



Adaptando el Lean Project Delivery System a la elaboración o actualización de un plan de estudios de ingeniería civil incorporando BIM, Realidad Virtual y Fotogrametría

Adapting Lean Project Delivery System to the elaboration or updating of the Civil Engineering Undergraduate Degree Plan, incorporating BIM, Virtual Reality and Photogrammetry

Xavier Brioso ^{1*}, Diego Fuentes-Hurtado ²,

¹ Profesor Principal, Grupo de Investigación GETEC, Pontificia Universidad Católica del Perú, xbrioso@pucp.edu.pe

² Profesor Contratado, Grupo de Investigación GETEC, Pontificia Universidad Católica del Perú, d.fuentes@pucp.pe

Recibido: 10/10/2020 | Aceptado: 20/11/2020 | Fecha de publicación: 31/12/2020

DOI: 10.20868/abe.2020.3.4509

TITULARES

- Actualización del plan de estudios de ingeniería civil
- Enseñanza de BIM, Realidad Virtual y fotogrametría
- Utilización de herramientas y tecnología en la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción

HIGHLIGHTS

- Update on Civil Engineering Undergraduate Degree Plan
- Teaching BIM, Virtual Reality and photogrammetry
- Using tools and technology in the Architecture, Engineering and Construction industry

RESUMEN

El Lean Project Delivery System (LPDS) es un sistema que implementa principios y herramientas Lean en todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción. El LPDS es adaptativo pues es flexible para especificar las entradas y salidas de los procesos y tiene la libertad de elegir herramientas, técnicas y tecnologías acorde a las últimas tendencias. El propósito principal de este artículo es presentar un marco de generación de valor a través de la adaptación del LPDS al proceso de revisión de un plan de estudios. Este trabajo adapta el modelo del LPDS al proyecto de elaboración o actualización de un plan de estudios de la especialidad de ingeniería civil, incorporando BIM, realidad virtual y fotogrametría a lo largo de las asignaturas del área de gestión de la construcción. Se incluyen herramientas blandas y competencias tecnológicas que potencian la empleabilidad del egresado. Como estudio de caso se presenta la aplicación del modelo en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Palabras clave: *Lean Project Delivery System, Grado de Ingeniería Civil, Enseñanza, Innovación educativa, BIM, Realidad Virtual, Fotogrametría*

ABSTRACT

Lean Project Delivery System (LPDS) is a system that implements Lean principles and tools throughout the life cycle of a construction project. The LPDS is adaptive because it's flexible enough to specify the inputs and outputs of each process and allows the freedom to choose tools, techniques and technologies according to the latest trends. The main purpose of this paper is to present a value-generation framework through the adaptation of the LPDS to the Undergraduate Degree Plan process. This work adapts the LPDS model to the current project, elaboration or updating of the civil engineering curriculum, incorporating BIM, virtual reality and photogrammetry in the construction management area subjects. Soft tools and technological skills are included, and as such, enhancing the employability of the undergraduate. As a case study, the application of the model is presented at the Pontifical Catholic University of Peru.

Keywords: *Lean Project Delivery System, Civil Engineering Degree, Teaching, Educational innovation, BIM, Virtual Reality, Photogrammetry*

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a Ballard [1] el Lean Project Delivery System (LPDS) se inicia como consecuencia de investigaciones teóricas y prácticas, y está en un proceso de desarrollo continuo a través de la experimentación en muchas partes del mundo. LPDS es una implementación estructurada de principios y herramientas de Lean Construction que se adaptan al ciclo de vida del proyecto, las cuales se combinan permitiendo que un equipo de trabajo opere eficientemente [2]. La filosofía Lean Construction surge como una adaptación a los proyectos de construcción del sistema Toyota [3], sistema cuyas herramientas últimamente vienen siendo incluidas en las guías de conocimiento de la gestión de proyectos, como por ejemplo en el PMBOK del Project Management Institute [4]. LPDS se desarrolló como una filosofía que incluye reglas para la toma de decisiones, procedimientos para la ejecución de funciones, y herramientas de implementación, incluyendo el software y tecnología cuando sea conveniente [1,5].

LPDS tiene la libertad de elegir herramientas y técnicas y la flexibilidad para especificar las entradas y salidas de los procesos [6, 7], por lo que es un sistema muy adaptativo. El LPDS inicialmente es propuesto para gestionar obras nuevas, pero también se ha adaptado a otros tipos de proyectos, como por ejemplo el reforzamiento de monumentos patrimoniales [8, 9] y en la gestión municipal de aprobación de licencias y fiscalización de obras de construcción [5]. Así como el modelo del sistema Toyota se adaptó a cualquier tipo de proyecto, y generó modelos como el LPDS, el presente trabajo tiene como hipótesis que el LPDS también se puede adaptar a otros tipos de proyectos afines, como por ejemplo en la creación o actualización del plan de estudios del

grado de ingeniería civil. Por lo anterior, el propósito de este trabajo es presentar un marco de generación de valor a través de la adaptación del LPDS al proceso de revisión de un plan de estudios que incorpore BIM, realidad virtual y fotogrametría en las asignaturas del área de gestión de la construcción.

2 MARCO TEÓRICO

LPDS utiliza un enfoque para la entrega de proyectos que trabaja para analizar la interacción del diseño y la construcción con el fin de eliminar el desperdicio y crear valor en cada componente [10] LPDS consta de 13 módulos, nueve organizados en cuatro tríadas o fases interconectadas que van desde la definición del proyecto hasta el diseño, logística e instalación (montaje), más dos módulos de control de producción y el módulo de estructuración de trabajo, ambos concebidos para extenderse a todas las fases del proyecto. El módulo de evaluación post ocupación (lecciones aprendidas) vincula el final de un proyecto con el comienzo del siguiente [11]. En la figura 1 se muestra una adaptación del modelo del LPDS para un proyecto de construcción.

Últimamente, está cobrando mucho auge en el mundo la enseñanza de la filosofía Lean Construction y sus herramientas y técnicas [12,13,14]. Asimismo, la adaptación de sus modelos a cualquier tipo de proyecto.

Por otro lado, se define como Building Information Modeling (BIM) a la representación digital compartida de las características físicas y funcionales de cualquier objeto [15]. BIM describe las herramientas, procesos y tecnologías que proporcionan documentación

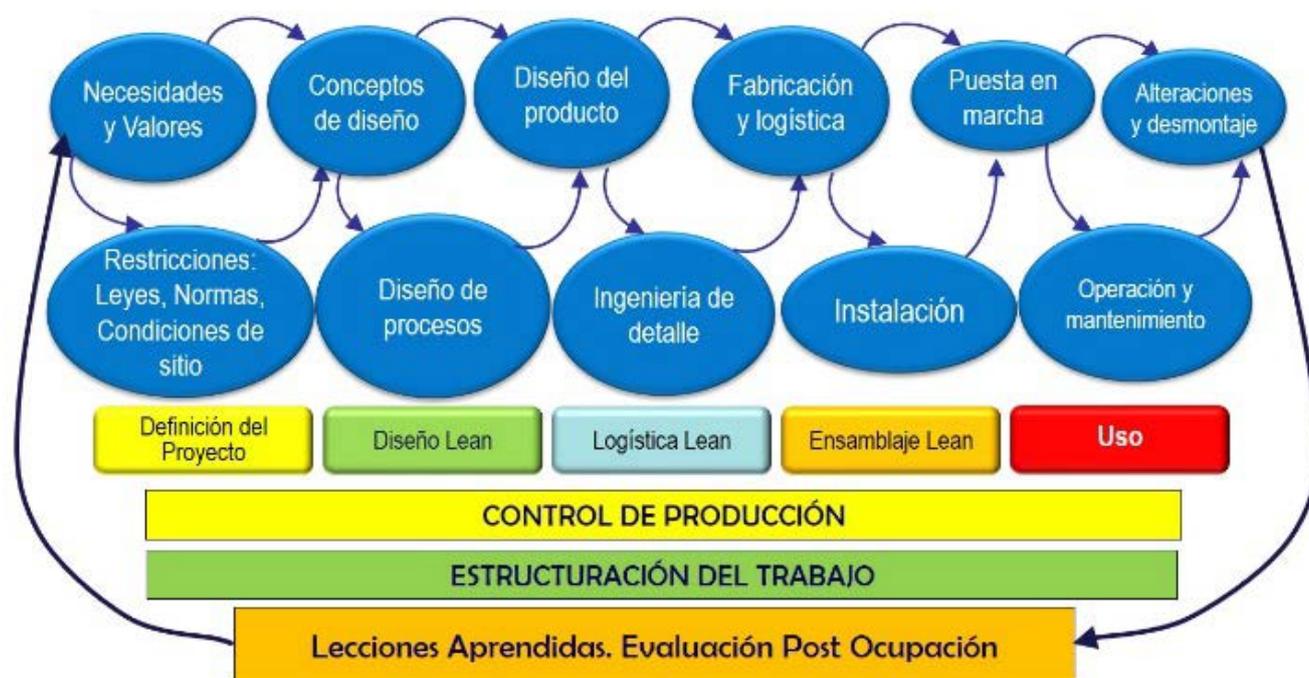


Fig. 1. Lean Project Delivery System (Adaptado de [10])

digital del rendimiento, planificación, construcción y funcionamiento de un edificio [16]. BIM es un sistema que permite la gestión de representaciones digitales de características físicas y funcionales de proyectos de construcción, creando valor a largo plazo y fomentando la innovación [4]. Se ha demostrado que existe sinergia entre el Lean Construction y el BIM, y que su uso simultáneo es una práctica que se viene extendiendo tanto en la industria como en la academia [17, 18, 19]. Ambos enfoques se basan en la planificación colaborativa, argumentación, discusión de ideas, toma de decisiones, entre otros factores comunicativos, por lo que desarrollan las habilidades blandas de los participantes, y, por tanto, aumentan la empleabilidad del estudiantado. Se concluye que su inclusión en los planes de estudio es muy recomendable para cumplir la visión de las universidades. Por ejemplo, en el plan estratégico institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú se indica

que, como parte de su misión, se tiene como meta destacar por su participación activa y creativa en la reflexión crítica sobre problemas de actualidad y en los debates sobre sus posibles soluciones. [20] Definitivamente el uso de Lean Construction y BIM contribuirá en ese cometido.

Asimismo, el uso de la realidad virtual (VR) y la creación de prototipos digitales (maqueta digital) para la revisión del diseño también se utiliza cada vez más durante las fases de diseño y construcción [21, 16]. Además, existe software de realidad virtual disponible para herramientas BIM de uso común [16].

Los escáneres láser terrestres permiten obtener la posición 3D de la superficie de un objeto y es un método común para estudiar la información en 3D de proyectos [22]. Después de escanear una estructura, esta se registra en una nube de puntos [23]. El escaneo láser se puede complementar con fotogrametría de las

superficies donde los datos del láser no brindan suficiente detalle. Los escáneres láser y la fotogrametría se utilizan ampliamente en proyectos, y la aero fotogrametría mediante vehículos aéreos no tripulados, también conocidos como drones, se utilizan a menudo para obtener las ortofotos de las superficies [24]. La información generada por el BIM, la realidad virtual y la fotogrametría se complementan, y se pueden convertir a los mismos formatos, existiendo varias aplicaciones tecnológicas que hacen estas conversiones, cada vez más automatizadas [16, 25].

Como se indicó líneas atrás, se ha demostrado que existe sinergia entre el Lean Construction y el BIM, y, por tanto, con la realidad virtual y la fotogrametría. Asimismo, cada vez existe un

mayor número de universidades en el mundo que incorporan el BIM en sus planes de estudio [26, 27, 28], debido, entre otras razones, a que así lo estipula la regulación de los países de origen y a que el BIM ya es o será obligatorio en la gestión de obras públicas [26, 29].

Por lo expuesto, queda clara la importancia de incorporar BIM y otras tecnologías de transformación digital, como la realidad virtual y la fotogrametría, en los planes de estudio de ingeniería civil, y, de esta manera, aumentar la empleabilidad del estudiantado y generar competencias, por lo que es necesario plantear una metodología que haga este proceso más ágil. En este trabajo, se propone realizarlo mediante la adaptación del LPDS.

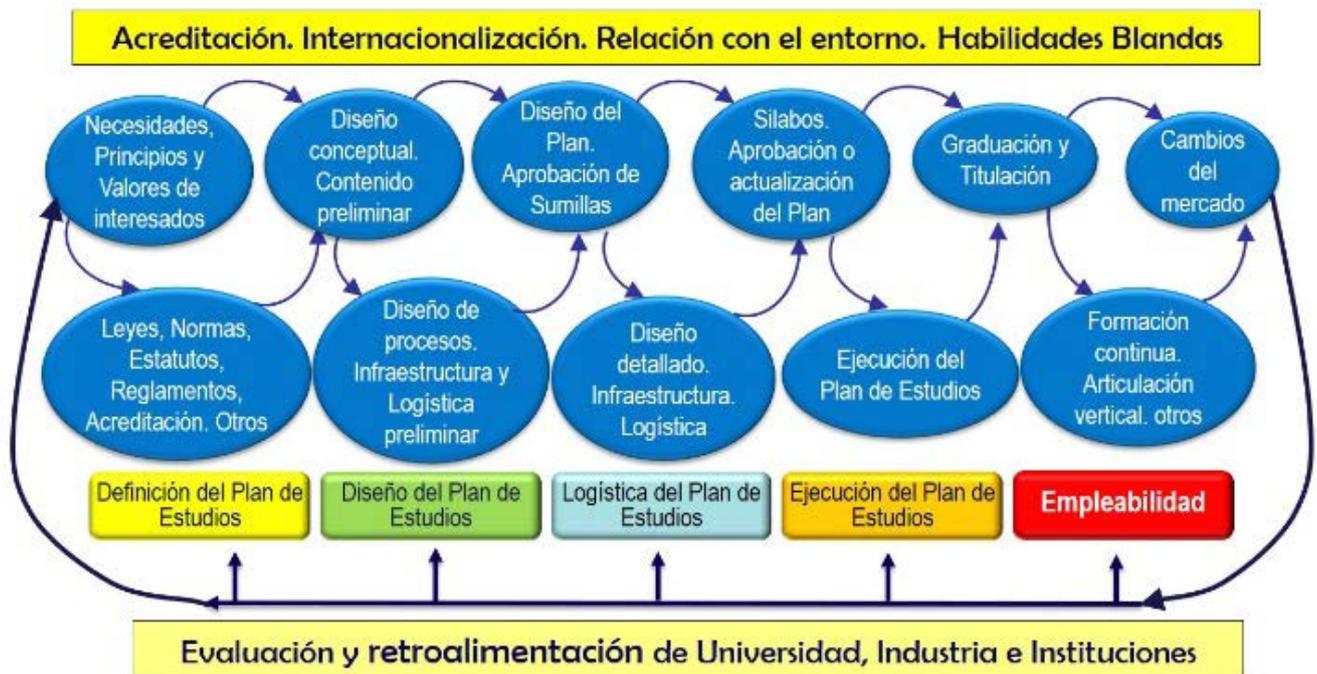


Fig. 2: Adaptación del LPDS a la elaboración o actualización de un plan de estudios (Adaptado de [10])

3 METODOLOGÍA

Para cumplir el propósito de nuestra propuesta se identificó una metodología ágil de adaptación del LPDS para diseñar o revisar planes de estudio, cuyo modelo se muestra en la figura 2.

Cada paso de la metodología sigue la secuencia iterativa de las triadas del modelo adaptado. El proyecto de construcción del LPDS es reemplazado por el plan de estudios, el cual se diseña o revisa en las dos fases iniciales: (1) Definición del Plan de Estudios, y (2) Diseño del Plan de Estudios. Durante la segunda fase se hace un análisis preliminar de la logística (infraestructura educativa, equipos, software, tecnología, entre otros), la cual es validada en la tercera fase, "Logística del Plan de Estudios". En la cuarta fase de "Ejecución del Plan de Estudios" se implementa lo que se diseñó o actualizó de manera iterativa en las tres primeras. Finalmente, en la quinta fase de "Empleabilidad" se evalúa en tiempo real el desempeño de los egresados en la industria o instituciones, retroalimentando oportunamente las cuatro fases previas buscando generar la empleabilidad de los nuevos profesionales.

A continuación, resumimos la metodología aplicada a la carrera de ingeniería civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en las asignaturas obligatorias del área de gestión de la construcción, las cuales son: (1) Introducción a la Construcción de Edificaciones; (2) Construcción de Edificaciones; (3) Instalaciones de Edificación; y (4) Planificación de la Construcción [30], en ellas se tiene como objetivo incorporar contenido de BIM, Realidad Virtual y Fotogrametría acorde a las limitantes institucionales y del estudiantado.

- Definición del Plan de Estudios: parte del módulo de necesidades, principios y valores de los interesados, tales como la comunidad universitaria, la industria, las instituciones públicas y privadas, los

usuarios y la sociedad en su conjunto. Esto se combina con el módulo de Leyes, normas, estatutos, reglamentos, guías de acreditación, entre otros lineamientos. Con lo procesado, en el tercer módulo se va generando de manera iterativa diversas alternativas de diseño conceptual y contenido preliminar de las sumillas

- Diseño del Plan de Estudios: la información generada en la primera triada es entrada de esta fase. Se genera el cuarto módulo del LPDS en el que se diseñan los procesos y se evalúa preliminarmente la infraestructura y logística existente para hacer las inversiones y acuerdos con los proveedoras acorde al presupuesto de la institución. Con esta evaluación se valida la factibilidad del plan de estudios y en el quinto módulo se valida el Plan de Estudios a nivel de aprobación de sumillas.
- Logística del Plan de Estudios: se tiene como entrada los resultados de las dos fases previas. En el sexto módulo ya se elabora un diseño o actualización detallada del Plan de Estudios, y se valida de manera más precisa la infraestructura interna y externa disponible, incluyendo equipos, software, acuerdos con proveedores, entre otros, culminando la gestión logística previa a la ejecución del plan. Finalmente, se obtiene el Plan de Estudios aprobado a nivel de sílabos.
- Ejecución del Plan de Estudios: se ejecuta el plan aprobado, retroalimentándolo en tiempo real acorde a la información disponible. Puede existir una limitante en la gestión del cambio de las sumillas, pero debe existir flexibilidad en los sílabos para cambiar de manera ágil las herramientas, tecnologías y métodos educativos para cumplir con el objetivo de generar empleabilidad. Finalmente, el estudiantado

egresa, obtiene su grado y su título profesional.

- **Empleabilidad:** durante esta etapa los egresados son demandados por la industria e instituciones, quienes evaluarán las competencias, habilidades blandas y uso de tecnologías, en ese orden de prioridad, acorde a los cambios en el mercado. Durante el ejercicio profesional de los egresados, el entorno le puede demandar formación continua o estudios de posgrado, por lo que los estudios de pregrado debieron ser lo suficientemente flexibles para que se pueda ligar a la formación continua y posgrado (articulación vertical).
- **Evaluación y retroalimentación:** Durante todos estos procesos, la evaluación de la fase de empleabilidad retroalimentará a todos los módulos de cada fase, de manera que se cumpla con la acreditación e internacionalización institucional, se generen habilidades blandas y se mantenga una relación muy estrecha con el entorno.

4 RESULTADOS

En los cursos de pregrado de la carrera de ingeniería civil hemos implementado de manera

orgánica el uso de las herramientas de la metodología BIM al nivel requerido para cada curso, y de esta manera mejorar el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje de cada asignatura y para dotar de capacidades a nuestros alumnos, generando empleabilidad, habilidades blandas y uso de tecnología acorde a los requisitos de la industria de la construcción e instituciones conexas.

4.1 Asignatura de Introducción a la Construcción de Edificaciones

Se presenta al estudiantado los procesos constructivos en las partidas de las especialidades de estructuras, arquitectura e instalaciones y el procedimiento para obtener sus mediciones. Se ha añadido capacitaciones en el uso de la plataforma BIM Autodesk Revit [31]. Asimismo, se les solicita una tarea individual a desarrollar a lo largo del ciclo que corresponde al modelamiento de un proyecto pequeño de construcción considerando todos los elementos constructivos de Estructuras y Arquitectura para determinar las partidas y mediciones relacionados a partir del modelo BIM creado. (ver Figura 3).

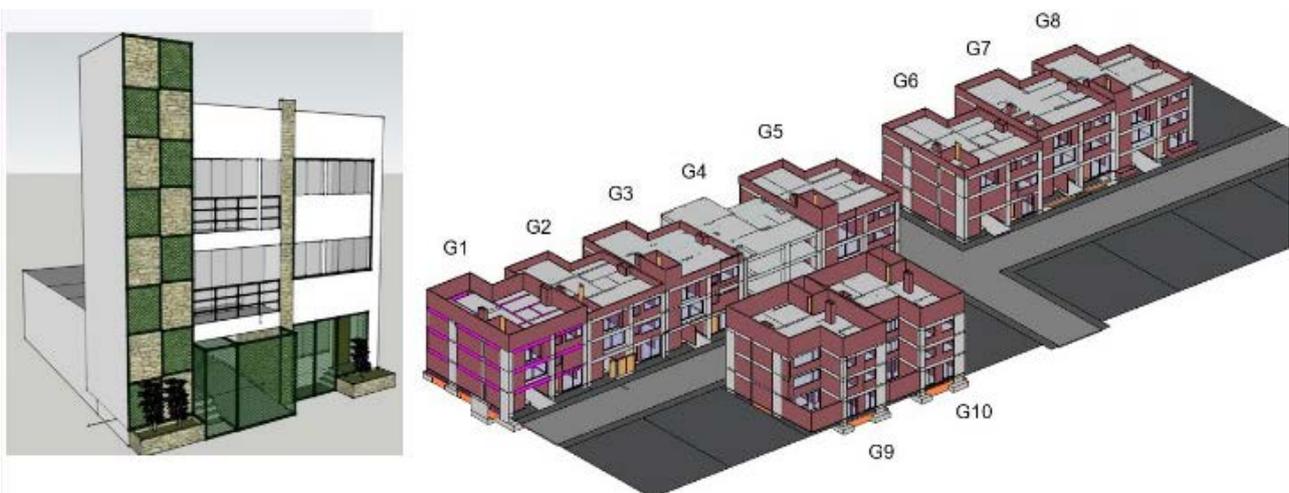


Fig. 3: Ejemplo de tarea en modelado BIM

4.2 Asignatura de Construcción de Edificaciones

Se profundiza en los procesos constructivos, para ello se realizan visitas a obra para poder comprender también la organización y trabajos desarrollados dentro de las mismas. Dada la coyuntura por la pandemia, las visitas a obra se han suspendido y en su reemplazo se vienen implementado visitas virtuales a proyectos de construcción realizadas con tecnología de escaneo laser y fotogrametría durante la etapa de construcción, cuyos gemelos digitales fueron creados, desarrollados y alojados en la plataforma online Matterport [32] (ver figura 4). Los alumnos “visitan” las obras de manera virtual e interactiva y junto con las explicaciones de los profesionales que están a cargo del

proyecto se consigue alcanzar un buen nivel de comprensión del proyecto. Adicionalmente, los alumnos deben de generar layouts de las obras provisionales en entorno BIM de un proyecto de construcción (ver figura 5). Por otro lado, en el curso se enseña a generar y analizar los Precios Unitarios de las partidas para generar el Presupuesto de Ejecución Material (PEM o costo directo) de un proyecto de edificación. Como componente de enseñanza de la metodología BIM relacionado a la estimación de costos, los alumnos deben de crear los precios unitarios y asociarlos a las mediciones obtenidas desde el modelo BIM en un software 5D local denominado Delphin Express BIM 360 [33] para poder determinar el PEM de las partidas de obras preliminares, estructuras y arquitectura de un proyecto de edificación.



Fig. 4: Visitas virtuales a obra en gemelos digitales



Fig. 5: Generación del modelo BIM de obras preliminares

4.3 Asignatura de Instalaciones de Edificación

Se profundiza en los procesos de diseño, cálculos, normativa y procesos constructivos de los sistemas de instalaciones sanitarias (fontanería) e instalaciones eléctricas. El estudiantado realiza el diseño completo de un proyecto básico de edificación en el entorno BIM para lo cual se capacita en el uso de Autodesk Revit MEP [34], generando planos y mediciones

a partir de los modelos creados (ver figura 6). En la etapa final de la asignatura se explica de manera general sobre las instalaciones electromecánicas y especiales, presentando proyectos desarrollados en BIM así como también recorridos virtuales en gemelos digitales de cuartos de bombas y cuartos técnicos de instalaciones eléctricas y comunicaciones, utilizando la plataforma online Matterport [32].

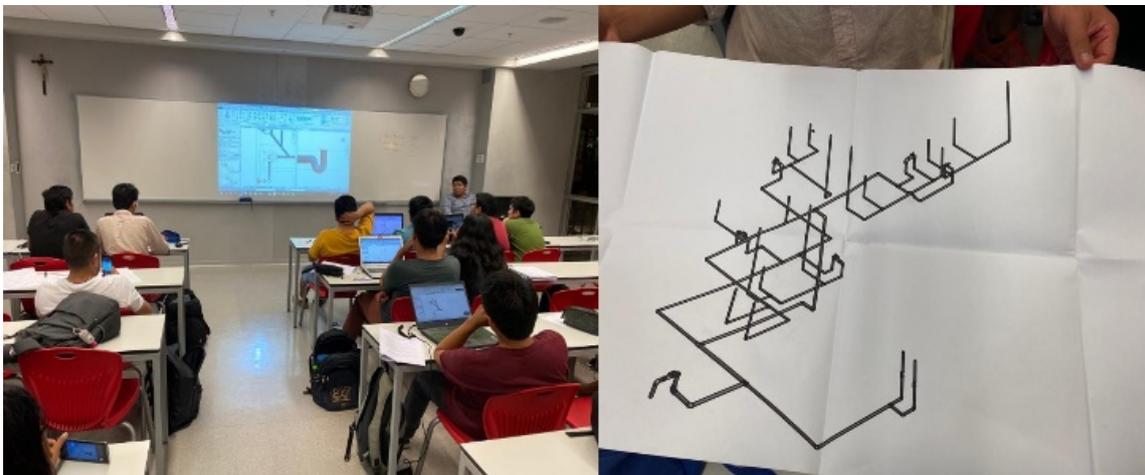


Fig. 6: Capacitación en BIM MEP de Instalaciones Sanitarias (fontanería)

4.4 Asignatura de Planificación de la Construcción

Se desarrollan las técnicas para la programación de los recursos necesarios para la ejecución de proyectos en cuanto a alcance, costo, plazo y calidad. Como componente de enseñanza de la metodología BIM relacionado a la planificación de las obras, los alumnos deben de realizar el layout de obra en Autodesk Revit [31], el desarrollo del cronograma del proyecto en MS Project [35] y la simulación en 4D del proyecto en el programa Navisworks Manage [36] (ver figura 7). Finalmente, para realizar el control de producción y presupuestal del proyecto se utiliza el programa Delphin Express BIM 360 [33] o Construsoft-Vico Office [37] (ver figura 8).

La actualización de las asignaturas obligatorias del plan de estudios contó con la participación colaborativa de los docentes del área de gestión de la construcción, quienes aportaron su experiencia en la gestión de obras reales para lograr un equilibrio entre sesiones de clase y parte práctica de laboratorio. Actualmente, los resultados obtenidos con la implementación preliminar de esta actualización del plan de estudios son satisfactorios, acorde a la opinión de los involucrados, tanto alumnos como docentes. Se está evaluando las oportunidades de mejora detectadas durante la pandemia, para optimizar las asignaturas en los escenarios de clases semipresenciales y clases presenciales.

Adaptando el Lean Project Delivery System a la elaboración o actualización de un plan de estudios de ingeniería civil incorporando BIM, Realidad Virtual y Fotogrametría
Xavier Brioso, Diego Fuentes-Hurtado.

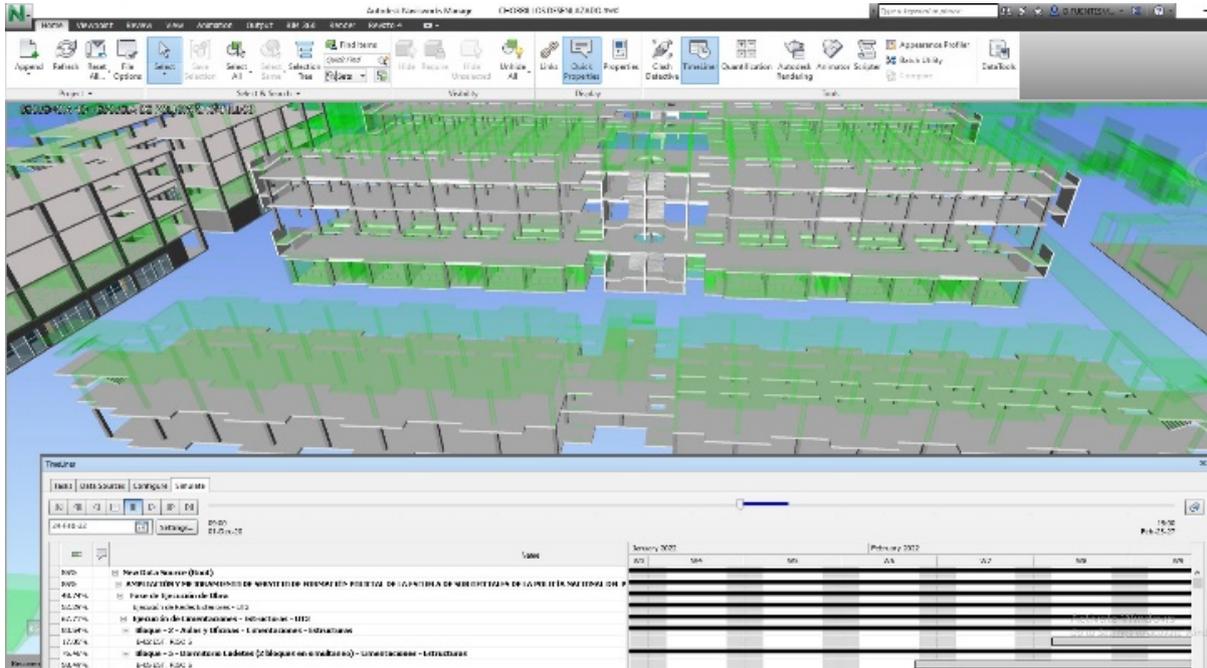


Fig. 7: Modelo 4D usando Navisworks Manage

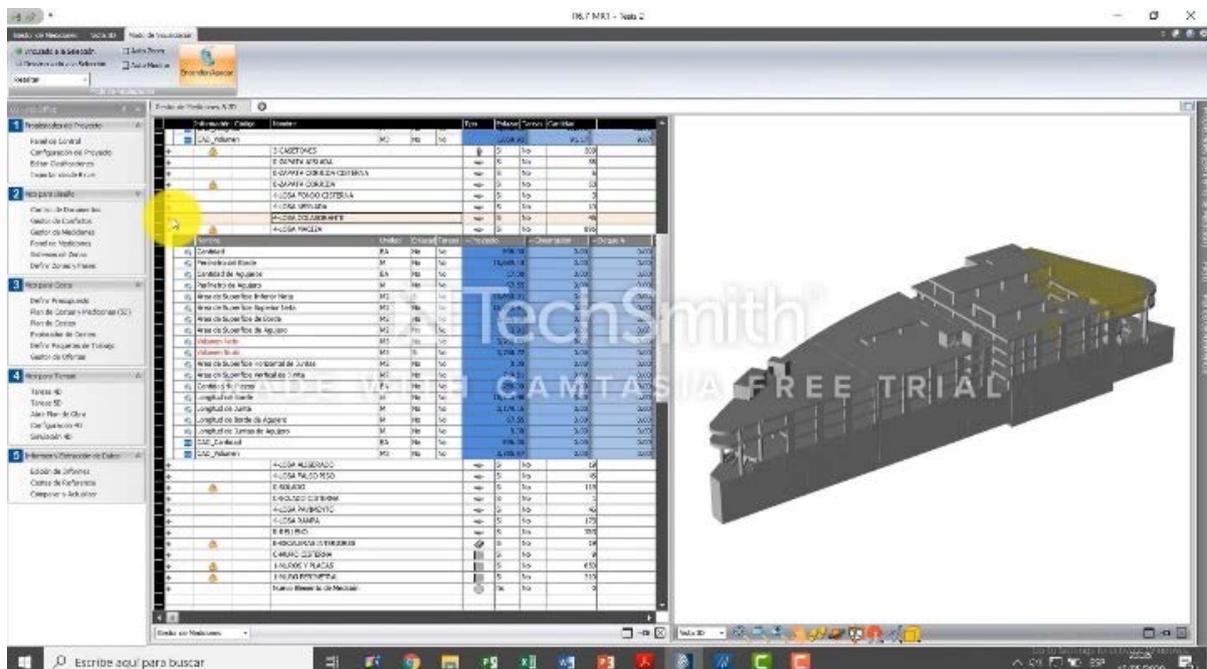


Fig. 8: Aplicación de BIM 5D (3D + Planificación + Costo) en software Vico Office

5 CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo, se ha demostrado que sí es posible la adaptación del modelo del Lean Project Delivery System al proyecto de elaboración o actualización de un plan de estudios de la especialidad de ingeniería civil, incorporando BIM, realidad virtual y fotogrametría en las asignaturas obligatorias. Con esta base, las asignaturas electivas ya podrían demandar un mayor nivel tecnológico. Para implementar el modelo, se debe tener muy claras las necesidades, principios y valores de los interesados, tales como la industria y las instituciones públicas y privadas que van a acoger a nuestros egresados, y que esperan de nuestros egresados competencias en habilidades blandas y uso de tecnología, tales como el BIM, Realidad Virtual y fotogrametría. Nuestras instituciones deben analizar estos requerimientos de manera ágil y satisfacerlos para generar empleabilidad. Para ello, se deberá hacer un equilibrio en el cumplimiento de la regulación, estatutos, reglamentos, guías de acreditación, infraestructura existente, logística, acuerdos con proveedores, entre otros, para generar presupuestos viables e inversiones estratégicas que incluyan equipos, tecnología, software y transformación digital. El plan de estudios se debe retroalimentar en tiempo real acorde a la información disponible obtenida en la industria e instituciones, con el objetivo de que nuestros alumnos sean ciudadanos con sólidos principios éticos y que tengan las competencias valoradas por ellos. Es fundamental actualizar el plan de estudios con la participación colaborativa de los docentes involucrados, muchos de ellos provienen de la industria y aplican estas tecnologías a nivel gerencial, dirigiendo profesionales jóvenes que son los usuarios directos. Todos los docentes y asistentes de docencia deben conocer las potencialidades de estas tecnologías para lograr un equilibrio entre las sesiones de clase y parte

práctica la cual debe estar sincronizada. Se debe evaluar las oportunidades de mejora detectadas durante la pandemia, y seguir buscando oportunidades de nuevas innovaciones según las últimas tendencias de la industria e instituciones, integrando de manera flexible la filosofía Lean Construction, el BIM y las tecnologías [6].

REFERENCIAS

- [1] Ballard, G. (2000). Lean Project Delivery System. Lean Construction Institute. White Paper-8 (Revision 1). Lean Construction Institute.
- [2] Forbes, L. and Ahmed, S. (2020). Lean Project Delivery and Integrated Practices in Modern Construction. (2020) Routledge, 2th Ed.
- [3] Koskela, L. (2000). An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction. PhD Dissertation, VTT Building Technology, Espoo, Finland.
- [4] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (2017). Project Management Institute. Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute, 6th Ed.
- [5] Brioso, X., Humero, A., Murguía, D., Corrales, J. and Aranda, J. (2018). Using Post-Occupancy Evaluation of Housing Projects to Generate Value for Municipal Governments. Alexandria Engineering Journal, 57 (2), pp. 885-896.
- [6] Brioso, X. (2015). Integrating ISO 21500 Guidance on Project Management, Lean Construction, and PMBOK. Procedia Engineering, 123 (2015), pp. 76 – 84.
- [7] Brioso, X. (2015), El Análisis de la Construcción sin Pérdidas (Lean Construction) y su relación con el Project & Construction Management: Propuesta de Regulación en

España y su Inclusión en la Ley de la Ordenación de la Edificación. PhD thesis. Technical University of Madrid, Spain, 2015.

[8] Brioso, X., Aguilar, R. and Calderon-Hernandez, C. (2019). Synergies Between Lean Construction and Management of Heritage Structures and Conservation Strategies - A General Overview. RILEM Bookseries, Volume 18, 2019, Pages 2142-2149.

[9] Alsaggaf, A. & Parrish, K. (2016). A Proposed Lean Project Delivery Process for Preservation Projects in Jeddah City, Saudi Arabia. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, Massachusetts, USA, 20-22 Jul 2016.

[10] Ballard, G., (2008). The Lean Project Delivery System: An Update, Lean Construction Journal, 2008 Issue, pp. 1-19.

[11] Smith, R., Mossman, A. & Emmitt, S. (2011). Lean and Integrated Project Delivery. Lean Construction Journal, 2011 Issue, pp. 1-16.

[12] Devkar, G., Trivedi, J. & Pandit, D. (2019). Teaching Target Value Design: A Simulation. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Dublin, Ireland, 3-5 Jul 2019. pp 479-490.

[13] Ramalingam, S. (2018), Mapping of BIM Process for Teaching Lean. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1291-1301.

[14] Brioso, X., Humero, A. & Calampa, S. (2016). Comparing Point-to-Point Precedence Relations and Location-Based Management System in Last Planner System: A Housing Project of Highly Repetitive Processes Case Study. Procedia Engineering, 164 (2016), pp. 12–19.

[15] International Standards Office (2018). ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of

information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. Geneva: ISO.

[16] Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. (2018) Wiley.

[17] Murguía, D., Brioso, X., Ruiz-Conejo, L. and Fernandez, L. (2017). Process Integration Framework for the Design Phase of a Residential Building. Procedia Engineering, 196, pp. 462-469.

[18] Brioso, X., Murguía, D. & Urbina, A. (2017). Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System. Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal, 9 (2017), Issue 1, pp. 1604–1614.

[19] Sacks, R., Koskela, L., Dave, B., and Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. Journal of Construction Engineering and Management, 2010, 136(9): 968-980.

[20] Pontificia Universidad Católica del Perú (2020). Disponible en: <https://www.pucp.edu.pe/documento/plan-estrategico-institucional-2018-2022/> Visita 19/04/20.

[21] Paes, D., Arantes, E., Irizarry, J. (2017) Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. Automation in Construction, 84, 292-303.

[22] Wang C, Cho YK (2015). Smart scanning and near real-time 3D surface modeling of

dynamic construction equipment from a point cloud. *Automation in Construction*, 49, 239–249

[23] Mills J, Barber D (2004). Geomatics techniques for structural surveying. *J Surv Eng* 130 (2), 56–64.

[24] Oreni D, Brumana R, Della Torre S, Banfi F, Barazzetti L, Previtali M (2014) Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci II-5:267–273*.

[25] Brioso, X., Calderon-Hernandez, C., Aguilar, R. and Pando, M.A. (2019). Preliminary Methodology for the Integration of Lean Construction, BIM and Virtual Reality in the Planning Phase of Structural Intervention in Heritage Structures. *RILEM Bookseries, Volume 18, 2019, Pages 484-492*.

[26] Lozano-Díez, R.V., Oscar López-Zaldívar, O., Herrero del Cura, S. y Mayor Lobo, P.L. (2018). Primeras experiencias en formación reglada del entorno BIM: El caso del Grado en Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid. *ABE (Advances in Building Education / Innovación Educativa en la Edificación)*, 2 (1), pp. 109-121.

[27] Brioso, X., and Calderon-Hernandez, C. (2019). Improving the Scoring System with the Choosing by Advantages (CBA) elements to evaluate Construction-Flows using BIM and Lean Construction. *ABE (Advances in Building Education / Innovación Educativa en la Edificación)*, 3 (2), pp. 9-34.

[28] Vázquez Rodríguez, J., Otero-Chans, D., Estévez-Cimadevila J. (2016). Incorporación de herramientas paramétricas para la generación y análisis del modelo virtual del edificio en la formación de los estudiantes de Arquitectura. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, nº 16, p. 22-27.

[29] Piña-Ramírez, C., Varela-Lujan, S., Aguilera-Benito, P. y Vidales-Barriguete, A. (2017). Aprendizaje de los roles de los agentes BIM en la organización de proyectos. *ABE (Advances in Building Education / Innovación Educativa en la Edificación)*, 1 (1), pp. 47-55.

[30] Pontificia Universidad Católica del Perú (2020). Disponible en: <https://facultad.pucp.edu.pe/ingenieria/carreras/ingenieria-civil/plan-de-estudios/> Visita 25/06/20.

[31] Autodesk Revit (2020). Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview> Visita 24/05/20.

[32] Matterport (2020). Disponible en: <https://matterport.com/es> Visita 12/05/20.

[33] Delphin Express BIM 360 (2020). Disponible en:

<https://itcemsolucionesintegrales.com/delphin-express-bim-2021-r-2-0/> Visita 18/06/20.

[34] Autodesk Revit MEP (2020). Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/revit/mep?plc=RVT&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1#> Visita 09/06/20.

[35] MS Project (2020). Disponible en: <https://www.microsoft.com/es-ww/microsoft-365/project/project-management-software?market=pe> Visita 11/06/20.

[36] Navisworks Manage (2020). Disponible en:

<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?plc=NAVSIM&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1> Visita 20/06/20.

[37] Construsoft-Vico Office (2020). Disponible: <https://www.construsoft.com/bim-software/vico-office> Visita 28/06/20.