



ISBN: 978-85-67169-04-0

SIBRAGEC ELAGEC 2015

São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

ENTORNOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN CONSTRUCCIÓN - RELACIÓN CON LA EVOLUCIÓN DE LA APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION EN COLOMBIA

CANO, Sandra (1); FAJARDO, Marcela (2); BOTERO, Luís (3); RUBIANO, Oscar (4)

(1) Universidad del Valle, +(57) (2) 3398462, e-mail: sandra.cano@correounivalle.edu.co, (2) Universidad EAFIT, (57) (4) 2619500 Ext. 9659, e-mail: marcefajardo@hotmail.com, (3) Universidad EAFIT, +(57) (4) 2619500 Ext. 9659, e-mail: lfbotero@eafit.edu.co, (4) Universidad del Valle, +(57) (2) 3398462, e-mail: oscar.rubiano@correounivalle.edu.co

RESUMEN

La caracterización de los entornos y los sistemas de producción en manufactura está asociada al tipo de producto, la manera como este se produce y el tipo de demanda. El producto de construcción es único, se elabora en el sitio de entrega, los recursos fluyen a través de él durante su elaboración, cada producto exige configurar una cadena de suministro específica para su planificación, ejecución y control, etc. Estas características proporcionan elementos para entender e identificar los entornos de producción de proyectos de construcción y las configuraciones de su sistema de producción, para entender la producción de proyectos de construcción como insumo para establecer una relación que permita una transformación LC. Los datos de entrada para esta investigación se obtiene principalmente en el campo, en el contexto colombiano como un contexto piloto. Se utiliza una metodología que permite analizar desde la práctica de manufactura, los elementos conceptuales para caracterizar la práctica de construcción. Esta metodología parte de una exploración de las particularidades de los entornos y sistemas de producción identificados, con criterios de clasificación análogos a los de manufactura.

Palabras-clave: Entorno de Producción, Sistemas de Producción, Valor, Lean Construction

ABSTRACT

The characterization of environments and production systems in manufacturing are associated with the type of product, how this occurs and the type of demand. The construction product is unique, which is produced at the site of delivery, resources flow through it during processing; each requires configuring a specific supply chain planning, execution and control, etc. These features provide elements to understand and identify production environments construction projects and configurations of the production system, to understand the production of construction projects as an input to establish a relationship that allows an LC transformation. The input data for this research is mainly produced in the field, in the Colombian context as a pilot context. A methodology to analyze the conceptual elements from the practice of manufacturing to characterize building practice is used. This methodology is based on an exploration of the characteristics of production environments and systems identified with criteria similar to those manufacturing classification.

Keywords: *Production environments, production systems, Value, Lean Construction.*

1 INTRODUCCIÓN

Mirar el proyecto de construcción como sistema de producción, en función de identificar los resultados, implica reconocer sus elementos de entrada-procesos-salidas, y las características apropiadas para obtener los resultados de acuerdo con la estrategia de producción que la organización ha establecido. La manera en que se llevan a cabo, en planeación y ejecución de los proyectos de construcción, obedecen a una secuencia tradicional en la línea de vida del proyecto, en donde el control para el cumplimiento de hitos y otras particularidades relacionadas con su naturaleza, generan diferentes posiciones de académicos y practicantes en cuanto al impacto de la gestión en el flujo de valor. De acuerdo con Koskela (2000), la Teoría de Transformación-Flujo-Valor, TFV de la producción, sugiere que los tres elementos: la transformación de entrada a la salida, el flujo y la generación de valor, deben ser utilizados simultáneamente para conducir una estrategia de producción que logre su articulación de manera eficiente. El propósito de esta investigación es caracterizar el entorno en el que se desarrollan los proyectos de construcción de edificaciones, con enfoque en el caso Colombiano, y asociar el o los sistemas de producción presentes a configuraciones de cadena de valor en la aplicación de Lean Construction (LC) como alternativa de evolución de la gestión tradicional de proyectos de construcción. La manera como se llevó a cabo la investigación, considera una investigación bibliográfica enfocada en referencias académicas y en entrevistas a directivos de organizaciones de construcción en el contexto colombiano, con el fin de conocer la manera como los proyectos de construcción se llevan a cabo en la práctica, y que características se asocian según el tipo y alcance de los mismos.

2 ENTORNOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

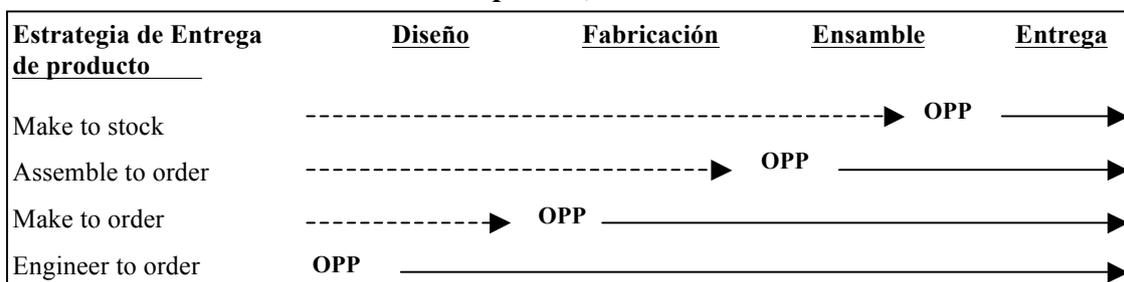
Con el fin de que las organizaciones sean efectivas y eficientes en entender y atender los requerimientos de los clientes, es necesario comprender y aplicar algunos principios fundamentales de planificación y control del proceso para la transformación de los insumos en productos útiles. Los enfoques de planificación y control de proyectos de construcción pueden ser una adaptación de los enfoques de manufactura, las diferencias entre la forma en que se realizan las operaciones en estos dos entornos, abren posibilidades de referenciación para el estudio de los proyectos de construcción en función de sus particularidades.

2.1 Entorno de producción

El diseño de una estrategia de planificación y control depende del mercado, volumen y variedad de la producción (Chapman, 2006), así como de la influencia que el cliente ejerce en el diseño del producto en función de los procesos de la organización. Proyectos con un alto nivel de personalización, donde el cliente participa en toda la línea de vida del mismo, se definen como Diseño o Ingeniería bajo pedido (Engineer to Order (ETO)), (Gosling et Al, 2012). En la medida en que el cliente participa del proyecto en una etapa más tardía, esto se relacionan con otros entornos de producción como Fabricación bajo pedido (Make to Order (MTO)), Armado bajo pedido (Assemble to Order (ATO)) y Fabricación para almacenamiento (Make to Stock (MTS)). El punto de la cadena de valor donde el producto está vinculado a un cliente específico se denomina el Punto de penetración del pedido o Punto de desacople, (sigla en inglés: OPP), donde el producto está vinculado a un cliente específico y es un punto de interés al momento de definir la estrategia de negocio en la cual se mueve la organización,

(Olhager, 2003). Los entornos de fabricación están relacionados con las operaciones de fabricación para ofrecer productos altamente estandarizados, o una amplia gama de productos. Estos entornos se identifican en la Figura 1, con la terminología original en inglés.

Figura 1: Estrategias de producción y su relación con los puntos de penetración del pedido, OPP.



Fuente: OLHAGER, 2003

2.2. Sistemas de Producción

Los sistemas de producción son un conjunto de procesos, procedimientos, métodos o técnicas que permiten la obtención de bienes y servicios, gracias a la aplicación sistemática de unas decisiones que tienen como función incrementar el valor de dichos productos para poder satisfacer unas necesidades (Bueno, 2010). El sistema de producción más apropiado para una organización es aquel que le permita proveer los resultados de producción requeridos por el cliente: Costo, Calidad, Rendimiento del producto, Entrega, Flexibilidad e Innovación (Miltenburg, 1995). Todos estos resultados materializan el concepto de valor al considerar los requerimientos del cliente, entendido como cliente, el conjunto de beneficiarios del proyecto: inversionista, comprador, medio ambiente y sociedad principalmente.

Se distinguen siete sistemas de producción (Miltenburg, 1995): **1. Sistemas tradicionales:** Que manejan rangos de variedad y volúmenes, partiendo del sistema Job shop, mediante el cual se fabrican muchos productos y pocos volúmenes cada vez más, hasta flujo continuo con producción de uno a pocos productos en volúmenes muy elevados. Estos sistemas son: Job shop, Flujo en lotes, Flujo en línea acompasado por operarios, Flujo en línea acompasado por el equipo y Flujo continuo, **2. Nuevos sistemas:** Justo a tiempo (JIT), Sistema de fabricación flexible (FMS). JIT para muchos productos y bajos o medios volúmenes y opciones de FMS para producir muchos productos y altos volúmenes.

3 ENTORNOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SU RELACIÓN CON LC

Aunque la concepción de los sistemas productivos en la industria de la construcción y en la industria manufacturera parte de la misma caracterización global dada por la secuencia insumos-transformación-resultado, la industria de la construcción presenta características de estructura y flujo que sugieren diferencias con la industria manufacturera. El producto es único en su tipo, se produce en el sitio en el que operará, se establece una organización temporal y cuenta con una estricta intervención reguladora (Nam y Tatum, 1988; Warszawski, 1990; Koskela, 1992). Estas diferencias son insumos para identificar las posibles configuraciones de los proyectos de

construcción como sistemas productivos, en el camino hacia definir la configuración del sistema mediante la estrategia LC. Por otro lado, en el desarrollo del proyecto de construcción se presentan síntomas que evidencian afectación de la productividad, exigiendo una intervención que contribuya a incrementarla (García, 2009; Rubiano & Cano, 2013).

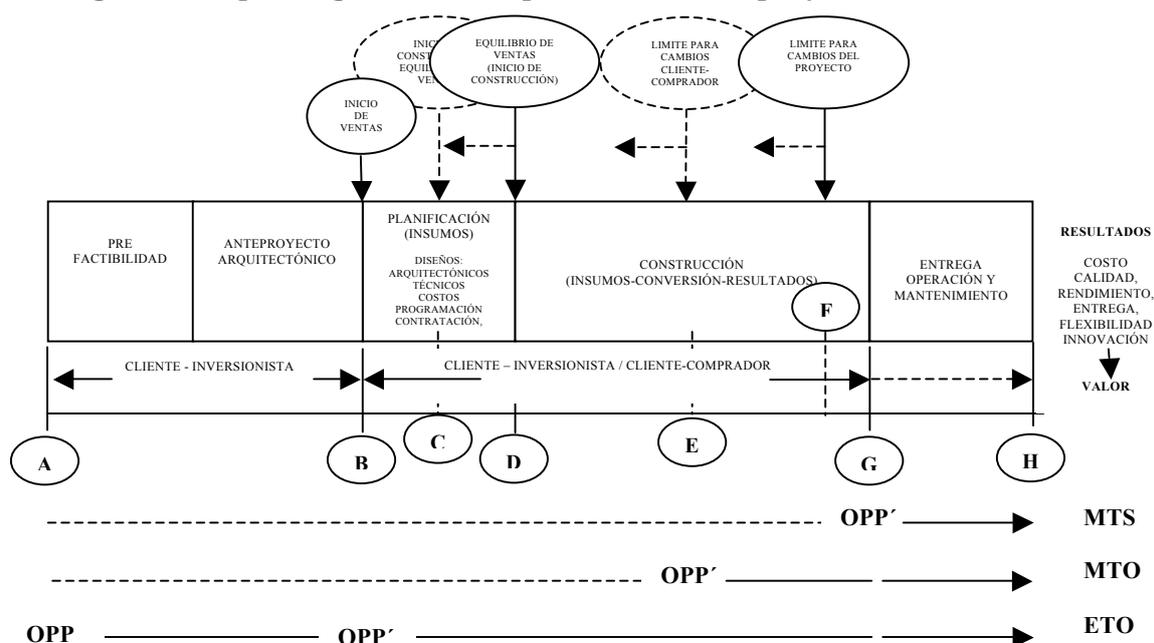
Un proyecto de construcción se desarrolla en etapas claramente diferenciadas, que implican diferentes niveles de fraccionamiento e integración. En ellas se identifican hitos de marcada importancia en su línea de vida y determinar los puntos en los cuales se debe prestar mayor atención para garantizar la entrega de los resultados de producción con altos estándares de desempeño. Con base en el análisis de estos hitos se definen los puntos de la cadena de valor donde el producto del proyecto está vinculado a un cliente específico y que contribuyen a proponer las diferentes configuraciones y estructuras del sistema productivo de proyectos, identificando también para ellos, los posibles puntos de desacople. En la Figura 2 se muestra un esquema general de la estructura del proyecto de construcción, asociando los puntos de desacople que definen las configuraciones.

En este esquema de la figura 2, se presentan las etapas del proyecto, con una marcada frontera entre ellas, así, una etapa no se lleva a cabo sin que la anterior no haya sido terminada. Esto marca una fuerte tendencia de procesos fraccionados debido a que entre las fases no se establecen acciones de cooperación que contribuyan a desvanecer estas fronteras. De otra parte, se observan dos tipos de clientes, el cliente-inversionista, que permanece en él, durante toda la línea de vida del mismo, del punto A hasta el Punto G (incluso hasta el Punto H si el negocio se estructura hasta esta fase), y el cliente-comprador que se integra al proyecto al momento de pagar por el derecho a participar, del Punto B al punto H. Una vez superada la etapa de prefactibilidad, se adelanta el anteproyecto arquitectónico y en él se integran los requerimientos del cliente-comprador, obtenidos de manera indirecta por medio de estudios de mercado, informes de actividades de postventa y encuestas de satisfacción a compradores en proyectos similares principalmente, además de integrar tendencias tecnológicas y de diseño arquitectónico, todo en función de ofrecer un producto que esté acorde a las expectativas y deseos del cliente-comprador. Con este anteproyecto se abre el proceso de ventas de los derechos a participar del proyecto de manera que una vez se logre un punto de equilibrio de ventas, este punto garantiza la construcción del proyecto sin generación de utilidades para el cliente-inversionista mientras se vende el total de unidades de construcción individual¹, se inicia el proceso de construcción. Son poco comunes los análisis de valor referidos a las partes interesadas del proyecto diferentes al cliente-inversionista y al cliente-comprador, por ejemplo, al considerar partes interesadas como el medio ambiente y la sociedad, la creencia de que atender sus requerimientos incrementa el costo de construcción y por lo tanto el precio de venta.

Una vez se obtiene el punto de equilibrio de ventas se da inicio a la construcción, Punto D, en este punto se espera disponer de un proyecto maduro desde el punto de vista de la planificación, sin embargo, en la medida en que la velocidad de ventas desplaza el punto de equilibrio de ventas hacia el Punto C, se da inicio a la construcción sin disponer de un proyecto maduro, sin que la planificación del proyecto se encuentre finalizada, lo que trae como consecuencia la generación de una fuente de desperdicios para el proyecto, (Rubiano y Cano, 2013), poniendo en riesgo el cumplimiento eficiente y efectivo de los resultados del proyecto.

¹ Unidad de construcción individual, se refiere a la unidad de vivienda, comercial o industrial en que este compuesto el proyecto y que se ofrece al cliente-comprador.

Figura 2. Esquema general de etapas e hitos de un proyecto de construcción.



Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de construcción del proyecto, y de acuerdo con la estrategia de ventas, la cual refleja el entorno en el cual se desenvuelve el proyecto se permite al cliente-comprador cierto nivel de personalización con un control de fechas de ejecución en las que se atienden las solicitudes sin afectar el plazo de finalización de construcción y por lo tanto el de cierre del proyecto, Puntos E y F.

3.1 Entorno de producción en construcción

En esta investigación, a partir de discusiones con expertos del sector, se determinó que la manera como sea prevista la influencia del cliente en el proyecto (en su rol de inversionista o comprador), configura el entorno del proyecto. El objetivo del cliente inversionista es la rentabilidad del negocio y del cliente comprador es recibir su unidad de vivienda en las condiciones de calidad, precio y duración ofrecidos, en ambos casos el cumplimiento de la promesa, la materialización de la oferta de valor. En la estructura de la Figura 2, si se considera solamente la influencia del cliente-inversionista el entorno de producción es Diseño o Ingeniería bajo pedido, Engineer to Order (ETO), su línea de tiempo coincide con la del proyecto y el OPP se ubica al inicio del proyecto, este cliente ejerce influencia en el proyecto desde su concepción; se distingue un entorno particular en función del tipo de proyecto, directamente influenciado por el estrato socioeconómico al que se encuentra dirigido. Los Proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS) o de Vivienda de Interés Prioritario (VIP) tienen bajo o nulo nivel de personalización, esto configura una Fabricación para Almacenamiento o un Make to stock (MTS), ya que solo hasta que el total de unidades de construcción se encuentran completas se entregan a los clientes-compradores, así el OPP' se ubica en el Punto G (es el OPP para el cliente-comprador), que es el punto de entrega al cliente-comprador. En un rango intermedio se ofrecen opciones de personalización que van desde la oferta de kits de acabados hasta la opción de configuración completa de la unidad de construcción adquirida. En la primera opción, la estructura, se comporta como un entorno de Fabricación Bajo Pedido o Make to order (MTO), en estos casos el OPP' se ubica en el Punto B, este puede ubicarse incluso entre los Puntos B y D, (en ese rango se realiza el

proceso de ventas) y la participación del cliente-comprador es tardía. En la segunda opción, cuando el cliente-comprador participa en la configuración de la unidad de construcción, un Diseño o Ingeniería bajo pedido o Engineer to Order (ETO) y el OPP se ubica en el Punto B.

3.2 Sistemas de Producción en construcción

Las condiciones que hacen del proyecto de construcción único en su tipo, como producción en el sitio en el que operará, establecimiento de una organización temporal, gestión individual de la cadena de suministro, el hecho de que la unidad de producción pase a través del producto y no al contrario como lo es en manufactura, así como la obligatoriedad de realización de actividades de construcción predecesoras para completar las tareas aguas abajo, de manera ideal gestionadas con un sistema eficiente de planificación y control. Estas características no hacen fácil ubicar el sistema de producción de construcción como equivalente a uno de manufactura, entonces la producción se propone ser considerada como Flujo secuencial acompasado por la unidad de producción, ya que en todas sus etapas su ejecución exige la terminación de la actividad predecesora. Algunas de las etapas son susceptibles de clasificarlas en algunos de los sistemas de producción, por ejemplo: la producción de concretos y morteros se puede realizar como flujo en lotes o una actividad como mampostería ser considerada como flujo continuo en el horizonte de su programación individual, presentándose los siete sistemas en mayor o menor proporción. Cada actividad del proyecto de construcción es susceptible de ser estudiada como un sistema particular de producción en función del flujo del proyecto de manera que evolucione hacia sistemas de producción Pull o Sistemas de fabricación flexible de acuerdo con las necesidades mismas del flujo.

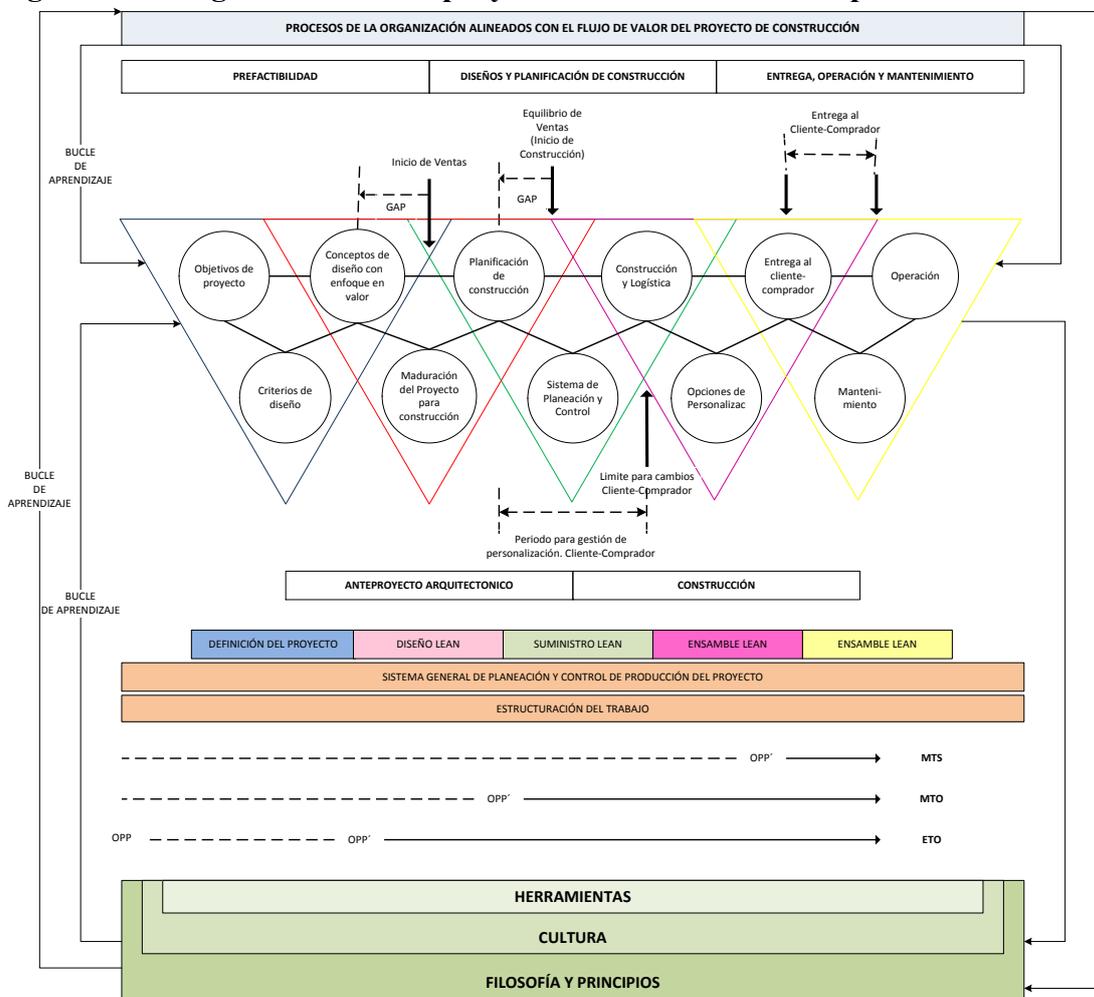
4 RELACIÓN DE LOS ENTORNOS DE PRODUCCIÓN Y LA APLICACIÓN DE LC

LC como una estrategia para mejorar la gestión de la producción en construcción, permite identificar objetivos claros en el proceso de entrega del producto, maximizar el valor para el cliente a nivel de proyecto, facilitar el diseño concurrente y la aplicación del control en todo el ciclo de vida del proyecto. Un proyecto gestionado LC permite el alcance de los resultados de manera más eficiente [Azis y Hafez, 2013], sin embargo es importante considerar las particularidades del entorno en el que el proyecto se desenvuelve. La diferenciación del entorno de producción entre ETO, MTO o MTS, al según el tipo de proyecto y el segmento al que está destinado y la participación del cliente-comprador, introducen en el proyecto elementos que lo hace complejo al disponer de opciones de personalización en él. En la Figura 3, se propone la manera de integración de LC en las etapas del proyecto de construcción, resaltando principalmente el criterio de integración, en el marco del Lean Project Delivery (LPDS), (Ballard, 2008). LPDS es una forma gestión del proyecto de construcción, concebido para extenderse a través de todas las fases del proyecto, y hasta la fase de post-ocupación, que une el final de un proyecto con el comienzo del siguiente.

La base del éxito en la sostenibilidad de la aplicación de LC es el entendimiento de la filosofía misma y los principios, la manera como estos principios se despliegan en la organización, y en el proyecto, a través del fortalecimiento de una cultura dispuesta al cambio que ofrezca las competencias adecuadas para identificar el tipo de tecnología y herramientas LC a aplicar de acuerdo con la madurez que se va alcanzando la

organización y la gestión del proyecto. La organización debe establecer las acciones de mejoramiento de los procesos de apoyo que se encuentran relacionados con la agilidad del flujo de valor del proyecto, mapeándolos y mejorándolos constantemente.

Figura 3: Configuración LC del proyecto de construcción. Etapas e hitos.



Fuente: Elaboración propia basada en (BALLARD, 2008)

La integración entre las etapas del proyecto genera interdependencias y flujos de interacción que reducen desperdicios y contribuyen a aumentar el valor en la entrega. Los hitos relacionados con el inicio de ventas, y el inicio de construcción, son hitos propios del negocio, y adelantar su inicio para captar con mayor velocidad las ventas, e iniciar más temprano la etapa de construcción, establece un gap relevante para proponer estrategias que den cuenta de un adecuado análisis de riesgos. Esto facilitaría también, la acertada identificación del OPP' según la configuración del entorno que se estructure. De acuerdo con el enfoque Pull, la planeación y control del proyecto deben ser establecidos como un sistema general, y gestionado de manera similar al Sistema del Ultimo Planificador (LPS por su sigla en Inglés) al nivel del proyecto, hacer uso del LPS en el desarrollo del proyecto y no solo en la etapa de construcción, facilitaría una adecuada estructuración e integración del trabajo. Finalmente, la entrega del proyecto puede beneficiarse de un aumento de eficiencia al reducir la incertidumbre en el cumplimiento de las fechas de entrega.

5 CONCLUSIONES

En esta propuesta para entender los entornos de producción en construcción, de acuerdo con los criterios de clasificación de estos entornos en manufactura, se distinguen tres entornos ETO, MTO y MTO. Para cada uno de ellos se especifica el OPP, distinguiendo el OPP para el rol del cliente-inversionista y el OPP' para el rol de cliente-comprador. El entorno de producción del proyecto se configura de acuerdo con el tipo de proyecto, el sector social al que está dirigido y las opciones de personalización que se ofrezca al cliente-comprador. El cliente-inversionista siempre configura un entorno de ETO debido a que el proyecto se estructura sin la participación de clientes-compradores, sin embargo cuando el cliente-comprador adquiere el derecho a participar del proyecto, se configuran un entorno específico a partir de este punto: ETO, si se permite participar comúnmente desde la definición de la configuración arquitectónica de la unidad de construcción; MTO, si se permite un nivel de personalización a partir de la conformación de kits o de selección de opciones en espacios específicos de la unidad de construcción; y MTS, cuando no se permite ninguna opción de personalización. La manera en que realice una transformación Lean, debe ser sostenible basada en el desarrollo de una cultura con enfoque en la filosofía y sus principios.

REFERENCIAS

- AZIZ, R.F., y HAFEZ, S.M., Applying lean thinking in construction and performance improvement, *Alexandria Engineering Journal*, v. 52, n. 6. p. 679-695, Dic. 2013.
- BALLARD, G. The Lean Project Delivery System: An Update. **Lean Construction Journal**, p. 1-19. 2008.
- BUENO, E. **Introducción a la organización de empresas**. Madrid, España: Centro Estudios Financieros. 2010.
- CHAPMAN, S. **Planificación y control de la producción**. México: Pearson/Educación. 2006.
- GARCIA, M. La Planificación y Control de Proyectos en la Industria de la Construcción. En: XVII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL, Chiclayo, 2009.
- OLHAGER, J. Strategic positioning of the order penetration point. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 3, p. 319-329, Sep. 2003.
- KOSKELA, L. **An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction**. Technical Research Centre of Finland. 2000
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. CIFE Technical Report #72. Stanford University. 1992.
- KOSKELA, L.; HOWELL, G.; BALLARD, G. y TOMMELEIN, I. The Foundations of Lean Construction. Design and Construction: Building in Value, R. Best, and G. de Valence, eds., Butterworth-Heinemann, Elsevier, Oxford, UK. 2002.
- NAM, C.H. y TATUM C.B. Major characteristics of constructed products and resulting limitations of construction technology. **Construction Management and Economics**, v. 6, n. 2, p. 133-147, Jul. 1988.
- RUBIANO, O. y CANO, S. Estudio de Factores que Inciden en el Flujo de la Gestión de Ejecución de Proyectos de Construcción de Infraestructura Universitaria. En: MEMORIAS DEL XI CONGRESO LATINOAMERICANO DE DINÁMICA DE SISTEMAS, México, p. 827-836. 2013..
- WARSAWSKI, A. **Industrialization and Robotics in Building: A Managerial Approach**. New York, United States: Harper & Row. 466. 1990