

EVALUACIÓN DE COLABORACIÓN EXTREMA CON MODELACIÓN BIM PARA LA ENSEÑANZA DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

EVALUATION OF EXTREME COLLABORATION WITH BIM MODELING FOR THE TEACHING OF BUILDING PROJECTS

Rodrigo García-Alvarado¹

Eric Forcael Durán²

Jesús Alberto Pulido-Arcas³

Resumen

La modelación de información de edificios (BIM) ha emergido como una plataforma digital para proyectos de edificación, que pretende facilitar la cooperación entre especialidades. Por otro lado, la colaboración extrema es una metodología surgida en la industria aeroespacial y orientada al trabajo conjunto entre profesionales. Este artículo presenta una iniciativa experimental con estudiantes de Arquitectura e Ingeniería, destinada a evaluar las capacidades de modelación cooperativa en la enseñanza de proyectos de edificación. Lo anterior se llevó a cabo mediante el desarrollo intensivo de un pabellón de exhibición de automóviles por un grupo de alumnos de distintas carreras trabajando en el mismo lugar; elaborando el diseño y presentación de arquitectura, estructura, instalaciones eléctricas, análisis energético-ambiental, y presupuesto de construcción. El trabajo fue ejecutado en cuatro sesiones, con una reunión inicial y final; en una sala con un mesón central, computadores en red, programas BIM y pantallas perimetrales. Se realizaron cuestionarios de entrada y salida, y entrevistas a los participantes, además de análisis del proceso con investigadores y expertos. La experiencia demostró alta efectividad en la producción y desarrollo del proyecto, aunque con tensiones grupales y limitaciones de diseño. Los estudiantes valoraron el trabajo colaborativo, y sugirieron trabajar de manera desfasada algunas especialidades y designar un encargado de la coordinación del proceso, así como definir mayormente resultados esperados y operación conjunta. Por lo que se sugiere aplicar estas condiciones para desarrollar modelación BIM con colaboración entre especialistas en los proyectos de edificación.

Palabras Clave: Diseño integrado, enseñanza colaborativa, modelación de información en edificios.

Abstract

Building information modeling (BIM) has emerged as a digital platform for building projects, which facilitates cooperation between specialties. On the other hand, extreme collaboration is a methodology, arising in the aerospace industry, for joint work among professionals. This article presents an experimental initiative with Architecture and Engineering students to evaluate these capabilities in building projects. This was done by means of an intensive development of a car exhibition pavilion; elaborating the design and presentation of

¹ Universidad del Bío-Bío, orcid.org/0000-0003-2216-2388, rgarcia@ubiobio.cl

² Universidad del Bío-Bío, orcid.org/0000-0002-3036-4329, eforcael@ubiobio.cl

³ Universidad del Bío-Bío, orcid.org/0000-0002-7956-2203, jpulido@ubiobio.cl

architecture, structure, electrical installations, energy-environmental analysis, and construction budget. The work was carried out in four sessions, with an initial and final meeting; in a room with a central desk, network computers, BIM programs, and perimeter screens. Input and output questionnaires were carried out, as well as interviews with the participants, and analysis of the process with researchers and experts. The experience demonstrated high effectiveness in the production and development of the project, although with group tensions and design limitations. The collaborative work was valued primarily, suggesting the outdated programming of some specialties and coordination of the process, as well as defining mostly expected results and joint operation. Therefore, it is suggested to apply these conditions to integrate BIM modeling with collaboration between building project specialists.

Keywords: Integrated design, collaborative teaching, building information modelling.

INTRODUCCIÓN

La modelación de información de edificios (del inglés BIM: *building information modeling*) se ha difundido los últimos años en todo el mundo, fundamentalmente para mejorar la coordinación de proyectos de edificación (1). Este sistema está basado en la utilización de programas computacionales que, además del diseño tridimensional, permiten gestionar de modo unívoco toda la información del proyecto, asociando datos técnicos y generando la documentación de planos (2). De ese modo, permiten relacionar proyectos de las distintas especialidades (3), como también ofrecen capacidades para la codificación gráfica, visualización realista, cuantificación de materiales, estimación de costos, planificación de la construcción y administración de la obra (4). Los gobiernos de varios países han establecido planes y metas para adoptar plataformas BIM en el diseño y gestión de proyectos; proponiendo estándares, clasificación de roles y etapas de madurez para determinar la integración de esos sistemas (5). También se han desarrollado aplicaciones y librerías de elementos, cursos de capacitación y especialización, asesorías y funciones laborales. No obstante, todavía es escasa la colaboración entre especialistas y la introducción de esta tecnología en la formación profesional, especialmente en países en desarrollo (6, 7).

Por otro lado, la estrategia de colaboración extrema (del inglés; *extreme collaboration*), utilizada para el diseño de productos o instalaciones complejas, surgió a partir de la experiencia del “Jet Propulsion Lab” de la NASA, que desde los años 70 ha motivado a sus profesionales a trabajar en sesiones multidisciplinarias intensivas (8), logrando una relación más fluida de información y desarrollo. Esta metodología considera esencialmente que los proyectistas de diferentes aspectos o etapas, trabajen al mismo tiempo y en el mismo lugar (cara a cara), usualmente ocupando mesas de trabajo comunes y presentaciones visuales de gran tamaño (9). Estrategias similares se han denominado también “*War-Room*” (sala de guerra) o “*Big-Room*” (sala grande), vinculado a las reuniones de diferentes implicados para la resolución de conflictos, y se han utilizado ocasionalmente en la ejecución de grandes proyectos de construcción (10). Así mismo, esos procesos se relacionan con las metodologías participativas de diseño, que son denominadas también como co-creación o diseño concurrente (11), y el diseño integrado para asumir condiciones o certificaciones de sustentabilidad en los edificios (estableciendo logros esperados y un coordinador general de proyecto, (12), así como también con la colaboración apoyada por sistemas computacionales (CSCW: *computer supported collaborative working*). Considerando las posibilidades que ofrecen los programas de modelación de información de edificios (BIM) que permiten integrar toda la información del

proyecto, los diferentes diseños y documentos, proveyendo de herramientas para almacenar y gestionar la información en el mismo computador o a distancia (en la nube).

Sin embargo, el desarrollo y formación de las distintas profesiones que participan en un proyecto de edificación se estructuran por separado, se orientan a contenidos específicos y se relacionan por sus resultados finales (13), desarrollando parcialmente experiencias de trabajo grupal, y muy escasamente trabajos multidisciplinarios. Así mismo, en los últimos años se ha integrado progresivamente el aprendizaje y aplicación de programas de diseño digital; incorporando lentamente sistemas de información de edificios (BIM), aunque dedicados a modelación básica. De un modo similar, en la enseñanza de arquitectura se aplica formación orientada a proyectos, pero usualmente definida y evaluada por condiciones establecidas por la misma asignatura, sin participación o consideración de otros aspectos (14). En la formación de los otros profesionales de la edificación (ingenieros en construcción, civiles o mecánicos), rara vez se elaboran diseños, y normalmente se resuelven o planifican características a partir de proyectos prediseñados (15).

Por estas razones, se considera necesario explorar cómo el trabajo conjunto entre distintos profesionales puede traer beneficios a la formación de los arquitectos e ingenieros, relacionando más estrechamente ambas disciplinas. Por lo que este trabajo tiene como objetivo evaluar una experiencia de colaboración extrema con modelación de información de edificios (BIM) en el desarrollo inicial de un proyecto de edificación con estudiantes de distintas carreras, con el fin de determinar las condiciones y los alcances de estas metodologías de trabajo para integrarlas adecuadamente en la formación y ejercicio profesional de los alumnos. El caso de estudio se desarrolló en la Universidad del Bío-Bío, la cual reúne en su Campus Concepción, ubicado al sur de Chile, carreras profesionales de distintas especialidades concurrentes a los proyectos de edificación, y ha implementado un laboratorio de diseño integrado de proyectos públicos y privados, y que adicionalmente ha permitido el desarrollo de múltiples actividades de investigación y docencia, junto a estudiantes de pre y postgrado. Además, el proyecto ha considerado elementos ejecutados por construcción impresa 3D, para revisar el potencial de aplicación de esa nueva tecnología de construcción, debido a que la Universidad está instalando el primer sistema robótico para construcción impresa en el país.

La construcción impresa 3D consiste en la deposición tridimensional de compuestos fluidos de rápida solidificación, en procesos de fabricación aditiva mediante pórticos o brazos robóticos controlados por sistemas digitales, para ejecutar elementos constructivos (16). Esa tecnología permite reducir tiempo y recursos de operación al excluir encofrados y accesorios, así como también permite disminuir los residuos, los costos de transporte y accidentabilidad en la obra. Se han desarrollado diversas experiencias y construcciones experimentales, pero aún se deben verificar los materiales, equipos y procesos, como también definir aplicaciones (17). La mayor parte de los experimentos se han orientado a la elaboración de paramentos verticales de edificación con formas curvas, aprovechando la versatilidad de desplazamiento de esos equipos y la mayor resistencia lateral de los elementos sinuosos. La capacidad de controlar directamente la ejecución permite integrar digitalmente el diseño y la gestión de obra, definiendo las

posibilidades constructivas durante el proyecto, gracias a la revisión de diferentes especialistas.

Las experiencias de colaboración extrema en el desarrollo de proyectos aeroespaciales han demostrado la capacidad de integrar grupos de trabajo (18), pero cuando se han aplicado a obras de edificación han surgido dilemas en la programación de sesiones y la convocatoria de profesionales (19). La utilización de modelación de información de edificios (BIM) también ha revelado dificultades en la capacitación y organización del personal (20, 21), sugiriendo la aplicación de sistemas específicos de colaboración (22), como NavisWork o Autodesk360, así como una programación compartida mediante el Plan de Ejecución (denominado en inglés BEP: *BIM execution plan*), con indicadores relevantes de producción (denominados en inglés KPI: *key-performance-indicators*) (23), y considerando también salas de trabajo conjunto (24, 25). Sin embargo, igualmente se advierte una baja colaboración entre profesionales y escasos alcances productivos (26). Todas esas carencias se detectan pese a que el desarrollo digital de los proyectos permite nuevas posibilidades expresivas en arquitectura (27). Por ese motivo, se considera relevante revisar las condiciones adecuadas para el trabajo colaborativo en los proyectos de edificación con nuevas tecnologías.

DESCRIPCIÓN DEL EJERCICIO Y CASO DE ESTUDIO

La experiencia desarrollada para evaluar la utilización de modelación BIM y colaboración extrema en el diseño inicial de proyectos de edificación, consideró una metodología práctica-exploratoria, con evaluaciones cuantitativas y cualitativas. Esa técnica está basada en reproducir un trabajo profesional con estudiantes universitarios, sometidos al encargo del diseño de un edificio, con la elaboración de distintos aspectos concurrentes y la entrega final de documentación descriptiva después de un plazo. Se plantearon condiciones del edificio similares a un proyecto usual en la zona, aunque incorporando un sistema constructivo nuevo para un tipo de elementos (muros perimetrales mediante construcción impresa) y conservando los restantes aspectos de construcción convencional. Se consideró que los participantes disponibles para el trabajo conjunto tuviesen una formación preliminar en las disciplinas de desarrollo del proyecto.

En el ejercicio participaron seis estudiantes: tres de la carrera de arquitectura y tres de la carrera de ingeniería civil, todos voluntarios y convocados por haber participado en experiencias anteriores en que demostraron un dominio básico de modelación en BIM. Dos estudiantes provenientes del cuarto año de la carrera de arquitectura, ya habían participado en una asignatura curricular que consideraba algunos ejercicios en BIM; y el tercero, un egresado de Arquitectura, Máster en Diseño Sustentable y estudiante de Doctorado, que trabaja ocasionalmente como instructor en BIM y asesor de proyectos. Los estudiantes de ingeniería civil eran de quinto año, de la especialidad de obras civiles, y habían culminado recientemente una experiencia de modelación de un edificio en BIM. No obstante, ninguno de los seis participantes había realizado un curso completo en modelación BIM, y los cinco estudiantes de pregrado tampoco habían tenido experiencias profesionales o estudiantiles multidisciplinarias. Los estudiantes de arquitectura habían tenido en su carrera actividades curriculares de desarrollo

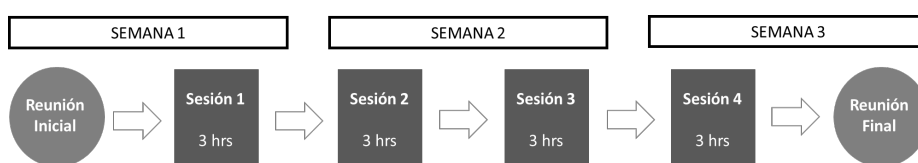
de proyectos, pero los estudiantes de ingeniería declaraban que solamente habían realizado análisis o cálculos parciales de edificios.

Para el desarrollo del ejercicio, se acordaron con los participantes diferentes roles vinculados a los aspectos principales a elaborar en el proyecto, de acuerdo a sus experiencias previas y formación disciplinar (Tabla 1). También se acordó un calendario de trabajo, con cuatro sesiones conjuntas de tres horas, en dos sesiones por semana, más una reunión previa y una reunión posterior (Tabla 2). El alcance del ejercicio está basado en la duración de la experiencia anterior de los estudiantes de ingeniería, que habían elaborado un edificio aproximadamente cuatro veces mayor en diez sesiones; también en la experiencia de los estudiantes de arquitectura en desarrollo de proyectos, asumiendo que el caso de estudio era sencillo espacialmente (con un solo recinto) y de tamaño mediano. De ese modo se acordó una extensión de trabajo colectivo de 12 h, en tres semanas, con las reuniones iniciales y finales, además de una sesión posterior de evaluación grupal. Los roles asignados fueron de diseño y visualización arquitectónica para los estudiantes de pregrado en arquitectura, y de asesoría en diseño sustentable para el estudiante de postgrado; en los estudiantes de ingeniería asumieron cada uno el diseño estructural, instalación eléctrica, y presupuesto de obras; repitiendo los roles habían desempeñado en el ejercicio anterior (modelando un edificio existente).

Tabla 1: Funciones de los participantes

Participantes	Carrera	Labor
1	Arquitectura	Diseño Arquitectónico
2	Arquitectura	Presentación Arquitectónica
3	Arquitectura (Ms. Doctorado)	Análisis Energético-Ambiental
4	Ingeniería Civil	Diseño Estructural
5	Ingeniería Civil	Diseño de Instalaciones Eléctricas
6	Ingeniería Civil	Presupuesto de Construcción

Tabla 2: Programa de trabajo



La actividad contempló, por tanto, un trabajo multidisciplinario orientado a desarrollar un proyecto integral colaborativo, en una modalidad inédita para los estudiantes, y en particular para los ingenieros, en el diseño de una edificación. Además, se consideró la utilización de un programa de modelación de información de edificios (BIM), en particular Revit 2019 de Autodesk, con un modelo central, que permite la integración permanente de los diferentes aspectos desarrollados; aplicando así mismo una estrategia de “colaboración extrema”, mediante el trabajo en una misma sala y al mismo tiempo (Tabla 3).

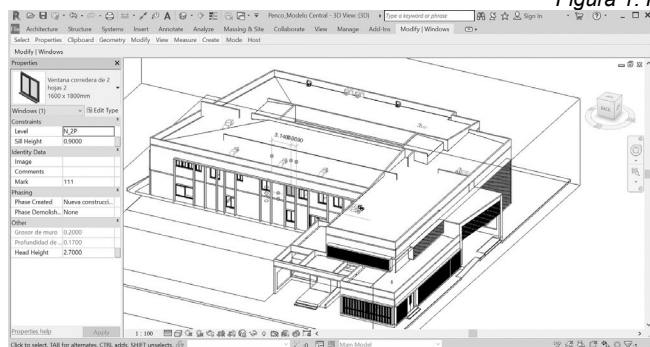
Tabla 3: Condiciones generales del ejercicio.

Proyecto	Diseño de un edificio
	Desarrollo de especialidades
BIM	Modelación tridimensional
	Integración de especialidades
Colaboración extrema	Trabajo conjunto
	Trabajo sincrónico

El proyecto desarrollado consideraba aplicar muros realizados por construcción impresa 3D en una secuencia de curvas (para optimizar su desempeño resistente, aprovechando la ejecución sin encofrado), con los cuales se completaba un recinto rectangular de 40x20 m, con una superficie interior de 800 m². Como función del edificio, se planteó la exhibición de vehículos para venta, en un sitio amplio frente a una avenida de la ciudad que posee varios locales con esta actividad. Se indicó también que debía acoger en el interior puestos de trabajo para tres vendedores y una veintena de autos; sin recintos independientes, ni tampoco servicios sanitarios que debían estimarse en otro edificio cercano. Además, se planteó que el edificio debía estar cubierto al menos en un 80% de la superficie y/o extender hasta un 20% de la superficie interior, para facilitar la relación con el exterior. De igual manera, el perímetro edificado podía considerar hasta un 20% de la superficie transparente o abierta. Como referencia económica para la construcción, se consideró un costo máximo de 12 UF/m² ⁱ basado en los costos comerciales de edificios similares (que oscilan entre 8 a 16 UF/m² para edificios de grandes plantas comerciales), con un gasto de operación máximo de aprox. CLP 1.000.000 mensuales, para unas condiciones de confort entre 18° y 28° en horario de oficinas.

Las reuniones y sesiones se efectuaron en una sala de trabajo acondicionada, con un mesón de trabajo colectivo de forma elíptica que permite acomodar hasta ocho personas trabajando simultáneamente (Figura 1). La sala cuenta con computadores con Procesador i7-7700 y 12gb de RAM, monitores de 18" con tarjeta de video GTX 1060 de 6gb, disco solido SSD de 250gb, 4 pantallas Smart TV de 55" en los muros laterales, software Revit 2018 de Autodesk para diseño, Design Builder para simulación energético-ambiental, Microsoft Excel y Abaco para presupuestos. Para la gestión de archivos se utiliza red local con el modo colaboración de Revit 2018. Además, se contó con el apoyo ocasional de un coordinador de sala, que dispuso los equipos y programas con el modelo inicial compartido, y además recogía los registros de trabajo (denominados *log*). También se indicaron condiciones de entrega de documentos finales.

Figura 1: Modelo de Información de Edificio (a) y Sala de trabajo (b).



(a)



(b)

La evaluación del ejercicio se orientó por aspectos educacionales y técnicos, medidos a través de cuestionarios iniciales y finales; así como por una entrevista grupal a los participantes después de la experiencia; y por el análisis de desarrollo y resultados con un grupo de expertos (Tabla 4). El cuestionario pretendía fundamentalmente conciliar aspectos y estaba integrado por tres partes (Tabla 5). La primera parte se refiere a consultar el impacto de la formación y del ejercicio en particular en los ejes del modelo educativo de la universidad, que propende al compromiso, la diversidad y la excelencia; la segunda parte del cuestionario revisa en ambas instancias la percepción de conocimientos disciplinares y sobre BIM; la tercera pregunta sobre la estimación de algunos indicadores de producción. Esos aspectos fueron definidos de acuerdo a la literatura en el área, considerando los eventuales beneficios de BIM en reducción de tiempo de proyecto, cantidad de documentos, interferencias de especialidades, consultas de información, análisis de proyectos, etc. Los documentos producidos por los estudiantes fueron analizados posteriormente por un grupo de expertos del área (cuatro profesores universitarios de distintas asignaturas; proyectos de arquitectura, ingeniería estructural, ingeniería en construcción y diseño energético-ambiental), y la entrevista grupal fue conducida por los investigadores con un asistente de registro, y desarrollada según los criterios encuestados, culminando con una discusión abierta de aspectos positivos, negativos y recomendaciones para experiencias similares.

Tabla 4: Métodos de evaluación del ejercicio.

Método	Participantes	Objetivo
Cuestionarios	Estudiantes Participantes	Verificar Criterios de Evaluación
Entrevista	Estudiantes Participantes	Detectar Aspectos Positivos, negativos y recomendaciones
Análisis de Documentos y Evaluaciones	Investigadores y Expertos Invitados	Valorar el desarrollo y establecer relaciones

Tabla 5: Criterios de evaluación.

Educacionales	Compromiso
	Diversidad
	Excelencia
Conocimientos	Arquitectura
	Diseño sustentable
	Estructura
	Presupuestos de Construcción
	BIM
	Construcción impresa
	Trabajo multidisciplinario
Indicadores	Duración del proyecto
	Cantidad de documentos
	Interferencias de especialidades
	Consultas de información
	Análisis de proyectos
	Aspectos de estudio
	Especialidades involucradas

DESARROLLO

En la reunión inicial, y también previamente por escrito, se les entregaron a los estudiantes participantes la descripción del edificio a proyectar, con algunas imágenes de ejemplos similares de construcción impresa (Figura 2), fotos del sitio (Figura 3 a) y un archivo con el repertorio general de modelos con muros impresos y modelo seleccionado con sus variaciones (Figura 3 b y c). Se discutieron las condiciones y posibles implicancias, y se les instó también a visitar algunos de los edificios similares existentes en la ciudad para determinar algunos requerimientos específicos (por ejemplo, iluminación interior, la visibilidad desde la calle, su distribución funcional, etc.). Igualmente, se les sugirió preparar o recopilar información técnica para la primera sesión. Se acordó también que en la segunda sesión se destinarían 20 minutos para revisar con los investigadores el desarrollo y las condiciones generales. La estudiante encargada de los presupuestos planteó en esta fase inicial dificultades técnicas para recopilar las mediciones del modelo e integrarlas con los precios unitarios de las bases nacionales disponibles. Así mismo se aplicó un cuestionario inicial en línea sobre los aspectos educacionales, disciplinares y de producción.

Figura 2: Ejemplos de Construcción Impresa (28)

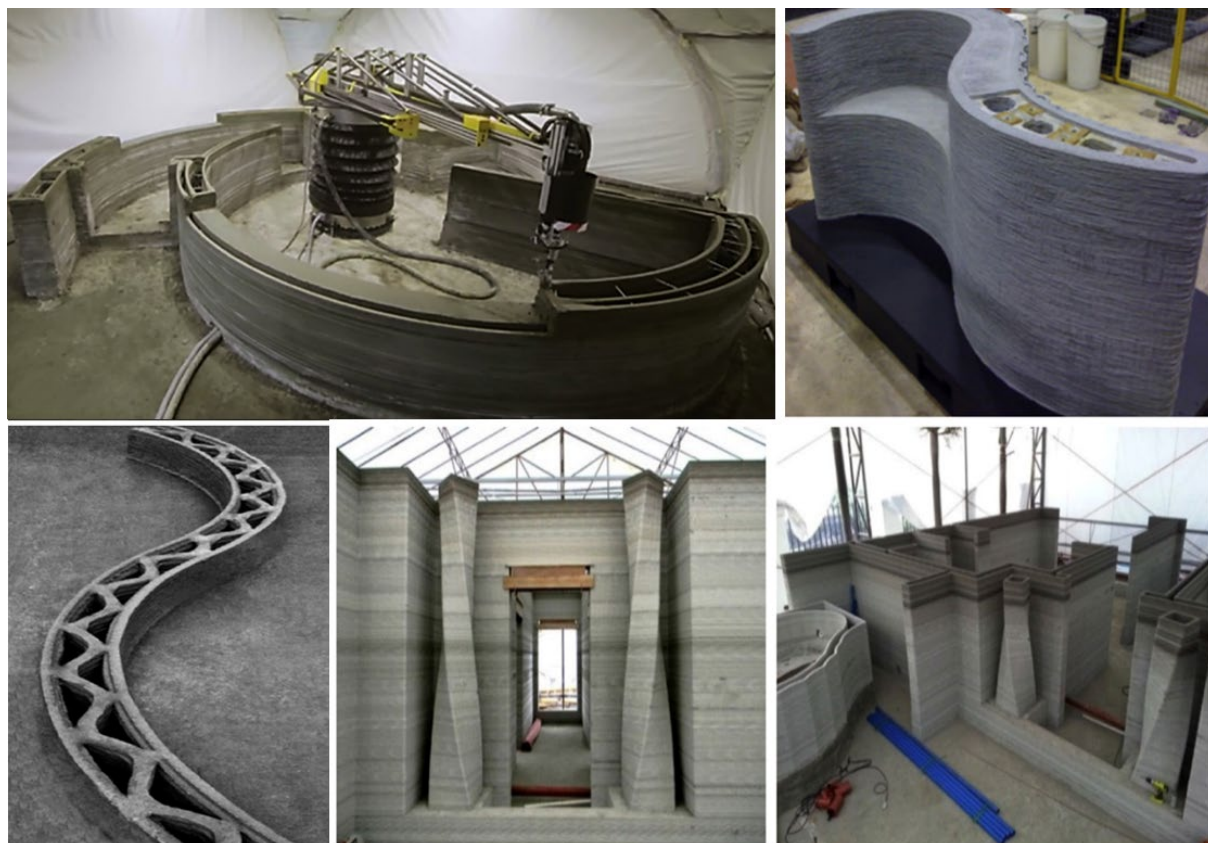
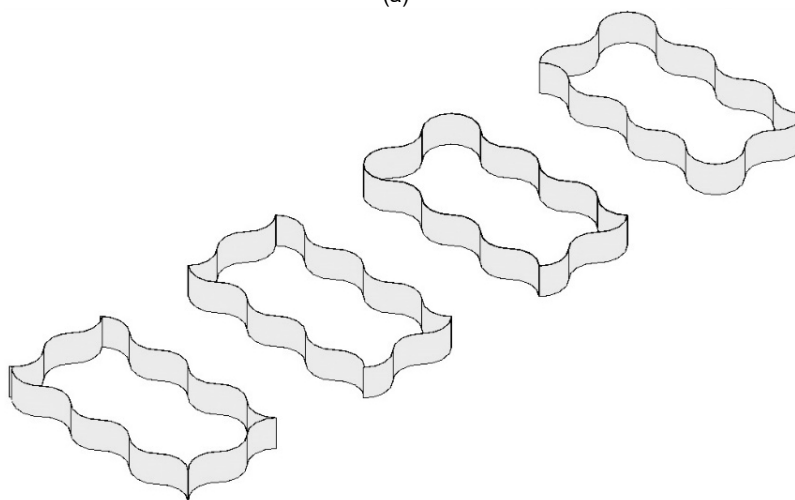


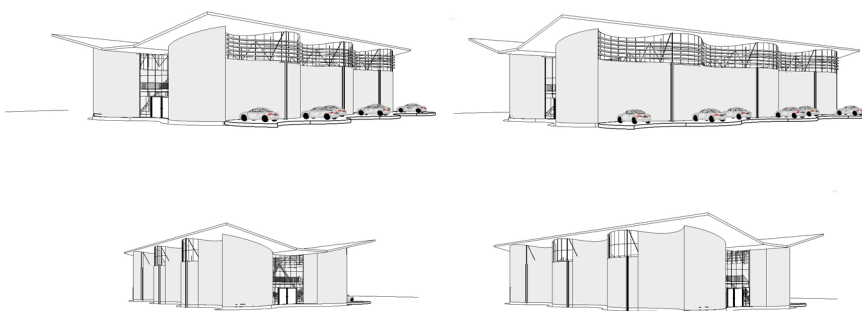
Figura 3: Foto aérea del sitio (a) (29), modelos de muros impresos (b) y modelo seleccionado con variaciones (c)



(a)



(b)



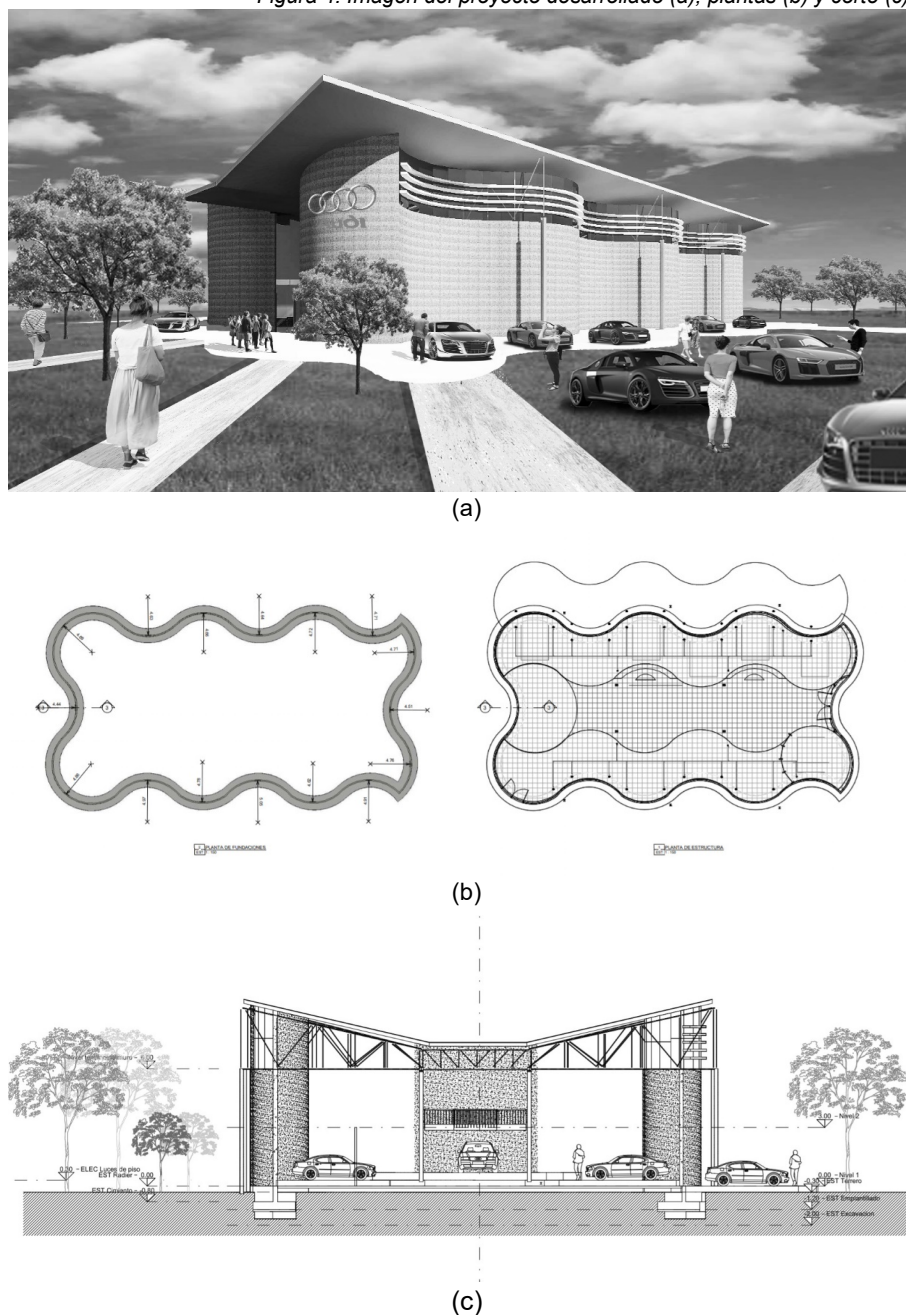
(c)

Las sesiones se realizaron con asistencia completa, exceptuando el asesor sustentable, que estuvo ausente la primera sesión, y la cuarta sesión fue pospuesta un par de días por acuerdo del grupo. En la reunión final, realizada tres días después de la cuarta sesión, se recogieron los documentos finales impresos y digitales. En la observación de las sesiones se advirtió un trabajo individual concentrado, con consultas ocasionales entre algunos participantes, que usualmente implicaban luego una definición de ciertos elementos, y en ocasiones suscitaban una discusión general y una posterior redefinición, especialmente en torno a aspectos del diseño arquitectónico, que generaron tensiones interpersonales. En los aspectos técnicos, se mantuvo una constante integración de los modelos (por actualización automática cada 15 minutos), con ajustes específicos de algunas dimensiones o elementos entre especialidades, e intercambio del modelo tridimensional con la simulación energética. La cuantificación del presupuesto no pudo ser integrada, y solo era consultada verbalmente, al utilizar bases de precios y planillas de presupuestos independientes. La consideración de algunas metas globales (costo, demanda energética, visualización) en la última sesión provocó un cuestionamiento para considerar estos aspectos más tempranamente.

Los documentos entregados consistieron en el diseño arquitectónico, presentado en seis planos A1 con emplazamiento, plantas, fachadas y corte, además de unas perspectivas interior y exterior con ambientación. En estructura y electricidad se entregaron una lámina A1 por cada especialidad, con plantas, simbología y algunos detalles. En presupuesto se entregó un reporte de 25 páginas con mediciones, precios unitarios y detalle total. La asesoría sustentable entregó un documento de 25 páginas con supuestos de análisis, datos climáticos locales, recomendaciones de diseño, condiciones de simulación energética y resultados para dos alternativas (una realizada durante el desarrollo y otra al finalizar el ejercicio).

El proyecto entregado contempló un diseño basado en uno de los modelos básicos entregados, seleccionado la alternativa de esquinas redondeadas, con una techumbre metálica con pendiente central y apoyo en pilares exteriores (Figura 4 a, b y c). Se consideró también un acceso central y una circulación principal longitudinal. Las magnitudes y porcentajes de superficies se acogieron adecuadamente (aunque no se cuantificaron). Se contempló envolvente con ventanales de doble vidrio, y en los muros impresos se agregó por el exterior un revestimiento con aislamiento y estuco de terminación; se consideraron así mismo fundaciones corridas y una red de alimentación e iluminación colgante de cubierta e insertadas en el pavimento (en un costado también al exterior). El presupuesto entregado presentó un valor final de 9,75 UF/m² (un 20% inferior a la referencia otorgada), con un 7% de participación de los muros impresos (aunque agregando el revestimiento los paramentos involucraban un 20% del total económico). El análisis de sustentabilidad expresaba una demanda inicial de 283 kWh/m² año, que luego se redujo a 115 kWh/m² año, con ajustes de equipos de iluminación y horario de uso, lo que equivale aproximadamente al consumo anual requerido para este tipo de edificios (Figura 5 a).

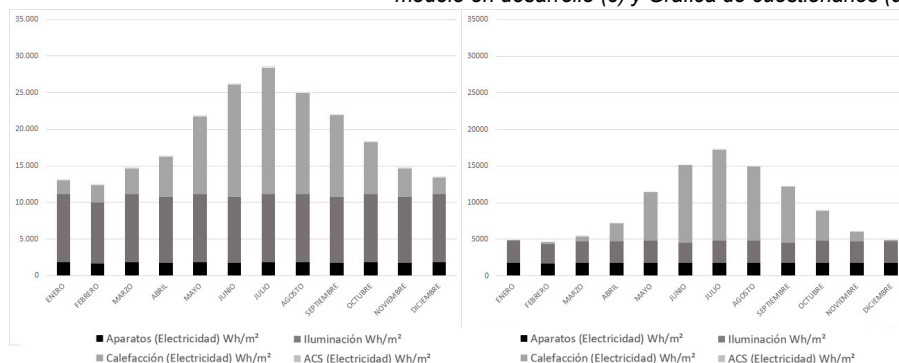
Figura 4: Imágen del proyecto desarrollado (a), plantas (b) y corte (c).



De acuerdo a lo analizado con los expertos del área, los documentos entregados evidenciaban un diseño bastante completo del proyecto, aunque de nivel intermedio; superior a proyectos similares desarrollados en asignaturas curriculares (especialmente por la diversidad de especialidades), pero inferior a un proyecto profesional de ejecución (al carecer de algunos detalles constructivos y algunos aspectos controvertidos). Del mismo modo reconocieron un desarrollo relevante para la cantidad de sesiones realizadas y tiempo dedicado, estimando que un proyecto equivalente requiere unas tres o cuatro veces más de tiempo. Se consideró así mismo una calidad de diseño y especificación técnica adecuada y pertinente, aunque careciendo de

detalles constructivos básicos y una conciliación de aspectos. Se destacó la resolución de la cubierta, que aporta expresivamente al diseño con una estructura de soporte independiente, así como la cobertura térmica de los muros; aunque también se reprochó el menor aprovechamiento espacial y climático del proyecto.

Figura 5: Gráficos de Demanda Energética Mensual (a, modelo inicial; b; modificado), Vistas de modelo en desarrollo (c) y Gráfica de cuestionarios (d).

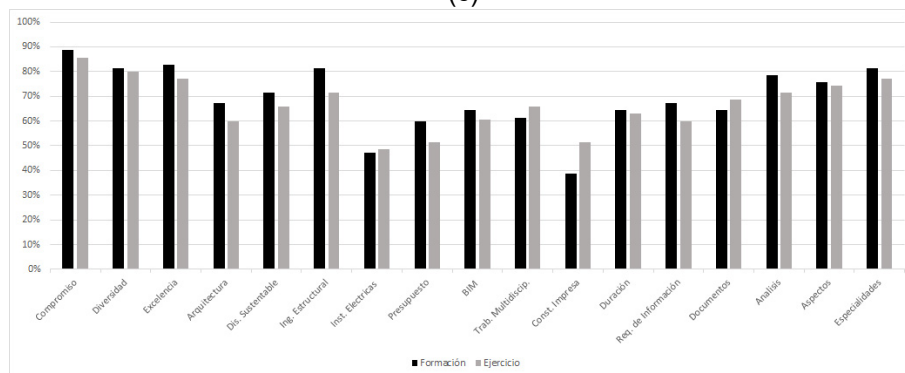


(a)

(b)



(c)



(d)

El diseño arquitectónico realizado se ciñe bastante a las condiciones básicas de la configuración, en cuanto a su organización y cobertura dispuesta de manera longitudinal, regular y simétrica, lo que sugiere que los estudiantes que elaboraron el diseño arquitectónico no tuvieron el tiempo suficiente (o no se atrevieron) para modificar la forma inicial sugerida (como por ejemplo

desplazar la techumbre o cambiar la configuración). De hecho, también en la relación con el exterior se limitaron a extender la base del costado con mayor visibilidad formando unas circulaciones directas al acceso (Figura 5 b). Sin embargo, la propuesta estructural y de iluminación se elaboran más detalladamente y en consonancia con la formulación espacial (aunque aparentemente pueden requerir un mayor dimensionamiento de los elementos al someterse a cálculo). El análisis energético-ambiental y de presupuesto incidió fundamentalmente en asegurar condiciones térmicas con revestimiento exterior y acristalamiento doble, dentro de costos alcanzables, pero tampoco alcanzó un mejoramiento del aprovechamiento solar o de materiales más sencillos.

Respecto a los cuestionarios iniciales (sobre la formación general en la universidad) y finales (sobre el ejercicio), en general se valoran muy positivamente los criterios educacionales (con un 84% global en la formación y 81% en el ejercicio), especialmente de compromiso con el aprendizaje, lo que se remarca en la entrevista grupal (Figura 6). Los conocimientos disciplinarios son más variables entre los participantes, según su carrera, aunque las medias son positivas (61,4% y 60%), con una diferencia relevante entre estudiantes de arquitectura e ingeniería entre propias especialidades y las ajenas; y en la valoración general (los arquitectos son más positivos), pero regular en las restantes (más bajo en instalaciones eléctricas y construcción impresa (32%) y mayor en BIM y trabajo multidisciplinario). No obstante, no se encuentran diferencias sustanciales entre la experiencia y la formación general (Figura 5 c). En la entrevista grupal ratifican estas consideraciones valorando mayormente el dominio de BIM. En relación a indicadores de desempeño, en general también es positiva (71,9% y 69%), enfatizando la capacidad de análisis y especialidades, por sobre la producción documental, y en este caso los estudiantes de ingeniería son más positivos.

Así mismo, en la entrevista grupal plantean muy positivamente el aprendizaje de colaboración extrema (trabajar todos juntos al mismo tiempo), y también, aunque más levemente, la modelación integrada en BIM (Figura 6). Reconocieron también que debieron complementar desarrollos en tiempos individuales (unas 8-10h adicionales, además de las 12h de trabajo conjunto), totalizando aproximadamente 20h cada uno, y para el grupo un total de 120h, lo que se puede estimar como el tiempo total de producción multidisciplinaria del proyecto desarrollado. En los aspectos positivos identificados reconocen fundamentalmente los siguientes; conocer formas de trabajar de otras especialidades, uso de herramientas BIM, aplicar conocimiento de su área, experiencia de trabajo aplicado, y la interacción entre personas. Entre los aspectos negativos, indican la carencia de una coordinación o jerarquía en el grupo de trabajo para resolver algunas tomas de decisiones y la incertidumbre sobre algunas condiciones de trabajo o resultados esperados (como detalles constructivos que no se habían precisado previamente o consideración de aspectos espaciales, energético-ambientales o económicos que se discutieron posteriormente). Finalmente sugieren programa parcialmente el desarrollo según especialidades, considerar capacitación básica en BIM, vincular mayormente modelación y presupuesto, y considerar análisis de operación del edificio. Valorando muy positivamente el trabajo conjunto en torno a un proyecto, aunque considerando que una mayor experiencia y planificación les permitiría programar mayormente el desarrollo y alcanzar más integradamente las metas.

Figura 6: Respuestas a los cuestionarios y respuestas relevantes.

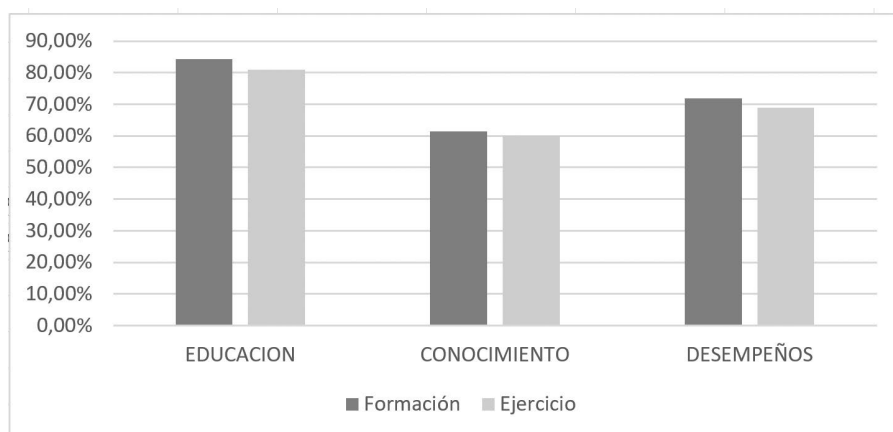


Tabla 6: Respuestas relevantes.

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos	Sugerencias
Conocer otras especialidades	Carencia de Coordinación	Programar Desarrollos Parciales
Uso de Bim	Incertidumbre de Resultados Esperados	Capacitación Básica em BIM
Aplicar Conocimientos	Avances Desfasados	Vincular Modelación y propuesta
Experiencia de Trabajo		Analizar Operación del Edificio
Interacción Grupal		

CONCLUSIONES

La experiencia realizada para evaluar colaboración extrema con modelación BIM en la enseñanza de proyectos de edificación se caracterizó, primeramente, por la concentración de aspectos abordados con un grupo de estudiantes y en un tiempo de trabajo breve. Se logró un desarrollo relevante de condiciones técnicas en el diseño propuesto y un impacto sustancial en los participantes, de acuerdo a lo indicado en los cuestionarios y entrevistas, así como en la revisión de investigadores y expertos. Aunque la experiencia está limitada al ámbito educacional con un grupo pequeño de estudiantes, también emergen consideraciones particulares en la actividad, que podrían sugerir condiciones para desarrollar más efectivamente otras experiencias similares. A partir de las observaciones y resultados alcanzados, se advierte que se debería disponer de una programación más detallada, en cuanto a los requerimientos esperados de producción y diseño, así como la secuencia de labores, incluyendo un coordinador especialmente dedicado y/o la designación de uno de los participantes para dirimir resoluciones y conducir la planificación. Considerando un desfase parcial de los desarrollos, combinando la dedicación individual con la colectiva, en particular respecto al diseño arquitectónico y asesoría de condiciones ambientales, respecto al diseño estructural y de instalaciones, como también del presupuesto. Aunque

manteniendo una secuencialidad e integración, que permita retroalimentar condiciones entre las distintas especialidades. Así mismo ponderar más cabalmente el tiempo de dedicación en relación a la magnitud y singularidad del encargo, como también a la formación y experiencia de los participantes, es relevante, más allá de las definiciones organizacionales. Proveyendo también de instancias de reflexión crítica, que permitan estimular la calidad del diseño, logrando proyectos integrales y efectivos, pero también pertinentes y significativos.

No obstante los beneficios identificados a través de la presente investigación, y el potencial que presenta la metodología de colaboración extrema combinada con BIM en el ámbito profesional y académico, es menester mencionar que, por tratarse de un estudio exploratorio, es necesario continuar desarrollando nuevos análisis, que incluyan no solo un mayor número de estudiantes, sino también a profesionales que ya se encuentren desarrollando proyectos (arquitectos, ingenieros civiles e ingenieros de especialidades). Es posible que se encuentren otras dificultades en la gestión, como concertar a los profesionales en los mismos lugares y momentos para trabajar colaborativamente. Por esto se deben verificar los resultados obtenidos en el presente estudio, para ser extrapolados a otros ámbitos, incluyendo no solo proyectos de edificación, sino también de otra índole: industriales, infraestructura, productos, etc.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los proyectos Fondecyt 1171108 y 1181015, y el Grupo de Investigación en Diseño Integrado de la U. del Bío-Bío por la financiación y el apoyo para la realización de esa investigación.

REFERENCIAS

1. JUNG, Wooyoung and LEE, Ghang. The Status of BIM Adoption on Six Continents. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2015. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1100430>
2. THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. *Integrated project delivery: A guide*. Washington, 2007. Available from: http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf
3. ASTMAN, Chuck. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, and facility managers*. Wiley, 2011. ISBN 9780470185285. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119287568>
4. ARDIN, BRAVE; MCCOLL, Dave. *BIM and Construction Management - Proven tools, methods, and workflows*. Indiana: John Wiley & Sons, 2014. ISBN 9780874216561.
5. WATERHOUSE, Richard and PHILP, David. *NBS BIM Report 2016*. London: RIBA Enterprises LTD 2016. Available from: <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2016>
6. UI, Nam, MERSCHBROCK, Christoph and MUNKVOLD, Bjørn Erik. A Review of Building Information Modelling for Construction in Developing Countries. In : *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 164, p. 487-494. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.649>

7. OYOLA, Mauricio and LÓPEZ, Felipe. An evaluation of the macro-scale adoption of Building Information Modeling in Chile: 2013-2016. *Revista de la Construcción*. 2018. Vol. 17, no. 1, p. 158-171. <https://doi.org/10.7764/rdlc.17.1.158>
8. HACHERE, John, LEVITT, Raymond E and JOHN KUNZ. Can You Accelerate Your Project Using Extreme Collaboration? A Model Based Analysis. Technical Report 154. 2003. Available from: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:sd007yg8399/TR154.pdf>
9. ARCIA, Ana Cristina Bicharra, KUNZ, John, EKSTROM, Martin and KIVINIEMI, Arto. Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction. *Advanced Engineering Informatics*. 2004. Vol. 18, no. 2, p. 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2004.09.001>
10. LHAVAL, Otto, LAINE, Enni and KIVINIEMI, Arto. Intensive big room process for co-creating value in legacy construction projects. *Journal of Information Technology in Construction*. 2015. Vol. 20, p. 146-158. Available from: <http://www.itcon.org/2015/11>
11. AJUN XU, CEES BIL, Guobiao Cai. Overview on the Development of Concurrent Design Facility. In : *20th ISPE International Conference on Concurrent Engineering*. 2013. p. 550–559. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-302-5-550>
12. UNG, L. and SHAURETTE, M. Working collaboratively in design and construction to encourage green building construction for Perú. *Revista Ingeniería de Construcción*. 2018. Vol. 33, no. 2, p. 71-83. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200183>
13. FORCAEL, E, GARCÉS, G, BACKHOUSE, P and BASTIAS, E. How do we teach? A practical guide for engineering and education. *International Journal of engineering and education*. 2018. Vol. 34, p. 1451–1466.
14. MONEDERO ISORNA, Javier. Enseñanza y práctica profesional de la arquitectura en Europa y Estados Unidos: estudio comparativo sobre la situación en el año 2000. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, 2002. ISBN: 8495249146 9788495249142
15. VALENCIA RESTREPO, Darío. Crisis y Futuro de la Ingeniería. *Ingeniería y competitividad*. 2011. Vol. 2(2), p. 63-68. <https://doi.org/10.25100/iyc.v2i2.2344>
16. DUBALLET, R., BAVEREL, O. and DIRRENBARGER, J. Classification of building systems for concrete 3D printing. *Automation in Construction*. 2017. Vol. 83, p. 247-258. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.018>
17. LABONNOTE, Nathalie, RØNNQUIST, Anders, MANUM, Bendik and RÜTHER, Petra. Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in construction*. 2016. Vol. 72, no. 3, p. 347-366. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026>
18. MATHEWS, Malachy. BIM collaboration in student architectural technologist learning. In : *AEI 2013: Building Solutions for Architectural Engineering - Proceedings of the 2013 Architectural Engineering National Conference*. 2013. Dubil (2013). ISBN 9780784412909. <https://doi.org/10.1061/9780784412909.001>
19. ARA DURÁN, Cristina Elizabeth. *Colaboración extrema y gestión de compromisos en la etapa de diseño de proyectos*. Tesis de Magister. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2010. Available from: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/1390>
20. PIETARI PELLINEN. *Developing design process management in BIM based project involving infrastructure and construction engineering*. Master's Thesis. Aalto University, 2016. Available from: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/19964>
21. NTWI-AFARI, M. F., LI, H., PÄRN, E. A. and EDWARDS, D. J. Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. *Automation in construction*. 2018. Vol. 91, p. 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.010>
22. SHAFIQ, Muhammad Tariq, MATTHEWS, Jane and LOCKLEY, Stephen R. A study of BIM collaboration requirements and available features in existing model

- collaboration systems. *Journal of Information Technology in Construction*. 2015. Vol. 18, p. 148-161. Available from: <https://www.itcon.org/paper/2013/8>
23. DOMINIK, Holzer. *The BIM Manager's Handbook: Guidance for professionals in architecture, engineering, and construction*. London: John Wiley & Sons, 2016. ISBN 9781118982402. <https://doi.org/10.1002/9781118982310>
24. ADDOR, Miriam R A and SANTOS, Eduardo Toledo. BIM Coordination Room Layout: Assessment Criteria and Metrics. In: Proceedings of the 32nd International Council for Building Research Studies and Documentation W78 Conference 2015, 27th-29th October 2015. Netherlands, 2015. Available from: <http://itc.scix.net/pdfs/w78-2015-paper-001.pdf>
25. ALHAVA, Otto, LAINE, Enni and KIVINIEMI, Arto. Intensive big room process for co-creating value in legacy construction projects. *Journal of Information Technology in Construction*. 2015. Vol. 20, p. 146-158. Available from: <https://www.itcon.org/paper/2015/11>
26. GABRO, JEMI. *iBIM - integrated building information modeling. An integrated BIM team in the design phase*. Master's Thesis. Chalmers University, 2014. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/iBIM-integrated-Building-Information-Modeling-An-in-Gabro/7230d56b28609e3b8efe9ee67c8b7133621d9e9b>
27. BRUSCATO U. Digital practices in architecture: Six international experiences. *ArquiteturaRevista*. 2011. Vol. 7, no. 2, p. 182–189. <https://doi.org/10.4013/arq.2011.72.08>
28. GHAFAR S. H., CORKER J., y FAN M. Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. *Automation in Construction*. 2018, Vol. 93 pp. 1–161. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.005>
29. GOOGLE EARTH. Vista aérea del sitio del proyecto. 2019. Localización 36°48'16.0"S 73°03'18.7"W, altura de cámara 600 m.

NOTAS

i La UF es una unidad financiera empleada en Chile, reajutable de acuerdo a la inflación. Su valor lo fija el Banco Central de Chile. En Septiembre de 2018, 1 UF equivalía a 27.357,45 CLP.

Submetido: 10.12.2018
Aceito: 07.05.2019