

INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES BAJO EL CONCEPTO DE
LA FILOSOFÍA LEAN PARA INNOVAR EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.



ANDRES JULIAN SALAZAR TRILLOS

Ensayo presentado como opción de trabajo de grado para optar por el título de:

INGENIERO CIVIL

Curso internacional Misión de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia-
Valencia-España

Luz Yolanda Morales Martín

Tutor

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ, 2019

INTRODUCCIÓN

El curso internacional en gestión de la innovación realizado por la Universidad Politécnica de Valencia, dejó grandes enseñanzas en los alumnos de la Universidad Militar Nueva Granada como: la importancia de la innovación en cualquier tipo de proyectos, los niveles de adquisición de una competencia, el estudio y análisis hacia el cliente visto desde diferentes perspectivas, mejoramiento en la forma de planificación de proyectos, entre otros. Para los estudiantes del curso internacional fue valioso comprender los niveles de adquisición de una competencia, los cuales son: conocer, comprender, aplicar, analizar, sintetizar, evaluar; dado que esto generó en ellos un concepto claro sobre cómo fortalecer las competencias y desarrollar el razonamiento estratégico. El conocimiento adquirido durante del curso no se relacionó directamente con la ingeniería civil pero sí presentó la innovación como una característica que debe estar presente en los proyectos y en las diferentes áreas de conocimiento de esta profesión y cómo usarlos podría ser beneficioso para el mismo.

Por otra parte es frecuente observar como la gestión de la innovación en los proyectos de construcción en Colombia se ve muy limitada, esto se puede dar por el desconocimiento y aplicación de nuevas herramientas y metodologías para la administración de proyectos, por lo cual el desarrollo y planificación de muchos de estos proyectos todavía se ven inmerso en problemas como retrasos, sobrecostos, cambios de diseños, entre otros.

Según los resultados de las investigaciones que realizó Botero en el año 2005 a 2012 en obras desarrolladas de vivienda en Medellín en las cuales se implementaron el sistema de planificación y control “el último planificador”, se concluyó que las causas de no cumplimiento con las asignaciones programadas semanales se deben en un 43.75 % a subcontratistas y actividades previas, las cuales son controlables por la administración de la obra, y el porcentaje restante, 56.25 %, corresponde a los proveedores, mal tiempo, cambios de diseño, causas no controlables por la administración de la obra y hacen parte del riesgo característico de la actividad de construcción (Rojas, Henao, & Valecia, 2016).

Es por esto que surge la necesidad de encontrar formas innovadoras para mejorar este tipo errores en los proyectos, ya sea por medio de la aplicación de nuevas filosofías, metodologías y herramientas de gestión emergentes.

La aplicación de la filosofía LEAN CONSTRUCCION podría generar un cambio importante en la cultura de todas las instituciones y empresas de construcción en Colombia, el objetivo que se tiene al aplicar esta filosofía es la de disminuir de la mejor manera o en su totalidad todo tipo de desperdicios, eliminando actividades innecesarias y buscando un constante perfección en los proyectos planteados. En la búsqueda de cumplir los objetivos de la filosofía lean es probable que un proyecto sufra cambios los cuales están fuera de lo normal pero funcionan y cumplen con lo que se desea realizar, lo que indirectamente causa que cualquier proyecto se desarrolle de manera innovadora.

El siguiente ensayo busca dar a conocer algunas de las metodologías y herramientas emergentes que actualmente se usan en el mundo tales como Gestión integrada de proyecto (IPD, Integrated Project Design), Modelado de Información para la Construcción (BIM, Building Information Modelling, que junto con la aplicación de la filosofía LEAN CONSTRUCTION logran una mejora considerable en el costo final y desperdicios generados en cualquier proyecto que se desee plantear.

Es importante generar una cultura pro cambio en las empresas vinculadas a la construcción dado que la única forma de mejorar y ser competitivos en el mercado es por medio de una constante actualización y utilización de nuevas técnicas y metodologías.

Según Al-Aomar (2012) para sobrevivir en el competitivo mercado actual, se ha convertido en un imperativo para las empresas de construcción para mejorar la calidad de su trabajo, aumentar la eficacia del trabajo, reducir el desperdicio y los costos, aumentando el beneficio. Esto es especialmente urgente en el contexto de la crisis financieras y de recesión económica. En consecuencia, la combinación de velocidad del proyecto, alta calidad y bajo costo se ha convertido en un esfuerzo clave de ingeniería y gestión para hacer frente a la creciente competencia en el negocio de la construcción. (Traducción: Fuente propia)

LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCCIÓN

El desarrollo de los proyectos de construcción se puede ver orientado por diferentes principios y filosofías, entre ellas la LEAN CONSTRUCTION (Construcción sin pérdidas); la cual busca replantear la forma de producción en la construcción con el fin de minimizar o no generar desperdicios que eventualmente produzcan sobre costos en los proyectos. La producción sin pérdidas está basada originalmente en el sistema de fabricación de Toyota, diseñado para minimizar el despilfarro y agregar valor sistemáticamente en el proceso de manufactura. A fines de los años 80, dado el éxito de la filosofía lean en el sector automotriz, el sector de la construcción la adopta y surge lean construction (Alarcón, Pellicer, & Eugenio, 2009).

La filosofía lean construction se despliega de manera opuesta a la forma tradicional de ver y desarrollar los proyectos de Ing. civil en Colombia; al respecto Rojas, Henao, & Valecia, (2016) afirman: “El sistema convencional en Colombia para planear y ejecutar las obras del sector construcción difiere del pensamiento LEAN, es decir, actualmente hay pocas empresas que implementan esta filosofía de trabajo”. La metodología tradicional no hace énfasis profundo en la fase de planeación y no se le da una verdadera importancia al producto que espera el cliente; a su vez origina que en los actuales proyectos se realicen actividades que no generan un valor agregado; aunado a esto, actividades no previstas que originan atrasos en la fase de construcción.

De acuerdo con lo anterior, evidenciamos que la filosofía tradicional no se encuentra en constante evolución, no busca la perfección, se estanca en usar los mismos métodos y procesos que aunque funcionan no logran la misma eficiencia que se consigue al usar herramientas modernas, Es importante proyectar en las empresas colombianas conciencia sobre la importancia del cambio, el uso y aplicación de diferentes metodologías y aunque la filosofía expuesta no es la única usada en el mundo demuestra que el cambio de pensamiento puede llevar a mejoras sumamente importantes para el futuro del gremio de la construcción.

Koskela y Ballard plantean que la guía de ejecución de proyectos PMBOK en el enfoque del PMI no es muy útil para la gestión de proyectos de construcción por el gran grado de incertidumbre que estas crean, por esto defienden la implementación de las herramientas Lean construction como un mejor camino para la gestión de dichos proyectos, (Porrás, Sánchez, & Galvis, 2014).

Teniendo en cuenta el objetivo de esta filosofía debemos entender que es un residuo de construcción; La Agencia de Protección Ambiental Escocesa (2014) define los residuos de construcción y demolición como "...materiales derivados de la construcción, remodelación, reparación o demolición de edificios, puentes, pavimentos y otras estructuras y del uso de energía, materiales y mano de obra que no agrega valor al proceso de construcción" (Salgin, Arroyo, & Ballard, 2016). Por lo cual según el concepto de la Agencia de Protección Ambiental Escocesa podemos hablar de dos formas importantes para la disminuir los residuos que se generan en los proyectos:

La primera forma es la de identificar que actividades tanto en la planeación como construcción no generan ningún tipo de valor en el producto final y además no son necesarias para realizar alguna actividad posteriormente. La identificación de estas actividades denominadas "mudas" es vital dado que se pueden eliminar para generar menos desperdicios y no afectan el valor final del proyecto.

La segunda forma consiste mejorar y enfatizar en los procesos de planeación, dado que al mejorar la planeación se logra la selección adecuada de los métodos constructivos, materiales, realización de rutas críticas correctas, etc., lo que conlleva a que durante la etapa de construcción no se genere ningún tipo de percance o cambios que se traduzcan en sobre costos y desperdicios.

Según Rojas, Henao, & Valecia, (2016) la filosofía Lean construcción se basa en cinco principios los cuales son:

1. **Valor de cada proyecto desde la perspectiva del cliente:** los procesos y actividades se dividen en tres categorías: las que crean valor, las que no crean valor, pero son necesarias y las que no crean valor ni son necesarias, y constituyen el residuo o desperdicio.
2. **Identificar el flujo de valor:** Para identificar el flujo de valor se debe realizar un mapa de la corriente de valor, es un mapa en el que se puedan identificar fácilmente las tareas que agregan valor y las que no. Por medio de este se conoce el valor que el usuario final estaría dispuesto a pagar por un producto.
3. **Permitir que el flujo de valor fluya sin interrupciones:** las herramientas necesarias para finalizar la actividad pueden minimizarse a la mitad, como: el esfuerzo humano, tiempo, espacio, instrumentos, entre otros; con el tiempo se logra un proceso continuo de reducción
4. **Permitir que el cliente extraiga valor del equipo de proyectos:** Se construye lo necesario por el usuario cuando es pertinente; él es un regulador de actividades y trabajos que se hacen cada día.
5. **Buscar permanentemente la perfección:** Los proyectos bajo este pensamiento requieren monitorización y uso de herramientas emergentes para mantener y mejorar el desempeño, la disciplina de equipo y la intolerancia cero a los desperdicios, para asegurar el éxito de los proyectos y objetivos del “LEAN”.

La aplicación de estos 5 principios busca que la entrega final en los proyectos cumpla con las necesidades del cliente, en pocas palabras se busca entregar un producto a la medida, cubriendo las exigencias del cliente y eliminando gastos o actividades que para el mismo no generan ningún tipo de valor agregado en el producto. Desde la perspectiva lean es de suma importancia estudiar al cliente porque solo de esta forma sabremos específicamente que es lo único que se debe entregar en cualquier proyecto que se desee realizar.

Si se aplica de manera adecuada los principios de la filosofía lean es notable identificar las diferencias entre la producción sin pérdidas y la producción tradicional, cabe destacar que una funciona bajo el concepto de prevenir y la otra bajo el concepto de detectar y corregir, es esta una de las diferencias más importantes por la cual la producción tradicional genera más desperdicios que la producción sin pérdidas, la tabla 1 detalla las diferencias entre estos dos tipos de producción.

Tabla 1. La producción convencional y la producción sin pérdidas, extraído de (Alarcón, Pellicer, & Eugenio, 2009)

	PRODUCCIÓN CONVENCIONAL	PRODUCCIÓN SIN PÉRDIDAS
Objetivo	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Control	Gestión, asesoramiento ,control
Modo de aplicación	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Responsabilidad	Departamento de calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
Clientes	Ajenos a la empresa	Internos y externos
Conceptualización de la producción	La producción consiste de conversiones (actividades) todas las actividades añaden valor al producto que no agregan valor al producto.	La producción consiste de conversiones y flujos; hay actividades que agregan valor y actividades.
Control	Coste de actividades	Dirigido hacia el coste, tiempo y valor de los flujos.
Mejora	Implementación de nuevas tecnología	Reducción de las tareas de flujo, y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología.

No es fácil determinar la mejor opción para disminuir los desperdicios en los proyectos ya que existen demasiadas formas, no todas tienen el mismo nivel de efectividad y no todas se pueden aplicar en un proyecto dado que esto depende las características del mismo. Según Salgin, Arroyo, & Ballard (2016) estas son las maneras más relevantes para reducir residuos de construcción y demolición:

- Reducir la cantidad necesaria de materiales, por ej., reducir el tamaño de un edificio que entrega el mismo servicio.
- Seleccionar materiales que reduzcan su impacto negativo en el medio ambiente, por ej., elegir materiales constructivos que sean fáciles de reciclar.
- Reducir la cantidad de materiales desperdiciados; es decir, las sobras, la diferencia entre la cantidad total de materiales comprados y la cantidad total de materiales consumidos.
- Aumentar la vida útil de los edificios, por ej., diseñar los edificios con conceptos de flexibilidad y readecuación, lo que disminuye la cantidad de residuos de construcción y demolición que se genera a lo largo del tiempo.
- Otros medios que sufren un impacto menor por las decisiones de diseño de productos y procesos, ej., reciclado de materiales sobrantes.

Las anteriores cinco formas para disminuir residuos de construcción aparentemente se pueden aplicar con facilidad pero la realidad es muy distinta, para poder generar una disminución en los residuos de construcción por medios de estos métodos es necesario usar herramientas emergentes que garanticen que la fase de planeación y diseño se de manera integrativa y de forma más técnica, el uso de estas herramientas genera que muchos de los proyectos realizados bajo la filosofía lean se desarrollen de manera innovadora. Según Kóskinen & Montesinos “Innovar es ver lo que todo el mundo ve; pensar lo que pocos piensan y hacer lo que nadie hace” (Montesinos, 2019). Para Justo Nieto: “La investigación y el desarrollo es un proceso donde se usan recursos para generar conocimiento. La innovación no es necesariamente una consecuencia. Es otro proceso diferente en el que se usa conocimiento para generar valor agregado” (Montesinos, 2019).

Uno de los principios de la filosofía lean es la de buscar permanentemente la perfección y esto solo se logra por medio de la innovación dado que es esta la que garantiza la utilización y aplicación de herramientas mucho más poderosas y eficientes que las convencionales, como lo son Gestión integrada de proyecto (IPD, Integrated Project Design), Modelado de Información para la Construcción (BIM, Building Information Modelling). En la tabla 2 se presentan algunos de los beneficios que se dan al usar estas herramientas.

Tabla 2. Beneficios de BIM e IPD, extraído de (Porras, Sánchez, & Galvis, 2014)

Beneficios	BIM	IPD
Planificación y conceptualización	X	X
Diseño y Pre construcción	X	X
Consecución		X
Fabricación	X	
Costos	X	X
Horarios	X	X
Calidad	X	
Dinámicas de trabajo y de proyecto		X
Constricción y gestión de operaciones	X	

MODELADO DE INFORMACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN (BIM, BUILDING INFORMATION MODELLING)

El BIM es una herramienta usada para la simulación en la construcción y desarrollo de edificaciones, la ventaja más importante de esta herramienta es que permite integrar todos los sectores y disciplinas que actúan sobre la realización de un proyecto. El BIM permite que los profesionales elaboren proyectos con modelos virtuales tridimensionales que representan con detalles los proyectos reales, tanto en materiales como en el comportamiento simulado. (Jobim.C, Gonzales, Edelweiss, & kern.A, 2017), la Figura 1 detalla de manera rápida el modelado de información en nueve etapas las cuales son: Diseños conceptual, Ingeniería básica, Diseño, Análisis, Simulación, Fabricación, Construcción, Modelos AS-BUILT y Administración.



Figura 1. Concepto BIM. Extraído de (Microgeo, 2016)

La tecnología BIM toma forma real en el año de 1994, cuando Autodesk constituyó un consorcio de industrias las cuales asesoraron la creación de una parte del lenguaje de programación C++ que permitiese soportar el desarrollo integrado de aplicaciones con funciones diferentes pero que interactuasen entre ellas. (Inmaculada, 2015), el BIM nace por la necesidad de cambiar los procesos en la gestión constructiva para que esta mejorara y se diera de forma más industrializada; es por esto que esta herramienta puede ser usada en todo el ciclo de vida del proyecto, sin embargo da su máximo potencial en la fase de planeación.

El modelado de información para la construcción permite realizar de una manera más técnica los procesos de planeación y diseño de un proyecto, dar valores más exactos sobre el costo de los materiales y del tiempo de construcción. Con el pasar del tiempo ha logrado incorporar muchas más funciones por lo cual no sólo existe un tipo de BIM, Enshassi & AbuHamra (2016) explican las dimensiones BIM así:

- 3D: tridimensional comprende alto, largo y ancho. En poca palabras la geometría del proyecto.
- 4D: 3D Se da mayor importancia y tiempo para la planificación, construcción y programación del proyecto.
- 5D: 4D Énfasis mayor en la estimación de los costos.
- 6D: 5D más lugar o sitio. integración del BIM y GIS (Sistema de información geográfica), Con el objetivo de lograr que todos los ítems en la modelación del sitio tengan una ubicación exacta e información sobre la elevación (X, Y, Z), como en la realidad.
- 7D: BIM para la gestión del ciclo de vida de la construcción.

Como podemos evidenciar el uso del BIM desde el 3D hasta el 7D, nos permite tener la información del proyecto de forma más realista, detallada y actualizada. La cual genera que el nivel de incertidumbre de un proyecto disminuya.

Para García (2017) las ventajas más importantes del BIM son:

- Coherencia de la documentación
- Mejor coordinación
- Evaluación temprana de costes y comportamientos energéticos
- Mayor productividad
- Mayor calidad de la arquitectura
- Mejora la comunicación con el cliente (Importante para filosofía Lean)
- Organización y seguimiento
- Mejor gestión del edificio durante su vida útil

Ejemplo de aplicación del BIM al proyecto de construcción “OPALO”

Para demostrar los beneficios de este sistema se realizó una comparación en el proyecto “OPALO” que fue construido con el sistema tradicional pero se le aplico la metodología BIM para determinar la rentabilidad de su implementación. Cabe aclarar que este estudio fue realizado por el ingeniero Manuel Fernando Salazar Álzate (Salazar, 2017).

La obra nombrada anteriormente se encuentra ubicada en la ciudad de Manizales, sector de Chipre, en la Calle 12 # 7B-71 y 7B-73, con un área de 509.09 m^2 , se construyó una edificación de 6 pisos con 24 apartamentos, dos pisos subterráneos para generar 21 parqueaderos. Para un área construida de $2.613.82 \text{ m}^2$. La figura 2 muestra la localización de proyecto.



Figura 2: Localización proyecto Ópalo, extraído de (Salazar, 2017)

Para esta investigación se identificaron los conflictos que se dan de mayor forma en la ejecución de los proyectos de construcción, con el fin de realizar un análisis para determinar cómo estos conflictos generan una variación en el tema de costos y fecha de entrega del proyecto y como es uso de la metodología BIM hubiera evitado que se generaran estos inconvenientes.

Se realizaron 3 modelos independientes del proyecto Ópalo en revit 2014, un modelo estructural, uno arquitectónico y uno de instalaciones eléctricas, esto fue posible gracias a la información que suministro “construcciones arco iris S.A.S”. Mediante el programa naviswork 2015 se verificador las inconsistencias que presentaban cada uno de estos modelos. Posteriormente se verificó con el residente de obra si los conflictos identificados en los modelos se habían presentado en la obra y cuál fueron las actividades, el costo y el

tiempo invertido para solucionar estos conflictos. En la tabla 3 se presenta el cuadro de áreas de proyecto.

Tabla 3. Cuadro de áreas proyecto de construcción “Ópalo”, extraído de (Salazar, 2017)

Ítem	Área(m ²)
Área del lote	
Lote ficha catastral 1-04-0280-0555-000	252.83
Lote ficha catastral 1-04-0280-0556-000	256.26
Lote total	509.09
Área construida	
P1 N. -5.60 7 -7.00-Parqueaderos y depósitos, Juegos	404.91
P2 N. -5.60 7 -7.00-Parqueaderos y depósitos	404.91
P3 N. + 00 -Apartamentos-acceso	311.00
P4 N. + 2.37 -Apartamentos	322.00
P5 N. + 4.74 -Apartamentos	322.00
P6 N. + 7.11 -Apartamentos	322.00
P7 N. + 9.48 -Apartamentos	282.00
P8 N. + 11.45 -Apartamentos	245.00
Área total construida	2,613.82
Área total construida	1,804.00
Área de copropiedad	
Zona verte y juegos infantiles	72.50
Plazoleta comunal	29.50
Vestíbulo-portería	19.00
Baño portería	2.60
Cuarto basuras	3.20
Área total de cesión a la copropiedad	126.80
Área de cesión a la copropiedad requerida	114.24

La investigación arrojó que el uso del modelado de información para la construcción (BIM) para el proyecto “Ópalo”, habría identificado a tiempo conflictos que se dieron en la fase construcción, evitando el aumento del costo del proyecto en \$ 4.640.266 pesos colombianos; aunque este cifra no es muy significativa dado el valor total del proyecto que fue de \$ 2.253.548.77, si es significativo el tiempo potencialmente ahorrado si usara el

BIM, dado que fueron necesarias 54.66 horas de trabajos extras para solucionar estos conflictos, que a su vez generaron la realización de actividades no previstas, las cuales no agregan valor al proyecto. El autor resalta que la metodología BIM no tuvo gran impacto en este proyecto dado que su nivel de complejidad no es muy alto.

A continuación se explica la segunda metodología nombrada para el desarrollo y gestión de proyectos, describiendo como fue creada, la forma de usarla y mostrando un proyecto realizado bajo esta metodología, describiendo cuales fueron las ventajas e inconvenientes de su utilización.

GESTIÓN INTEGRADA DE PROYECTO (INTEGRATED PROJECT DESIGN, IPD)

La gestión integrada de proyectos es una metodología patentada en el año 1995 por grupo de Compañías de la Industria de la Construcción en Orlando, Florida (EE.UU.). Esta busca integrar a todas las personas, sistemas, empresas y prácticas que hacen parte del desarrollo de un proyecto, para que este se desarrolle forma colaborativa y se puedan aprovechar de la mejor manera todos los talentos y puntos de vista de los participantes; optimizar los resultados, aumentar el valor final del proyecto, evitar el despilfarro y maximizar la eficiencia en la fase de diseño, fabricación y construcción es el objetivo de esta metodología (Marc, 2015).

Para la gestión integrada es importante la opinión del cliente porque de esta manera se entiende con claridad que es lo que desea. En pocas palabras el IPD es un método que fortalece la comunicación y la creatividad del equipo de trabajo. En la figura 3 se muestra

el esquema del grupo IPD, el cual está conformado por todos los actores involucrados en el desarrollo de un proyecto los cuales son: arquitecto, ingenieros, constructor, subcontratista, ejecución de obra, proveedores, Project management, clientes y usuarios.

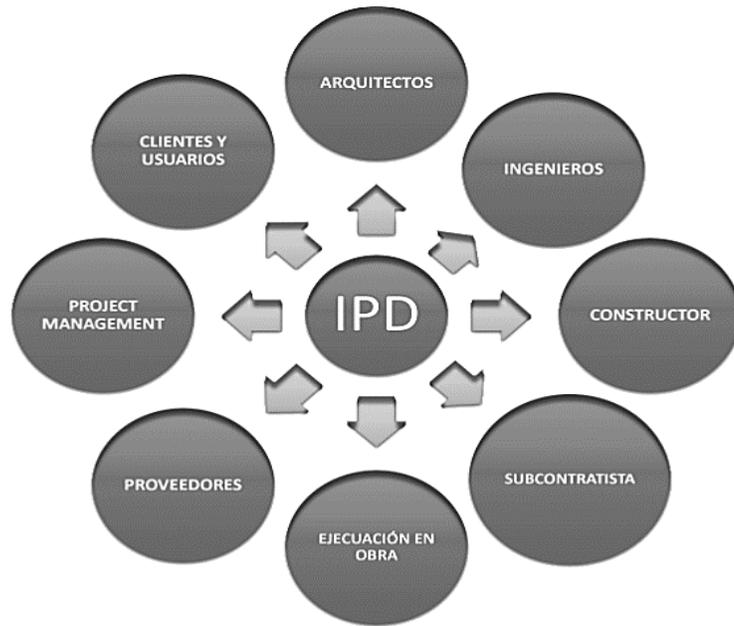


Figura 3. Esquema del IPD, extraído de (Soler, Pellicer, & Alvarez, 2017)

Al ser este un método colaborativo todo el equipo está compartiendo los riesgos, las recompensas y el control del proyecto. Por lo cual es habitual crear un equipo de gestión el cual llega a acuerdos para la toma de decisiones, Además como aspecto legal este método requiere la creación de un contrato múltiple en el que se establecen los derechos y deberes del equipo (Soler, Pellicer, & Alvarez, 2017).

Según Quiceno (2017) en un proyecto IPD se aplican los siguientes principios:

1. **Respeto mutuo y confianza:** todos los integrantes del equipo principal o de apoyo deben entender el valor y la importancia de la colaboración, por lo cual se

comprometen a realizar el trabajo en equipo con el fin de obtener el mejor resultado para el proyecto.

2. **Beneficio mutuo y recompensa:** Se establece un esquema de recompensas por los logros que se obtengan en el proyecto , por eso la participación temprana es de gran ayuda para todos los actores, dado que de esta manera se pueden evitar retrocesos de diseño, favorecer la constructibilidad, escoger los métodos constructivos adecuados, etc.
3. **Innovación colaborativa y toma de decisiones:** La metodología IPD explota la innovación por medio de la libre expresión de las ideas que tiene cada miembro del equipo, luego por medio de un consenso se toman las mejores ideas para ser aplicadas en el proyecto y obtener el mayor beneficio.
4. **Participación temprana de actores clave:** Para esta metodología es importante la participación temprana de todos los actores claves del proyecto, porque de esta manera se garantiza que tomen las decisiones adecuadas al inicio del proyecto y este tenga un éxito rotundo
5. **Definición temprana de los objetivos:** Se deben definir los objetivos de manera clara y temprana con todos los participantes, con el fin de facilitar la innovación y el desarrollo del proyecto.
6. **Planificación intensiva:** Los proyectos realizados bajo la metodología IPD se caracterizan por que su fase de planificación se da de manera intensiva, Buscando que en la etapa de diseño se resuelvan la mayor cantidad de diferencias y se realicen sus respectivos ajustes, lo que genera eficiencia en el desarrollo del proyecto.

7. **Comunicación abierta:** la comunicación deber ser abierta, directa, honesta entre todos los participantes; dado que esta es la base del rendimiento del equipo, la resolución e identificación de los problemas se da sin buscar culpables.
8. **Tecnología apropiada:** el desarrollo de los proyectos IPD se caracteriza por ir de la mana con la utilización de tecnologías revolucionaras que permitan el intercambio transparente de datos y la interoperabilidad en el proyecto.
9. **Organización y liderazgo:** El líder del proyecto es el participante con mayor conocimiento, sin embargo el liderazgo se da de forma dinámica, a medida que se abordan diferentes especialidades (estructura, cimentación, diseño hidrosanitario, sistemas de aire y ventilación), Esto quiere decir que el liderazgo del proyecto va cambiando según las actividades que se realicen. Pero los roles de los integrantes deben estar claramente definidos desde el principio del proyecto.

Ejemplo de aplicación de gestión integrada de proyecto (integrated Project design, IPD) al proyecto de construcción “Mission Bay Medical Center”

El Mission Bay Medical Center fue realizado en la ciudad de San Francisco, California, (EE.UU.), por la Universidad de California, San Francisco (UCSF) hace parte del ámbito público y es una de las primeras obras en ese país en ser ejecutadas bajo la metodología IPD, su publicación formal se dio en el año 2007 por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA).

Este proyecto consiste en el diseño y construcción de un complejo hospitalario de $82.000m^2$, los cuales se distribuyen en 3 hospitales, uno para niños, otro para mujeres y

un edificio especial para tratamiento de personas con cáncer. Tiene una capacidad total de 289 camas hospitalarias.

El proyecto obtuvo la certificación LEED Gold, lo cual lo cataloga como proyecto sustentable y de primera categoría, Además obtuvo el premio Fiatech CETI debido a su buena gestión y planificación en la etapa de diseño y construcción (Vio, 2017). En la Figura 4 se muestra la vista general del proyecto.



Figura 4. Vista general del UCSF Mission Bay Medical Center. Extraído de (Vio, 2017)

Como este proyecto se desarrolla para el sector público, no estaban permitidos los contratos con una estructura integrada con múltiples participantes, por lo que el contrato es firmado entre la Universidad de California, San Francisco y el representante del equipo IPD que correspondía a la empresa DPR construction, Además DPR tuvo que realizar contratos independientes entre cada uno de los sub contratos realizado con los participantes de apoyo los cuales son: centro de ingeniería de instalaciones integradas (CIFE), ingeniera mecánica, ingeniería eléctrica, lou bairdridge consulting LLC ,ingeniería hidráulica, proveedores y equipos de materiales. Por último el contratante decide incluir a la empresa Cambridge CM,

Inc. Como representación en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto y para realizar las adquisiciones de equipos médicos. En la tabla 4 se presenta la ficha técnica del proyecto.

Tabla 4. Ficha Técnica del proyecto Mission Bay Medical Center. Extraído de (Vio, 2017)

Nombre del proyecto:	Mission Bay Medical Center
Clasificación de la obra:	Obra de infraestructura
Contratante:	Universidad de California, San Francisco (UCSF)
Administración de la construcción:	Cambridge CM, Inc.
Estrategia de ejecución:	Integrated Project Delivery (IPD)
Equipo de arquitectos:	Stantec
Constructor general:	DPR construction
Inicio de proyecto:	Enero 2007.
Finalización del proyecto:	Agosto 2014.
Inversión presupuestada:	USD \$1.500 millones
Costo real del proyecto:	USD \$1.300 millones.

El grupo IPD para el desarrollo del proyecto se conformó con dos tipos de participantes, los cuales fueron: los participantes de primarios y los participantes claves de apoyo, el grupo de participantes primario está conformado por la empresas DPR construction, Stantec y la Universidad de California, San Francisco (UCSF) , este grupo era el encargado de aportar ideas y tomar la decisión de que ideas aplicar en el proyecto, el grupo de participantes claves de apoyo se encargaba de dar sugerencia e ideas al grupo de participantes primario para que estos la tuvieran en cuenta. Se debe relazar que tanto el grupo primario como el grupo de apoyo participo a lo largo de todo el desarrollo y ejecución del proyecto.

En la Figura 5 se presenta la forma en que se organizó el grupo IPD para este proyecto.



Figura 5. Grupo IPD del proyecto: Mission Bay Medical Center. Extraído de (Vio, 2017)

Una vez finalizada la ingeniería básica del proyecto el contratante aprobó un presupuesto de USD \$ 1.500 millones y se concretaron los incentivos para el equipo IPD por el cumplimiento de actividades.

Por medio de la colaboración entre los agentes del proyecto se realizaron propuestas y cambios en la ingeniería de detalle, las cuales generaron 600 órdenes de cambio en las especialidades eléctricas y mecánicas. Lo que generó un ahorro de USD \$ 200 millones

para un valor final del proyecto de USD \$ 1.300 millones. Además a consecuencia de los incentivos generados la entrega de las actividades se dio de forma eficaz, por lo cual, el proyecto pudo ser entregado con ocho días de anticipación. El desarrollo del proyecto tuvo con una duración aproximada de 8 años.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la filosofía LEAN por medio de las metodologías BIM e IPD, puede producir un cambio importante en los proyectos de construcción en Colombia, porque genera resultados positivos, no solo en la disminución de los desperdicios de construcción generados, sino además en el desarrollo y gestión de los mismos; dado que al realizar los procesos de forma colaborativa, completa y técnica en las fases de planeación y diseño, el proceso constructivo se da de manera eficiente, disminuyendo tiempo, riesgos y recursos; como se pudo apreciar en los ejemplos presentados (proyecto Ópalo y Mission Bay Medical Center).
- El uso de las metodologías BIM e IPD bajo el concepto de la filosofía LEAN, se puede considerar como un proceso innovador dado que en este se generan y aplican ideas, procesos, técnicas y dinámicas poco habituales en los proyectos de construcción; como se pudo apreciar en los ejemplos presentados.

- La aplicación de la metodología BIM ayuda con la disminución de desperdicios generados en construcción, dado que permite realizar mejores procesos de diseño y planificación, detectando a tiempo problemas que podrían generar cambios en la fase constructiva de un proyecto. Los beneficios obtenidos al usar el modelado de información convergen con los objetivos de la filosofía LEAN, en pocas palabras el modelado de información es una metodología de esta filosofía.
- Al realizar los proyecto de manera colaborativa e incluyendo al cliente como lo establece la metodología IPD, se pueden detectar a tiempo actividades innecesarias, mejorar diseños, métodos constructivos , materiales , entre otros , lo cual disminuye los desperdicios de construcción generados y mejora el desarrollo de cualquier proyecto. Los beneficios de la gestión integrada de proyectos de igual manera convergen con los objetivos de la filosofía LEAN por lo cual podemos decir que la gestión integrada de proyectos es una metodología de esta filosofía.
- El uso de la metodología BIM no genera gran impacto en proyectos con nivel de complejidad bajo, sin embargo conforme a cómo va aumentando el nivel de complejidad va aumentando en los proyectos, el modelado de información se vuelve más útil y genera un impacto mucho más significativo.
- La metodología IPD es un método que ayuda a garantizar la realización de un proyecto dentro de los tiempos estipulados, dado que al ser un proyecto colaborativo todos los integrantes comparten riesgos y beneficios, lo cual genera una motivación importante para que la entrega de actividades se dé a tiempo.

Referencias

- Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry . *Lean Construction Journal* , pp 105-121 .
- Alarcón, L., Pellicer, & Eugenio. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. *Revista de Obras Públicas*, 45-42.
- Enshassi, A., & AbuHamra, L. (2016). Investigación de las funciones del modelado de la información de construcción en la industria de la construcción en Palestina. *Revista Ingeniería de Construcción* , 127-138.
- García, J. M. (2017). *Metodología BIM en la realización de proyectos de construcción. Estudio de*. Universitat Politècnica de València, valencia.
- Inmaculada, F. (2015). *Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta. (Universitat Politècnica de València)*. valencia.
- Jobim.C, Gonzales, M., Edelweiss, R., & kern.A. (2017). Análisis de la implantación de tecnología BIM en oficinas de proyecto y construcción en una ciudad de Brasil en 2015. *Revista Ingeniería de Construcción*, 187-194.
- Marc. (2015). *El blog lean de la construcción*. Obtenido de Lean Bim Construction:
<http://leanbimconstruction.com/los-contratos-colaborativos-ipd>

- Microgeo. (2016). *Microgeo*. Obtenido de Webinar de Autodesk – BIM para la Gerencia y Construcción: <https://microgeo.cl/bim-la-gerencia-construccion-webinar-autodesk-espanol-sin-costo/>
- Montesinos, P. (2019). Gestión de la innovación. *Gestión de la Innovación* (págs. 28 - 29). Valencia: universidad politecnica de valencia.
- Porras, H., Sánchez, O., & Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *Avances Investigación en Ingeniería*, 32-53.
- Quiceno, M. a. (2017). *Propuesta para la implementación del ipd (integrated project delivery) en la construcción de proyectos de infraestructura pública en Colombia*. Univesidad EAFIT, Medellín.
- Rojas, M., Henao, M., & Valecia, M. (2016). Lean construction LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías*, 11-12.
- Salazar, M. F. (2017). *Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de proyectos de construcción en la ciudad de Manizales*. Universidad nacional de Colombia , Manizales.
- Salgin, B., Arroyo, P., & Ballard, G. (2016). Explorando la relación entre los métodos de diseño lean y la reducción de residuos de construcción y demolición: tres estudios de caso de proyectos hospitalarios en California. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, PAG 191-200.

Soler, M., Pellicer, E., & Alvarez, M. (2017). Los métodos colaborativos (integrated project). *2º Congreso internacional de innovación tecnológica*, (pág. 25). Madrid.

Vio, J. A. (2017). *La estrategia de ejecución de proyectos IPD*. Universidad de Chile, Chile.