad Virtual inmersiva e interactiva. La evaluación multicriterio que se presenta en la Figura 9, demuestra claramente que de todas estas alternativas, la que tiene mejor desempeño ponderado usando la escala de Saaty, donde 0 es muy mala y 9 muy buena, es la Realidad Virtual.

		NIVEL DE IMPORTANCIA		DESEMPEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE VISUALIZACIÓN			
				Planos y Brochures	Maquetas físicas o electrónicas	Departamento Piloto en preventa	Realidad Virtual Inmersiva
NECESIDADES DEL COMPRADOR	Distribución de ambientes	5	28%	9	9	3	3
	Espacios y dimensiones	4	22%	1	3	9	9
	Acabados	3	17%	1	1	9	9
	Vistas exteriores	3	17%	0	0	3	9
	Estética de todo el edificio	2	11%	3	3	3	9
	Iluminación	1	6%	0	0	9	9
		100%		3.22	3.67	5.67	6.33

Figura 9. Evaluación multicriterio de las alternativas de visualización para los compradores de proyectos de vivienda.

Durante la fase de Abastecimiento Lean y Construcción Lean

En la fase de Abastecimiento, se puede usar el modelo RV para complementar con un enfoque más visual y amigable la información contenida en los planos de detalle. Esta aplicación presenta gran potencial en ambientes como baños y cocinas y también para los cuadros de acabados, que son usados para la elaboración del presupuesto y la logística de compras. La Figura 10a, muestra una experiencia de RV de un baño en donde se visualizan las especificaciones de algunos acabados, cuando se posiciona el manubrio en cada uno de sus componentes.

Durante la fase de Construcción, la Programación Semanal que forma parte del Last Planner System, lista día a día las tareas que han sido liberadas de sus restricciones y que estarían listas para su ejecución. La comunicación de estas tareas a los “last planners” debe ser efectiva y amigable para lograr la ejecución fluida de dichas tareas (Orihuela et al, 2015). La Figura 10b, muestra una aplicación de RA, donde el target está constituido por una hoja A4 con la planta en actual en proceso de construcción. Mediante esta aplicación, los jefes de cuadrilla o cualquier trabajador con la ayuda de su celular pueden seleccionar cualquiera de los 6 días de la semana y ver cuáles son los frentes de trabajo y las tareas que se deben entregar al final de cada día.

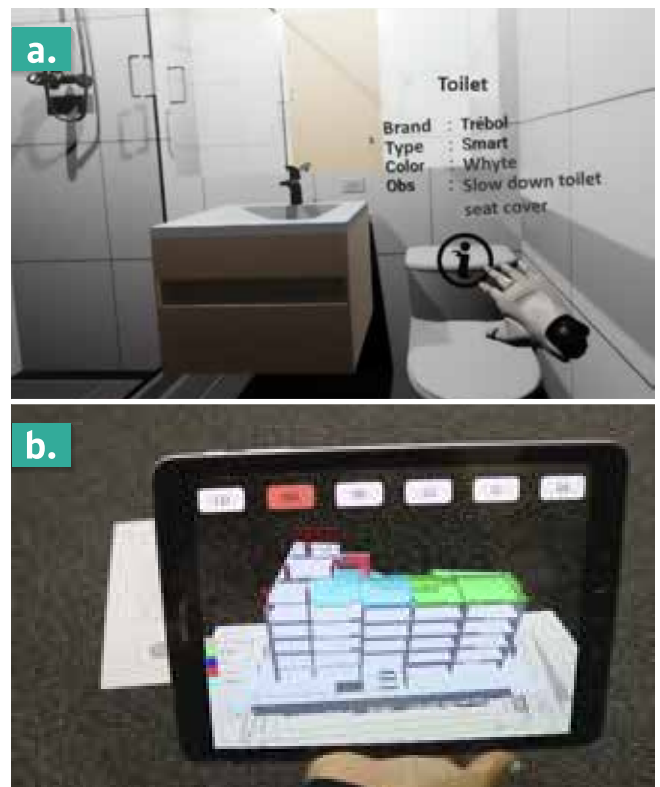


Figura 10. Aplicaciones de RV/RA (a) Visualización de las especificaciones en RV para el abastecimiento (b) RA para visualizar el plan de trabajo semanal durante la construcción.



CONCLUSIONES

La combinación de la RV y la RA para la visualización de los proyectos de edificación, durante sus diferentes fases del ciclo de vida, contribuyen significativamente a evitar el desperdicio y a generar valor. Su uso en cada una de las fases del proyecto y en etapas tempranas, otorgan transparencia y confiabilidad en la toma de decisión de los involucrados, evitando problemas futuros, tales como, iteraciones negativas, desperdicios, esperas y trabajos re-hechos. El uso de cada técnica, depende del contexto en el que se requiera aplicar.

Para los trabajos de escritorio como en la fase de Definición del Proyecto y parte inicial de la fase de Diseño, la RV es totalmente aplicable y beneficiosa. Sin embargo, para etapas de trabajo en campo como la fase de Construcción, el uso de RA es potente debido a la simpleza y portabilidad del equipo (Smartphone o Tablet).

El sostenido incremento de investigaciones en estas nuevas tecnologías, nos demuestra que su aplicación cambiará radicalmente los procesos tradicionales de gestión visual de los proyectos de construcción por lo que nuevas investigaciones en esta área contribuirán significativamente al desarrollo del sector construcción.



AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen la financiación proporcionada por DGI-PUCP en el marco del proyecto N° 2018-601. Los autores también reconocen el apoyo especial brindado por Yamile Rojo, Christian Yaranga y Arq. Alvaro Orihuela.

REFERENCIAS

- **Ballard, G. (2008).** Lean Project Delivery System: An Update. *Lean Construction Journal*, pp 1-19.
- **Golparvar-Fard, M. (2006).** Assessment of collaborative decision-making in design development and coordination meetings. (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- **Grubert, J., Langlotz, T., Zollmann, S., Regenbrecht, H. (2017).** Towards pervasive augmented reality: Context-awareness in augmented reality. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Vol 23(6), pp 1706-1724.
- **Krasnov, M. (2018).** Using Virtual Reality and 360-degree Photos and Videos in Marketing. Master's Thesis. Haaga-Helia University of Applied Science, Helsinki, Finland.
- **Orihuela, P., Orihuela, J. (2014).** Needs, values and post-occupancy evaluation of housing project customer: A pragmatic view. *Procedia Engineering* Volume 85, 2014, pages 412-419.
- **Orihuela, P., Canchaya, L., Rodriguez, E. (2015).** Gestión Visual del Sistema Last Planner mediante el modelado BIM. SIBRAGEC – ELAGEC 2015, Sao Carlos, Brasil.
- **Sherman, W., Craig, A. (2018).** Understanding virtual reality: Interface, application, and design, Indiana, United States. Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-818399-1
- **Silva, D., Ferreira, L., Melo, L., Silva, C., Oliveira, A. (2018).** Systematic Literature Review: Customer's Requirements for Social Housing Design. *Proceedings of International Conference for Sustainable Design of the Built Environment-SDBE London*. Pages 355 – 365.
- **Ventura, S. M., Hilfert, T., Archetti, M., Rizzi, M., Spezia, A., Tagliabue, L. C., Oliveri, E., Ciribini, A. L. (2018).** Evaluation of building use scenarios by crowd simulations and immersive virtual environments: a case study. In ISARC. In: *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, vol. 35, pp. 1-8. IAARC Publications.
- **Sherman, W., Craig, A. (2018).** Understanding virtual reality: Interface, application, and design, Indiana, United States. Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-818399-1.
- **Juan, Y. K., Chen, H. H., & Chi, H. Y. (2018).** Developing and Evaluating a Virtual Reality-Based Navigation System for Pre-Sale Housing Sales. *Applied Sciences*, 8(6), 952.