

López, B, Quiñones, D., & Herrera, R. F. (2024). Análisis de la experiencia usuario de las aplicaciones BIM para el diseño de edificaciones. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y Tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA USUARIO DE LAS APLICACIONES BIM PARA EL DISEÑO DE EDIFICACIONES

Benjamín López¹ – benjamin.lopez.c01@mail.pucv.cl

Daniela Quiñones² – daniela.quinones@pucv.cl

Rodrigo F. Herrera³ - rodrigo.herrera@pucv.cl

¹ *Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile*

² *Escuela de Ingeniería Informática, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile*

³ *Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile*

RESUMEN

En la industria de Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones (AICO), Building Information Modeling (BIM) ha surgido como una solución clave para optimizar tiempos y aumentar la productividad. La amplia gama de softwares BIM en el mercado ofrece diversas funcionalidades para cada etapa del proyecto, pero produce confusión a la hora de seleccionar uno idóneo para la tarea que se necesita realizar y además no se evidencia la facilidad con la que los usuarios pueden aprender, recordar y familiarizarse con estos softwares. Este estudio busca analizar la experiencia del usuario con Revit 2024, un software representativo de la industria AICO, utilizando métodos de inspección y pruebas. Las heurísticas de Nielsen exponen problemas relevantes en las áreas de flexibilidad y eficacia de uso y diseño estético y minimalista. A través del System Usability Scale (SUS), Revit obtiene una calificación media aceptable, mientras que el User Experience Questionnaire (UEQ) señala deficiencias, especialmente en la escala de transparencia y la facilidad de aprendizaje. Estos resultados indican que Revit enfrenta desafíos significativos en la capacidad de aprendizaje y familiarización del usuario. Este análisis ofrece una base para los desarrolladores, destacando áreas críticas que requieren atención para mejorar la experiencia del usuario en la industria AICO.

PALABRAS CLAVE

BIM; experiencia-usuario; usabilidad, edificación; diseño

INTRODUCCIÓN

Building information modeling (BIM) se presenta como una forma innovadora de diseñar y gestionar proyectos virtualmente (Azhar, 2011a). Los principales beneficios de BIM son: la reducción de errores en los documentos de construcción; la mayor precisión en cubriciones y presupuestos; la mejor comunicación con otros profesionales, la reducción de conflictos de construcción y la reducción de tiempo de desarrollo de proyectos (Loyola, 2022). En el Reino Unido, la definición conjunta del Royal Institute of British Architects, el Construction Project Information Committee y BuildingSmart establece que BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación que crea un recurso de conocimiento compartido para obtener información acerca de si forma una base fiable para las decisiones durante su ciclo de vida, desde la primera concepción hasta la demolición (Abanda et al., 2015). En la actualidad, ciertos países están liderando el desarrollo de BIM y cosechando grandes beneficios y una mejor calidad en sus proyectos de construcción, como el Reino Unido, China, Corea del Sur, Finlandia y los Países Bajos (Forcael et al., 2022). En Europa, BIM se ha incorporado en la legislación nacional de al menos 23 países, principalmente para proyectos de gran escala o de infraestructura (Panteli et al., 2020), dentro de los cuales Finlandia es considerada pionera en la integración de metodologías BIM en su sector de la construcción, ya que, desde 2007 la agencia estatal de servicios de propiedad de Finlandia y las Propiedades del Senado exigieron que cualquier software de diseño necesitará pasar la certificación del estándar de intercambio de datos Industry Foundation Class (Panteli et al., 2020). En el panorama regional, Brasil y Chile lideran la concentración de las empresas de mayor trayectoria en el trabajo con BIM, luego les sigue Uruguay, Colombia y Argentina. Además, es en esta trayectoria donde el principal uso BIM es dentro de la etapa de diseño (Lacaze, 2021).

Los softwares en general son una herramienta fundamental para el desarrollo de todos los profesionales, pero durante las últimas décadas en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción y operaciones (AICO), los proveedores de softwares han inundado el mercado con numerosos paquetes BIM que se ocupan de diferentes tipos de información de los proyectos de construcción (Abanda et al., 2015; Garbett et al., 2021). Esto ha llevado a los usuarios finales a enfrentar desafíos importantes en cuanto a qué software usar en sus proyectos según sus necesidades, en qué tipo de dominios/actividades de construcción y cómo usar de manera efectiva los paquetes de software elegidos (Abanda et al., 2015). Eadie et al., (2013) indican que las dos razones principales para no implementar BIM en proyectos son la falta de experiencia dentro del equipo del proyecto y la falta de experiencia dentro de las organizaciones. Por lo tanto, para mejorar la implementación BIM, ya sean empresas o vendedores, o ambos, tendrán que encontrar una manera de disminuir la curva de aprendizaje de los aprendices BIM. Por otra parte, los proveedores de softwares tienen un obstáculo mayor para producir un producto de calidad que los clientes encuentren confiable, manejable y que cumpla con las expectativas establecidas por los anuncios (Azhar, 2011b), es por esto por lo que se debe buscar soluciones centradas en la experiencia y satisfacción del usuario. La experiencia del usuario requiere una interacción síncrona que se produce entre los usuarios, el entorno y otras personas (Henstrom et al., 2023; Jelonek et al., 2022; Jiang &

Lou, 2017) que, junto con el software, se puede anticipar cómo los usuarios objetivo responderán a un contexto específico (Park et al., 2022).

Cualquier sistema diseñado para que lo utilicen las personas debería ser fácil de aprender, recordar y útil, es decir, contener funciones que las personas realmente necesitan en su trabajo (Gould & Lewis, 1985; Hentati et al., 2015). La experiencia del usuario se define como las percepciones y respuestas de una persona que resultan del uso anticipado de un producto, sistema o servicio (International Organization for Standardization, 2019). Junto con esta experiencia, Jakob Nielsen define usabilidad como una característica propia de un software, que no es unidimensional ya que reúne múltiples componentes (Nielsen, 1993; Sagar & Saha, 2017). Estos múltiples componentes se asocian tradicionalmente a cinco atributos de usabilidad. Debe ser fácil de usar, para que el usuario el sistema de manera rápida e intuitiva (aprendizaje). Además, debe ser eficiente, permitiendo al usuario mejorar su productividad cuando la utiliza (eficiencia). Asimismo, es de gran importancia que su funcionamiento sea fácil de recordar así el usuario puede recordar sin ningún problema cómo funciona luego de un tiempo sin utilizarlo (memorable). El sistema también debe favorecer una baja tasa de error, de manera que el usuario sea menos propenso a cometer errores y, si comete errores, pueda corregirlos fácilmente (acierto). Por último, el sistema debe ser agradable de utilizar, generándole satisfacción al usuario (satisfacción) (Nielsen, 1993; Ramírez-Acosta, 2017).

Actualmente, se han encontrado solo análisis generales de las aplicaciones de BIM en la industria de la construcción, donde presentan los principales atributos y características de los softwares BIM, pero no la experiencia de quienes utilizan estas herramientas día a día en su vida profesional. Garbett et al., (2021) desarrollan una plataforma colaborativa AR que integra datos BIM en 2D y 3D para mejorar la colaboración en tiempo real entre equipos de construcción dispersos geográficamente. Para su desarrollo implementan la metodología ágil Scrum y un sistema cliente-servidor en MySQL. El proyecto facilita una interacción efectiva y mejora la comunicación entre los miembros del equipo. Los resultados validados por un grupo focal de profesionales de la construcción demuestran que el sistema optimiza los flujos de trabajo y la toma de decisiones en proyectos de construcción, lo cual ofrece una contribución significativa al introducir métodos de colaboración avanzados en la gestión de la construcción moderna. Lee et al., (2020) analizan la utilización de la realidad aumentada (AR) en la revisión de diseños arquitectónicos desde la perspectiva del usuario final. Se evaluó la calidad de la presentación visual, la aceptabilidad percibida y la experiencia del usuario mediante la comparación de tres plataformas de visualización: una pantalla 2D, realidad virtual (VR) y AR, involucrando a 76 estudiantes universitarios en la evaluación. Los resultados mostraron que AR proporciona una experiencia superior en términos de aceptación y experiencia del usuario en comparación con las otras plataformas. La AR demostró ser especialmente eficaz para revisar los elementos visuales de un edificio, lo que sugiere que puede mejorar significativamente la colaboración y la comprensión del diseño entre los usuarios finales. Abanda et al., (2015) tuvieron como objetivo evaluar un número significativo de sistemas BIM comunes disponibles en el mercado utilizando la interoperabilidad como criterio principal, definiendo una lista de softwares tentativa para nuevos usuarios y las potenciales barreras de la implementación BIM. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo general el analizar la experiencia usuario de las aplicaciones BIM para el diseño de detalle de proyectos de edificación, es decir, realizar

un análisis de la experiencia de los usuarios, a un software BIM representativo de la industria AICO para el diseño de detalle de proyectos de edificación y que actualmente se encuentre disponible en el mercado. Además, se busca que este estudio sirva como base para la creación de nuevos sistemas en el futuro basados en las interacciones de usuarios representativos de la industria de la AICO. Para lograr este objetivo primero se identificarán los softwares BIM para cada una de las especialidades del diseño de edificaciones, luego se seleccionará una herramienta de evaluación de la experiencia usuario para los softwares BIM, para finalmente evaluar la experiencia usuario de los softwares BIM para el diseño de especialidades de proyectos de edificación.

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para lograr dicho objetivo general de esta investigación, se establecen tres objetivos específicos, cada uno con entregables necesarios para la ejecución del análisis. El objetivo específico uno es identificar los softwares BIM para cada una de las especialidades del diseño de edificaciones, el objetivo específico dos es seleccionar una herramienta de evaluación de la experiencia usuario para los softwares BIM y finalmente el objetivo específico tres es evaluar la experiencia usuario de los softwares BIM para el diseño de especialidades de proyectos de edificación (Figura 1).

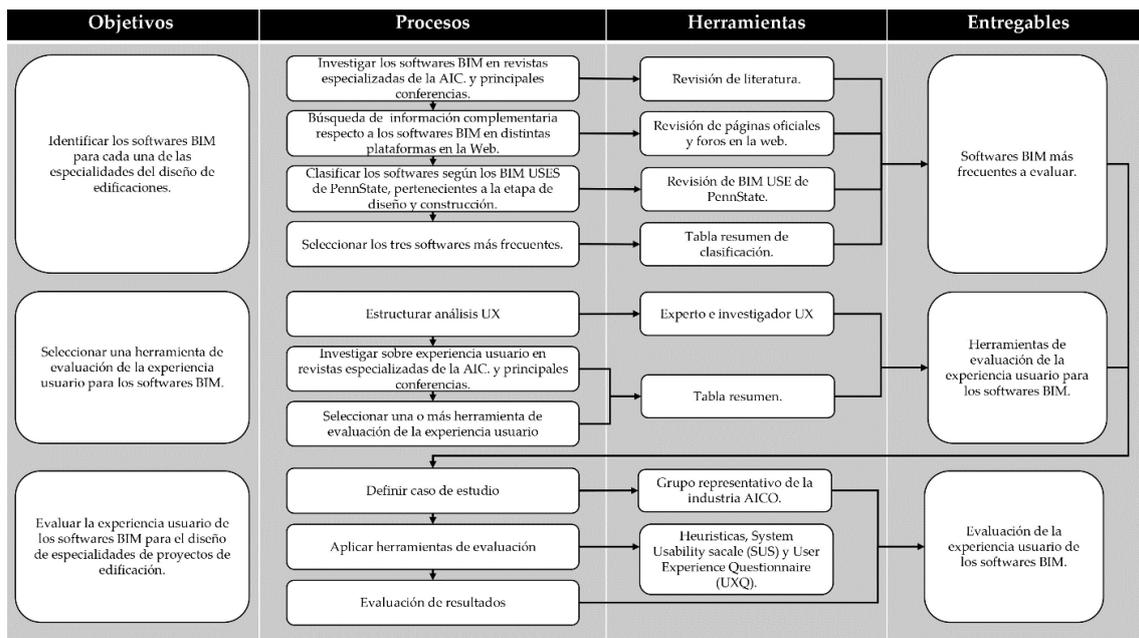


Figura 1. Descripción de objetivos, con procesos y herramientas para lograrlos. Se presentan los entregables finales de cada objetivo.

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOFTWARES BIM

Con el fin de cumplir el primer objetivo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica en los motores de búsqueda Scopus y Web of Science. El objetivo fue encontrar artículos que realizaran clasificaciones o identificaciones de los softwares BIM disponibles en el mercado para cada etapa de los proyectos de edificación. Mediante la aplicación de filtros de inclusión y exclusión, tanto automáticos como manuales, se recopiló un artículo relevante para la investigación, ya que proporciona una identificación detallada de los softwares BIM. Para Scopus, se tomaron en cuenta todas las investigaciones publicadas

desde el año 2013 hasta el año 2023 y escritas en inglés. Se excluyeron los artículos que se encontraban dentro de las áreas temáticas definidas en Scopus por el autor, las cuales son: Ingeniería química, Física y astronomía, artes y humanidades, ciencias de la tierra y planetarias. Para Web of Science, se tomaron en cuenta todas las investigaciones publicadas desde el año 2013 hasta el año 2023 y escritas en inglés. Se excluyeron los artículos que se encontraban dentro de las áreas temáticas definidas en Web of Science por el autor, las cuales son: Física aplicada, química multidisciplinar, ecología, salud ocupacional ambiental publica, transporte ciencia tecnología.

Se llevó a cabo un análisis de la muestra de softwares encontrados, con el objetivo de determinar los softwares más mencionados y utilizados en el contexto del uso BIM. Para lograr esto, se construyó una tabla de frecuencia de uso BIM para cada uno de los softwares evaluados. Después de tabular los datos y analizar los resultados, se identificaron tres softwares que se destacan por su variado uso BIM, alcanzando un valor de frecuencia de ocho. Estos softwares, que se consideran los más nombrados y utilizados en la industria, son Revit, ArchiCad y Vectoworks. Estos hallazgos proporcionan una visión clara sobre los softwares que están en alta demanda y se utilizan ampliamente en proyectos que implementan la metodología BIM. Tras la exhaustiva evaluación de los tres candidatos previamente identificados, se procede a examinar la Encuesta Nacional BIM Chile 2022, la más actual hasta la fecha. Dicha encuesta destaca que el software predominante y líder en el país es Revit (Loyola, 2022). En este contexto, resulta esencial analizar la experiencia de los usuarios con respecto al software más utilizado a nivel nacional y global, especialmente en su versión correspondiente al año 2024.

SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA USUARIO (UX) PARA SOFTWARE BIM

Los métodos de heurísticas y cuestionarios respectivamente se presentan como candidatos principales para realizar el análisis de experiencia usuario y usabilidad, debido a su aplicabilidad en cualquier fase, la baja cantidad de tiempo requerido y el bajo equipamiento requerido (Holzinger, 2005).

Para la primera fase de inspección, se realizó una revisión de diversos artículos sobre usabilidad, en donde se presenta a Jakob Nielsen que es pionero y destacado referente mundial en la usabilidad de software, quien presenta distintos métodos de inspección, en donde el de mayor relevancia es la "Evaluación heurística" (Nielsen, 1995). La Evaluación Heurística consiste en un conjunto de diez reglas generales que facilitan la detección de problemas de usabilidad en un producto, así como sugerencias para evitarlos, que son el resultado de 249 problemas de usabilidad recolectados por Jakob Nielsen en el análisis de 11 proyectos (Nielsen, 1994). Este método, es reconocido por encontrar problemas de usabilidad en softwares, que a través de evaluadores examinan y juzgan su cumplimiento con los principios de usabilidad (Nielsen, 1992) (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de Heurísticas de Nielsen

Nº	Heurística	Descripción
1	Visibilidad del estado del sistema	El sistema debe mantener informado a los usuarios a través de retroalimentación.
2	Coincidencia entre sistema y mundo real	El sistema debe ser familiar al usuario (que hable el "idioma" del usuario).

3	Control y libertad de usuario	Salidas de emergencia, deshacer y rehacer.
4	Consistencia y estándares	Seguir las convenciones de la plataforma.
5	Prevención de errores	Tratar de evitar que los errores ocurran.
6	Minimizar carga de memoria	Que no sea necesario recordar información de una parte del dialogo a otra.
7	Flexibilidad y eficacia de uso	Posibilidad de acomodarse a distintos estilos de trabajo
8	Diseño estético y minimalista	Eliminar (ocultar) información irrelevante y/o raramente requerida
9	Ayuda al usuario para recuperarse de errores	Mensajes de error sencillos, sugiriendo soluciones constructivas
10	Ayuda y documentación	Lista de pasos concretos para la utilización del sistema

Para cada uno los problemas detectados por los evaluadores en el software, se determina su frecuencia, severidad y criticidad. La frecuencia está definida como la ocurrencia del suceso o acontecimiento, es decir que tantas veces sucede un problema. La severidad está definida como que tan grave es un problema y finalmente esta la criticidad que es la suma de la frecuencia con la severidad. La frecuencia posee valores que van desde cero “menor al 1%” hasta cuatro “mayor al 90%”, la severidad también posee valores que van desde cero “No es un problema” hasta cuatro “Catastrófico” y finalmente la criticidad al ser la suma de los dos, sus valores van desde el cero hasta el ocho, que significan una baja criticidad hasta una máxima criticidad respectivamente (Nielsen, 1992).

En la segunda fase del análisis, se llevará a cabo una prueba con usuarios para evaluar la usabilidad percibida por un grupo representativo de la industria de la AICO. Para la recolección de datos, se emplearán dos cuestionarios reconocidos a nivel internacional. Por una parte, el System Usability Scale (SUS) que en distintos estudios a lo largo de los años ha demostrado ser una herramienta de medición de usabilidad valida y fiable (Brooke, 2013) Por otra parte, el User Experience Questionnaire (UEQ) también ha demostrado ser una herramienta confiable y válida para analizar la usabilidad de los usuarios finales, incluso su congruencia para los distintos idiomas traducidos (Laugwitz et al., 2008).

Para las pruebas en usuarios, en el año 1986, John Brooke desarrolló el SUS (Brooke, 1995), con el objetivo de obtener evaluaciones subjetivas generalizadas de la usabilidad. El SUS se caracteriza como una herramienta de evaluación “rápida y sucia”, destacando por su facilidad de aplicación e interpretación de resultados, proporcionando indicios tempranos sobre la calidad percibida de la usabilidad del producto (Brooke, 1995). La prueba SUS consta de 10 afirmaciones formuladas en una escala Likert de uno a cinco, donde uno representa “muy en desacuerdo” y cinco indica “muy de acuerdo”. Las afirmaciones impares son positivas, mientras que las afirmaciones pares son negativas. La alternancia entre afirmaciones positivas y negativas tiene como propósito evitar sesgos en las respuestas, incentivando a los participantes a leer detenidamente cada pregunta y esforzarse al evaluar su acuerdo o desacuerdo con la afirmación (Brooke, 1995).

En contraste con el enfoque del SUS, el UEQ no se analiza en su conjunto ni busca proporcionar una clasificación general del cuestionario; en cambio, se examina pregunta

por pregunta, ya que cada una pertenece a una de las seis escalas de la impresión de la experiencia del usuario. Este cuestionario utiliza la forma de un diferencial semántico, es decir, cada ítem está representado por dos términos opuestos, en donde el orden de los ítems es aleatorio (Schrepp, 2023). Además, se utiliza una escala de siete puntos para reducir el sesgo de la tendencia central. Esta escala de -3 a +3, donde -3 es la respuesta más negativa, el cero representa una respuesta neutral y finalmente el +3 representa la respuesta más positiva (Schrepp, 2023).

La percepción del usuario se define a través de seis escalas, comenzando con la primera escala, el "atractivo", que se ve influenciado por las otras cinco y se divide en calidad pragmática y calidad hedónica. La calidad pragmática se refiere a los sentimientos y emociones experimentados durante el uso del producto, y abarca las escalas de transparencia, eficiencia y controlabilidad. Por otro lado, la calidad hedónica se relaciona con los sentimientos y emociones vinculados al diseño del producto, incorporando las escalas de estimulación y novedad (Schrepp, 2023). Existen 6 escalas de los 26 ítems a través de definiciones breves y preguntas reflexivas, las cuales son: atractivo, transparencia, eficiencia, confiabilidad, estimulación y novedad.

CASO DE ESTUDIO

Para evaluar la usabilidad del software Revit 2024 de Autodesk, se aplicaron las diez heurísticas de Nielsen en una inspección detallada. Revit fue seleccionado por su liderazgo en el mercado chileno y su amplio uso en BIM. La inspección se centró en un modelo BIM estructural de una edificación de dos pisos, tarea común en proyectos AICO. Los inspectores, tres estudiantes de sexto año de Ingeniería Civil Informática de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, tenían conocimientos previos sobre las heurísticas de Nielsen, pero no sobre Revit 2024, lo que proporcionó una perspectiva neutral. Se les dio un video explicativo sobre el contexto industrial y las funcionalidades del software, y se les permitió dos horas para la evaluación.

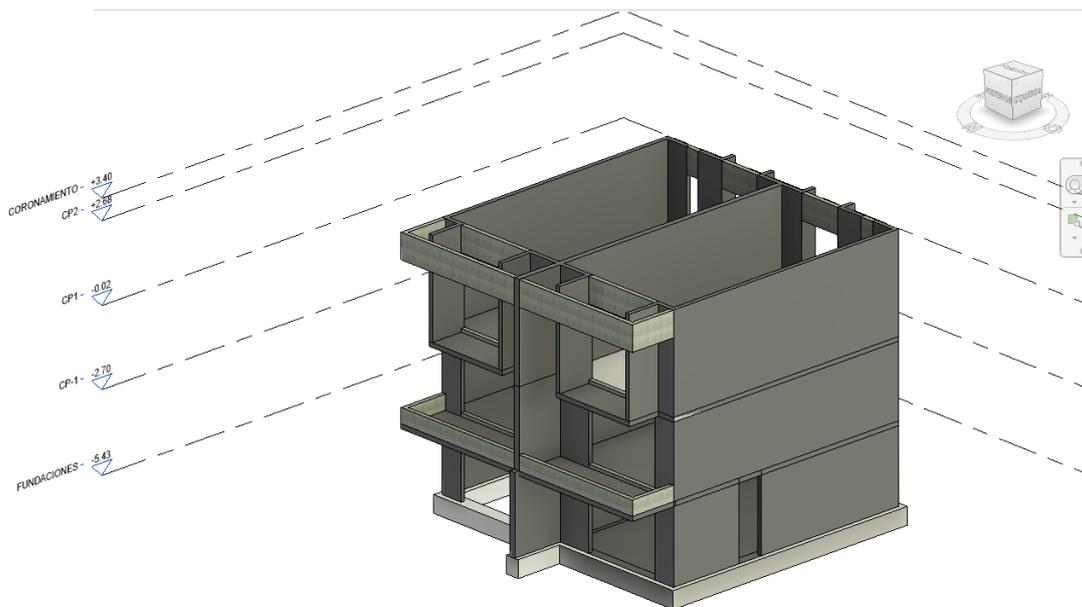


Figura 2. Se presenta el modelo BIM finalizado que se les pidió a los usuarios que realizaran en el software Revit 2024

Los evaluadores documentaron las deficiencias del software, determinando la frecuencia, severidad y criticidad de cada problema tanto individualmente como en conjunto. Además, realizaron un análisis estadístico que incluyó la desviación estándar y el promedio de los problemas más recurrentes, proporcionando una visión detallada de la usabilidad del software. Para las pruebas de usabilidad, se aplicaron dos cuestionarios a seis estudiantes de Ingeniería Civil de quinto y sexto año de la misma universidad. Estos estudiantes, familiarizados con versiones anteriores de Revit y otros softwares de Autodesk como AutoCAD, representaban un público típico de la industria AICO. Se les pidió que realizaran la modelación estructural de muros, losas, vigas y fundaciones de una edificación de dos pisos, tarea representativa de su futuro trabajo profesional. Se les proporcionaron planos estructurales y detalles del coronamiento y las fundaciones para completar la tarea. Esta evaluación integral, que combinó la inspección heurística con pruebas de usabilidad y análisis estadístico, permitió identificar y comprender detalladamente los problemas de usabilidad en Revit 2024, ofreciendo una base sólida para futuras mejoras en el software.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

HEURÍSTICAS DE NIELSEN

En la inspección de usabilidad, los inspectores identificaron 31 problemas en el software, con la mayor cantidad de problemas en las heurísticas siete y ocho: "Flexibilidad y eficacia de uso" y "Diseño estético y minimalista". La heurística ocho, "Diseño estético y minimalista", presenta ocho problemas, incluyendo "Estética poco agradable", "Sobrecarga de información en algunas secciones", y "Tipografía del ViewCube no se alcanza a ver bien". Estos problemas están relacionados principalmente con el diseño de la interfaz y la priorización del contenido. El problema "Estética poco agradable" es el más frecuente, mientras que "Escala de vista con problemas para visualizar en razón distinta a 1:100" tiene la mayor severidad.

La heurística siete, "Flexibilidad y eficacia de uso", presenta siete problemas, incluyendo "No especificación sobre diferencia entre proyecto y plantilla proyecto", "Falta de agrupamiento de muros personalizados", y "Poca ayuda a usuarios novatos". El problema "Falta de métodos alternativos de movimiento en el plano" es el más frecuente, mientras que "Poca ayuda a usuarios novatos" tiene la mayor severidad y criticidad. Esto se debe a que la sección de ayuda no es suficiente para un software con tantas funcionalidades, lo que puede confundir a los usuarios novatos.

Las heurísticas uno, dos, cuatro y seis presentan tres problemas cada una. La heurística uno, "Visibilidad de problema", incluye "Botón en ViewCube no indica que hace", "Botón sin indicación de lo que significa", y "Dificultad para salir del modo 'Crear' de un elemento". El problema más frecuente es "Botón sin indicación de lo que significa", mientras que "Dificultad para salir del modo 'Crear' de un elemento" tiene la mayor severidad y criticidad. La heurística dos, "Conciencia entre el sistema y el mundo real", presenta "Icono de buscar no representativo", "Falta información clara sobre las medidas", y "Abreviaciones no entendibles". El problema más frecuente y severo es

"Falta información clara sobre las medidas", ya que las unidades de medida no están explícitas en la interfaz. La heurística cuatro, "Consistencia y estándares", incluye "Botones del menú muy pequeños", "Botón de ayuda sin formato", e "Inconsistencias en cómo funciona ícono de ampollita". El problema más frecuente y crítico es "Botones del menú muy pequeños", que dificulta la identificación y uso de los botones de acceso directo.

Para las heurísticas tres, cinco, nueve y diez, se identificó un problema cada una. La heurística tres, "Control y libertad de usuario", presenta "No presenta la unidad de medida de forma clara al medir entre dos elementos de la estructura". Este problema tiene una frecuencia promedio de 3.67 y criticidad de 6.67, ya que la herramienta "medir entre dos referencias" no indica claramente la unidad de medida. La heurística cinco, "Prevención de errores", incluye "Alertas y errores muy pequeños". Este problema tiene una frecuencia promedio de 2.33 y criticidad de 3.33, ya que las alertas y errores son pequeños y se ubican en la esquina inferior derecha, dificultando su visibilidad. La heurística nueve, "Ayuda al usuario para recuperarse de errores", presenta "Mensaje de error no explica con claridad la situación". Este problema tiene una frecuencia y severidad promedio de 2.67 y criticidad de 5.33, ya que los mensajes de error no proporcionan suficientes detalles ni soluciones claras. La heurística diez, "Ayuda y documentación", incluye "Ayuda no muy accesible". Este problema tiene una frecuencia promedio de 2.33 y criticidad de 5, ya que la página de ayuda no es intuitiva y está algo oculta, lo que dificulta su acceso.

SYSTEMS USABILITY SCALE (SUS)

Para la prueba en usuarios, al finalizar la prueba de modelación BIM, se solicitó a cada estudiante que completara el cuestionario SUS. Los resultados revelaron una puntuación promedio de 73.75 para el software Revit 2024, con una desviación estándar de 10.09. Los puntajes mínimos y máximos obtenidos por los encuestados fueron de 57.5 y 85, respectivamente.

Adicionalmente, en el artículo "The Factor Structure of the System Usability Scale" (Lewis & Sauro, 2009), se destaca que las preguntas 4 y 10 del cuestionario SUS ofrecen indicios significativos sobre la capacidad de aprendizaje de las personas en relación con el software evaluado. En este contexto, la puntuación media obtenida para la pregunta cuatro fue de tres, mientras que la pregunta diez registró una puntuación media de 2.83, valores que están levemente por sobre el valor central 2.5 de cada pregunta.

El puntaje promedio obtenido en el cuestionario SUS de 73.75 está por sobre el promedio general de 68 presentado por J.Sauro tras 5000 observaciones de este cuestionario y se encuentra en el rango de aceptable, ya que el valor promedio se encuentra entre 70 y 80, es decir, si bien el software es bueno este debe seguir trabajando en mejoras para mejorar la usabilidad percibida por los usuarios y así conseguir un promedio sobre 90 que es un valor verdaderamente superior que busca esta prueba. Otra manera de interpretar el puntaje promedio obtenido es a través de la escala de calificación del sistema americano, donde todo puntaje superior a 90 alcanza la máxima calificación de "A" y todo puntaje inferior a 60 alcanza la mínima calificación de "F". Con puntaje promedio obtenido se obtendría una calificación C, lo que indica que, si bien presenta una calificación media y está dentro de los rangos aceptables, nuevamente nos indica que se debe seguir mejorando

en la usabilidad percibida por los usuarios finales y así lograr la máxima calificación “A” (Bangor et al., 2008; Brooke, 2013).

USER EXPERIENCE QUESTIONARY (UEQ)

A continuación, se presentan las medias de las respuestas obtenidas para cada ítem, en donde cada uno de los colores agrupa cada termino opuesto según a la escala de impresión a la que pertenecen. El color magenta corresponde a la escala de la atracción, el color verde corresponde a la escala de la transparencia, el color amarillo mostaza corresponde a la escala de la novedad, el color rojo corresponde a la escala de la estimulación, el color cian corresponde a la escala de la controlabilidad y finalmente el color azul corresponde a la escala de la eficiencia (Figura 3).

En la Figura 3 se puede observar que, de manera general, las respuestas de los encuestados son positivas. El valor medio más alto lo tiene el ítem “malo/bueno” perteneciente a la escala de atracción, lo que nos quiere decir que en general la percepción de que el software es bueno es generalizada, ya que logra el máximo valor promedio de tres. Luego le sigue los ítems de “poco valor/valioso” y “no interesante/interesante” con una media de 2.8, ambos pertenecientes a la escala de la estimulación. Por otra parte, el valor medio más bajo lo obtiene el ítem de “difícil de aprender/fácil de aprender” con un valor medio de 0.3, perteneciente a la escala de transparencia. Luego, le sigue el ítem “impredecible/predecible” con un valor medio de 0.5, perteneciente a la escala de controlabilidad. Finalmente, otro valor bajo lo obtiene el ítem “complicado/fácil” con una media de 0.7, perteneciente nuevamente a la escala de transparencia. Como existen dos medias bajas perteneciente a la escala de transparencia nos entrega indicios sobre problemas en la capacidad de los usuarios de familiarizarse con el software.

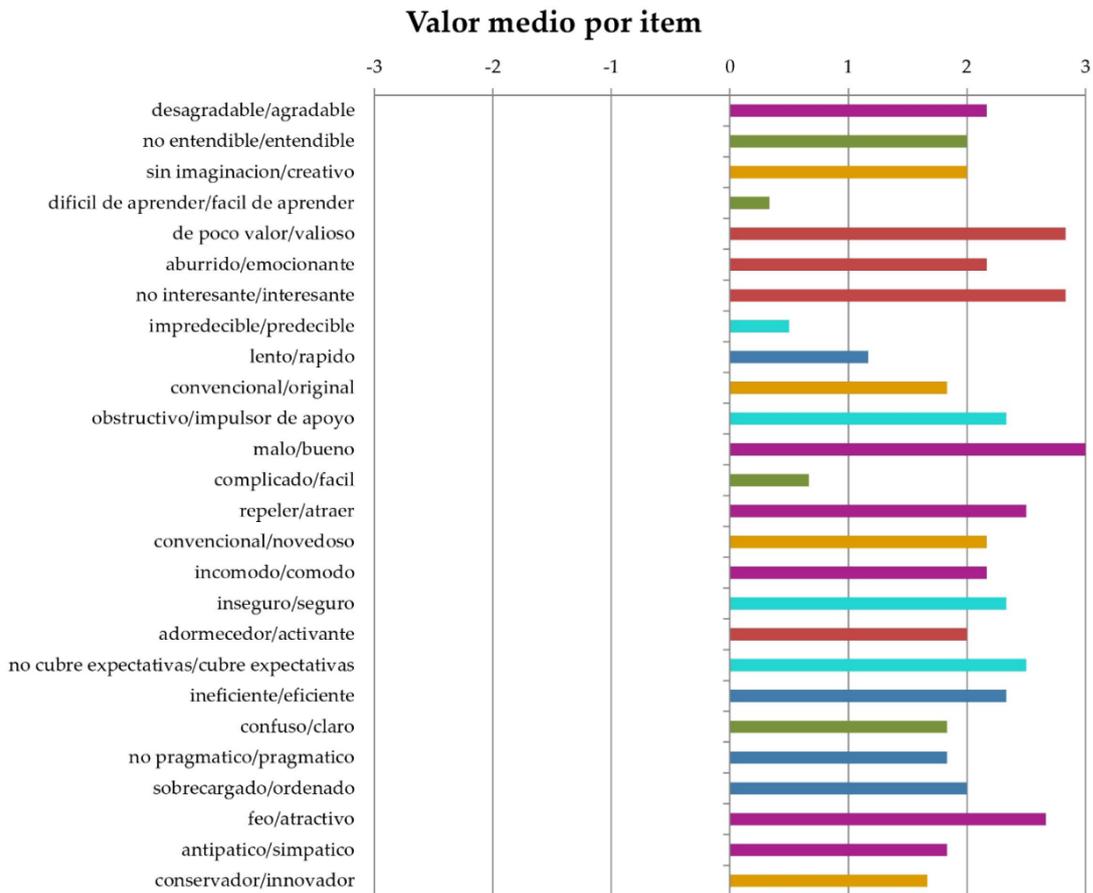


Figura 3. Valor medio de los resultados obtenidos para cada ítem.

Asimismo, se procedió a calcular la media y la varianza de las respuestas de los usuarios en relación con las seis escalas de percepción. Los resultados están representados en un gráfico, en donde el color amarillo representa una evaluación neutral, que son los valores entre -0.8 y 0.8. El color verde representa una evaluación positiva, que son los valores superiores a 0.8 y el color rojo representa una evaluación negativa, que son los valores inferiores a 0.8. Los resultados obtenidos se detallan a continuación (Figura 4).

Podemos observar en la Figura 4 que la media más grande es para la escala de la estimulación, alcanzando un valor 2.458, con una varianza de 0.19 en las respuestas obtenidas de los encuestados. La media más baja la presenta la escala de la transparencia, alcanzando un valor de 1.208 y que además tiene la mayor varianza alcanzando un valor de 0.94, lo que nos da indicios que las respuestas de los encuestados para esta escala tienen una alta variabilidad. Si bien los valores de las varianzas en cada una de las escalas varía, es solo en la escala de la transparencia en donde la varianza llega a alcanzar el valor más bajo de las respuestas en su lado negativo, siendo la única que está por debajo del valor de uno.

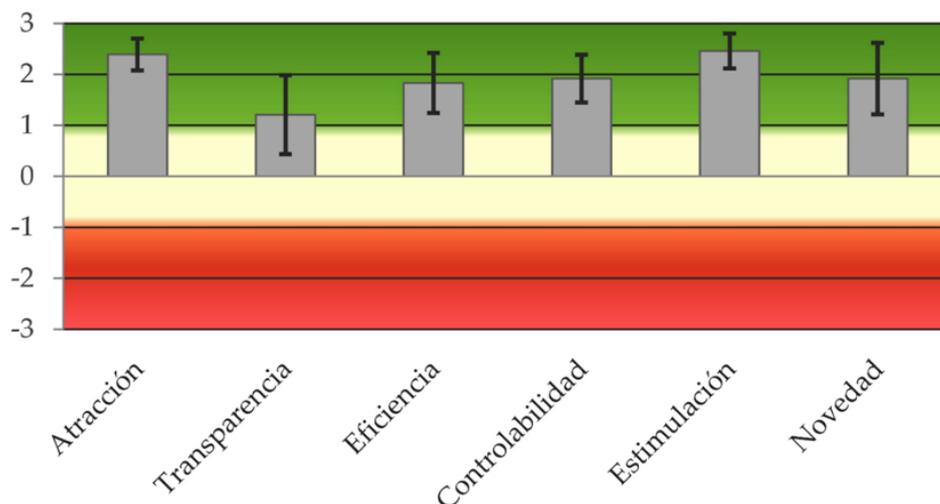


Figura 4. Gráfico con media y desviación estándar agrupados según escala.

En la Figura 5 se contrasta la media obtenida en cada una de las escalas de percepción con los resultados medios obtenidos de una base de datos de 21,175 personas provenientes de 468 estudios UEQ realizados en todo el mundo. Los puntos y líneas negras presentan la media de los datos obtenidos en la prueba de usuarios, mientras que los gráficos con colores representan los datos obtenidos de la base de datos. A continuación del gráfico se presenta una tabla que presenta los detalles de los datos obtenidos de la comparación (Tabla 3).

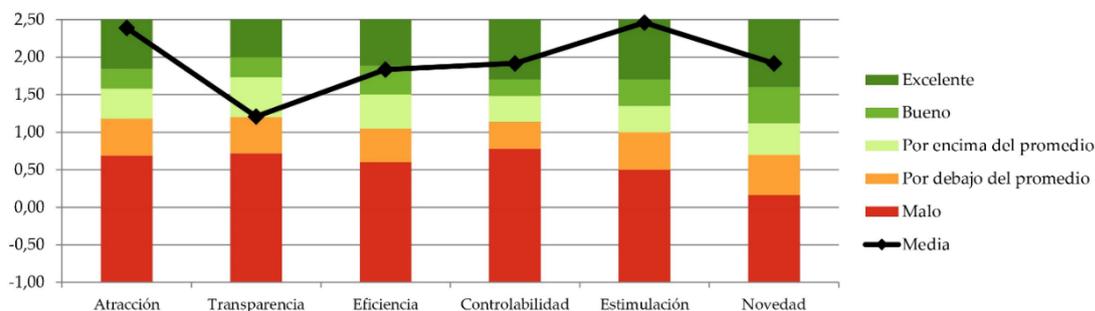


Figura 5. Gráfico de comparación de la media obtenida, con la media general de una base de datos proporcionada por UEQ, para cada una de las escalas.

Tabla 3. Media de cada una de las escalas y su adjetivo respecto a la comparación con los puntos de referencia de otros estudios

Escala	Media	Comparación punto de referencia
Atracción	2.39	Excelente
Transparencia	1.21	Por encima del promedio
Eficiencia	1.83	Bueno
Controlabilidad	1.92	Excelente
Estimulación	2.46	Excelente
Novedad	1.92	Excelente

CONCLUSIONES

En el contexto de la metodología BIM, existe una amplia gama de software con diversas funcionalidades que incrementan con el tiempo. La elección del software adecuado según las necesidades del usuario es crucial, lo que sugiere la creación de un catálogo global anual que detalle las características de cada software, sus usos BIM y la etapa del proyecto a la que se destina. Comprender las capacidades y limitaciones de estos programas es esencial para formar a futuros expertos en la industria AICO (Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación). El software Revit se destaca como una opción robusta y completa a nivel mundial. No obstante, requiere revisión y mejora continua para adaptarse a las necesidades emergentes. En cuanto a la evaluación de usabilidad, se emplearon herramientas confiables y válidas a lo largo del tiempo. Estas herramientas, aplicables a otros softwares de la industria, deben revisarse y actualizarse continuamente, tal como lo hace la organización UEQ, para establecer un estándar general de evaluación.

La inspección de usabilidad mediante las heurísticas de Nielsen resalta que el "Diseño estético y minimalista" es crítico en la evaluación de interfaces, ya que problemas como la sobrecarga de información y la legibilidad afectan la usabilidad. También es crucial la "Flexibilidad y eficacia de uso", dado que la falta de métodos alternativos y la orientación insuficiente para usuarios principiantes requieren atención para mejorar la experiencia del usuario. Los resultados del SUS indican que, aunque el software se encuentra en un rango aceptable, no es suficiente y se debe buscar aumentar la usabilidad percibida. El software recibió las calificaciones más bajas en las preguntas relacionadas con la capacidad de aprendizaje, indicando la necesidad de facilitar el aprendizaje para usuarios novatos. Autodesk debería enfocarse en mejorar esta experiencia para un mayor éxito en proyectos AICO. El UEQ muestra que los ítems "dificultad de aprendizaje/facilidad de aprender" tienen valores promedio bajos, especialmente en la escala de transparencia, sugiriendo dificultades en la familiarización con el software. La calidad pragmática también presenta problemas, vinculados a la interacción del usuario con el software. La comparación con la base de datos UEQ resalta la necesidad de mejoras significativas en usabilidad y transparencia. Los hallazgos de las evaluaciones de usabilidad, tanto con las heurísticas de Nielsen como con SUS y UEQ, delinean áreas de mejora en la interfaz del software, especialmente en el diseño estético, la flexibilidad y la eficiencia de uso. Es vital facilitar el aprendizaje y familiarización del software para nuevos usuarios, mejorando así la calidad pragmática y la transparencia.

Una limitación del estudio es el análisis de consistencia de resultados con el coeficiente de Cronbach, el cual requiere una muestra mayor a 50 respuestas. Un estudio más amplio proporcionaría una visión general y permitiría mejorar el software de cara al futuro. Además, sería interesante analizar diferentes grupos de profesionales de la industria AICO para obtener una perspectiva más completa. Focalizarse únicamente en Revit puede ser una limitación, por lo que incluir múltiples softwares BIM en la evaluación ofrecería una visión más integral de la experiencia del usuario y sus percepciones, identificando deficiencias comunes. Esta investigación contribuye al conocimiento al abordar la mejora de software existente y orientar el desarrollo de futuras soluciones en la industria AICO. Como futuras líneas se plantea promover el desarrollo de software centrado en la experiencia del usuario contribuirá al avance de soluciones tecnológicas en el sector. También, evaluar la experiencia del usuario en una gama más amplia de softwares BIM,

más allá de Revit, para identificar patrones comunes y diferencias específicas en cada herramienta incluyendo otros tipos de proyectos como carreteras. Finalmente, futuras líneas podrían orientarse en analizar las diferencias en la experiencia del usuario entre diferentes regiones geográficas o países, considerando factores culturales y normativos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo financiero de ANID FONDECYT Iniciación N°11230455.

REFERENCIAS

- Abanda, F. H., Vidalakis, C., Oti, A. H., & Tah, J. H. M. (2015). A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects. *Advances in Engineering Software*, *90*, 183–201. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.08.009>
- Azhar, S. (2011a). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, *11*(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Azhar, S. (2011b). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, *11*(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *24*(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Brooke, J. (1995). *SUS: A quick and dirty usability scale*.
- Brooke, J. (2013). *SUS: a retrospective* (Vol. 8).
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, *36*, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>
- Forcael, E., Puentes, C., García-Alvarado, R., Opazo-Vega, A., Soto-Muñoz, J., & Moroni, G. (2022). Profile Characterization of Building Information Modeling Users. *Buildings*, *13*(1), 60. <https://doi.org/10.3390/buildings13010060>
- Garbett, J., Hartley, T., & Heesom, D. (2021). A multi-user collaborative BIM-AR system to support design and construction. *Automation in Construction*, *122*, 103487. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103487>
- Gould, J. D., & Lewis, C. (1985). Designing for usability: key principles and what designers think. *Communications of the ACM*, *28*(3), 300–311. <https://doi.org/10.1145/3166.3170>
- Henstrom, J., De Amicis, R., Sanchez, C. A., & Turkan, Y. (2023). Immersive Learning in Engineering: A Comparative Study of VR and Traditional Building Inspection Methods. *Proceedings - Web3D 2023: 28th International Conference on Web3D Technology*. <https://doi.org/10.1145/3611314.3615917>
- Hentati, M., Trabelsi, A., Ben Ammar, L., & Mahfoudhi, A. (2015). Towards optimizing the usability of user interface generated with model-driven development process. *Proceedings - 2015 8th International Conference on Human System Interaction, HSI 2015*, 206–212. <https://doi.org/10.1109/HSI.2015.7170667>

- Holzinger, A. (2005). Usability engineering methods for software developers. *Communications of the ACM*, 48(1), 71–74. <https://doi.org/10.1145/1039539.1039541>
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction Part 210: Human-centred design for interactive systems*.
- Jelonek, M., Fiala, E., Herrmann, T., Teizer, J., Embers, S., König, M., & Mathis, A. (2022). Evaluating Virtual Reality Simulations for Construction Safety Training A User Study Exploring Learning Effects, Usability and User Experience. *I-Com*, 21(2), 269–281. <https://doi.org/10.1515/ICOM-2022-0006>
- Jiang, C., & Lou, Y. (2017). *Collaborative Service for Cross-Geographical Design Context: The Case of Sino-Italian Digital Platform* (pp. 345–355). https://doi.org/10.1007/978-3-319-57931-3_28
- Lacaze, L. (2021). *Encuesta BIM: América Latina y el Caribe 2020*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0003023>
- Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). *Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire* (pp. 63–76). https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6
- Lee, J. G., Seo, J. O., Abbas, A., & Choi, M. (2020). End-Users' augmented reality utilization for architectural design review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(15). <https://doi.org/10.3390/APP10155363>
- Lewis, J. R., & Sauro, J. (2009). *The Factor Structure of the System Usability Scale* (pp. 94–103). https://doi.org/10.1007/978-3-642-02806-9_12
- Loyola, M. (2022). *Encuesta Nacional BIM 2022: Informe de Resultados*.
- Nielsen, J. (1992). Finding usability problems through heuristic evaluation. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '92*, 373–380. <https://doi.org/10.1145/142750.142834>
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. AP PROFESSIONAL. DOI <https://doi.org/10.1016/C2009-0-21512-1>
- Nielsen, J. (1994). Enhancing the explanatory power of usability heuristics. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Celebrating Interdependence - CHI '94*, 152–158. <https://doi.org/10.1145/191666.191729>
- Nielsen, J. (1995). Usability inspection methods. *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems - CHI '95*, 377–378. <https://doi.org/10.1145/223355.223730>
- Panteli, C., Polycarpou, K., Morsink-Georgalli, F. Z., Stasiuliene, L., Pupeikis, D., Jurelionis, A., & Fokaidis, P. A. (2020). Overview of BIM integration into the Construction Sector in European Member States and European Union Acquis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410(1), 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012073>
- Park, D. Y., Choi, J., Ryu, S., & Kim, M. J. (2022). A User-Centered Approach to the Application of BIM in Smart Working Environments. *Sensors*, 22(8), 2871. <https://doi.org/10.3390/s22082871>
- Ramírez-Acosta, K. (2017). Interfaz y experiencia de usuario: parámetros importantes para un diseño efectivo. *Revista Tecnología En Marcha*, 30(5), 49. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i5.3223>

IX ELAGEC2024, 27 – 29 de noviembre, Viña del Mar, Chile

Sagar, K., & Saha, A. (2017). A systematic review of software usability studies. *International Journal of Information Technology* 2017, 1–24. <https://doi.org/10.1007/S41870-017-0048-1>

Schrepp, M. (2023). *User Experience Questionnaire Handbook*.