

01-011

EVOLUTION AND LEAN CONSTRUCTION PERSPECTIVES

Adrio Muñiz, Iván; Amiama Ares, Carlos

Universidad de Santiago de Compostela

Recently a new movement in construction project management has come out, bringing fresh air to the sector. This new movement could suppose a complete revolution. The current situation demands for changes, and inspired by the manufacturing industry, construction industry is looking for solutions in the agile management methods, especially in the lean. Lean pursues the main objectives the construction industry is trying to improve currently: efficiency of resources, delivering time and customer value. For these reasons, it has become an ideal ally.

This project analyses the most relevant bibliography in the field in the last decades which has helped to the development of the Lean Construction, starting by the first contributions of Lauri Koskela. It is divided into 3 main blocs: Origins of Lean Construction, most employed tools in Lean Construction and future perspectives in Lean Construction. This research aims to help to understand the state of art of the field and set the bases for future researches which should contribute to the improvement of the Lean Construction.

Keywords: *Project management; Lean Construction; Agile*

EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS DEL LEAN CONSTRUCTION

En los últimos años ha surgido una nueva tendencia en la dirección de proyectos de construcción, que podría suponer un gran cambio en el modo en que este tipo de proyectos son gestionados. La situación actual demanda cambios y, tomando el ejemplo del sector industrial, la construcción busca la mejorar la eficiencia a través de las metodologías ágiles, especialmente en el lean. Las metodologías lean comparten los objetivos esenciales que actualmente persigue el sector: mejora de la eficiencia de los recursos, menor plazos de entrega y mayor valor para el cliente.

En este trabajo se analiza la bibliografía más relevante para el desarrollo de la metodología Lean Construction durante las últimas décadas, partiendo de las primeras investigaciones de Lauri Koskela, y se divide en 3 bloques principales: origen del Lean Construction, herramientas más empleadas y futuro del Lean Construction. Este trabajo de investigación tiene como finalidad ayudar a comprender el estado actual de la investigación en Lean Construcción, sentando las bases para un futuro trabajo de investigación en mayor profundidad.

Palabras clave: *Gestión de proyectos; Lean Construction; Métodos ágiles*

Correspondencia: carlos.amiama@usc.es



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción a la metodología Lean

El Lean Production es una nueva filosofía de producción que engloba varias técnicas como pueden ser Just in Time, Manufacturing Resource Planning, Total Quality Management y Flexible Manufacturing Systems (Crowley, 1998).

En el Lean Production los gestores emplean equipos multidisciplinares de trabajadores a todos los niveles de la organización y maquinaria flexible y cada vez más automatizada para producir grandes volúmenes de producto con grandes variedades. Se distinguen dos tipos principales de actividades, de flujo (de materiales o información y caracterizados por tiempo, dinero y valor) y de conversión (añaden valor al producto). En el pensamiento Lean se trata de reducir al máximo o eliminar las primeras y optimizar las segundas (Crowley, 1998; Koskela, 1992). Además, los proveedores no solo tienen el papel de determinar el precio, asegurar la calidad y plazos de entrega si no que deben mostrar un compromiso a la hora de querer establecer una relación comercial duradera.

El sistema actual está basado en actividades o contratos, con contratos transversales o asignaciones que definen y equilibran los objetivos de los participantes. El control del proyecto es centralizado y se busca la mejora a través de la optimización de cada una de las partes en las que se divide el proyecto. La reducción de costes se lleva a cabo mejorando la productividad y el plazo del proyecto se reduce acortando actividades o cambiando la secuencia lógica para permitir trabajo simultáneo. El gasto (malgasto) se evita dentro de cada actividad (Howell & Ballard, 1998).

El Lean Production aborda el proyecto desde otro punto de vista. El coste y duración total del proyecto tienen más importancia que el coste o duración de una actividad. La coordinación se lleva a cabo mediante un cronograma general mientras que los detalles que afectan al flujo de trabajo se gestionan por las personas que están al tanto y que buscan los objetivos del proyecto. Las mejoras se consiguen reduciendo gasto y cumpliendo los requisitos del cliente en tiempo "0" y sin stocks almacenados.

El cliente tiene cada vez más información a su alcance y por lo tanto es cada día más exigente. Así, en el sistema Lean, el primer objetivo es el de conocer los requisitos de nuestro cliente y que es lo que para él añade valor al producto, pasando a formar un papel clave en nuestro proyecto (Achell, 2014).

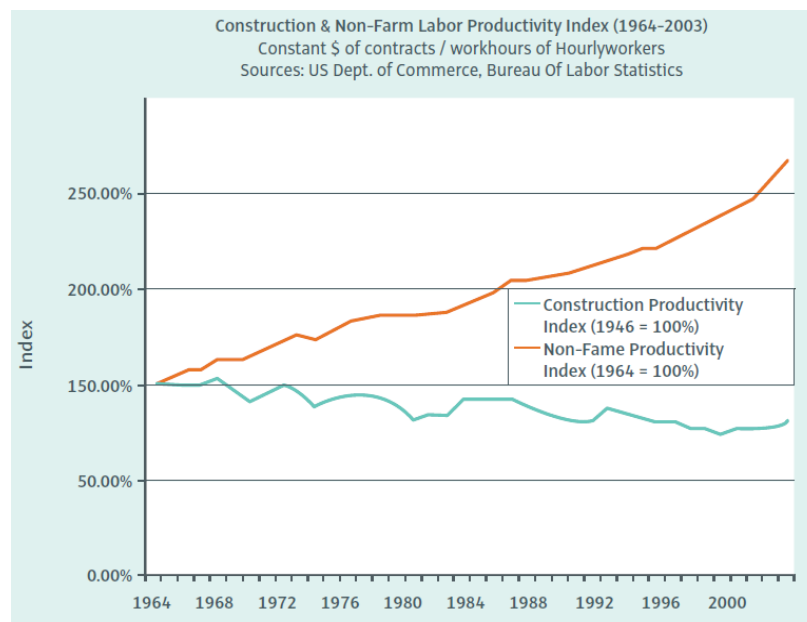
2. Del Lean Manufacturing al Lean Construction

La industria de la construcción desde siempre ha sido criticada por sus bajos rendimientos. Nunca ha prestado atención a los flujos (actividades que no añaden valor al producto) relacionados con su actividad y consecuentemente presenta una gran cantidad de gasto (malgasto) (Koskela, 1992). Muchos de los problemas que la afectan son problemas propios del sistema tradicional de dirección de proyectos. El sistema tradicional trata de optimizar el rendimiento del proyecto actividad por actividad, olvidándose de las interacciones entre ellas. Sin embargo, si queremos acortar los plazos de proyecto, es necesario gestionar el efecto combinado de la dependencia entre actividades y las variaciones (Howell, 1999). Algunos de los problemas más comunes que afectan a la construcción según Love & Gunasekaran (1997) son:

- Escasa formación y experiencia en los nuevos sistemas de gestión y planificación de obras.
- Control de calidad ineficaz basado en métodos estadísticos que están lejos de garantizar el cien por cien de la calidad.

- Escaso rigor en el cumplimiento de las medidas de seguridad.
- Errores y omisiones en proyectos.
- Falta de interés en la formación y capacitación de los trabajadores.
- Falta de coordinación entre los actores intervinientes en las diferentes etapas del proyecto.
- Falta de transparencia y comunicación entre las partes interesadas.
- Baja productividad comparada con las otras industrias.
- Fragmentación.
- Deficiencias en la comunicación.
- Desviaciones de calidad.
- Grandes cantidades de tiempo no productivo.

Figura 1: Productividad del sector de la construcción vs otros sectores. Fuente (Achell, 2014)



Sin embargo, pese a la evidencia de graves problemas dentro de la construcción (véase figura 1), y los diversos estudios que sugerían como posible solución las técnicas Lean, éstas se han encontrado con numerosas barreras que han dificultado su implantación (Koskela, 1992):

- Los ejemplos divulgativos presentados para difundir el nuevo modelo se basaban en diversos modelos de la industria de fabricación, y por lo tanto no era fácil interiorizar y generalizar desde el punto de vista de la construcción.
- La relativa falta de competitividad internacional en el sector.
- Respuesta tardía por parte de las instituciones académicas.

Además, la industria de la construcción siempre se ha visto como un caso especial debido a la naturaleza única de sus proyectos, lugar de ejecución y la multi organización temporal. Pero esto no es un caso único de la construcción. También en la industria de la fabricación

nos encontramos con proyectos de este tipo, como los proyectos de elaboración de prototipos.

A pesar de visión optimista de la mayor parte de investigadores, algunos investigadores como Green (1999) son muy críticos con esta nueva filosofía, argumentando que sus compañeros olvidan el contexto social en el que ha surgido (Japón), que interpretan de una forma extremadamente imparcial y que en cierto modo, supondría una reducción en la democracia industrial y la intensificación del trabajo, sugiriendo que podría suponer una forma encubierta de explotación.

Howell & Ballard (1999) responden a Green afirmando rotundamente que, si bien el Lean puede tener como resultado la explotación, no es un requerimiento ni es lo que persigue. El Lean Construction simplemente proporciona una nueva forma de organizar y dirigir proyectos.

Los beneficios de la aplicación del Lean Construction son múltiples y los veremos con más profundidad en apartados posteriores. Sin embargo, podemos destacar como principales beneficios el aumento de la predictibilidad del proyecto (lo cual permite una mejor gestión de recursos por parte de los planificadores), aumento del valor del producto para el cliente y un mayor rendimiento del proyecto (algo que se ha demostrado en diversos casos de estudio).

3. Herramientas del Lean

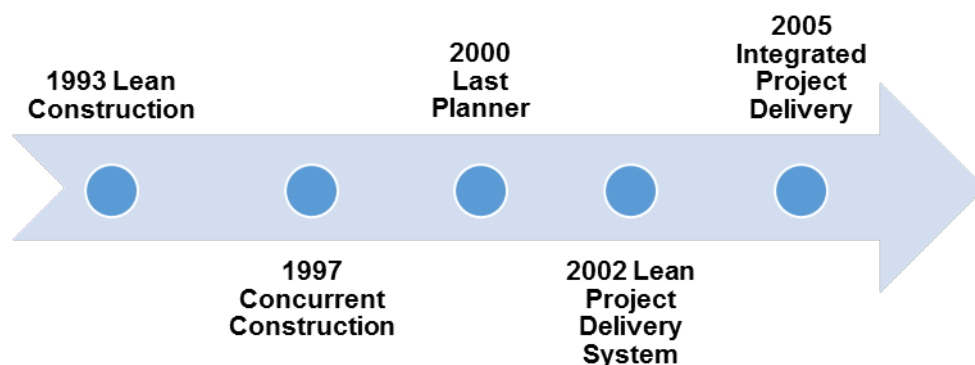
La mayoría de herramientas Lean tienen su origen, como es lógico, en el Lean Production y han ido mejorando su adaptación a la construcción durante los últimos años.

Las herramientas más extendidas en el Lean Construction son:

- Last Planner System (sistema último planificador).
- Concurrent engineering (ingeniería simultánea).
- Lean Project Delivery System (sistema de entrega de proyectos Lean)
- Integrated Project Delivery (entrega integrada de proyectos)

En la figura 2 se observa la evolución en el estado del arte en el ámbito que nos ocupa.

Figura 2: Año de publicación de los principales artículos sobre herramientas de Lean Construction



3.1 Last Planner System (LPS)

Es la herramienta más importante del Lean Construction en cuanto a grado de implantación alcanzado. No se trata, sin embargo, de una herramienta que intente sustituir a los métodos clásicos de redes, sino que los complementa (Alarcón & Pellicer, 2009).

El Last Planner System tiene 3 componentes principales:

- Lookahead Planning
- Commitment Planning
- Learning

Cada uno de estos componentes tienen un papel fundamental en el LPS. Este sistema parte del calendario de proyecto y lo reduce simplemente a los hitos principales necesarios para realizar el proyecto en el plazo y/o los fijados contractualmente. Si es necesario, debido a la complejidad del proyecto, este se divide en fases. De este modo, las funciones principales de este cronograma son las de dar la seguridad de que el objetivo es factible, identificar y planificar elementos de largos periodos de elaboración (estos elementos no son sencillos de gestionar con el sistema LPS), desarrollar y mostrar estrategias de ejecución y dividir el proyecto en fases (identificando los entregables de especial interés para el cliente u otros interesados) (Ballard, et al., 2002).

El calendario lookahead parte de esos hitos marcados por el cronograma de proyecto y trabaja hacia atrás en ellos, de un modo pull. De esta forma nos aseguramos de que cada actividad se realiza a petición de las actividades aguas abajo, disminuyendo los costes de inventarios y dando más tiempo para que surjan los posibles problemas que puedan condicionar nuestra decisión.

Para elaborar esta programación, denominada por Antonio D. Rodríguez Fernández (Fernández, et al., 2011) como programa intermedio, es necesario fijar primero un marco temporal, denominado en la bibliografía hasta la fecha como “lookahead window”. Este plazo marcará el tiempo de antelación en el que una actividad se pasará del calendario general al calendario lookahead. Una vez incorporada la actividad a la programación intermedia, se tratará de identificar las restricciones que afectan a esas actividades mediante un análisis de restricciones y se trabajará para liberarlas. Las restricciones principales las podemos clasificar según Ballard & Howell (2003) en:

- Directivas
- Trabajo previo necesario
- Recursos

Habitualmente se utilizan 6 semanas, aunque este plazo dependerá del planificador, de la complejidad del proyecto... Este marco temporal se puede extender, lo que nos ofrecería la posibilidad de ejercer un mayor control en el flujo de trabajo. Sin embargo, por otro lado, al tratar de predecir una demanda pull con demasiada antelación corremos el riesgo de perder el control del trabajo en obra (la cantidad de actividades en nuestro programa lookahead aumentará y será más complicado gestionarlo) (Ballard, et al., 2002).

El commitment planning, llamado por Ochoa (2012) programa semanal, se trata del programa al cual se añaden las actividades que ya no presentan restricciones y que estamos seguros de que se van poder llevar a cabo.

El Last Planner System emplea como indicador el “porcentaje de planificación completada” (PPC) o también conocido como “porcentaje de actividades completadas” (PAC). Se considerarán aceptables valores de PPC superiores al 60% y muy buenos aquellos que

sean superiores al 80%. En proyectos realizados sin el sistema LPS el indicador PPC varía entre 30 y 70% (Ballard & Howell, 2003).

Es conveniente el establecer una reunión previa con los encargados de ejecutar la actividad previamente a la elaboración de este programa. El LPS consigue de esta forma un alto grado de compromiso por parte de todos los participantes (Fernández, et al., 2011).

El commitment plannig abarca habitualmente un periodo de una semana. Al finalizar esta semana es el momento de evaluar si nuestra planificación ha sido exitosa. Para esto, es necesario emplear un indicador que nos permita evaluar el progreso actual del proyecto, comparar nuestros rendimientos en diferentes proyectos, evaluar la eficacia de las medidas correctoras e incluso poder compararlos con la competencia (benchmarking). Además de esto, se realizará una reunión en la cual se tratarán de identificar los motivos por lo que una actividad no se ha completado.

3.2 Concurrent Construction

En el Concurrent Construction lo que se pretende conseguir es que todas las actividades del proyecto sean integradas y que todos los aspectos de diseño, construcción y operación sean planeados simultáneamente de forma que se maximice el valor del producto para el cliente, a la vez que se optimiza la facilidad constructiva, la operabilidad y la seguridad. Es decir, se consideran todas las fases del ciclo de vida del producto simultáneamente (Jaafari, 1996; Love & Gunasekaran, 1997).

Para llevar a cabo con éxito estos objetivos, los siguientes componentes son esenciales:

- Identificación de los aspectos de diseño y procesos constructivos asociados aguas abajo.

Esto incluye facilidad constructiva, la selección de materiales, seguridad y coste a lo largo de todo el proyecto además de la inclusión de los principales subcontratistas durante la fase de diseño, lo cual mejoraría la planificación del proyecto y disminuiría los conflictos potenciales entre las actividades.

- Reducción o eliminación de las actividades que no añaden valor.

El Lean Construction trata de reducir estas pérdidas de valor para el cliente mediante un análisis detallado de sus necesidades y requisitos, un diseño orientado a la fabricación y la aplicación de técnicas de gestión de calidad.

- Equipos multidisciplinares

Potenciales beneficios de este sistema son la reducción de las potenciales relaciones adversas, aumentando la confianza, el espíritu de equipo, la cooperación y la comunicación. Esto favorecería la aparición de un mayor número de relaciones de partnering.

3.3 The Lean Project Delivery System (LPDS)

Herramienta integradora que trata de aplicar los principios del Lean Construction a todas las fases del proyecto: definición, diseño, suministro, ejecución, uso y mantenimiento.

En el LPDS la definición del proyecto comienza con el desarrollo del modelo de negocio. Aquí es donde entra en juego el Target Costing o Coste objetivo. Este sistema define, según Ballard (2008) tres conceptos principales:

- Coste permitido: es la cantidad máxima de dinero que un cliente está dispuesto a pagar para satisfacer su necesidad.

- Coste esperado: es el coste que en el que se espera incurrir en la situación más optimista, basándonos en comparaciones con otros proyectos similares.
- Coste objetivo: es el coste al que el equipo se compromete, a veces contractualmente y a veces moralmente.

$$\text{Coste permitido} \geq \text{Coste esperado} \geq \text{Coste objetivo}$$

Con el Target Costing se comienza analizando que es lo que aporta valor para nuestro cliente, no solo en cuanto al producto, si no el conjunto de servicios al completo. Una vez analizado esto, podemos fijarle un valor. El cliente define el coste permitido del proyecto. Este coste ha de ser necesariamente mayor que el coste esperado y el coste objetivo, de no ser así, el proyecto ha de abandonarse o replantear el modelo de negocio. El promotor puede, sin embargo, decidir continuar con el proyecto aceptando el evidente riesgo de sobrecostes. Una vez desarrollado el modelo de negocio, el cliente debe validarlo. Es decir, autorizar el comienzo del diseño. En este punto se decide si es posible y si procede con el proyecto. Esto se llevará a cabo en cada hito del proyecto y en cada cambio en los factores que afectan al proyecto (ej. cambio en condiciones de mercado). En caso de que en algún momento el cliente decida no validar el plan de negocio, se pondría fin al proyecto (Achell, 2014; Ballard, 2008).

En la **fase de diseño**, se sigue una estrategia del tipo set-based, es decir, no se juegan todas las cartas a una única opción de diseño. Se trabaja con varias alternativas que cumplan las restricciones y requisitos del cliente, retrasando la toma de decisiones lo máximo posible hasta tener toda la información disponible y dando tiempo para que los posibles problemas surjan. De esta forma se evita uno de los grandes problemas en la fase de diseño, la interacción negativa que se produce cuando la decisión de un experto choca directamente con las necesidades de los demás aguas abajo, o bien limita su campo de actuación enormemente. Podría parecer a priori que al trabajar de este modo se está perdiendo mucho tiempo y recursos, ya que algunas de estas alternativas se desecharan y no serán útiles, pero esto no es cierto. La forma clásica de elección de opciones y ejecución tan pronto como sea posible provoca a menudo trastornos en las decisiones de otros especialistas y retrabajo. En esta fase se elabora también el plan maestro y el diseño de procesos (Ballard, 2008, Achell, 2014).

La siguiente fase es la **fase de suministro**. Esto incluye la ingeniería de detalle, fabricación y entrega. Tiene como objetivo que cualquier parte del sistema sepa que debe hacer, cuando y donde lo debe suministrar facilitando la entrega Just-In-Time. Por lo tanto, tiene como prerequisite indispensable el diseño del producto. El suministro de materiales tratará de seguir un sistema de demanda pull (Achell, 2014).

La **fase de ejecución** se inicia con la entrega de todos los recursos necesarios para ello (mano de obra, materiales, información, etc.) y se lleva a cabo usando el sistema Last Planner (Achell, 2014). Esta fase concluye cuando el producto ya es entregado al cliente final para su uso y termina con la fase explotación y mantenimiento.

3.4 Integrated Project Delivery

El IPD es una evolución del LPDS, en el cual ya se incluyen los diferentes niveles de colaboración y contrato entre las diferentes partes. Las fases en las que se divide un proyecto desarrollado con IPD son las mismas que en LPDS, cambiando los roles adoptados por los interesados (Matthews & Howell, 2005).

El objetivo es el de organizar a los principales agentes involucrados como una única organización con unos objetivos, intereses y prácticas comunes. Para esto establece dos tipos principales de contrato:

- Transaccionales: para intercambio de bienes y servicios.
- Relacionales: establece una especie de mini sociedad en la cual se establecen una gran cantidad de normas más allá de esas centradas en el intercambio y los procesos inmediatos. Alrededor de este tipo de contratos se establece una red de compromisos.

Los dos principios que rigen las relaciones entre los miembros del equipo que se recogen en el contrato relacional con el cliente y, el contrato relacional entre un miembro del equipo y los demás son los siguientes:

- Todos los miembros del equipo son responsables de todos los compromisos acordados en el contrato principal con el cliente.
- Todos los miembros del equipo comparten la responsabilidad de los riesgos y los beneficios de la totalidad del proyecto.

El contrato principal con el cliente será único y definirá: alcance, plazo y coste del proyecto, y se firmará por una sola entidad. Una vez sellado este acuerdo, todos los miembros del equipo se comprometerán con los objetivos del proyecto mediante contratos relacionales entre ellos. Además, en estos acuerdos se establecerá que todos miembros del equipo compartirán el coste y distribuirán los beneficios en función de su participación en el proyecto.

4. Campos de investigación en Lean Construction en la actualidad

4.1 Six Sigma en el Lean Construction

El Six Sigma tiene su origen en el año 1985 de la mano de Bill Smith (Motorola) (Breyfogle, et al., 2001) y se trata de una metodología basada en la estadística cuyo objetivo principal es la reducción de la variabilidad en los procesos siguiendo el ciclo DMAIC (Abdelhamid, 2003). En la figura 3 se representa el ciclo DMAIC.

Figura 3: Ciclo DMAIC



La metodología Six Sigma establece diferentes niveles de implementación en función de los porcentajes de unidades defectuosas producidas. Con el fin de aplicar este concepto a la industria de la construcción, no solo a las empresas de elementos prefabricados, si no a la industria al completo, Abdelhamid(2003) nos define unas métricas Six Sigma, basándose en el indicador de control principal de la metodología Last Planner. La integración entre Six Sigma y Lean Construction se presenta como una herramienta con un gran potencial para reducir la variabilidad de los procesos. Mientras el Six Sigma es considerada una gran herramienta para solucionar problemas difíciles de encontrar pero fáciles de solucionar, aquellos problemas fáciles de encontrar y difíciles de solucionar son resueltos de una forma más eficiente mediante Lean Construction.

4.2 Building Information Modeling (BIM)

En los últimos años, el BIM se ha mostrado como una herramienta clave para el éxito de la metodología Lean en la construcción. El Integrated Project Delivery tiene como objetivo el integrar todas las partes de un proyecto como un solo equipo, compartiendo objetivos. Pero el compartir toda la información entre los distintos equipos de forma efectiva es fundamental y es donde el BIM se muestra como una herramienta clave para esta metodología (Rokooei, 2015, Saieg et al., 2018), especialmente en la fase de diseño.

El BIM permite implementar de forma más eficaz las metodologías Lean a la fase de diseño. A pesar de las ventajas que conlleva, el BIM tiene todavía muchos retos a los que hacer frente. Los problemas de interoperabilidad entre el software BIM (problema al que la asociación BuildingSMART trata de hacer frente), las reticencias de los diferentes equipos de trabajo a emplear estos sistemas junto con la falta de formación en este campo, los altos costes que supondría cambiar y actualizar los equipos a un sistema orientado al BIM y la falta de un estándar y de definición legal de las responsabilidades de los profesionales en BIM, son las principales trabas, según Rokooei (2015).

4.3 Construcción Sostenible e Ingeniería Ambiental

En diversas investigaciones el Lean se muestra como el complemento perfecto para la Construcción Sostenible (CS). Mientras el Lean Construction se centra principalmente en el corto plazo, en la mejora de los rendimientos de cada proceso (incluyendo la fase de diseño) minimizando el malgasto y añadiendo valor al producto demandado por el cliente, la Construcción Sostenible es una herramienta a largo plazo la cual se centra principalmente en el producto y el ciclo de vida total de este (reducción de energía consumida, uso de agua, materiales empleados y contaminación) (Jamila & Fathia, 2016; Khodeir & Othman, 2016).

Sin embargo, a pesar de la posible sinergia entre ambos sistemas, su evolución a lo largo de los últimos años ha recorrido caminos separados, de forma que no se ha evaluado el potencial de ambas estrategias aplicadas de forma conjunta y solo en los últimos años han aparecido las primeras investigaciones al respecto.

Con la aparición de las primeras investigaciones acerca de la integración de ambos conceptos, aparecieron diferentes corrientes de opinión, que podríamos clasificar en 3 grandes grupos. Por un lado, existen líneas de investigación que apoyan firmemente la unión de Lean Construction y Construcción Sostenible (Cachadinha & Rueff, 2011; Golzarpoor & González, 2013; Horman, et al., 2004). La aplicación de Lean Construction

tiene como consecuencia la reducción de materiales empleados y retrabajo entre otras cosas, lo cual conduce a un menor empleo de recursos naturales, menor necesidad de transporte de materias primas y menor necesidad de mano de obra (con la consecuente reducción de necesidad de transporte), con lo que se reducen las emisiones de CO₂.

Otros investigadores, como Bae & Youg-Woo (2007) sostienen que la relación entre el Lean Construction y la Construcción Sostenible es condicional y que esta depende en gran medida de los valores del cliente. El Lean Construction tiene entre sus objetivos, además de reducir el gasto, maximizar el valor para el cliente. Por lo tanto, parece lógico pensar que solo podremos alcanzar una Construcción Sostenible mediante un enfoque Lean si los valores de nuestro cliente están alineados con aquellos perseguidos por la Construcción Sostenible. Además, herramientas Lean como el Just-In-Time, solo serían factibles en CS mediante la distribución de grandes lotes y un gran compromiso por parte de los proveedores. De otro modo las emisiones de CO₂ serían muy elevadas (Khodeir & Othman, 2016).

Por último, algunos autores como Rothenberg et al. (2011) apoyan que el Lean Construction es incapaz de alcanzar los objetivos de la Construcción Sostenible. Argumentan para ello que los objetivos principales del Lean (reducir gasto y aumentar valor para el cliente) no tienen por qué ser los mismos que aquellos perseguidos en CS y que solamente en casos aislados, y por casualidad, coincidirían.

Sin embargo, a pesar de la existencia de opiniones contrarias a los beneficios de la integración entre el Lean Construction y la Construcción Sostenible, se ha detectado que las principales voces contrarias provienen de investigadores partidarios de la CS o bien de estudios que simplemente analizan el efecto de una herramienta en particular del Lean Construction en cuanto a sostenibilidad. Además, de los resultados obtenidos del análisis realizado por Khodeir & Othman (2016) se concluye que, a pesar de que el porcentaje de iteración entre los dos sistemas es bajo, la Construcción Sostenible tiene un gran impacto en el Lean Construction. No obstante, a pesar de todos los factores que indican que la aplicación de ambos métodos tendría consecuencias muy positivas, la investigación en ambos campos se ha llevado de manera separada. En construcción, gasto medioambiental y gasto de producción son considerados de forma separada, a pesar de que son dependientes (Golzarpoor, et al., 2016).

Rosenbaum, et al. (2012) propone la inclusión del concepto de gasto medioambiental entre los gastos que el Lean Construction trata de reducir. En prácticamente la totalidad de los proyectos, en alguna ocasión es necesario buscar un equilibrio entre el gasto medioambiental y los demás tipos de gastos considerados en Lean Construction. Golzarpoor et al. (2016), nos propone un modelo que, mediante una simulación de eventos discretos (DES) y un marco de trabajo de entradas y salidas (I/O) para cargas medioambientales, nos asesora en la toma de estas decisiones.

Además de estos avances, el empleo conjunto de técnicas propias de Lean Construction como es el caso del BIM y el tan de moda Six Sigma, prometen importantes mejoras en la industria de la construcción (Marhani, et al., 2013). Como vimos en capítulos anteriores, Abdelhamid (2003) nos sugiere que la aplicación de las técnicas estadísticas de Six Sigma en la construcción, provocarían importantes mejoras.

Aun así, todavía quedan obstáculos que salvar. La necesidad de replantear ambas metodologías, con el fin de que cualquier beneficio obtenido de la aplicación conjunta de ambas no sea una simple coincidencia, una mayor implementación de formación en los planes de estudio actuales y la inclusión de Sustainability Champions en las empresas (una persona cuyo objetivo es el de reducir el impacto ambiental de la empresa) son aspectos clave a la hora de aumentar la sinergia entre ambas metodologías (Dhingraa, et al., 2014).

5. Conclusiones

La industria de la construcción se ha caracterizado desde siempre por su escasa eficiencia. Este hecho, quizá agravado por la época de bonanza en el sector durante la década de los 90, se ha convertido en un mal endémico y que el sector lucha actualmente por combatir. La situación ha dado un giro de 180 grados y la crisis que atraviesa el sector en los últimos años ha reducido drásticamente los márgenes de beneficio de las empresas que, en muchos casos y con el fin de poder asegurarse una parte de la pequeña cuota de mercado existente, acuden de forma temeraria a los concursos públicos. La consecuencia final de esto, y el mayor perjudicado es al final el cliente, que no es capaz de obtener un producto que se ajuste a las características que requería o que incluso en ocasiones no lo recibe. La situación del sector demanda cambios en la forma de abordar los proyectos, disminuyendo los gastos innecesarios al mínimo y maximizando el valor del producto para el cliente, y es aquí donde el Lean Construction es más eficiente y por ello representa una opción de futuro para el sector.

Las técnicas Lean son herramientas flexibles que son capaces de combinarse con otras metodologías tal como hemos visto a lo largo del trabajo, incrementando su potencial. A pesar de esto, y de los diversos estudios que contrastan la efectividad del Lean Construction a la hora de reducir gastos, existen pocos estudios y datos obtenidos en un entorno real, y mucho menos si hablamos en el ámbito nacional. Esto podría indicarnos las posibles reticencias de las empresas en adoptar estas metodologías innovadoras. Otra opción posible es que, debido a la alta competitividad actual en el sector, las empresas sean extremadamente cautelosas a la hora de mostrar al público sus líneas de investigación. Además, la escasa o nula inclusión de formación relacionada en los planes de estudio de las escuelas de ingeniería dificulta su divulgación e implantación. Así, el empleo del Lean Construction se ve limitado a la parte de ejecución del proyecto y trabajo en obra, mediante el empleo del sistema Last Planner, y su presencia en las fases de diseño es prácticamente nula. De esta forma no se hace posible alcanzar su potencial al 100% al no poner en práctica técnicas como el Concurrent Construction.

En cuanto a los sistemas Integrated Project Delivery y Lean Project Delivery System, su aplicación en el ámbito nacional se antoja muy difícil, si no imposible con el sistema de adjudicación propuesto por la Ley de Contratos del Sector Público. Estas herramientas son actualmente el mejor modo de implementar la metodología Lean al proyecto completo desde la fase de diseño a la entrega del producto al cliente. Se complica también de este modo la aplicación de una herramienta Lean muy potente como el diseño multi-set, al llevarse a cabo la elección de la alternativa final en la fase de diseño y sin tener en cuenta a los encargados de la ejecución. Sería por lo tanto necesario para el pleno desarrollo de la filosofía Lean la adaptación de la legislación actual mediante la inclusión de un modelo de contrato que siga la línea marcada por el IPD. Por ello, y ante la falta de investigación relacionada con la materia, sería vital profundizar en este aspecto en futuras investigaciones.

La aparición del BIM abre un nuevo camino para el Lean Construction, mitigando uno de sus principales hándicaps: la dificultad para coordinar a todas las partes y la comunicación eficiente entre los equipos abre una puerta a la esperanza de un mayor interés en el campo. El BIM, junto a la potencial combinación del Lean Construction y la Construcción Sostenible (que responden al mayor interés y concienciación en la sociedad actual por cuidar nuestro entorno) presentan, en nuestra opinión, las principales líneas de investigación a seguir en el campo.

6. Bibliografía

Abdelhamid, T. S., (2003). *Six-Sigma in Lean Construction Systems: Opportunities and Challenges*.

- Achell, J. F. P., (2014). *Introducción al Lean Construction*. s.l.:s.n.
- Alarcón, L. F. & Pellicer, E., (2009). *Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas*.
- Bae, K. J.-W. & Youg-Woo, A., (2007). *Sustainable value in construction project and application of Lean construction method*.
- Ballard, G., (2008). *The Lean Project Delivery System: An update*.
- Ballard, G. & Howell, G. A., (2003). *Lean Project Management*.
- Ballard, G., Tommeleint, I., Koskela, L. & Howell, G., (2002). *Lean construction tools and techniques*.
- Breyfogle, F. W., Cupello, J. M. & Meadows, B., (2001). *Managing Six Sigma: A Practical Guide to Understanding, Assessing, and Implementing the Strategy That Yields Bottom-Line Success*.
- Cachadinha, N. & Rueff, N., (2011). *Lean construction and sustainability complementary paradigms? A case study*.
- Crowley, A., (1998). *Construction as a manufacturing process: Lessons from the automotive industry*.
- Dhingraa, R., Kressb, R. & Upretia, G., (2014). *Does Lean mean Green?*.
- Fernández, A. D. R., Cárdenas, L. F. A. & Armiñana, E. P., (2011). *La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador*.
- Golzarpoor, H. & González, V., (2013). *A green-Lean simulation model for assessing environmental and production waste in construction*.
- Golzarpoor, H., González, V., Shahbazpour, M. & O'Sullivan, M., (2016). *An Input-Output Simulation Model for Assessing Production and Environmental Waste in Construction*.
- Green, S. D., (1999). *The dark side of Lean Construction: exploitation and ideology*. s.l., s.n.
- Horman, M., Riley, D. & Pulaski, M., (2004). *Lean and green: integrating sustainability and Lean construction*.
- Howell, G. A., (1999). *What Is Lean Construction*. University of California, Berkeley, CA, USA, s.n.
- Howell, G. & Ballard, G., (1998). *Implementing Lean Construction: Understanding and Action*.
- Howell, G. A. & Ballard, G., (1999). *Bringing Light to the Dark Side of Lean Construction: A response to Stuart Green*. s.l., s.n.
- Jaafari, A., (1996). *Concurrent Construction and life cycle*. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Jamila, A. H. A. & Fathia, M. S., (2016). *The Integration of Lean Construction and Sustainable Construction: A Stakeholder Perspective in Analyzing Sustainable Lean Construction Strategies in Malaysia*.
- Khodeir, L. M. & Othman, R., (2016). *Examining the interaction between Lean and sustainability principles in the management process of AEC industry*.
- Koskela, L., (1992). *Application of the new production philosophy to construction*, s.l.: Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering, Stanford University.

- Love, P. E. D. & Gunasekaran, A., (1997). *Concurrent Engineering in the Construction Industry*. Concurrent Engineering: Research and Applications.
- Marhani, M. A., Jaapara, A., Baria, N. A. A. & Zawawib, M., (2013). *Sustainability through Lean Construction Approach: A literature review*.
- Matthews, O. & Howell, G. A., (2005). *Integrated Project Delivery An Example Of Relational Contracting*. Lean Construction Journal.
- Ochoa, J. J., (2012). *Reducing plan variations in delivering sustainable building projects*.
- Rokoei, S., (2015). *Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes*. s.l., s.n.
- Rosenbaum, S., Toledo, M. & González, V., (2012). *Green-Lean approach for assessing environmental and production waste in construction*. San Diego, USA, s.n.
- Rothenberg, S., Pil, F. & Maxwell, J. L., (2011). *Lean, green and the quest for superior performance*.
- Saieg, P., Dominguez, E., Nascimento, D. & Goyannes, R., (2018). *Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review*. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 174, pp 788-806.