

Filosofía *Lean Construction* para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual

Lean Construction philosophy for the management of construction projects: a current review

Hernán Porras Díaz, PhD, MSc¹; Omar Giovanni Sánchez Rivera²; José Alberto Galvis Guerra³

¹ *Ingeniero Civil, doctor en Ingeniería Telemática, magíster en Gestión Tecnológica, magíster en Informática, profesor asociado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; hporas@uis.edu.co*

² *Ingeniero Civil, estudiante de Maestría en Pensamiento Estratégico y Prospectiva, estudiante de Maestría en Ingeniería Civil, profesor cátedra, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; omarsanchez.44@hotmail.com*

³ *Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; alberto9210@hotmail.com*

Fecha de recepción: 04/03/2014. Fecha de aceptación del artículo: 03/06/2014

Resumen

La industria de la construcción es una parte importante del aparato económico de un país, por tanto, la verificación de los nuevos sistemas de gestión que se implementan en las principales industrias constructoras del mundo y en donde se obtienen excelentes resultados, merece especial atención.

En el presente artículo se hace una revisión bibliográfica de la filosofía *Lean Construction* (LC) o “construcción sin pérdidas”, un nuevo enfoque en la gestión de proyectos de construcción introducido por el profesor Lauri Koskela en el año 1992 basándose en el modelo empleado por la industria automovilística en los 80, la “producción Lean”. Koskela propone que la construcción es un sistema de producción que se funda en proyectos con gran incertidumbre en la planificación y una mala concepción de la producción, que es vista como un modelo de transformación solamente. Las bases teóricas de LC propuestas por Koskela pretenden ver la producción en la construcción como un proceso de transformación, de flujo y generador de valor, en consecuencia, el objetivo de *Lean Construction* es crear buenos sistemas de producción que permitan optimizar, reducir o eliminar los flujos para mejorar los tiempos de entrega. En

este sentido, LC es un nuevo pensamiento en gestión de proyectos de construcción que desafía a la guía de gestión actual del *Project Management Institute* PMBOK, con un alto auge en los Estados Unidos, De ahí que LC no deba ser concebido como un modelo o sistema en el cual solo se siguen unos pasos, sino como un pensamiento dirigido a la creación de herramientas que generen valor a las actividades, fases y etapas de los proyectos de construcción. Entendiendo el valor como la eliminación de todo aquello que produzca pérdidas en la ejecución de las mismas.

En la fase de construcción por ejemplo, la reducción de los tiempos de ejecución en las actividades de obra, el control del desperdicio de los materiales y la prevención de accidentes laborales son objetivos que si se logran cumplir agregaran valor a tal fase. Basados en estos principios teóricos los investigadores Glenn Ballard y Greg Howell idearon una herramienta denominada Last Planner o como se conoce actualmente en Latinoamérica Sistema del Ultimo Planificador con el objetivo de mejorar el proceso de programación de obra proponiendo la renovación del concepto de planificación de obra tradicional, en donde las actividades que serán hechas se desarrollan sin saber realmente si

las pueden hacer realidad en obra. Lo que hace el SUP es considerar el conjunto de actividades que realmente pueden hacerse de una manera más específica para controlar más de cerca los impedimentos que eviten la ejecución de estas en obra, de esta forma la probabilidad de que las actividades programadas se lleven a cabo es muy alta y como consecuencia la incertidumbre de no poderlas hacer disminuye y se evitan retrasos en la realización de los trabajos en obra.

Como parte del desarrollo de la filosofía *Lean Construction* en el marco de crear herramientas Lean para la mejora de la gestión de los proyectos de construcción, se analiza como contrasta con el modelo tradicional de ejecución de proyectos diseño-licitación-construcción, en cuanto a cuál es la mejor forma de organización arquitecto, cliente y constructor en las fases de desarrollo del proyecto. La base teórica del modelo Integrated Project Delivery IPD propone unificarlos en la fase de diseño para obtener el máximo entendimiento del proyecto para que la fase de construcción se desarrolle sin choques entre el arquitecto y el constructor. Al aplicarle *Lean construction* al modelo IPD se convierte en el sistema de ejecución de proyectos Lean Project Delivery System (LPDS) el cual propone la metodología para desarrollar los proyectos de construcción bajo cinco fases y 12 etapas Lean en las cuales también se fomenta el desarrollo de herramientas que contribuyan con la generación de valor. La tecnología de modelado 3D Building Information Modeling BIM aunque no hace parte de LC es por ejemplo una herramienta de ayuda muy importante para el modelo LPDS, contribuye a comprender mejor los procesos constructivos de diseños complejos o simples para el ahorro de tiempo en su construcción. Bajo este paradigma de ayuda que brinda BIM se deja planteada una visión sobre su futuro desarrollo como parte de *Lean Construction*.

Palabras clave

Construcción sin pérdidas, eficiencia en construcción, sistema último planificador, sistema de entrega de proyectos “Lean”.

Abstract

The construction industry is an important part of the economic system of a country, therefore, the verification of new management systems that are deployed in the main construction industries in the world and where excellent results, deserves special attention.

In this paper a review of philosophy Lean Construction (LC) or “lossless building” a new approach in the management of construction projects introduced by Professor Lauri Koskela in 1992 is based on the model used by the automotive industry in the 80s, the “lean production.” Koskela proposed construction is a production system that is based on projects with high uncertainty in planning and poor design of the production, which is seen as a transformation model only. The theoretical basis of LC proposed by Koskela claim to see the production in construction as a process of transformation, flow and value generator, therefore, the goal of Lean Construction is to create good systems to optimize production, reduce or eliminate flows to improve delivery times. Here, LC is a new thinking in construction project management that challenges the current management guide the Project Management Institute PMBOK, with a high peak in the U.S. Hence LC should not be conceived as a model or system in which only a few steps are followed, but as a thought led to the creation of tools that generate value to the activities, phases and stages of construction projects. Understanding the value as eliminating lost everything that occurs in the execution thereof.

In the construction phase, for example , reducing the execution time in work activities , control of waste materials and accident prevention are goals that if achieved will add value to meet that stage. Based on these theoretical principles researchers Glenn Ballard and Greg Howell devised a tool called Last Planner or as it is known in Latin America the Last Planner System in order to improve the programming of works proposing the renewal of the concept of planning work traditional, where the activities are developed be made without really knowing if reality can work. What makes the SUP

is to consider the set of activities that really can be done in a more specific way to more closely monitor the impediments that prevent implementation of these at work, thus the probability that the programmed activities are carried out is very high and results in uncertainty do not manage to make it decreases, and avoiding delays in the completion of work on site.

As part of the development of philosophy in Lean Construction Lean create framework for improving the management of construction projects tools is analyzed as opposed to the traditional execution model design - bid-build projects, as to which is the best form of organization architect, client and builder in the development phases of the project. The theoretical basis of the model proposed Integrated Project Delivery IPD unify the design phase to maximize understanding of the project to the construction phase is developed without collisions between architect and builder. By applying Lean construction IPD model becomes the system of project implementation Lean Project Delivery System (LPDS) which proposes the methodology to develop construction projects under five stages and 12 stages in which Lean development is promoted tools that contribute to the generation of value. 3D modeling technology BIM Building Information Modeling although not part of LC is for example a very important tool to aid the LPDS model contributes to a better understanding of complex construction processes or simply to save time in construction designs. Under this paradigm that provides support BIM is left raised a vision of its future development as part of Lean Construction.

Keywords

Last Planner System, Lean Construction, Lean Project Delivery System.

1. Reseña histórica

El término “lean” se origina en el Japón a fines de la década de los 50 e inicios de los 60, como producto de las investigaciones realizadas por ingenieros de la empresa ensambladora de automóviles

Toyota Motor, que pretendía mejorar su línea de producción. Uno de los más reconocidos en el tema fue el ingeniero Taiichi Ohno, encargado de la producción, quien buscaba eliminar los residuos y mejorar los tiempos de entrega de los automóviles a los clientes sustituyendo la tradicional producción en masa por la producción a pedido del cliente y evitar, además, la acumulación de mercancía.

Con las investigaciones se desarrolló lo que se conoce como “producción Lean” o “producción sin pérdidas”, que comprende una gran variedad de sistemas de producción que comparten el principio de minimización de pérdidas [1].

Con el desarrollo de la idea de la producción sin pérdidas se creó el proceso de manufactura TPS –*Toyota Production System*, que consiste en minimizar las existencias y defectos en todas las operaciones, para mejorar significativamente la producción de la fábrica y abarcar, finalmente, el 40% del mercado automotor japonés.

Las ideas que conforman el TPS fueron desarrolladas y refinadas por ingenieros industriales, quienes establecieron su marco teórico y ampliaron el nuevo enfoque de la producción sin pérdidas. Hacia la década de los 80, la información que había sobre este enfoque en Occidente era limitada, sin embargo, la difusión de las ideas del TPS hacia América y Europa iniciaron hacia 1975 en la industria automotriz. Así, al comenzar la década de los 90, la nueva filosofía de producción ya era conocida en otras latitudes, de diferentes maneras, entre ellas “producción sin pérdidas”, “nuevo sistema de producción” o “manufactura de clase mundial”, y fue implementada en otros campos como la administración y el desarrollo de productos [2].

En 1992 Lauri Koskela empezó a implementar esta filosofía en el sector de la construcción; resultado de ello es su trabajo “Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción”, producido en el grupo de investigación CIFE de la Universidad de Stanford, en el cual sostuvo que la producción debía ser mejorada mediante la eliminación de los flujos de materiales y que las actividades de conversión mejorarían la eficiencia [3].

Otros investigadores, como Glenn Ballard, aportaron herramientas para la adaptación de la producción “Lean” al sector constructivo. Ballard empezó a trabajar con Koskela luego de oírlo hablar en una conferencia en la Universidad de Berkeley, y juntos conformaron el Grupo Internacional de *Lean Construction*, surgido durante la primera conferencia sobre sistemas de gestión de proyectos de construcción en 1993 en Helsinki- Finlandia, donde se decide usar, por primera vez, la expresión “*lean construction*” para referirse a la implementación de la nueva filosofía de producción en el sector constructivo.

Ballard fue pionero en el desarrollo del Sistema Último Planificador (SUP) en 1992, basado en el concepto de reducción de los niveles jerárquicos de la gestión en la construcción para optimizar el proceso de asignación de recursos disponibles en la planeación semanal, y programación y ejecución de los trabajos. Luego, en 1998, refino más el SUP, centrándose en la gestión de los flujos en el proceso de construcción. Después vino lo que Ballard denominó Sistema de Entrega de Proyectos Lean, cuyo propósito es el planteamiento teórico de la metodología para gestionar los proyectos “Lean”.

En 1997 Glenn Ballard y Greg Howell crearon el *Lean Construction Institute* con el objetivo de desarrollar y difundir nuevos conocimientos en la gestión de proyectos, ya que en los proyectos de construcción tradicionalmente no se respetaban los principios de diseño y la gestión de los procesos de producción mediante el enfoque diseño-licitación-construcción no era completamente óptima para lograr buenos beneficios por el contrario se tenían atrasos en la finalización de la mayoría de ellos, sobrecostos para los constructores y clientes insatisfechos por las demoras[4].

Aunque los principios en que se sustenta la filosofía “Lean”, como la mejora de los modelos de ejecución de proyectos constructivos, la maximización del valor para el cliente y reducción al mínimo las pérdidas [5], eran conocidos, fue Lauri Koskela quien los formuló, en el 2000, después de diez años de investigación; luego, en el 2001 Glenn Ballard los mejoró.

Así pues, *Lean construction* es la adaptación y aplicación de los principios de producción de la fabricación japonesa a la construcción, en la cual se asume que esta es un tipo de producción especial. [5].

En Latinoamérica, los países que muestran más avances en el uso y estudio de *Lean construction* son Brasil, Chile, Perú y Colombia; en este último ha sido estudiado en el sector privado mientras en las universidades del país no se muestran muchos avances sobre el tema. Las investigaciones sobre el Lean construction las inician en el año 2002 Camacol y el arquitecto Luis Fernando Botero Botero, profesor de la universidad Eafit e integrante del grupo Gescon (Gestión de la Construcción) de la misma universidad, quien ha publicado algunos artículos en la revista *Ciencia y Tecnología* y dos libros sobre el tema. A esto se suman estudios realizados por estudiantes de ingeniería civil en algunas empresas bogotanas dedicadas a proyectos edificatorios, como requisito para obtener su título, y las capacitaciones en el uso de LC que ha hecho Camacol en convenio con la universidad Eafit, dirigidas al personal de empresas constructoras como Triada, Urbansa, Arpro, Arrecife y Construmax, gracias a las cuales se han obtenido mejoras en los tiempos de entrega de las obras y reducción de los costos.

2. ¿Qué es *Lean construction*?

2.1 Definición

Según el *Lean Construction Institute* (ILC), *Lean construction* es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos [6]. Entendiéndose por residuos todo lo que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva, LC clasifica los residuos de construcción en siete categorías como se muestra en la Tabla 1 [8].

Tabla 1. Desperdicios en la producción tomada de *Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry*.

Desperdicios en la construcción
Defectos
Demoras
Excesos de procesado
Exceso de producción
Inventarios excesivos
Transporte innecesario
Movimiento no útil de personas

Categorías que en la gestión tradicional no se tienen en cuenta por que el concepto de producción actual es erróneo al considerarla como un proceso de solo transformación en donde entran materiales y se obtienen unidades productivas, olvidando optimizar los flujos que esos materiales tienen que seguir para lograr obtener el producto.

La tesis doctoral del doctor Flavio Picchi en 1993 plantea que en una obra de edificación normal el porcentaje de pérdidas por torre ejecutada es del 30%, la Tabla 2 evidencia el estimado de desperdicios en obra mediante el modelo de transformación [9].

La propuesta del concepto de producción de la filosofía “Lean” es verla como una transformación de materiales, un flujo de recursos y una generación de valor, por ejemplo en la hechura de un muro los ladrillos pegados con mortero se transforman en metros cuadrados de muro el flujo es la puesta de los recursos y materiales para elaborar el muro y el valor es la cantidad de metros cuadrados de muro que se logran en un determinado tiempo.

El objetivo de LC es optimizar las transformaciones minimizando o eliminando los flujos que los materiales deben seguir hacia los lugares de ejecución de los trabajos de obra para obtener más valor en los productos finales [10]. El error del pensamiento tradicional en la construcción es centrarse en las actividades de conversión y no tener en cuenta el flujo de los recursos para lograr la generación de

Tabla 2. Estimación de desperdicios en obras de edificación.

Estimado de desperdicio en obras de edificaciones		
Porcentaje del costo total de obra		
Ítem	Descripción	%
Restos de material	Restos de mortero	5%
	Restos de ladrillo	
	Restos de madera	
	Limpieza	
	Retirada de material	
Espesores adicionales de mortero	Tarrajeo de techos	5%
	Tarrajeo de paredes internas	
	Tarrajeo de paredes externas	
	Contrapisos	
Dosificaciones no optimizadas	Concreto	2%
	Mortero de tarrajeo de techos	
	Mortero de tarrajeo de paredes	
	Mortero de contrapisos	
	Mortero de revestimientos	
Reparaciones y re-trabajos no computados en el resto de materiales	Repintado	2%
	Retoque	
	Corrección de otros servicios	
Proyectos no optimizados	Arquitectura	6%
	Estructuras	
	Instalaciones sanitarias	
	Instalaciones eléctricas	
Pérdidas de productividad debidas a problemas de calidad	Parada y operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores	3.5%
Costos debidos a atrasos	Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas	1.5%
Costos en obras entregadas	Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra	5%
Total		30%

Tomada de *Aplicaciones del Lean design a proyectos inmobiliarios de vivienda*, Orihuela, P.

más valor en los productos obtenidos [11]; la construcción es, en este escenario, tan solo un modelo de transformación, como se muestra en la Figura 1, a diferencia del modelo propuesto por *Lean Construction* transformación-flujo-valor o TFV, que se ilustra en la Figura 2.

En el ejemplo de la construcción de un muro, el modelo de producción tradicional se observa en la Figura 3 y el modelo de transformación-flujo-valor en la Figura 4.

Con la idea básica de producción que se plantea en la filosofía LC se tiene por objetivo diseñar sistemas de producción para minimizar o eliminar el desperdicio de materiales y la excesiva producción residuos, con el fin de generar la cantidad máxima de valor [12].

Koskela y Ballard afirman que los proyectos constructivos que poseen alto grado de incertidumbre no pueden ser gestionados con la guía PMBOK establecida por el *Project Management Institute* PMI, ya que, según los investigadores, estas técnicas fallan en su base teórica y en los métodos usados para la planificación.

La principal falla en la base teórica radica en que se fundamenta en dos teorías, la de los proyectos que plantea la construcción como una teoría de transformación, y la teoría de gestión igual a planeación, donde el enfoque del PMI centra toda la atención en la planificación, poco en el control y casi nada en la ejecución [13].

En cuanto a los métodos de ruta crítica para la planificación el CPM no es muy útil porque controla la variabilidad después de que se han presentado las desviaciones [13]

Una de las maneras más efectivas para aumentar la eficiencia en la construcción es mejorando el proceso de planificación y control. En la filosofía LC la planificación y el control son procesos complementarios y dinámicos, en donde la planificación define los criterios y crea las estrategias necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto y el control se asegura de que cada evento se producirá después de la secuencia prevista [14].



Figura 1. Modelo de producción tradicional. Tomado de *Lean Construction en el Perú*, Pablo Orihuela.

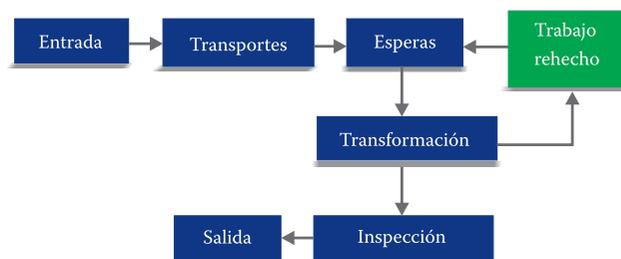


Figura 2. Modelo de producción Lean o TFV. Tomado de *Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction*.



Figura 3. Ejemplo del modelo tradicional para la puesta de ladrillo. Tomado de *Last Planner System*, Mestre. S.

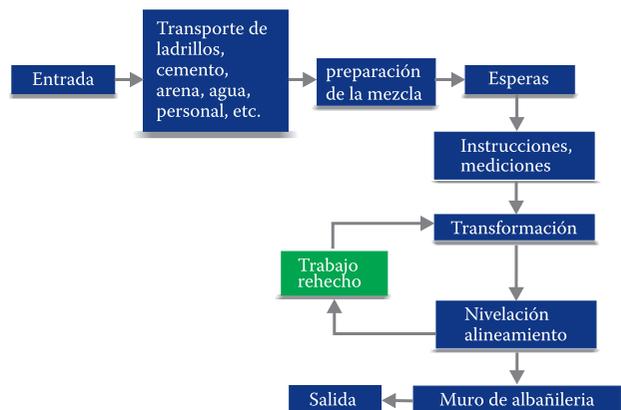


Figura 4. Ejemplo de un modelo TFV, puesta de ladrillo. Tomado de *Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction*.

Para controlar la variabilidad en la planificación la filosofía LC propone el Sistema del Último Planificador (SUP) o *Last Planner System* (LPS), una de las herramientas más útiles en la aplicación de LC. Alan Mosmman define el SUP como un sistema para la gestión colaborativa de la red de relaciones

y conversaciones requeridas para la coordinación de la programación, producción, planificación y ejecución de los proyectos [15].

Lean Construction es una nueva forma de ver la producción, no un modelo o unos pasos establecidos que se deban seguir; lo que se pretende es entender sus principios y aplicarlos en la creación y uso de herramientas “Lean” para la gestión de los proyectos constructivos, en donde las herramientas son la aplicación de los principios teóricos a la práctica profesional [16].

Una de estas herramientas “Lean” es el SUP desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell como un sistema de planificación de la producción, diseñado para generar un flujo de trabajo predecible y rápido en la programación, diseño, construcción y puesta en marcha de los proyectos [17].

La filosofía integral de *Lean Construction* se concreta con el modelo de gestión LPDS (*Lean Project Delivery System*) o sistema de entrega de proyectos Lean, cuya misión es desarrollar el mejor camino posible para diseñar y construir infraestructuras [18]. LPDS fue desarrollado para abarcar todo el ciclo de vida de los proyectos desde el inicio hasta la entrega [19] y propone gestionar los proyectos de construcción considerando cinco fases y catorce módulos, utilizando conceptos y técnicas destinadas a maximizar el valor para el cliente y minimizar las pérdidas en la producción [20].

Para la implementación de *Lean Construction* en los proyectos es necesario iniciar con el compromiso de tener una cultura de mejora continua de la producción para que al aplicar los principios “Lean” correctamente mejoren la seguridad, la calidad y la eficiencia del proyecto [21]. Es decir, para que LC funcione se deben aplicar sus principios en forma concreta a las actividades del proyecto. Lauri Koskela propone once principios [22]:

- Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor
- Incremento del valor del producto
- Reducción de la variabilidad
- Reducción del tiempo del ciclo

- Simplificación de proceso.
- Incremento de la flexibilidad de la producción.
- Transparencia del proceso
- Enfoque del control al proceso completo
- Mejoramiento continuo del proceso
- Balance de mejoramiento de flujo con mejoramiento de conversión
- Referenciación.

Estos principios “Lean” solo son posibles de aplicar plena y eficazmente en la industria de la construcción si el interesado en aplicarlos se centra en la mejora de todo el proceso de gestión del proyecto, en la integración de los interesados en el proyecto para concebir el nuevo enfoque de producción que proponen los principios de LC. [23]

En el estudio se concluye que la falta de optimización de los subproyectos que conforman una edificación tiene el más alto porcentaje de incidencia en las pérdidas totales; es aquí donde la filosofía *Lean construction* interviene para tratar de eliminar todas estas causas y obtener mejores rendimientos de las actividades que sí le generan valor al proyecto. La identificación de actividades que agregan o no valor al proyecto se logra mediante la implementación de una cadena de valor en donde, principalmente, se identifican y distinguen unas actividades de otras, como por ejemplo el vaciado del concreto para las placas es una actividad que le genera valor al proceso pero el tiempo de retardo de la mezcladora es una actividad que le quita valor. La cadena de valor es importante ya que el objetivo del pensamiento *Lean construction* es eliminar las actividades que no agreguen valor, la logística también es un proceso que la construcción sin pérdidas trata de optimizar al máximo para disminuir costos y cumplir plazos de entrega antes de los tiempos estimados.

2.2 Herramientas de *lean construction*

De acuerdo con Womack, 1996 y Picchi F, 1993, entre muchos otros, para que *lean construction* funcione es necesario el uso de una serie de herra-

mientas que simplifiquen su uso y que permitan llevar los principios teóricos de la filosofía a la práctica profesional. Estas herramientas son:

2.2.1 Sistema del último planificador- sup (*last planner system*)

El Sistema del Último Planificador fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell en el marco de los objetivos de la filosofía *Lean construction* como un sistema de planificación y control de la producción para mejorar la variabilidad en las obras de construcción y reducir la incertidumbre en las actividades programadas [24]. Básicamente el SUP es un enfoque práctico en el cual los gerentes de construcción y los jefes de equipo colaboran para preparar planes de trabajo que pueden ser ejecutados con un alto grado de fiabilidad para mejorar la estabilidad del trabajo [25].

El sistema propuesto por Ballard y Howell controla de una mejor forma la incertidumbre de la planificación al superar obstáculos como convertir la planificación en un sistema, medir el desempeño de la aplicación del sistema de planificación y analizar e identificar los errores cometidos en la planificación [26].

La planificación tradicional con los métodos de ruta crítica no controla la variabilidad, en cambio el SUP, al agregar un componente de control de la producción a la gestión tradicional de proyectos, puede entenderse como un mecanismo para la transformación de lo que debe hacerse en lo que se puede hacer, formando así planes de trabajos semanales a través de asignaciones [27].

El último planificador es la persona o grupo responsable de la planificación operativa, es decir, de la estructuración del diseño de productos para facilitar un mejor flujo de trabajo y el control de las unidades de producción, lo que equivale a la realización de los trabajos individuales en el nivel operativo [28].

Este nuevo sistema de planificación presenta, además, un nuevo concepto sobre lo que realmente es planificar. Para el SUP planificar es determinar lo que debería hacerse para completar un proyecto y

decidir lo que se hará teniendo en cuenta que debido a ciertas restricciones no todo puede hacerse [29].

El SUP contrasta con los conceptos actuales de planificación de los jefes de terreno, capataces y supervisores de ejecución de trabajo, puesto que estos tradicionalmente planifican en función de aquello que debe hacerse sin tener completa certeza de si pueden tener los recursos necesarios para llevarlo a la práctica [29].

Luis F. Alarcón establece este hecho gráficamente. Como se observa en la Figura 5, los tres estados teóricos de la planificación son: lo que se debe hacer, lo que se hará y finalmente lo que se puede hacer en obra. Para mostrar que tradicionalmente las actividades que se espera ejecutar son mayores que las que se pueden realmente hacer, Alarcón las representa como tres conjuntos. Lo que aquí se ilustra es una de las principales fallas en la planificación tradicional, sencillamente porque el programa general del proyecto dice lo que debe hacerse, los administradores deciden lo que se



Figura 5. Planificación usual. Tomada de *Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas*, Alarcón L.F.

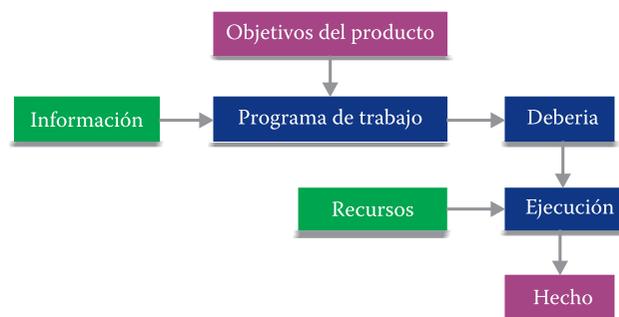


Figura 6. Sistema tradicional de planificación. Tomada de *Application of the new production philosophy to construction*, Koskela, L.

hará y en el terreno realmente se ejecuta lo que puede hacerse.

Según Ballard el esquema tradicional de planificación de la producción es como se muestra en la Figura 6. Este investigador asegura que dicho esquema es poco adecuado para enfrentar la incertidumbre y variabilidad en la construcción, ya que la estructura en sí crea gran incertidumbre al no controlar las restricciones que pueden tener las actividades planificadas.

Para mejorar la selección de actividades que pueden hacerse y así tener plena confianza en que realmente se harán, Ballard propone el Sistema Último Planificador, modificando así el proceso de programación y el control de obra para aumentar la confiabilidad en la planeación e incrementar el desempeño en obra. El modelo de Ballard se muestra en la Figura 7.

De esta forma el SUP controla de una manera más efectiva la ejecución de las actividades necesarias para completar el proyecto, asegurándose de que lo que se planea hacer en la obra realmente será hecho y así evitar paros en obra que conllevan pérdidas de tiempo que retrasan el proyecto y se traducen en un detrimento económico. Aseguran los expertos en el tema que el cambio provoca un mejoramiento en los flujos de trabajo y facilita un mejor control de la variabilidad de los proyectos de construcción.

La implementación del nuevo concepto de planificación que establece la filosofía del Último Planificador se logra removiendo el error de la planificación usual como se muestra en la figura 8, en donde el conjunto de las actividades que se harán son mayores a las que realmente pueden hacerse; la diferencia entre los dos conjuntos planteados serán actividades que quedarán sin hacer, es decir los retrasos.

2.2.2 Estructura del SUP

La estructura del Sistema del Último Planificador se muestra en la Figura 9, se desarrolla en tres niveles distintos de planificación, desde lo más general hasta lo más específico planteando así un modelo de planificación en cascada que se basa en el prin-

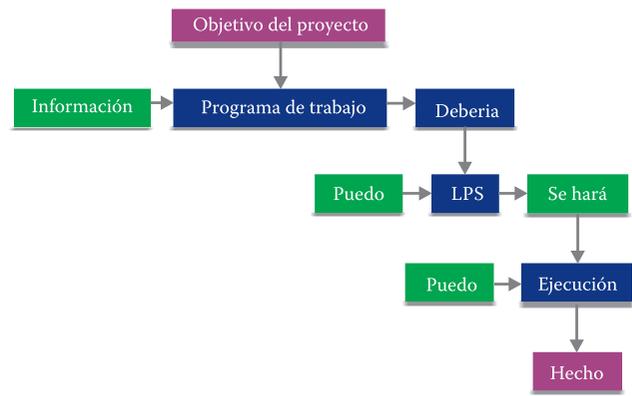


Figura 7. Sistema de Planificación Lean. Tomada de *Application of the new production philosophy to construction*, Koskela, L.

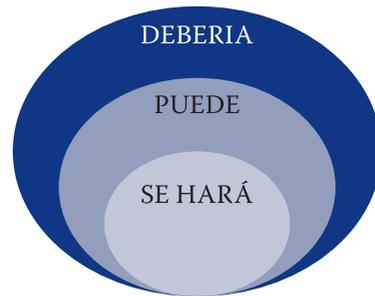


Figura 8. Sistema de planificación Lean. Tomada de *Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas*, Alarcón L.F.

cipio del trabajo sistemático, donde la planificación se realiza en el nivel más bajo de jerarquía de planificadores es decir la última persona o grupo que tiene ver con la supervisión de los trabajos en obra (el último planificador). La filosofía es asegurar que todos los requisitos previos necesarios para realizar un trabajo estén en su lugar antes de asignar las cuadrillas de trabajo a la actividades [30].

Según Ballard todas las tareas tienen tres categorías: deben, pueden y se harán. Estas reflejan cada nivel de planificación de la siguiente manera: el programa maestro indica qué se debe realizar, el programa intermedio prepara el trabajo y realiza la revisión de las restricciones y el plan semanal programa una serie de actividades que pueden ejecutarse comprometiendo a los agentes al cumplimiento del programa.

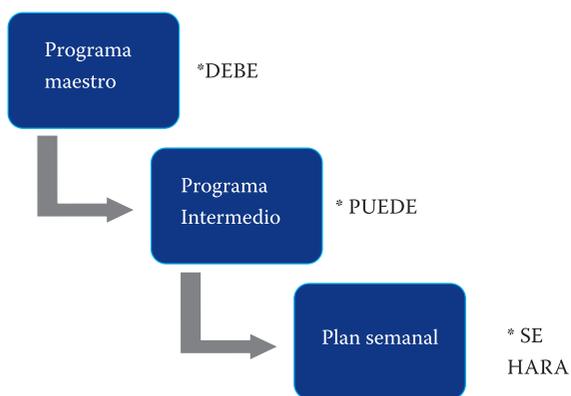


Figura 9. Sistema de planificación Lean. Tomada de *Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: estudio caso de la ciudad de Medellín*, Botero, L. F., Álvarez, M. E.

2.2.3 Planificación general o programa maestro

La planificación general es la programación de todas las actividades necesarias para realizar la construcción de los elementos estructurales, arquitectónicos entre otros que hacen parte del proyecto. La programación maestra se hace en forma de diagrama de Gantt [31], estableciendo los tiempos de todas las tareas necesarias para culminar la etapa de construcción en los proyectos.

2.2.4 Planificación intermedia

La planificación intermedia es el segundo nivel en la aplicación del Sistema Último Planificador y consiste en desglosar la programación general para evitar perder tiempo y material; se destacan aquellas actividades que deberían hacerse en un futuro cercano. Aquí se controlan la coordinación de diseño, los proveedores, los recursos humanos, los requisitos previos para hacer las actividades y la información para que las cuadrillas de trabajo cumplan con sus objetivos en obra.

Para hacer la planificación intermedia deben seguirse los siguientes procesos:

Definición del intervalo de tiempo

Es medido por semanas, su número depende de las características del proyecto y de los tiempos para adquirir información, materiales, mano de obra y maquinaria. Como algunas actividades tienen tiem-

pos de respuesta largos desde que inicia la petición hasta que se recibe la respuesta, los periodos para cada actividad en el programa maestro deben ser identificados durante la planificación inicial.

Definición de las actividades que serán parte del plan intermedio

Se deben explorar minuciosamente todas las actividades del plan maestro que estén contenidas dentro de los intervalos definidos, esto permite obtener un conjunto de tareas para cada intervalo de tiempo dado, cada una de las cuales tendrá unas restricciones que determinan su ejecución.

Análisis de restricciones

Una vez identificadas las tareas que serán parte del plan intermedio es necesario asegurar que estén libres de restricciones para que puedan ser llevadas a cabo en el momento fijado.

Es necesario cumplir con dos etapas para asegurarnos que una actividad esté libre de restricciones:

Primera, revisión del estado de las tareas con respecto a la planificación intermedia teniendo en cuenta sus restricciones y la probabilidad de mover las tareas antes del tiempo para su comienzo. La revisión es el primer paso para controlar el flujo de trabajo, ya que impide la entrada de una tarea que tiene restricciones al plan intermedio, es decir su objetivo principal es filtrar la información que entra a la planificación intermedia.

Segunda, preparar las restricciones. Se trata de definir cuáles serán las acciones tomadas para remover las restricciones para iniciar la actividad en el tiempo planeado, y se debe desarrollar en tres fases: confirmar los tiempos de respuesta de los proveedores verificando quién es el último involucrado con la ejecución de la actividad, tener certeza de que el proveedor tendrá todo listo para el inicio de la tarea en obra y si los tiempos de respuesta anticipados son los adecuados; en caso de resultar demasiado largos se deberán acortar.

Intervalo de trabajo ejecutable

Está compuesto por todas aquellas tareas que tienen la mayor probabilidad de ser ejecutadas, es

decir, aquellas que pasaron por el proceso de revisión y están libres de restricciones; de esta manera se crea un intervalo de tareas que se han de ejecutar. Dentro del intervalo ejecutable existen diversos tipos de actividades, entre ellas:

- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen al intervalo de trabajo ejecutable ITE de la semana en curso pero que no pudieron ser ejecutadas.
- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura.
- Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras.

En caso de que alguna actividad del ITE no pueda ser ejecutada o se ejecute antes, se proveerán otras para que las cuadrillas no queden libres de trabajo y con esto se da por finalizada la programación intermedia.

2.2.5 Planificación semanal

Es la última fase de planificación del SUP y presenta el mayor nivel de detalle antes de la ejecución de un trabajo; es realizada por los administradores de obra, jefes de terreno, jefes de obra, capataces y todos aquellos que supervisan directamente la ejecución de los trabajos en obra. Se mide el porcentaje de Actividades Completadas PAC para saber porcentualmente cual fue el número de actividades programadas que realmente se ejecutaron en obra y así medir que tan efectiva fue la planificación semanal y además tabular las causas por las cuales el PAC no fue del 100% para corregirlas en la siguiente semana.

Formación del programa de trabajo semanal

El programa de trabajo semanal contiene las actividades que serán realizadas durante la semana. Se forma teniendo en cuenta las actividades que se pueden hacer según lo establecido en el ITE, seleccionando lo que puede ser ejecutado en cada semana; esto se denomina “asignaciones de calidad”, es decir que el plan de trabajo semanal estará compuesto solo por asignaciones de calidad.

Para que el plan sea exitoso deben cumplirse los cinco criterios de calidad: definición, consistencia, secuencia, tamaño y retroalimentación.

Porcentaje de programa cumplido

Teniendo ya elaborado el plan de trabajo semanal el Sistema Último Planificador mide el cumplimiento de lo programado en el plan mediante el porcentaje de programa cumplido PPC, el cual compara lo que se planeó hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho en obra. Para calcular el PPC es necesario tener el total de actividades que realmente se pudieron completar en obra, por tal motivo se debe llevar un formato donde cada actividad programada tendrá solo un estado de dos posibles: actividad completada o no completada, de esta forma se obtienen los totales de actividades cumplidas y no cumplidas. El PPC se calcula como:

$$PPC = \frac{(\text{TOTAL ACTIVIDADES CUMPLIDAS})}{(\text{TOTAL ACTIVIDADES PROGRAMADAS})} \times 100 \quad (1)$$

para un mejor análisis los resultados obtenidos al culminar cada semana se pueden ir graficando para evidenciar el rendimiento del SUP a lo largo de la ejecución del proyecto en su fase constructiva, colocando en el eje horizontal las semanas y en el vertical el PPC correspondiente a cada una. Con el grafico se podrá analizar que un aumento en el PPC de una semana a otra conduce a un mejor rendimiento en la ejecución de las labores por parte de las cuadrillas de trabajo [32].

Reunión de planificación semanal

Antes de dar inicio a cada semana de trabajo se debe realizar una reunión para planear y discutir asuntos de planificación semanal; a dicha reunión deben asistir el administrador de obra, el jefe de terreno o encargado de la planificación, los supervisores y capataces, el representante de la oficina técnica y los subcontratistas. Los asuntos a tratar serán:

- Revisar y discutir el PPC de la semana anterior
- Analizar las causas y posibles soluciones al incumplimiento de tareas programadas

- Hacer un paralelo entre objetivos propuestos y alcanzados en el proyecto
- Realizar toda la secuencia necesaria para tener el plan de trabajo de la siguiente semana.

Para lograr cumplir los asuntos planteados el coordinador del sistema de control y el último planificador deben llevar la siguiente información:

Coordinador:

- Programa maestro y planificación intermedia
- Comparación entre objetivos logrados y propuestos por el proyecto
- ITE actualizado.

El último planificador:

- PPC y causas de incumplimiento.
- Información del estado del trabajo
- Lista tentativa de tareas para la nueva semana
- Revisión de restricciones de las tareas
- Listado de las tareas que entrarán a la planificación intermedia y la planeación de la semana anterior.

La metodología de implementación del Sistema Último Planificador queda detallada como:

- Reunión con el grupo de trabajo
- Creación de la planificación intermedia
- Creación del inventario de trabajo ejecutable
- Creación de la planificación semanal
- Medición de los indicadores PPC y CNC

En las implementaciones es importante que el grado de compromiso del equipo sea completo para tener una mejor fortaleza. [33].

Los beneficios que trae la implementación del SUP son:

- Aumento de la seguridad en obra
- Ayuda a estabilizar la producción
- Facilita el control proactivo
- Reduce los tiempos de espera
- Fomenta relaciones eficaces
- Funciona en proyectos grandes y pequeños
- Añade valor al proyecto
- Reduce los costes del personal especializado en obra
- Fomenta el valor, el flujo y la transformación

2.3 Prueba de los cinco minutos para el análisis de pérdidas

En el proceso de aplicación de *Lean construction* el primer paso es realizar un estudio cuantitativo del tiempo de permanencia en obra de los trabajadores, para estimar que tan productiva es la labor de todo el conjunto de cuadrillas en la obra, es decir analizar cómo están distribuyendo el tiempo que debe ser dedicado para trabajar en la obra y así tener un estimado del tiempo dedicado realmente a hacer labores para optimizarlo y tomar medidas de corrección en cuanto al tiempo desperdiciado. Para ello se realiza un formato de prueba llamado “Medición de pérdidas” o “Prueba de los cinco minutos”.

El procedimiento consiste en hacer un muestreo aleatorio simple de la población de estudio (obrerros de la construcción) en las actividades laborales más representativas y analizar a que se dedica en un tiempo de cinco minutos/obrero en ese intervalo de tiempo estudiado un obrero puede usar el tiempo de tres formas: [34]:

- *Tiempo productivo TP*: es el tiempo que el trabajador destina a la producción de alguna unidad constructiva.
- *Tiempo contributivo TC*: es el tiempo dedicado a labores necesarias para que se realicen las acciones productivas.
- *Tiempo no contributivo TNC*: es el tiempo que no se aprovecha para trabajar, como por ejemplo descanso, tiempo ocioso, tiempo empleado en cubrir las necesidades fisiológicas, entre otros.

Para el análisis de los resultados de los tiempos que se toman en campo es muy útil usar los diagramas de Pareto.

En Colombia se tienen evidencias de la implementación de prueba de los cinco minutos en un análisis sobre la aplicación del *Lean construction* al caso colombiano hecho por el arquitecto Luis F. Botero, de la Universidad Eafit, en asociación con algunas empresas constructoras de Bogotá, Manizales y Medellín y entidades como el Sena y Colciencias. [35]

2.4 Modelos de ejecución de proyectos

Los modelos de ejecución de proyectos son diversos y se emplean para facilitar la construcción de edificaciones. La elección del modelo depende del propietario del proyecto y los entes que conocen lo que se ejecutará en la obra.

En los Estados Unidos hacia la década de 1980, los expertos e interesados por organizar mejor los proyectos constructivos trataron de que las partes tuvieran objetivos comunes de cooperación en la ejecución de los proyectos, pero sin gran éxito, los intereses personales primaban y se generaban conflictos que perjudicaban al proyecto.

Hacia 1990, surge el modelo *Integrated Project Delivery* – IPD, lo que se traduce como ejecución integrada de proyectos, y define la forma de organizar a todas las personas que trabajan en el proyecto en un grupo de trabajo colaborativo junto al cliente para entender mejor las ideas que cada quien desea aportar, al final la metodología a seguir será la intersección de todas esas ideas sobre el diseño y de las

etapas de construcción, de esta manera se mejora la ejecución de los proyectos de construcción [36].

Como ya se estableció, el objetivo principal de la filosofía *Lean construction* es la generación de valor a través de herramientas y modelos adecuados para ello; con el modelo IPD se pretende solucionar la falta de cooperación entre las partes que intervienen en el proyecto y cambiar las actitudes de individualismo que generan ineficiencias y pérdidas, y se constituyen en obstáculos para la creación de valor.

El modelo IPD compite con el modelo tradicional de ejecución de proyectos que se conoce como licitación - construcción, y que generalmente tiene como metodología de implementación la ruta diseño - licitación - construcción. En la Figura 10 se pueden observar los contrastes de ambas metodologías. En el modelo tradicional los constructores de procesos superiores no entran en el proyecto hasta que el diseño se ha completado sustancialmente, en el modelo IPD todo el equipo entiende lo que el cliente quiere y cómo se entregará el proyecto [37]. Puesto que la ejecución es integrada se optimizan

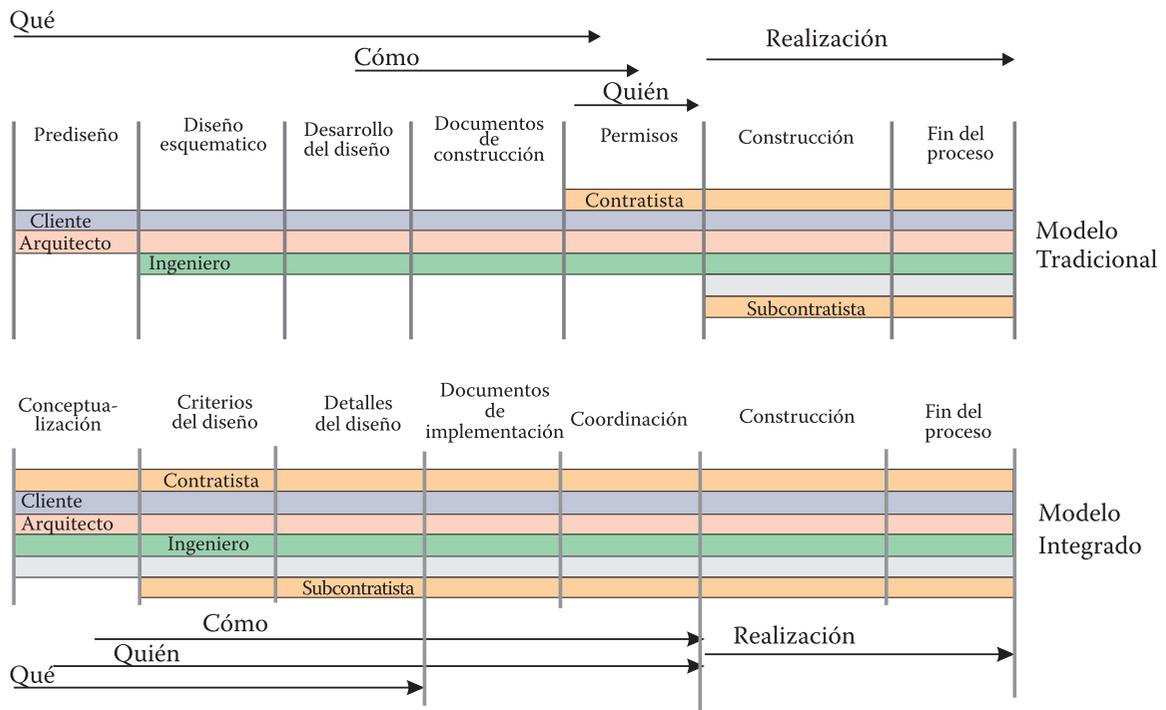


Figura 10. Modelo tradicional de ejecución de proyectos *vs* modelo integrado
Tomada de <http://innovatechbuild.com/category/construction/>.

las relaciones para mejorar los tiempos de entrega de un proyecto constructivo mediante una mayor participación del propietario.

Según Greg Howell, IPD es un conjunto de condiciones comerciales que unen a las partes en una entidad donde comparten el éxito o el fracaso del proyecto. Estas prácticas se apoyan en el modelo de gestión de proyectos *Lean LPDS* (*Lean Project Delivery System*) o Sistema de Entrega de Proyectos Lean, que se entiende como el sistema operativo para la gestión del trabajo del proyecto. El modelo LPD abarca la cooperación mediante la formación de un equipo integrado por el arquitecto, el constructor y todas las demás partes críticas del proyecto, quienes deben ser tratados como agentes en la búsqueda de objetivos compartidos [38].

Muchos estudios señalan la importancia del proceso de diseño de los edificios en términos de mejorar los rendimientos de la industria de la construcción [39], señalando que una de las fases más importantes en la generación de un proyecto de construcción es su definición, un proceso en el cual se define el propósito del proyecto y el desarrollo de los medios para cumplirlo. El proceso produce, en una primera etapa, las fases de planificación y el diseño de instalaciones físicas que requieren inversión de capital [40].

El modelo LPDS toma las fases importantes de la definición del proyecto y las adecua a la metodología de LC, la cual sugiere que el cliente sostenga conversaciones con los diseñadores e ingenieros para evitar futuros conflictos en el planteamiento de los diseños del proyecto, con la ayuda de las herramientas BIM para comprender mejor la infraestructura del proyecto y corregir posibles errores en los diseños [41].

2.5 Sistema de ejecución de proyectos “lean” y ejecución integrada de proyectos

La ejecución integrada de proyectos o modelo IPD (Integrated Project Delivery), se basa en una alta colaboración entre el cliente, el proyectista y el con-

tratista general, desde las fases iniciales del diseño hasta la puesta en marcha del edificio, Enfocando sus objetivos a mejorar las relaciones del recurso humano en los proyectos constructivos mediante el cambio de los momentos en que los desarrolladores del proyecto intervienen en él para aumentar el nivel de comprensión del proyecto y acortar sus fases. Al aplicar *Lean Construction* al modelo IPD se obtiene como resultado el sistema de ejecución de proyectos “Lean” LPDS (Lean Project Delivery System) [42], el cual toma lo mejor de IPD y LC para alinear personas, sistemas, procesos de negocio y prácticas con el fin de aprovechar los talentos e ideas de los participantes para optimizar valor para el cliente, reducir residuos y maximizar la eficacia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción [43].

Un proyecto se define como el medio para conseguir la realización de una idea concebida. Esta es la forma fundamental de los sistemas de producción de fabricación repetitiva, y la construcción está incluida en estos sistemas de producción temporal, y se denomina “Lean” cuando está hecho para entregar el producto en un tiempo que maximiza valor y minimiza residuos. El objetivo principal del sistema LPD es desarrollar teorías, reglas y herramientas para la gestión de los proyectos. La gestión de proyectos “Lean” difiere de la gestión tradicional no solo en los objetivos perseguidos, las diferencias más notables son la estructura de las fases, la relación entre estas y quien participa en ellas [44].

Con el modelo LPD la filosofía *Lean construction* abarca toda la vida del proyecto de construcción, y al integrar la fase de diseño con la de producción, une todos los agentes que intervienen en un proceso continuo de colaboración, cuyo objetivo es generar valor al proyecto para el cliente. El modelo teórico de LPDS se describe en la Figura 11 como un conjunto de cinco fases y once etapas de desarrollo práctico que son controladas por un módulo de aprendizaje continuo para ir aprendiendo de los errores cometidos en cada etapa de aplicación de LPDS al proyecto.

Entonces la estructura teórica observada en la Figura 11 del sistema LPDS es muy diferente a la

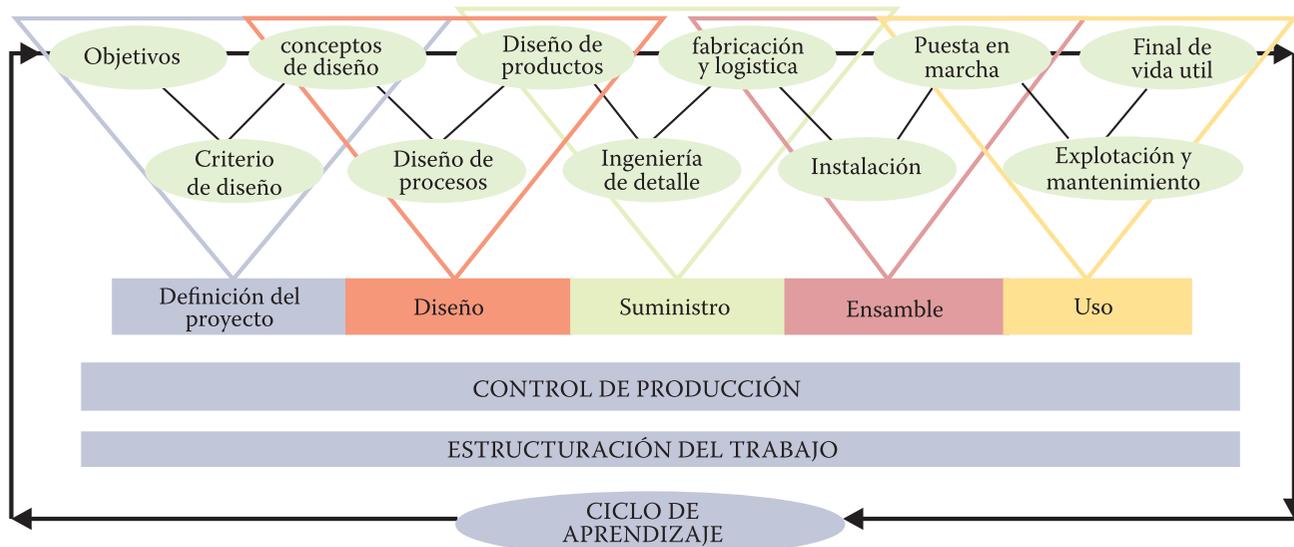


Figura 11. *Lean Project Delivery System*. Tomada de *Lean construction Institute*.

del sistema tradicional de ejecución de proyectos diseño-licitación-construcción pues desarrolla el proyecto en fases más completas y pretende solucionar problemas que ocurren en el modelo tradicional en la fase de diseño como por ejemplo generalmente los diseñadores plantean diseños sin saber muy bien lo que el cliente desea y al llegar la etapa de construcción cuesta mucho dinero arreglarlos, errores debido a falta de comunicación entre los involucrados en ambas fases, lo que propone LPDS es la formación de un único equipo conformado por el cliente, arquitectos, constructores y otros jugadores importantes en la búsqueda de un objetivo común, y este sería el avance del proyecto para culminarlo en un mejor tiempo.

2.5.1 Descripción general de las fases del modelo LDPS

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las cinco fases que se implementan en el modelo:

Definición del proyecto

Es la primera fase del modelo, está conformada por tres etapas, a saber: las necesidades y valores, los criterios de diseño y los conceptos de diseño. Se implementan antes de comenzar el trabajo de diseño como tal.

La primera etapa comprende el análisis y estudio de las necesidades de los clientes finales, es decir lo que desea el cliente; la siguiente etapa engloba los criterios de diseño, o sea, las pautas que deben seguirse para la concepción del proyecto, por ejemplo las normas técnicas de construcción. Finalmente, en la última etapa, empiezan a surgir las primeras ideas, que plasmadas en esquemas o anteproyectos dan forma al diseño conceptual. Las etapas de la primera fase deben ser dinámicas e interactivas para lograr que los diferentes intereses de los involucrados tengan un alto grado de convergencia y así pasar a la etapa de diseño [45].

Diseño “Lean”

Es la segunda fase en la gestión de proyectos “Lean” y al igual que en la primera fase tiene tres etapas que interactúan entre sí, el diseño de procesos, el diseño de productos y los conceptos de diseño, etapa común a ambas fases.

En esta fase se desarrolla el diseño conceptual del producto que se planteó durante la definición del proyecto con el fin de obtener el diseño definitivo y, al mismo tiempo, establecer el proceso constructivo que se plantea en la etapa de diseño, todo esto verificando las necesidades del cliente y optimizando al máximo los recursos. En el control de la producción del diseño “Lean” se usa la

herramienta del Sistema del Último Planificador, también herramientas informáticas como el diseño 3D para comprender mejor los diseños de los elementos que conforman el proyecto [46].

En el paso de la fase de diseño “Lean” a la siguiente, cuando el diseño y el proceso constructivo se han desarrollado teniendo como base los conceptos previamente definidos, conceptos que expresan las necesidades del cliente y de las partes involucradas, el diseño deberá ser evaluado explícitamente por el equipo de diseño/construcción y el cliente antes del cambio al suministro “Lean” o suministro sin pérdidas [46].

Suministro “Lean”

La fase de suministro “Lean” comprende las etapas de fabricación y logística, diseño de producto e ingeniería de detalle. La fase en sí consiste principalmente en la ingeniería de detalle del diseño de lo producido en la etapa previa (diseño “Lean”), seguido de la fabricación o compra de componentes y materiales, así como de la logística de gestión de entregas e inventarios [46].

En los proyectos de construcción es común que se necesiten profesionales que se aseguren de que el abastecimiento de los materiales esté disponible para un flujo de trabajo óptimo, para evitar la escasez de materiales en el lugar donde se necesitan. Las consecuencias directas de la falta de abastecimiento de los materiales traen como consecuencia atrasos en el proceso constructivo de los proyectos.

El abastecimiento “Lean” aborda el problema de falta de abastecimiento a través de tres enfoques principales: 1) Mejorar el flujo de trabajo de fiabilidad, mantenimiento, identificación, restricción y remoción. 2) El uso de software de gestión de proyectos basado en la web para aumentar la transparencia a través de las cadenas de valor. 3) La vinculación de flujo de trabajo de producción con suministro de material [47].

Ensamblaje “Lean”

Esta fase está conformada por los módulos fabricación, logística, instalación y puesta en servicio.

Como se ha expuesto, la filosofía “Lean” no es un método o unos pasos a seguir, sino una manera de pensar para optimizar la producción de los proyectos constructivos. En el caso del montaje de los materiales en obra se ha optado por la prefabricación, que permite operar de una manera “Lean” mediante la reducción de muchos pasos, teniendo en cuenta que los trabajos en obra se ven afectados por condiciones de incertidumbre, como las variaciones del clima y las limitaciones de mano de obra especializada, materiales y equipos.

Con un taller de fabricación se crea un ambiente controlado y predecible. El nuevo enfoque de la prefabricación permite que los obreros mejoren los tiempos de trabajo tan solo con la instalación de los diferentes equipos, por ejemplo, en la plomería para cuartos de baño de los proyectos edificatorios se usan tuberías prefabricadas que se instalan en cuestión de minutos, cumpliendo las especificaciones técnicas y los estándares de calidad. El montaje o ensamblaje “Lean” se usa en los actuales proyectos de construcción, poniendo los materiales, sistemas y componentes en su lugar para crear una instalación mejor y completa en menos tiempo [47].

2.5.2 Control de producción y trabajo estructurado

Como se observa en la Figura 12, el módulo de control de la producción abarca todo el modelo LPDS y consiste en el control del flujo de trabajo y el control de producción del proyecto. Los módulos de control del trabajo y de la producción se usan en todo proyecto para gestionar la producción. El término estructuración del trabajo fue desarrollado en el Instituto *Lean construction* por Glenn Ballard en 1999, para describir los procesos en la construcción [48].

2.5.3 Ejecución integrada de proyectos o IPD

La ejecución de proyectos integrados es un enfoque de gestión cuyo principal objetivo es lograr integrar personas, sistemas, estructuras y prácticas de negocio en un proceso de colaboración en el

cual se aprovechan los talentos y puntos de vista de todos los participantes de los proyectos para optimizar sus resultados, aumentando su valor para el propietario[49].

El modelo IPD se basa principalmente en la colaboración y hablar de colaboración es sinónimo de confianza entre las partes que desarrollan el proyecto, IPD genera buenos resultados siempre y cuando las personas se respeten mutuamente y se centren en obtener buenos resultados para el proyecto y no se desvíen en lograr metas individuales. Para lograr cumplir los objetivos anteriores sobre alineación de personas IPD establece los siguientes principios [50]:

- Respeto mutuo y confianza
- Beneficio mutuo y recompensa
- Innovación colaborativa y toma de decisiones
- Definición temprana de objetivos
- Planificación intensificada
- Comunicación abierta
- Tecnología apropiada
- Organización y liderazgo.

La razón por la cual el modelo IPD se distingue de los demás es que integra al propietario, el equipo de diseño y al contratista, desde la etapa de diseño inicial hasta la finalización de la misma, la clave para lograr ejecutar un proyecto IPD con éxito es la conformación de un equipo de trabajo que se comprometa en el proceso colaborativo y sea capaz de trabajar mancomunadamente y de manera eficaz. [51]

2.6 BIM como herramienta de *lean construction*

Building Information Modeling (BIM) es el proceso de generación y modelado de datos de la construcción durante todo su ciclo de vida. Es también una herramienta y un proceso que aumenta la productividad y precisión en el diseño y construcción de edificios. Para el modelado dinámico de la construcción BIM utiliza el software en tres dimensiones y opera en tiempo real con la disponibilidad continua de diseño del proyecto, alcance, cronograma, y la

información de costos que debe ser de alta calidad, fiable, integrada y totalmente coordinada. Todo el proceso produce el modelo del edificio, abarcando su geometría, información geográfica, las cantidades de obra y las propiedades de los componentes del edificio [52].

BIM es visto como un enfoque emergente que le ayudará a la industria de la construcción en la consecución de los objetivos de *Lean construction*, eliminación de pérdidas, reducción de costos, mejora de la productividad de los equipos de trabajo y resultados positivos para el proyecto. Estudios de casos detallados han demostrado que actualmente BIM y LC actúan por separado, por lo que las futuras investigación deben buscar una práctica conjunta de ambos paradigmas cuyo resultado sea la ampliación de la definición de BIM como un proceso “Lean” [53].

Como el principio fundamental de “Lean” es reducir o eliminar residuos, el BIM aborda muchos aspectos de los residuos que se producen, primero en las fases de diseño, y luego en la fase de construcción. A medida que el concepto de diseño se desarrolla, diseñadores, propietarios y constructores pueden tomar decisiones que eviten concentraciones de residuos en obra. Las revisiones tradicionales del proceso constructivo sin usar BIM consumen tiempo que se traducen en gastos [54].

Lean construction y BIM son dos diferentes iniciativas de la industria de la construcción, pero algunos de los principios de BIM pueden afectar positivamente los principios de *Lean construction* para mejorar los proyectos constructivos [55].

“Lean”, en su forma más simple, significa la eliminación de residuos de todo lo que hacemos, y al aplicarse a la construcción proporciona una manera de ofrecer un alto rendimiento en todas las categorías medidas, incluyendo calidad, costo, entrega, rentabilidad y sostenibilidad [56].

Funcionalidades del BIM

- Visualización de formas
- Rápida generación de alternativas de diseño
- Usos de modelos de datos para predicción de análisis

- Mantenimiento de información y modelado integrado de diseño
- Generación automatizada de dibujos y documentos
- Colaboración en diseño y construcción
- Evaluación y generación rápida de múltiples alternativas de planes de construcción
- Comunicación en línea.

En el artículo *“Interaction of Lean and Building Information Modeling in construction”* los autores presentan cincuenta y seis interacciones entre los principios “Lean” y BIM, susceptibles de generar cambios en los procesos de producción de los proyectos constructivos a través de la unificación de estas dos alternativas.

Un ejemplo de uno de los principios de *Lean construction* que se ve afectado por el BIM es la variabilidad de los tiempos de ejecución, con la filosofía “Lean” el objetivo es reducirlos y el BIM ayuda con las funcionalidades de visualización de formas y rápida generación de diseños alternativos.

La unión de los modelos BIM e IPD promete brindar eficiencia, ahorro de costos y aumento de la productividad en el sector constructivo. Las investigaciones en la unión de ambos enfoques sostienen que el uso de un modelo integrado BIM-IPD tiene un impacto positivo en la ejecución de los proyectos constructivos [57]; la tabla 3 presenta los beneficios de ambas metodologías.

A pesar de ser iniciativas diferentes *Lean construction* y *Building Information Modeling* están teniendo un profundo impacto en la industria de la construcción. Análisis rigurosos demuestran interacciones específicas entre las iniciativas, la mayoría de las interacciones indican que existe una sinergia que, si se entiende correctamente en términos teóricos, se puede aprovechar para mejorar los procesos de construcción más allá del grado en que se podrían mejorar mediante la aplicación de estos dos paradigmas en forma independiente [58].

Como conceptos distintos que se aplican en forma independiente proporcionan un profundo impacto

en el mejoramiento del desarrollo del proyecto, las evidencias teóricas encontradas en artículos de investigación muestran que se obtendría una ganancia potencial si BIM y “Lean” se usan juntos [59].

3. Tendencias del *Lean construction*

El *Lean construction* se postula como una nueva forma de pensamiento en la gestión de proyectos constructivos. Desde que el profesor Lauri Koskela elaboró su fundamentación teórica en el año 1992, los avances investigativos han sido cada vez más fuertes y llevados a la aplicación práctica, es decir, los investigadores crean las bases teóricas de las herramientas basadas en la filosofía LC y las empresas constructoras las han implementado en sus proyectos de construcción demostrando que las herramientas de *Lean Construction* ofrecen una mejora clara en el ahorro de costos y de los tiempos de ejecución de las obras.

El avance más notable de las implementaciones de las herramientas “Lean” es en los Estados Unidos, el *Lean construction* con su filosofía de mejorar el concepto de la productividad ha reflejado excelentes impactos en las principales compañías norteamericanas, como por ejemplo *Sutter Health* en la cual se desarrollan artículos y herramientas “Lean” para la mejora de sus procesos constructivos.

Tabla 3. Beneficios de BIM e IPD.

Beneficios	BIM	IPD
Planificación y conceptualización	X	X
Diseño y pre construcción	X	X
Consecución		X
Fabricación	X	
Costo	X	X
Horarios	X	X
Calidad	X	
Dinámicas de trabajo y de proyecto		X
Construcción y gestión de operaciones	X	

Tomada de *Interaction of lean and Building Information Modeling in construction*, de Sacks, R., Koskela, L., Bhargav, A.D., Owen, R.

Los buenos resultados que han mostrado los artículos publicados con estudios de casos prácticos y las conferencias fomentadas por los expertos y creadores de la filosofía LC, han logrado que los principios Lean sean estudiados e implementados en países como España, China y Egipto, entre otros con el objetivo de mejorar los procesos de gestión de los proyectos de construcción.

La filosofía Lean Construction es una tendencia creciente en el sector de la construcción debido a los beneficios que aporta al mejoramiento de la producción en los proyectos, prueba de su crecimiento es su expansión mundial y el crecimiento teórico del alcance de su implementación en las fases de los proyectos, primero surgió como un enfoque para mejorar el concepto de la producción tradicional que se tenía sobre la construcción, luego se centró en reformular el concepto de planificación y control de las obras logrando excelentes beneficios de mejora para la fase de planificación en construcción, llegando hoy a estar presente en todas las etapas de desarrollo del proyecto y abarcando todo su ciclo de vida con el modelo LPDS un concepto más global para desarrollar un proyecto de construcción. Las tendencias de investigación actualmente en el mundo están centradas en lograr que las tecnologías BIM hagan parte de las bases teóricas de *Lean construction*. Aseguran los expertos que la redefinición del concepto BIM como parte de la filosofía *Lean construction*, generaría máximos beneficios en los proyectos de construcción. La futura investigación en el campo *Lean construction* se ocupará del desarrollo de metodologías rigurosas para cuantificar, y luego probar, los efectos que traerían las nociones de un modelo unificado BIM-LC.

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; algunos proponen que el LC haga parte del enfoque

PMI para crear así un modelo con lo mejor de las dos metodologías.

En los Estados Unidos ya el LC hace parte del plan de estudio en las carreras universitarias afines con la Ingeniería Civil; en Latinoamérica el país más avanzado, en donde el LC hace parte del plan de estudios de Ingeniería Civil es Chile, de la mano de Luis Alarcón.

Se deja planteado que el avance de *Lean construction* es cada vez más rápido y que está abarcando todas las metodologías actuales que se conocen sobre ejecución de proyectos de construcción y Colombia debe estar a la vanguardia de estas investigaciones e innovar en el futuro de *Lean construction*.

4. Conclusiones

El *Lean construction* como modelo de gestión de proyectos de construcción plantea una mejor metodología para administrar los proyectos, cambiando el paradigma actual de ver la construcción como un modelo solo de transformación por un modelo de TFV (transformación-flujo-valor) ya que omitir optimizar las metodologías necesarias para lograr obtener una unidad constructiva y confiar solamente en un modelo donde la materia prima se transforma en producto no es viable para la construcción (por ejemplo la construcción de metros cuadrados de muro) por que se genera desperdicios de recursos en obra que pueden llegar a casos de aproximadamente 30% de desperdicio.

La incertidumbre que el enfoque del PMI genera en la fase de programación de los proyectos mediante los métodos de ruta crítica es uno de los errores que el LC corrige mediante la aplicación del Sistema del Último Planificador con la inserción de la planificación en cascada que toma el programa que tradicionalmente se obtiene con el diagrama de Gantt como una planificación muy general y la desglosa en planificaciones más cortas y específicas que generan planes de trabajo semanales con alta probabilidad de cumplirse para evitar retrasos en obra por problemas en la mala planificación se propone entonces cambiar el método tradicional de planificación de ruta crítica por el SUP.

Referencias

1. Ballard, G. 1999 what is Lean Construction. En: Seventh Conference of the International Group for Lean Construction, California-USA, IGLC, Paper 7.
2. Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University, USA.
3. Forbes, L.H., Ahmed, S.M. (2011) foundations of Lean Construction. En: *Modern Construction*, United States of America, Taylor & Francis Group, (3).
4. *History Lean Construction Institute*, Consultado 3 de octubre 2013, En: <http://www.leanconstruction.org/about-us/history/>.
5. Bertelsen, S, (2004). Lean Construction: where are we and how to proceed? , *Lean Construction Journal*, 1, 46-69.
6. Lean Construction Institute. *What is Lean Construction*, consultado 5 de Octubre 2013. En: <http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction/>.
7. Ohno, T., (1998). *The Toyota Production System: Beyond large scale production*, production press, Cambridge.
8. Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry, *Lean Construction Journal*, 105-121.
9. Buleje, K.E, (2012). *Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
10. Pablo Orihuela. *Lean Construction en el Perú*, consultado 10 de octubre 2013, En: <http://www.motiva.com.pe/Articulos/Lean%20Construction%20en%20el%20Peru.pdf>.
11. Senaratne S., Wijesiri, D. (2008). Lean Construction as a strategic option: testing its suitability and acceptability in Sri Lanka, *Lean Construction Journal*, 34-48.
12. Koskela L., Huovila, P. (2002). Design management in building construction: from theory to practice, *Journal of Construction Research*, 31-16.
13. Sánchez, J. (2012). Project management models: Lean thought project management, *Dyna*, 87, 214-221.
14. Fayek, R., Hafez, S. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement, *Alexandria Engineering Journal*.
15. Mossman A. (2005). Last Planner overview: collaborative program coordination, *Lean Construction Institute*.
16. *Lean Construction: implicaciones en el uso de una filosofía con miras a una mejor administración de proyectos de ingeniería civil en República Dominicana*, consultado 15 de octubre 2013, En: <http://www1.lsbu.ac.uk/water/>.
17. Lean Construction Institute. *Last Planner* ®, consultado 17 de octubre 2013, En: <http://www.leanconstruction.org/training/the-last-planner/>.
18. Alarcón, L., Armiñana, E., (2008). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas, *Revista de Obras Públicas*, 3.496, 45–52.
19. Pablo Orihuela. *Sistema integrado para la gestión Lean de proyectos de construcción*, consultado 23 de octubre 2013, En: <http://www.motiva.com.pe/Articulos/Sistema%20integrado%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20Lean%20de%20proyectos%20de%20construcci%C3%B3n.pdf>
20. Construction Industry Institute (2007), Lean implementation at the project level, *research summary the University of Texas at Austin*, 234-1, 1–36.
21. Issa, U.H. (2013). Implementation of Lean Construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time, *Alexandria Engineering Journal*.
22. Botero, L.F, *gestión de la producción en la construcción*, consultado 30 de octubre 2013, En: http://media.wix.com/ugd/df967c_6306cf97dddc44adbe71b6f3be3dcae.pdf?dn=3.+Gesti%C3%83%C2%B3n+de+la+producci%C3%83%C2%B3n.pdf.

23. Marhani, M. A., Jaapar, A., Bari, N. A. (2012), Lean Construction: towards enhancing sustainable construction in Malaysia, *Procedia- social and behavioral sciences*, 68, 87-98.
24. Patel, A. (2011). *The Last Planner System for reliable project delivery*, The University of Texas at Arlington. Arlington, Texas.
25. Kalsaas, B. T. (2012). The Last Planner style of planning: its basis in learning theory, *Journal of engineering project and production management*, 2(2), 88–100.
26. Botero, L. F., Álvarez, M. E. (2005). Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: estudio caso de la ciudad de Medellín, *Ingeniería y desarrollo*, 17, 148–159.
27. Rodríguez, A. D., Alarcón, L. F., Pellicer, E. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador, *Revista de obras públicas*, 3518, 1–9.
28. Salem O., Solomon J., Genaidy A., Luegring M. (2005). Site implementation and assessment of Lean Construction techniques, *Lean Construction Journal*, 2 (1), 1–21.
29. Mestre, I. S. (2013). *Last Planner System*. Universidad Pontificia de Valencia. España, Valencia.
30. Shang, G, Pheng, L. S., (2014). The Last Planner System in China's construction industry- a SWOT analysis on implementation, *internal journal of project management*, 1–13.
31. Andrade, M., Arrieta, B. (2011). Last Planner en subcontrato de empresa constructora, *revista de la construcción*, 10-1, 36–52.
32. Ballard G., Tommeleint I., Koskela L., Howell G., *Lean Construction tools and techniques*, consultado 2 de noviembre 2013, En: http://www.academia.edu/811476/Lean_construction_tools_and_techniques. _
33. Araque, G.A, (2010). *Planeación e implementación de la filosofía Lean Construction en base al estudio de pérdidas y aplicación del sistema Last Planner en un proyecto constructivo de la empresa Marval S.A.* Universidad Pontificia Bolivariana, Piedecuesta-Bucaramanga.
34. Botero, L. F., *Lean Construction (aplicación al caso colombiano)*, consultado 3 de noviembre 2013, En: http://media.wix.com/ugd/df967c_ac0e508380_be307249ea67091e7230f9.pdf?dn=10.+aplicaci%C3%83%C2%B3n+lean+colombia.pdf.
35. Mossman, A. (2013). Sistema del Último Planificador conversaciones cruciales para un diseño y construcción fiable de infraestructuras, consultado 4 de noviembre de 2013. En: <http://bit.ly/SUP-LPS-es> (6-Dec-13).
36. Furst P.G, (2010). Constructing integrated Project delivery, *Industrial Management*, 19–24.
37. Mossman A., Ballard G., Pasquire C, (2010). Lean Project Delivery- innovation in integrated design and delivery, *Lean Construction Journal*, 1–26.
38. Cleves J.A, Michel J.F, 1999. Lean Project Delivery: a winning strategy for construction and real estate development. En: Grant Thornton publications- USA.
39. Tzortzopoulos P., Formoso C.T, 1999. Considerations on application of Lean Construction principles to design management. En: Seventh Conference of the International Group for Lean Construction, California- USA, IGLC, Paper 7.
40. Whelton M.G, (2004). *The development of purpose in the project definition phase of construction projects- implications for project management*, University of California Berkeley, USA.
41. Ballard G, (2007). The Lean Project Delivery System: an update, *Lean Construction Journal*, 1–22.
42. *Last Planner 5+1 crucial y collaborative conversations for predictable design y construction delivery*, Consultado 14 de Noviembre 2013, En: <http://bit.ly/LPS-5cc> (22-Apr-13).
43. Ballard, G., Howell, J. A. (2003). Lean Project management, *Building Research y Information*, 31, 1–15.

44. *What is lean Project delivery*, Consultado 14 de Noviembre 2013, En: http://www.thechange-business.co.uk/TCB/Lean_Construction_files/What-is-Lean-Project-Delivery.pdf
45. Pablo Orihuela y Jorge Orihuela. *aplicaciones del lean design a proyectos inmobiliarios de vivienda*, consultado 14 de noviembre 2013, En:<http://www.motiva.com.pe/Articulos/Lean%20Design%20en%20Proyectos%20Inmobiliarios.pdf>.
46. Pablo Orihuela, Jorge Orihuela, Juan C. Vásquez. *el lean design y el enfoque hacia el cliente*, consultado 14 de noviembre 2013, En:<http://www.motiva.com.pe/Articulos/Lean%20Design%20en%20Proyectos%20Inmobiliarios.pdf>.
47. Ballard, G. 2000 Lean Project Delivery System. En: LCI White Paper-8, Arlington- Texas, Lean Construction Institute, Paper 8.
48. Forbes, L.H., Ahmed, S.M. (2011) Lean Process Management. En: *Modern Construction*, United States of America, Taylor & Francis Group, (4).
49. *What is integrated lean Project delivery*, Consultado 14 de Noviembre 2013, En: The American Institute of Architects. 2007 Integrated Project Delivery a Guide. En: AIA version 1, California, Lean Construction Institute, Paper 1.
50. Lind, D. (2012). Integrated Project delivery for building new airport facilities, *AIRPORT MANAGEMENT*, 6, 207–216.
51. Thomsen, C., Darrington, J., Lichtig, W. (2011) managing integrated project delivery.
52. Gerber D.J, Kunz A., Gerber B.B. 2010. Building Information Modeling and Lean Construction: technology, methodology and advances from practice. En: 18th annual Conference of the International Group for Lean Construction, Haifa, Israel, IGLC.
53. Forbes L.H., Ahmed S.M. (2011) Information and Communication Technology/ Building Information Modeling. En: *Modern Construction*, United States of America, Taylor & Francis Group, (8).
54. Sacks, R., Koskela, L., Bhargav, A.D., Owen, R, (2010). Interaction of lean and Building Information Modeling in construction, *Journal of construction engineering and management*, 136, 968-980.
55. CIRIA, *implementing Lean in construction*, CIRIA RP978
56. Ilozor, B.D, Kelly, D.J. (2012). Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the commercial Construction industry: a conceptual study, *Journal of engineering, project and production management*, 2 (1), 23-36.
57. Sacks, R, Koskela, L., Bhargav A.D, Owen R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction, *journal of construction engineering and management*, 136(9), 968-980.
58. Moghadam M, Alwisy, A., Al-Hussein M, (2012). Integrated BIM/Lean base production line schedule model for modular construction manufacturing, *journal of construction engineering and management*, 1271-1280.