

Filosofía Lean en la construcción

Asier Latorre Uriz

2015

Máster en Edificación Especialidad Gestión 14/15

Tutor: Dr. José Carlos Ayats Salt



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Agradecimientos

- A mis padres, por todo el apoyo que me han dado siempre, y el gran esfuerzo que han realizado para poder darme la mejor formación
- A mi hermana, Leire, por creer siempre en mí
- A Rocío, por todas las horas que me ha aguantado de malhumor o agobiado por la realización de este trabajo, y el apoyo que me ha facilitado
- A Bruno, porque sin su guía y grandes consejos no me habría atrevido a lanzarme a esta aventura
- A Cristina, por el esfuerzo que ha realizado ayudándome a mejorar aspectos del trabajo y hacerme ver cómo cambiando pocas palabras, se puede decir mucho más
- A Fernando, por descubrirme un nuevo mundo con *Lean*
- A esa pequeña gran familia, Dreamhouse, por tantas horas de trabajo juntos y diversión

Índice

Índice de figuras	V
Índice de tablas	VIII
Resumen	X
Abstract.....	XI
1.- Introducción	1
1.1.- Objetivos generales	1
1.2.- Objetivos específicos	1
1.3.- Estructuración del trabajo.....	2
2.- Filosofía Lean.....	4
2.1.- Fundamentos	6
2.1.1.- Qué es.....	6
2.1.2.- Principios	7
2.2.- Origen y evolución de la filosofía	18
2.2.1.- Origen	18
2.2.2.- Evolución conceptual.....	21
2.2.3.- Fuentes de estudio actuales	23
2.3.- Campos de aplicación.	24
2.3.1.- Lean Manufacturing (LM)	25
2.3.2.- Construcción sin Pérdidas/ <i>Lean Construction</i> (CsP/LC).....	26
2.3.3.- Lean Project Management (LPM)	27
2.4.- Técnicas de aplicación	28
2.4.1.- Las 5 “S”	29
2.4.2.- Hoshin Kanri.....	34
2.4.3.- Informe A3.....	35
2.4.4.- Mapa de la cadena de valor/ <i>Value Stream Mapping</i> (MCV/VSM).....	37
2.4.5.- Kanban	39
2.4.6.- Poka-Yoke.....	41
2.4.7.- Jidoka	42
2.4.8.- Heijunka.....	43

2.4.9.- Otras técnicas	45
2.5.- Estudio bibliométrico	50
2.5.1.- Obtención de datos.....	50
2.5.2.- Tratamiento de datos.....	51
2.5.3.-Resultados	51
3.- Construcción sin Pérdidas/ <i>Lean Construction</i>	54
3.1.- Conceptos previos	54
3.1.1.- Estado actual del sector de la Construcción.....	56
3.1.2.- Valor y pérdida	60
3.2.- Qué es Construcción sin Pérdidas/ <i>Lean Construction</i>	65
3.2.1.- Definición	65
3.2.2.- Principios	67
3.2.3.- Peculiaridades de la construcción que afectan a la implementación de la CsP	69
3.2.4.- Obstáculos en la implementación de la CsP	70
3.2.5.- Soluciones que aporta la CsP	72
3.2.6.- Implicaciones de la CsP	77
3.2.7.- Beneficios de la CsP (23).....	79
3.3.- Técnicas de aplicación de la CsP.....	82
3.3.1.- Sistema del Último Planificador/ <i>Last Planner System</i> (SUP/LPS)	82
3.3.2.- Lean Approach Process (LAP)	97
3.3.3.- Lean Project Delivery System (LPDS) e Integrated Project Delivery (IPD).....	99
3.3.4.- Aplicación de otras técnicas.....	111
3.4.- Estudio bibliométrico sobre CsP	114
3.4.1.- Obtención de datos.....	114
3.4.2.- Tratamiento de datos.....	115
3.4.3.- Resultados	116
4.- Building Information Modeling (BIM)	118
4.1.- Qué es.....	118
4.1.1.- Aplicaciones.....	119
4.1.2.- Cómo funciona.....	120

4.1.3.- Estado de BIM	120
4.2.- Historia de BIM	120
4.2.1.- Primeros Programas 3D	121
4.2.2.- Programas paramétricos actuales	121
4.3.- Agentes intervinientes.....	121
4.3.1.- Promotores	122
4.3.2.- Arquitectos	125
4.3.3.- Constructores	126
4.4.- Barreras a superar	127
4.5.- Beneficios derivados del BIM	129
4.6.- Riesgos derivados del BIM	130
4.6.1.- Riesgos Legales	131
4.6.2.- Riesgos Tecnológicos	132
4.6.3.- Riesgos por la actitud.....	132
4.6.4.- Propuesta de solución	132
4.7.- Programas BIM.....	133
4.8.- Implantación y uso de BIM en fases de proyecto	135
4.8.1.- Fases de vida de un proyecto de edificación.....	135
4.8.2.- Viabilidad.....	135
4.8.3.- Diseño	137
4.8.4.- Licitación-adjudicación.....	137
4.8.5.- Construcción	137
4.8.6.- Explotación (y mantenimiento).....	138
4.9.- Futuro de BIM.....	138
4.9.1.- Prácticas habituales en el uso de BIM	138
4.9.2.- Conductores económicos, tecnológicos y sociales del cambio.....	139
4.9.3.- Obstáculos al cambio	140
4.9.4.- El futuro de BIM en Europa.....	141
4.9.5.- Conclusiones	142
5.- Interacción CsP-BIM	143

5.1.- Análisis de la investigación realizada.....	144
5.2 Metodología.....	146
5.3.- Análisis de la interacción.....	147
5.3.1.- Principios CsP / Aplicaciones de BIM.....	147
5.3.2.- Comparación de las barreras a superar en su implementación	155
5.3.3.- Comparación de los beneficios que aportan	158
6.- Conclusiones, aportaciones realizadas y futuras líneas de investigación.....	162
6.1.- Conclusiones	162
6.2- Aportaciones realizadas	165
6.3.- Futuras líneas de investigación.....	165
ANEXO I Análisis de la encuesta	166
Tabla de abreviaturas.....	180
Lista de términos no españoles más utilizados en <i>Lean</i>	181
Bibliografía.....	182
Índice de citación.....	188

Índice de figuras

Capítulo 1 Introducción

Figura 1.1. Metodología de desarrollo del trabajo.....	3
--	---

Capítulo 2 Filosofía Lean

Figura 2.1. Esquema de la interpretación del proceso de producción tradicional, con subprocesos.....	4
Figura 2.2. Esquema de la interpretación gráfica de la producción como un flujo de procesos.....	5
Figura 2.3. Representación de los conceptos básicos acerca de qué es Lean.....	7
Figura 2.4. Obstáculos típicos al remover el flujo de valor.....	12
Figura 2.5. Comparación entre el ciclo de los 5 principios básicos de Lean y el ciclo PDCA de Deming.....	13
Figura 2.6. Tiempo de ciclo comprimido progresivamente eliminando las actividades que no añaden valor al producto/servicio.....	16
Figura 2.7. Línea de tiempo con los hitos en la historia del origen de Lean.....	21
Figura 2.8. Evolución conceptual de la filosofía Lean.....	22
Figura 2.9. Mapa de instituciones del Lean Global Network.....	24
Figura 2.10. Diferentes sectores donde se aplica la filosofía Lean.....	25
Figura 2.11. Pasos para emprender un proceso de transformación.....	26
Figura 2.12. 5 principios de Womack&Jones vs 11 principios Koskela.....	27
Figura 2.13. Restricción simple en proyectos.....	28
Figura 2.14. Restricción simple en proyectos con Lean.....	28
Figura 2.15. Las 5 “s”, significado en español e ideograma en japonés.....	30
Figura 2.16. Composición del informe A3, modelo en castellano vs modelo en inglés.....	36
Figura 2.17. Representación del VSM.....	38
Figura 2.18. Tablero de control Kanban.....	41
Figura 2.19. Ejemplos de Poka – Yoke en el día a día.....	42
Figura 2.20. Nivelación por cantidad.....	44
Figura 2.21. Nivelación por mix de productos.....	45
Figura 2.22. Ejemplo de célula de trabajo flexible.....	47
Figura 2.23. Ejemplo de sistema Andon aplicado a la construcción con BIM.....	49
Figura 2.24. Evolución anual de las publicaciones sobre Lean.....	51

Capítulo 3 Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction*

Figura 3.1. Evolución del número de licencias de obras expedidas en España en el periodo 2000 – 2013.....	54
Figura 3.2. N° de edificios de nueva planta realizados en el periodo 2000 – 2014.....	55
Figura 3.3. Evolución del empleo en el sector de la construcción español en el periodo 2000 – 2013.....	55
Figura 3.4. Viviendas nuevas iniciadas en el periodo 2003 – 2013.....	55
Figura 3.5. Modelo de sistema sensorial de las empresas para captar el concepto de valor de los clientes.....	61
Figura 3.6. Cada empresa interactúa de diferente forma.....	61
Figura 3.7. Funcionamiento de la MO.....	62
Figura 3.8. Estructura de una MO.....	63
Figura 3.9. Distribución general de actividades en obras chilenas.....	64
Figura 3.10. Distribución actividades NAV innecesarias en Chile.....	64
Figura 3.11. Distribución de actividades NAV necesarias en Chile.....	65
Figura 3.12. Características principales del sector de la construcción.....	70
Figura 3.13. Estabilizar el entorno de trabajo.....	75
Figura 3.14. Realización de WWP de buena calidad.....	76
Figura 3.15. Procedimiento de la WWP.....	77
Figura 3.16. Beneficios según estudio de la Fundación Escuela Organización Industrial.....	80
Figura 3.17. Países que utilizan LPS.....	83
Figura 3.18. Se puede – se debe – se hará.....	85
Figura 3.19. Interrelación de actividades en programación según método tradicional.....	86
Figura 3.20. Interrelación de actividades en programación según LPS.....	86
Figura 3.21. Interrelación entre los programas.....	87
Figura 3.22. Sistema Push.....	88
Figura 3.23. Sistema Pull.....	88
Figura 3.24. Post-it para pull session.....	90
Figura 3.25. Pull session.....	90
Figura 3.26. Proceso de lookahead para periodo de 6 semanas.....	93
Figura 3.27. Porcentaje actividades completadas.....	95
Figura 3.28. Last Planner System o Sistema del último planificador.....	97
Figura 3.29. Esquema global Lean Approach Process.....	98
Figura 3.30. Lean Project Delivery System.....	100

Figura 3.31. Método de desarrollo de proyectos según método tradicional frente IPD.....	107
Figura 3.32. Tres áreas de la entrega de proyectos.....	110
Figura 3.33. Cajón material de oficina ordenado según las 5 “s”.....	111
Figura 3.34. Oficina antes y después de aplicar las 5 “s”.....	111
Figura 3.35. Oficina antes y después de aplicar las 5 “s”.....	111
Figura 3.36. Recorte de plano de albañilería donde se respeta un orden y organización según las 5 “s”.....	112
Figura 3.37. Puesto en obra antes y después de aplicar las 5 “s”.....	112
Figura 3.38. Puesto en obra antes y después de aplicar las 5 “s”.....	112
Figura 3.39. Tarjeta de crédito indicando el lado por el que se introduce.....	113
Figura 3.40. Separadores de armaduras que aseguran el recubrimiento mínimo de hormigón.....	113
Figura 3.41. Evolución de artículos publicados y de citas anuales.....	116

Capítulo 4 Building Information Modeling (BIM)

Figura 4.1. Curva de Macleamy.....	124
Figura 4.2. Barreras a superar por BIM.....	127
Figura 4.3. Esquema riesgos que afectan a BIM.....	133
Figura 4.4. Esquema factores de cambio BIM.....	140
Figura 4.5. Triángulo BIM.....	141

Capítulo 5 Interacción CsP-BIM

Figura 5.1. Matriz de principios CsP aplicando LAP.....	149
Figura 5.2. Matriz de aplicaciones BIM aplicando LAP.....	149

Índice de tablas

Capítulo 2 Filosofía Lean

Tabla 2.1. Comparación del modelo tradicional frente al modelo de producción Lean.....	6
Tabla 2.2. Ejecución y beneficios del Seiri.....	31
Tabla 2.3. Ejecución y beneficios del Seiton.....	31
Tabla 2.4. Ejecución y beneficios del Seiso.....	32
Tabla 2.5. Ejecución y beneficios del Seiketsu.....	32
Tabla 2.6. Ejecución y beneficios del Shitsuke.....	33
Tabla 2.7. Evolución del número de artículos tras aplicar filtros.....	50
Tabla 2.8. Autores más citados en Lean.....	52
Tabla 2.9. Obras más importantes de la literatura sobre Lean.....	53

Capítulo 3 Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction*

Tabla 3.1. Relación entre la eficiencia y la productividad.....	57
Tabla 3.2. Comparación entre los modelos de producción.....	60
Tabla 3.3. Desperdicios en construcción.....	63
Tabla 3.4. Principales obstáculos en la implementación de la Construcción sin Pérdidas.....	72
Tabla 3.5. Recomendaciones para la implantación de la Construcción sin Pérdidas.....	79
Tabla 3.6. Beneficios de la Construcción sin Pérdidas.....	80
Tabla 3.7. Desafíos y barreras para la implementación de la Construcción sin Pérdidas.....	81
Tabla 3.8. Beneficios de LPS.....	96
Tabla 3.9. Principios del coste objetivo.....	102
Tabla 3.10. Diferencias entre IPD y la gestión tradicional de proyectos.....	103
Tabla 3.11. Principios IPD.....	103
Tabla 3.12. Rol de los principales agentes intervinientes en el proceso edificatorio según IPD.....	106
Tabla 3.13. Barreras a superar por IPD.....	108
Tabla 3.14. Ventajas y beneficios de IPD.....	109
Tabla 3.15. Evolución del número de artículos tras aplicar filtros.....	115
Tabla 3.16. Principales autores de CsP.....	116
Tabla 3.17. Principales trabajos/artículos de CsP.....	117

Capítulo 4 Building Information Modeling (BIM)

Tabla 4.1. Conclusiones encuesta realizada a profesionales de la construcción.....	120
Tabla 4.2. Descripción B-rep y CSG.....	121
Tabla 4.3. Tipos de promotores.....	122
Tabla 4.4. Barreras a BIM.....	125
Tabla 4.5. Impacto del uso de BIM para los arquitectos.....	126
Tabla 4.6. Pasos en la implementación de BIM.....	129
Tabla 4.7. Beneficios de BIM para promotores, arquitectos y constructores.....	130
Tabla 4.8. Características de los principales programas BIM.....	134
Tabla 4.9. Características principales de las fases de un proyecto de edificación.....	136
Tabla 4.10. Obstáculos al cambio de BIM.....	140

Capítulo 5 Interacción CsP-BIM

Tabla 5.1. Comparación proceso de desarrollo de proyecto tradicional vs CAVT.....	144
Tabla 5.2. Matriz interrelación CsP y BIM.....	146
Tabla 5.3. Principios de la CsP y aplicaciones de BIM.....	148
Tabla 5.4. Matriz interrelación CsP y BIM.....	150
Tabla 5.5. Justificación interrelación CsP-BIM.....	151
Tabla 5.6. Barreras a la implantación de la CsP y BIM.....	155
Tabla 5.7. Comparación barreras de la CsP y BIM.....	156
Tabla 5.8. Beneficios aportados por la CsP y BIM.....	158
Tabla 5.9. Comparación de los beneficios de la CsP y BIM.....	159

Resumen

Los problemas que atraviesa la construcción en España hacen necesario un cambio en el modelo de gestión de los proyectos de edificación. El éxito que ha tenido la implantación de Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction* o de *Building Information Modeling* (BIM) en otros países presenta estas metodologías como una posible solución a estos problemas.

La finalidad principal de este trabajo es conocer más a fondo sobre Construcción sin Pérdidas y BIM, para entender su funcionamiento y qué mejoras puede aportar a la gestión de los proyectos de edificación en España.

En primer lugar, para poder entender qué es Construcción sin Pérdidas, se analiza la filosofía *Lean*, de la cual proviene el *Lean Construction*. De esta manera se analizan sus principios y las técnicas de aplicación más importantes.

Con esta base, en una segunda fase, se profundiza en Construcción sin Pérdidas. Se analizan sus principios, las barreras que deben ser superadas en su implementación y las técnicas más importantes, destacando el Sistema del Último Planificador/*Last Planner System* y *Lean Project Delivery System*.

En tercer lugar se analiza BIM: en qué consiste, principales barreras y beneficios, aplicaciones, programas informáticos más importantes y cómo afectan a los agentes intervinientes principales.

En último lugar, una vez ya se conoce el funcionamiento tanto de Construcción sin Pérdidas como de BIM, se analizan las sinergias que existen entre ambas para valorar su posible combinación para obtener mejores resultados en la gestión de edificación.

Abstract

The problems experienced by the construction in Spain make it necessary a change in the management model buildings projects. The success that has been the implementation of *Construcción sin Pérdidas*/Lean Construction or Building Information Modeling in other countries presents these methodologies as a possible solution to these problems.

The main purpose of this work is to know further about Lean Construction and BIM to understand how it works and what improvements can bring to the management of building projects in Spain.

First, to understand what is Lean Construction, lean philosophy is analyzed. Thus its principles and key application techniques are analyzed.

On this basis, in a second phase, it delves into Lean Construction. Its principles, the barriers that must be overcome in its implementation and the most important techniques are analyzed, highlighting the Last Planner System and the Lean Project Delivery.

Third BIM discussed: what it is, major barriers and benefits, applications, major software and how they affect the agents involved.

Finally, once performance both Lean Construction and BIM are known, the synergies between them to assess their possible combination for best results in the management of construction are analyzed.

1.- Introducción

El presente trabajo fin de máster (TFM) sirve como inicio de un proyecto mayor; la realización de una tesis doctoral. En el mismo se va a desarrollar el estado de la cuestión acerca de la Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction* (CsP/LC) y del *Building Information Modeling* (BIM).

La finalidad del trabajo es realizar una revisión bibliográfica en la que se descubra qué se ha hecho acerca de la CsP y BIM. Para poder entender bien qué es la CsP, se necesita realizar un paso previo; conocer la filosofía *Lean*. Por ello también se recopila información acerca de ella.

El motivo que genera el interés por esta revisión bibliográfica es la necesidad de un cambio en la manera de gestionar la edificación en España. Tal y como se analizará en apartados posteriores, la situación de crisis actual unida a malas costumbres en el sector han generado una situación preocupante que deriva en una baja productividad y desviaciones en la entrega y costes de un proyecto.

Por ello, con el fin de encontrar un modelo de gestión que mejore la situación actual del sector de la Construcción en España, se inicia este proyecto de investigación acerca de nuevas metodologías de gestión. La elección de la CsP y BIM se debe a los excelentes resultados que se han obtenido con su aplicación en otros países como EE.UU o Reino Unido.

Los conocimientos previos necesarios para la realización de este trabajo se han obtenido gracias a las competencias adquiridas en la asignatura **Gestión de Obras** cursada en el **Grado en Edificación** de la **Universidad de Navarra**, en la asignatura **Lean Construction** en el **Máster en Edificación, Especialidad Gestión** de la **Universidad Politécnica de Valencia** y a la formación adicional adquirida en BIM. Así mismo, la realización bibliográfica que se realiza para la elaboración del TFM ha consolidado los conocimientos adquiridos, además de aumentarlos.

Con todo ello, el TFM actual conforma el comienzo de la futura tesis doctoral.

1.1.- Objetivos generales

- Realización de una revisión bibliográfica de la filosofía *Lean*, de la CsP y de BIM.
- Presentación de las principales técnicas de aplicación de la filosofía *Lean*, de la CsP y de BIM.
- Identificar y explicar los principios que rigen la filosofía *Lean* y cuya aplicación se extiende a la CsP.
- Identificar y explicar las principales funcionalidades de BIM.

1.2.- Objetivos específicos

- Ampliación de conocimientos sobre la filosofía *Lean*, la CsP y BIM.
- Establecer una vinculación entre BIM y la CsP.
- Sentar las bases de las futuras líneas de investigación a desarrollar en la tesis doctoral.

1.3.- Estructuración del trabajo

El trabajo está estructurado en 6 capítulos:

- El capítulo uno es la introducción al TFM.
- El capítulo dos está formado por la revisión bibliográfica de la filosofía *Lean*, donde se explica en qué consiste y sus principales técnicas de aplicación.
- El capítulo tres consiste en la CsP; qué es, cuáles son sus principios y sus principales técnicas de aplicación, destacando el *Last Planner* y el *Lean Project Delivery System*.
- El capítulo 4 profundiza en el BIM. Se explica qué es BIM, que barreras afronta y los beneficios que conlleva su utilización.
- En el capítulo 5 se realiza el estudio y análisis de la interacción entre la CsP y BIM. Para ello se realizan hasta tres análisis diferentes.
- Por último, el capítulo 6, donde se recogen las conclusiones que se extraen del trabajo y se muestra las futuras líneas de investigación abiertas.

La figura 1.1. recoge un esquema de la estructura que sigue el trabajo:

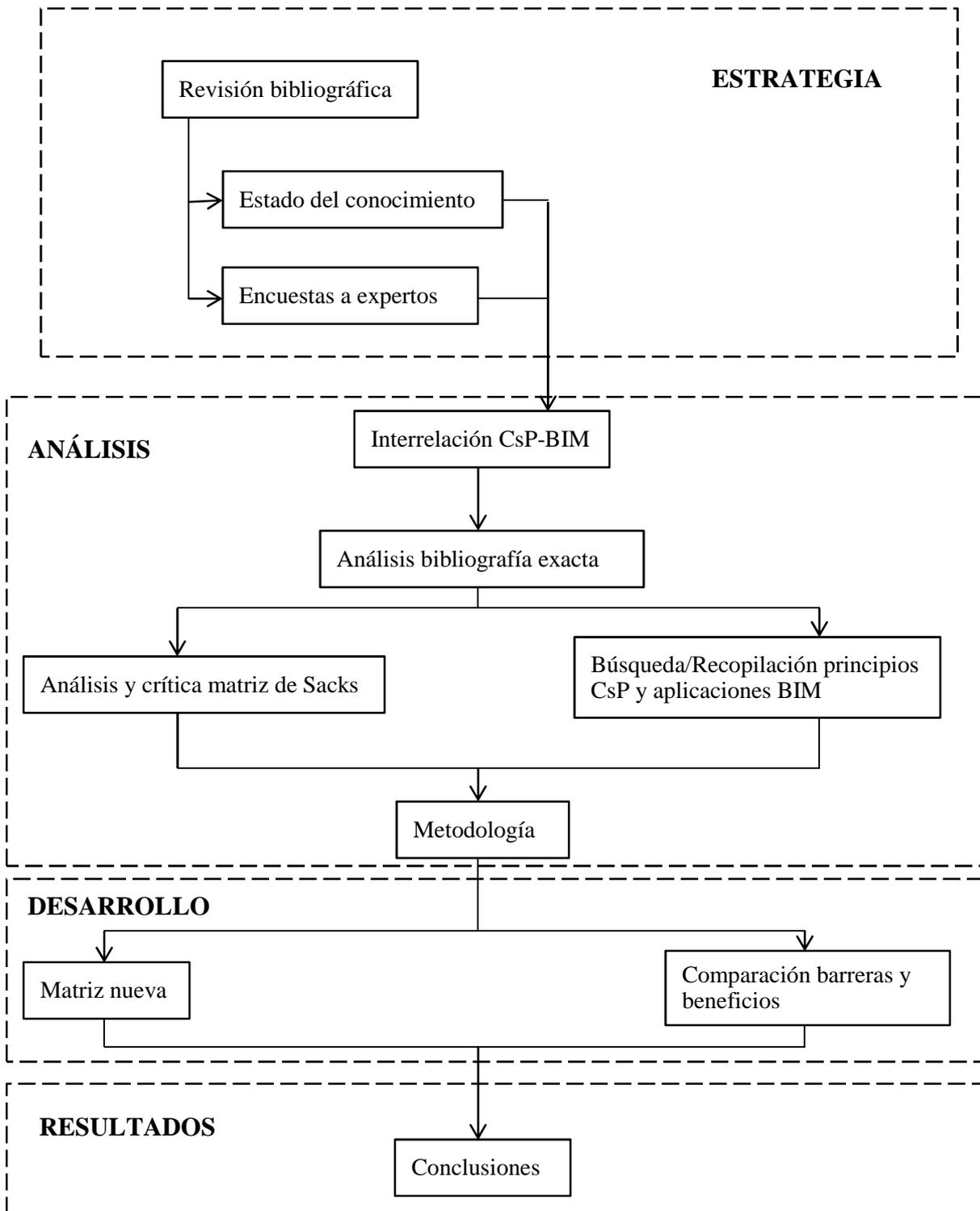


Figura 1.1. Metodología de desarrollo del trabajo

Fuente: Elaboración propia

2.- Filosofía Lean

Desde la aparición de los primeros libros y artículos (*The machine that changed the world, Lean Thinking*) acerca de la filosofía de *Lean Production*, han sido varios los autores que han escrito sobre ella. El objetivo de este apartado es recopilar bibliografía sobre *Lean*, de manera que se pueda entender qué es, y cuáles son sus principales herramientas de trabajo para permitir lograr los objetivos de las empresas.

Tal y como analiza Koskela (1) en “*Application of the new production philosophy to construction*” (1992), el modelo de producción que funciona en la actualidad es el que considera la producción como un proceso de conversión. Este modelo presenta las siguientes características:

- 1.- Todo proceso de producción es una conversión de una entrada a una salida.
- 2.- Este proceso se puede subdividir a su vez en subprocesos, que funcionan de la misma manera.
- 3.- El coste total del proceso puede minimizarse haciendo que el coste de cada subproceso sea menor.
- 4.- El valor de la salida del proceso está relacionada con los costes de las entradas del mismo.

Esto se podría resumir en el siguiente esquema (Fig.2.1):

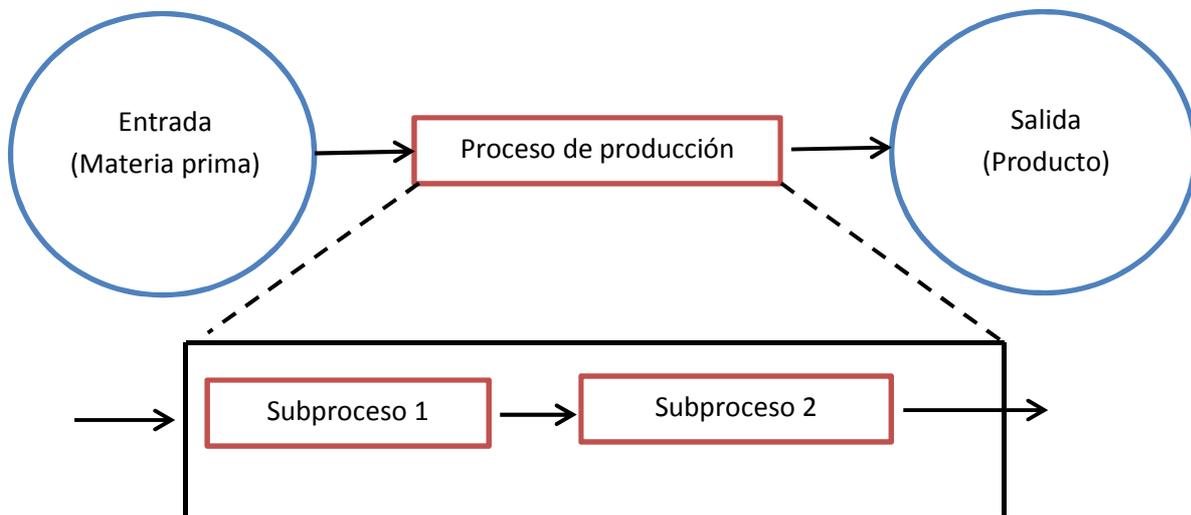


Figura 2.1. Esquema de la interpretación del proceso de producción tradicional, con subprocesos

Fuente: Koskela, 1992

Sin embargo, se ha comprobado que el modelo tradicional no es perfecto y tiene fallos. Analizando el proceso, se observa que hay otras actividades que no se han recogido en el modelo tradicional, como transportes, esperas e inspecciones (1).

Aunque en el sistema tradicional estas actividades no quedan incluidas, están presentes en la realidad, y generan unos costes. Son actividades que no son necesarias desde el punto de vista de que no aportan un valor añadido al producto final.

Además, muchas veces se trata de mejorar estos procesos, buscando fórmulas que consigan hacer los procesos más eficientes. Se invierte dinero y tecnología para ello, incluso en las actividades que no agregan un valor añadido al producto, las cuales sería mejor eliminar o minimizar al máximo.

Con la filosofía *Lean* se busca eliminar todo aquello que no aporte valor añadido al producto final, de tal forma que todas las actividades que generan un coste para la empresa pero no aportan valor al producto, desaparezcan o se minimicen al máximo posible.

Otro aspecto negativo del modelo tradicional tiene que ver con el producto final del proceso. Éste es variable, y a menudo sucede que no cumple con las especificaciones, por lo que debe ser desechado o genera un re-trabajo. Según Juran (citado en (1)) alrededor de una tercera parte del trabajo que se realiza consiste en rehacer el trabajo previamente realizado.

Y las características de los productos realizados están incompletas. No recogen todos los requerimientos que quiere el cliente final, qué es que el que adquiere el producto. Esto genera una pérdida de satisfacción de los clientes.

Ante esto, tal y como veremos en los apartados siguientes, la filosofía *Lean* propone un nuevo modelo.

La producción se considera como un flujo de materiales e informaciones, desde el comienzo con la materia prima hasta la consecución del producto. Durante este flujo, el material sufre transformaciones, y se consideran las inspecciones, esperas y transportes.

Estos flujos se caracterizan su duración, coste y valor (el grado de satisfacción de los requerimientos del cliente). Esta concepción se expresa en el siguiente esquema (Fig.2.2):

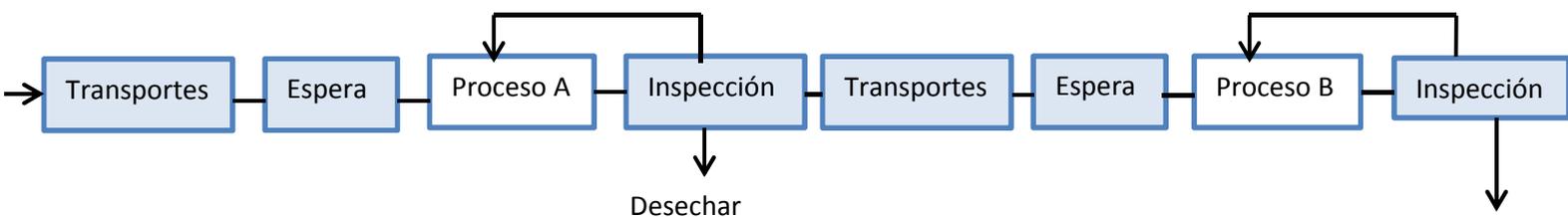


Figura 2.2. Esquema de la interpretación gráfica de la producción como un flujo de procesos. El relleno rojo claro representa las actividades que no añaden valor.

Fuente: Koskela, 1992

De esta manera, la filosofía *Lean* sí considera todas las actividades que, a pesar de no añadir valor al producto final, están presentes en el flujo de producción. En los siguientes apartados analizaremos qué es *Lean*, sus orígenes, a que campos se puede aplicar, sus herramientas y la evolución conceptual que ha sufrido a lo largo de los años.

Para finalizar con esta breve introducción, se adjunta una tabla en la que se compara el sistema de producción tradicional con la propuesta que realiza *Lean* (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Comparación entre el modelo tradicional frente al modelo de producción Lean.

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de Koskela (Koskela, 1992).

Modelo tradicional de producción	Modelo de producción Lean
Entendido como un conjunto de operaciones o funciones	Entendido como un flujo de procesos materiales y de información
Controladas cada una de ellas, para minimizar costes	Controlados para minimizar la variabilidad y el tiempo de ciclo
Mejoras de la productividad periódicas implementando nueva tecnología	Los desperdicios y el valor que aporta se mejoran continuamente. La eficiencia se mejora implementando nueva tecnología periódicamente

2.1.- Fundamentos

2.1.1.- Qué es

La palabra *Lean* es de origen inglés. Si buscamos en el diccionario su significado¹, se obtienen acepciones como magro, sin grasa, delgado o esbelto, entre otros significados. Algunos autores utilizan en sus artículos el término gestión esbelta, traduciendo literalmente del inglés, pero la mayoría mantienen el término en su idioma original, hablando de gestión o filosofía de producción *Lean*.

Ya han pasado varios años desde que en 1990 se publicara “*The machine that changed the world*”, de James Womack y Daniel Jones, primer libro en el que se hablaba de la filosofía Lean denominándola de tal forma. Desde entonces son varios los autores que han definido este modelo de producción. A continuación se incluyen dos de las definiciones más aceptadas:

James Womack y Daniel Jones, en “*Lean Thinking*”, definen *Lean* como la filosofía que tiene por objetivo esencial la eliminación sistemática de los desperdicios por parte de los miembros de la organización en todos los procesos. Esta filosofía se esfuerza por hacer que las organizaciones sean más competitivas en el mercado mediante el aumento de la eficiencia y la disminución de los costes debido a la eliminación de las actividades en los procesos que no generan valor (2).

Una segunda definición, también comúnmente aceptada en la literatura, es la que define *Lean* como el sistema socio-técnico integrado cuyo principal objetivo es la eliminación del desperdicio mediante la reducción o minimización de la variabilidad interna, la variabilidad de proveedores y la variabilidad del cliente (3).

Se trata de una filosofía de producción, desarrollada en sus inicios en la fábrica Toyota, que busca **optimizar sus procesos** y lograr la **satisfacción de sus clientes** a través de **minimizar los desperdicios** en cada proceso que forma parte del flujo de trabajo, **eliminar** o minimizar al máximo las **actividades que no aporten un valor** añadido al producto final, conseguir mantener un nivel de **inventario mínimo** y **considerando** desde el principio **cuál es el valor** que ha solicitado el cliente.

¹ Búsqueda realizada en los diccionarios Oxford University y Wordreference.

A continuación se adjunta un esquema para ilustrar los conceptos clave que aportan estas definiciones de *Lean* (Fig.2.3):

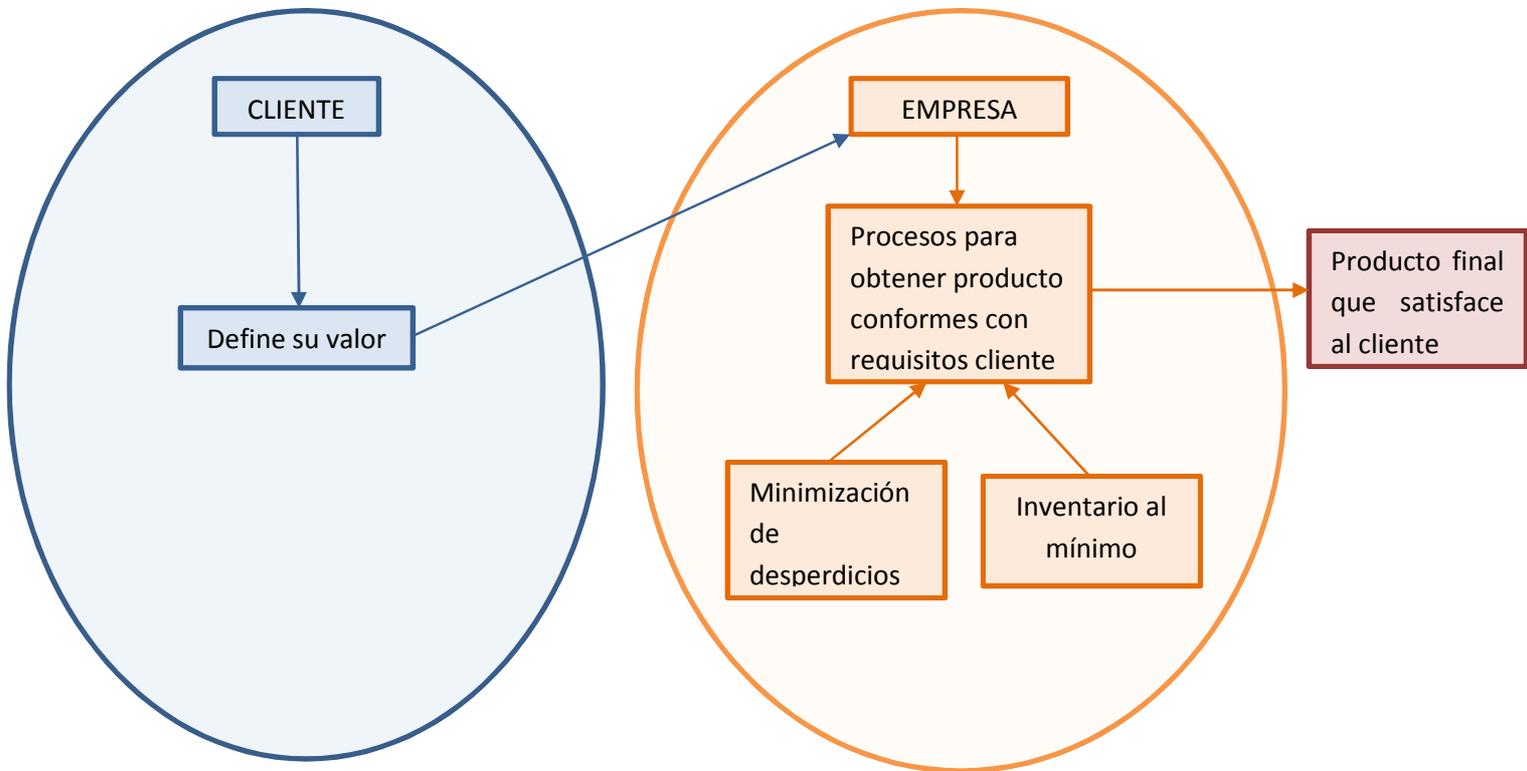


Figura 2.3. Representación de los conceptos básicos acerca de qué es Lean.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2.- Principios

Los principios básicos de la filosofía *Lean* fueron propuestos por los mismos autores que definieron al nuevo sistema de producción como *Lean*. James Womack y Daniel Jones, en su libro "*Lean Thinking*", propusieron 5 principios básicos:

- 1).- Definir el valor.
- 2).- Identificar el flujo: Identificar la cadena de valor.
- 3).- Optimizar el flujo del valor para evitar interrupciones en el mismo.
- 4).- Permitir que los clientes extraigan el valor. (*Pull*).
- 5).- Buscar permanentemente la perfección. La mejora continua.

A continuación se analizan cada uno de los 5 principios básicos, y su aplicación a los proyectos²:

² Este apartado se fundamenta en el trabajo de investigación de Sandra P. Valencia, "La filosofía *Lean* Aplicada en la gerencia de proyectos" (2013) y el artículo "*Lean Management. Un estudio bibliométrico*" de Lidia Sánchez, Beatriz Blanco y Carlos Pérez (2012).

1).- Definir el valor

El punto de partida de la filosofía *Lean* es el valor. El valor solo puede definirlo el consumidor final, y solamente es significativo cuando se expresa en términos de producto específico (un bien o servicio, o ambos a la vez) que satisface las necesidades del consumidor a un precio concreto y en un momento determinado. El valor lo crea la organización, desde el punto de vista del cliente, razón por la cual existen (2).

Se matiza el concepto de cliente que aportan James y Womack; el cliente para ellos es el que define el valor, pero solo el cliente final. En la actualidad el concepto de cliente va más allá, y se considera que el cliente puede ser tanto el final como los internos propios de la empresa.

De esta definición de valor se concluye que es un concepto fundamental en la filosofía *Lean*. Algo tiene valor cuando satisface las necesidades del cliente, cuando se le entrega al cliente lo que quiere, como lo quiere y en la cantidad que lo quiere (4).

El concepto de valor no es estático, ya que evoluciona con el tiempo. Esto significa que la empresa debe conocer cómo evoluciona el concepto de valor de sus clientes para adaptar su oferta a ello.

La filosofía *Lean* clasifica el desperdicio en 3 tipos: MURA, MURI y MUDA.

- MURA: Significa falta de uniformidad.

En los procesos tradicionales se trabaja con grandes lotes en operaciones desacopladas. Los productos pasan según una planificación prefijada que trata de gestionar varios procesos a la vez.

Trabajar sin atender a las verdaderas necesidades del proceso siguiente (el proceso siguiente siempre está más cerca del cliente) y sin un ajuste previo (que amortigüe las variaciones de demanda) provoca situaciones de exceso de capacidad y de sobrecarga (falta de capacidad).

- La sobrecarga provoca tensión, errores, sobrecostes, etc.

- El exceso de capacidad frecuentemente se ignora, de modo que se produce aquello que no se demanda, con el consiguiente coste de inventarios, riesgo de obsolescencia o sencillamente de no vender lo producido.

Lo fundamental para evitar la falta de uniformidad (MURA) es procurar un ajuste interno de la demanda del cliente de modo que la demanda del cliente pueda considerarse constante durante determinados períodos para los cuales habremos adaptado nuestros medios.

- MURI: Significa sobrecargado.

Cualquier operación que no se realiza según el mejor “saber hacer” es una operación que presenta sobrecarga (MURI).

Se detecta la presencia de sobrecarga (MURI) en los casos en los que distintas personas realizan la misma operación de distinta forma. También cuando las condiciones ergonómicas son mejorables (afectando a la seguridad o productividad). O cuando la capacidad de producción no puede cubrir la demanda.

- MUDA: Significa desperdicio.

MUDA (“inútil” o “desperdicio”) es todo aquello que consume recursos y no aporta valor para el cliente. Es importante conocer qué es el valor que requiere el cliente. La aportación por la que está el cliente dispuesto a pagar es valor añadido, el resto es desperdicio.

Los desperdicios pueden ser:

- Desperdicios reducibles (no pueden eliminarse en las condiciones actuales)
- Desperdicios eliminables (pueden eliminarse sin perjuicio de las operaciones que añaden valor)

Ohno definió 7 tipos de desperdicios, posteriormente Toyota añadió otro más:

1. Sobreproducción (sobrepasar la demanda del cliente, ya sea en forma de volumen de producción o ritmo de fabricación)
2. Defectos (averías, chatarras, reprocesos...)
3. Transportes (transporte de productos, cargas, descargas...)
4. Esperas (el material espera, la documentación espera, el personal espera...)
5. Operaciones innecesarias (por útiles o instrucciones inapropiadas, por exceder lo requerido o simplemente para cubrir los tiempos de espera)
6. Movimientos innecesarios (búsquedas, distancias, falta de ergonomía...)
7. Existencias (el stock, en cualquiera de sus formas, es desperdicio)
8. Creatividad desaprovechada (potencial de las personas que no se llega a aprovechar: conocimientos, ideas, experiencia...)

En función de su capacidad de agregar valor, la filosofía *Lean* clasifica a las actividades en 3 tipos:

- Actividades que aportan valor al producto final.
- Actividades denominadas “muda tipo 1” (desperdicio). Son actividades que no aportan valor añadido al cliente, pero necesarias para la realización del producto. Solo incrementan los costos del proyecto.
- Actividades denominadas “muda tipo 2”. Actividades que no aportan valor al cliente, y además no son necesarias. Hay que eliminarlas.

Por lo tanto, el objetivo que se persigue con la filosofía *Lean* es que la gran mayoría de las actividades aporten valor, minimizando las actividades “muda tipo 1” y eliminar las actividades clasificadas como “muda tipo 2”.

Aplicación

Para aplicar este principio en los proyectos se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades:

- Definir el valor de forma precisa. El producto o servicio debe tener unas características específicas, con un precio específico.
- Establecer un coste objetivo a partir de la cantidad de recursos y esfuerzos necesarios para realizar el producto o servicio especificado en el paso anterior.

Para establecer un precio objetivo inferior al de los competidores, se ofrecen las siguientes alternativas:

- Reducir precios, de manera que aumente el volumen de ventas.
- Añadir más características y mejorar el producto, de manera que las ventas se incrementen.
- Incorporar servicios al producto final que den un valor añadido al mismo frente a productos similares de la competencia, que lo hagan más atractivo y aumenten las ventas.

2).- Identificar el flujo: Identificar la cadena de valor

Hay que identificar la cadena de valor que es el conjunto de todas las tareas que es necesario completar por las siguientes 3 tareas básicas para entregar el producto o servicio final al cliente (5):

- Solución de problemas: Se inicia en la concepción, sigue en el diseño detallado e ingeniería hasta la producción.
- Gestión de la información. Transcurre desde la recepción del pedido a la entrega, a través de una programación detallada.
- Transformación física/ejecución de las etapas de la prestación del servicio, con los procesos existentes desde la materia prima hasta el producto terminado en manos del cliente (2).

Ya que las actividades no se miden, no se pueden gestionar. El objetivo de este principio es la creación de un mapa de valor que refleje el camino que realiza el flujo de trabajo desde el principio hasta el final. En él se reflejan todas las actividades que se realizan en el proceso de producción o de prestación del servicio.

Aplicación

La alternativa *Lean* es redefinir las funciones y áreas de modo que puedan hacer una contribución positiva a la creación de valor y dirigirse a las necesidades reales de los empleados en cada punto de flujo, de forma que sea de su interés hacer que el valor fluya. Esto exige no solo la generación de una iniciativa *Lean* para cada producto, sino el replanteo de la organización, funciones y cargos convencionales y el desarrollo de una estrategia *Lean* (2).

Se realiza un gráfico con el flujo del valor del proceso entero. Se eliminan las etapas cuyo despilfarro es evidente, y se mantienen las que generan valor. El siguiente paso a realizar es reorganizar el proceso para que las actividades que aportan valor puedan fluir.

El gráfico con el flujo de valor, denominado *Value Stream Mapping* (VSM) (véase apartado 2.4.4.- *Mapa de la cadena de valor/Value Stream Mapping (MCV/VSM)*) pero a continuación se citan los principales pasos a realizar una vez ejecutado el VSM:

- Identificar aquellas acciones que aportan verdaderamente valor con respecto a la percepción del cliente.
- Identificar las acciones que, sin aportar un valor añadido, son realmente necesarias para la realización del producto o servicio prestado al cliente.
- Identificar las acciones que ni aportan un valor añadido ni son necesarias, por lo que hay que proceder a su eliminación.

Una vez eliminadas las “muda tipo 2”, se debe reorganizar el proceso de forma que las actividades que aportan valor puedan fluir, y se realice el producto o servicio.

3).- Optimizar el flujo del valor para evitar interrupciones en el mismo

Este principio se puede aplicar a cualquier actividad, ya que la cantidad de esfuerzo humano, tiempo, espacio, instrumentos y existencias necesarias para diseñar y suministrar un determinado bien o servicio generalmente pueden reducirse a la mitad muy rápidamente. (2)

Se trata de que cada actividad que forma parte de un proceso genere un valor añadido respecto a la anterior.

Aplicación

Una vez definido el valor e identificado la totalidad del flujo de valor, se siguen los siguientes pasos:

- El primer paso es concentrarse en el producto / servicio; el diseño específico, el pedido exacto y el propio producto, sin perderlos de vista.
- A continuación se deben ignorar los límites impuestos por la tradición de los puestos de trabajo, las carreras profesionales y las funciones, para crear una iniciativa *Lean* que permita fluir de manera continua a las actividades que realizan el producto o el servicio.
- Por último, se replantean prácticas y herramientas específicas que eliminen todo aquello que sean desperdicios o interrupciones del flujo, para que diseño, pedido y producción pueda realizarse de manera continua.

A continuación se adjunta un esquema que refleja los principales obstáculos que se deben remover del flujo de valor (Fig.2.4):

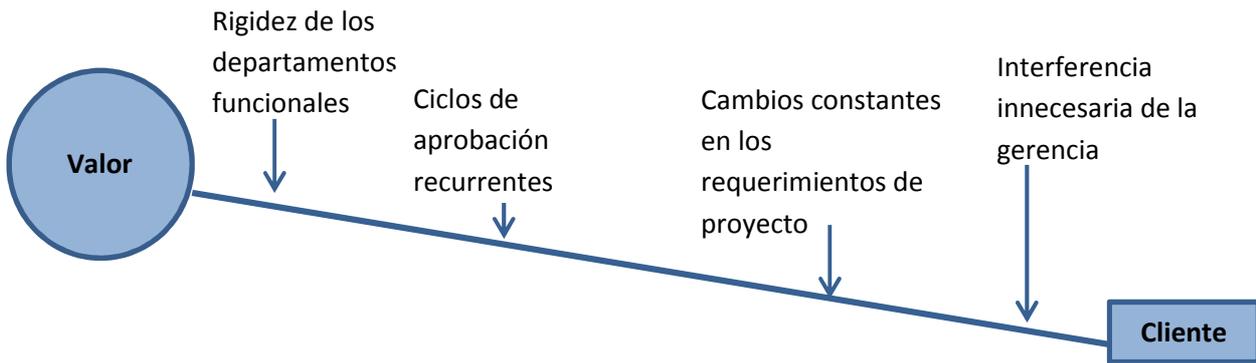


Figura 2.4. Obstáculos típicos al remover el flujo de valor.

Fuente: Lledó & Rivarola & Mecaru & Cucchi, 2006, citado por Valencia, 2013

4).- Permitir que los clientes extraigan el valor

Una vez establecidos qué se produce (valor) y cómo (procesos y actividades) hay que definir el método para conseguirlo. La filosofía *Lean* utiliza el “método *pull*”. Éste se centra en ofrecer lo que el cliente quiere en el momento y en la cantidad necesaria. Hay que hacer que el cliente pueda reconocer el valor y hacerlo suyo.

Así, es la demanda quien programa la producción. Cada proceso realiza únicamente lo que el siguiente proceso necesita, el cliente es el que “tira”. Precisamente esto es lo contrario al sistema actual, en el que cada proceso realiza el máximo posible y “empuja” al siguiente proceso.

En resumen, el sistema “*pull*” implica que ningún proceso aguas arriba debe realizar un producto o servicio si ningún cliente (interno o externo) lo solicita aguas abajo. “No fabricar nada hasta que sea necesario, a partir de aquí fabriquémoslo muy rápidamente” (2).

Aplicación

Se deben generar unos formularios para que el cliente especifique exactamente el valor que requiere.

También ayuda el involucrar a los clientes en el proceso de diseño e implementación del proyecto, ya que permite generar menos desperdicios, debido a que se realiza únicamente lo que el cliente desea.

5).- Buscar permanentemente la perfección. La mejora continua

El objetivo de este principio es la búsqueda de la perfección, aunque conseguirla es imposible. Una vez que se ha implantado en la empresa el sistema *Lean*, comienza un proceso de mejora continua, mediante el cual se redefinen los valores (se añaden características o prestaciones nuevas al producto), se mejora el flujo de valor, se eliminan nuevos desperdicios y el sistema *pull* funciona mejor, más rápido y eficaz.

Aplicación

Para aplicar este principio, los responsables del flujo de valor tendrán que aplicar los otros 4 principios anteriores, determinando qué es el valor, analizando su flujo, optimizándolo al máximo y aplicando el sistema “pull”.

Se debe tener una idea clara de cuál es el grado de perfección que se quiere alcanzar para que el objetivo de mejora sea visible y real para los implicados en su consecución. Según Jones y Womack, la perfección es como el infinito: tratar de imaginarla y llegar a ella, es materialmente imposible, pero el esfuerzo proporciona la inspiración y dirección esencial para el camino. (2)

A continuación se adjunta un esquema del funcionamiento de los 5 principios básicos de la filosofía *Lean* (Fig.2.5). Como se puede observar, se asemeja mucho al ciclo PDCA de Deming, ya que es un ciclo continuo, de mejora constante, en el que se debe planificar (qué es el valor), se tiene que establecer el flujo de valor (identificar el flujo), se comprueba (optimización del flujo) y se actúa (sistema *pull*).

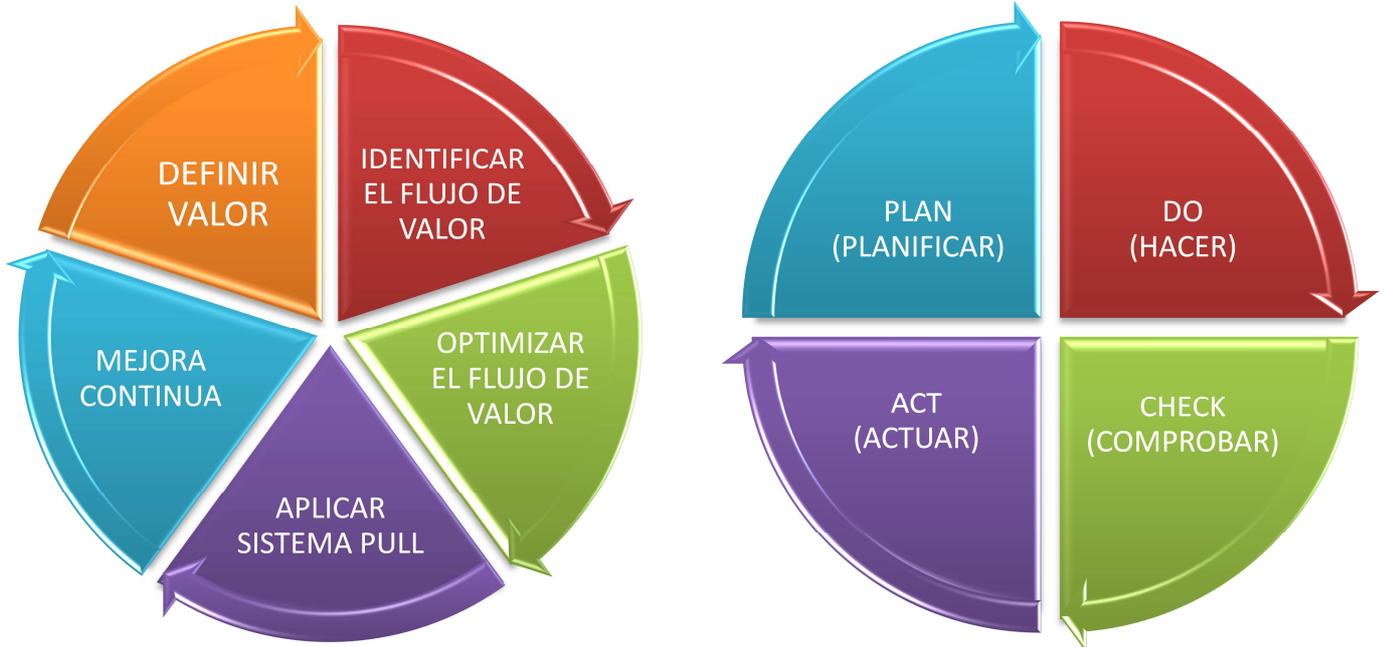


Figura 2.5. Comparación entre el ciclo de los 5 principios básicos de Lean (izquierda) y el ciclo PDCA de Deming (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

Hasta ahora se han analizado los 5 principios básicos de la filosofía *Lean*. Sin embargo, diversos autores como Cusumano (39), Richards (40), Soriano-Meier (41), Shah o Ward (3) han profundizado en estos principios, y trabajado sobre otros. En la actualidad se está profundizando más acerca de la dimensión personal y humana de la filosofía *Lean*, orientada más a la gestión de recursos humanos. Por ello se está analizando principios como el compromiso, la administración o el respeto por el personal, entre otros.

A continuación se analizan los principios propuestos por Koskela (1), que propone los 11 siguientes para permitir diseñar, controlar y mejorar los procesos del flujo de producción:

- 1.- Reducir las actividades que no aportan valor al cliente.
- 2.- Aumentar el valor del producto/servicio a través de la información del cliente.
- 3.- Reducir variabilidad.
- 4.- Reducir el tiempo de ciclo.
- 5.- Minimizar los pasos para simplificar el proceso.
- 6.- Aumentar la flexibilidad de salidas.
- 7.- Aumentar la transparencia del proceso.
- 8.- Centrarse en el proceso global.
- 9.- Introducir mejoras continuas en el proceso.
- 10.- Equilibrar las mejoras del flujo con las mejoras de los procesos.
- 11.- *Benchmarking*.

1.- Reducir las actividades que no aportan valor al cliente.

Clasifica las actividades distinguiendo entre las que añaden valor (aportan material o información requerida por el cliente) y las que no añaden valor (consumen tiempo, recursos y espacio, sin añadir valor), una clasificación similar a la que hemos visto antes.

En el sector de la Construcción, únicamente entre un 3 y un 20% de los procesos que se realizan en el flujo aportan valor al producto o servicio final. El resto son actividades que no aportan valor. Esto se debe a un mal diseño, a la ignorancia de los responsables o a sucesos que no se pueden evitar, ligados a la tipología de producción.

2.- Aumentar el valor del producto/servicio a través de las consideraciones de los clientes.

El concepto de valor se considera desde el punto de vista del cliente, que puede ser tanto interno como externo. Esto significa que la empresa debe conocer lo que el cliente quiere, ya que el producto se adapta al cliente, no a la inversa.

Para conocer qué es lo que quiere el cliente, se realizan estudios de mercado o evaluaciones post-venta, que permitan conocer a la empresa el grado de satisfacción del cliente con respecto al producto o servicio adquirido.

3.- Reducir variabilidad.

Los procesos de producción son variables. Existen diferencias entre dos objetos, incluso si se trata del mismo producto, ya que la materia prima o el tiempo dedicado a cada uno varía.

Existen dos razones principales para reducir la variabilidad. La primera es una cuestión de confianza entre el cliente y el producto. Si existe variabilidad, más fácil es que se desvíe el producto del objetivo de valor del cliente. Por ello, al reducirla, el producto cumplirá con más fiabilidad los requisitos del cliente y le satisfará.

El segundo, es que cuanto más variabilidad existe, más actividades que no aportan valor aparecen en los procesos.

Por estas dos razones interesa que la variabilidad se reduzca lo máximo posible, y el objetivo de reducirla debe ser intrínseco en la actividad.

4.- Reducir el tiempo de ciclo.

El tiempo es una herramienta práctica usada para medir el coste y la calidad, ya que se puede manejar para mejorar ambas. El tiempo de ciclo en la filosofía *Lean* es la suma del tiempo dedicado a transportes, esperas, inspecciones y el dedicado a transformar el producto.

Lo que intenta *Lean* es comprimir el tiempo de ciclo de las actividades, reduciendo al máximo todo aquel que no aporte un valor al producto: Transportes, inspecciones y esperas. Se intenta eliminar todo lo que sobre y mantener únicamente se mantienen las actividades que son necesarias, pese a no añadir valor.

Según Schmenner (6) la compresión del tiempo de ciclo aporta los siguientes beneficios:

- Mayor rapidez en la entrega del producto/servicio al cliente.
- Reducción de la necesidad de hacer un pronóstico acerca de la futura demanda de los clientes.
- Disminución de la interrupción del flujo de procesos debido a cambio de pedidos.
- Al haber menos clientes en el registro de pedidos (al ser atendidos más rápidos) mayor facilidad de la gestión.

Para poder reducir el tiempo de ciclo, diversos autores proponen diversos métodos (7):

- Eliminar el trabajo en curso.
- Reducir el tamaño de los lotes.
- Reducir la variabilidad.
- Pasar actividades de orden secuencial a orden paralelo.

El siguiente esquema (Fig.2.6) muestra cómo, de manera progresiva, eliminando poco a poco el tiempo que generan actividades desperdicio, se consigue reducir el tiempo de ciclo:

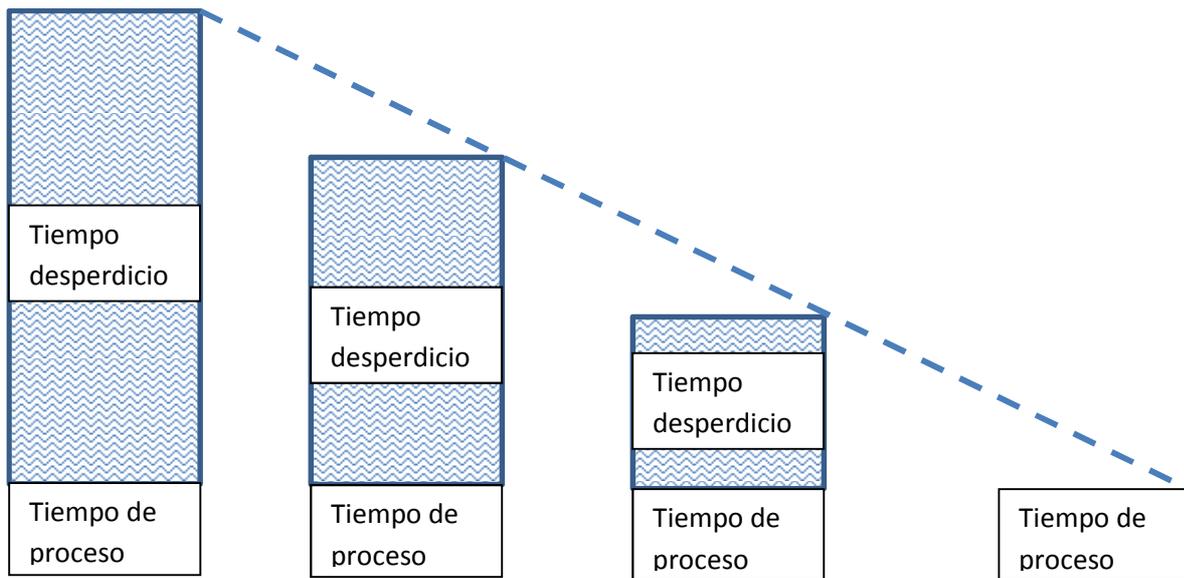


Figura 2.6. Tiempo de ciclo comprimido progresivamente eliminando las actividades que no añaden valor al producto/servicio.

Fuente: Berliner & Brimson, 1988, citado por Koskela, 1992

5.- Minimizar los pasos para simplificar el proceso.

Este principio pretende simplificar o reducir el número de actividades en un proceso productivo. En la manera actual de realizar la producción, podemos conocer el coste de dos materiales, pero no se considera el coste intrínseco de realizar dos actividades en vez de una.

Para simplificar, se puede reducir:

- El número de componentes de un producto.
- El número de pasos en el flujo de trabajo.

Para ello, se puede proceder de dos maneras: Por un lado, se pueden eliminar las actividades que no añaden valor al producto del flujo de trabajo, y por otra parte se puede reconfigurar el proceso para simplificarlo.

Algunas de las medidas que se pueden adoptar son:

- Acortar flujos mediante la consolidación de actividades.
- Reducir el número de partes de los productos haciendo un cambio de diseño de los mismos o utilizando piezas prefabricadas.
 - Estandarizar partes, materiales o herramientas.
 - Minimizar la cantidad de información necesaria a controlar.

6.- Aumentar la flexibilidad de salidas.

Consiste en la mejora de las características del producto entregado a los clientes sin aumento del costo. Algunas prácticas que lo facilitan son las siguientes:

- Minimizar el tamaño de los lotes de productos adaptándolos a la demanda actual.
- Reducir la dificultad de la configuración o de realizar cambios en los mismos.
- Conformar equipos multidisciplinares en la ejecución de los productos, que se puedan ajustar a las necesidades de los clientes.

7.- Aumentar la transparencia del proceso.

Este principio hace referencia a la mejora del control visual de la producción, la calidad y la organización del lugar de trabajo. La falta de transparencia en el proceso incrementa las opciones de errar en el mismo, dificulta la opción de identificar los errores y no motiva a los empleados. Por ello es necesario hacer que el proceso sea visible.

Algunas prácticas que facilitan su consecución son las siguientes:

- Establecer métodos de “limpieza” para eliminar todo aquello que impida la visibilidad, como el método de las “5S” o el “Kanban” (ver apartado 2.4.5.- Kanban).
- Hacer que el proceso sea visible por todos los integrantes del mismo.
- Reducir la interdependencia de procesos.

8.- Centrarse en el proceso global.

Hay dos posibilidades de que el control del flujo se segmente. La primera es que el flujo transcurra por diferentes departamentos en una organización jerarquizada, y la segunda que cruce una frontera de la organización.

Hay que intentar que el proceso siga siendo global, ya que así podrá ser medido completamente y así puede existir un responsable único de todo el mismo.

9.- Introducir mejoras continuas en el proceso.

El proceso debe ser continuamente mejorado. Ello supone un esfuerzo para eliminar los desperdicios e incrementar las actividades que favorezcan una actitud *Lean*, que se debe llevar a cabo de manera continua, buscando la perfección.

Para que la mejora continua sea adoptada por parte de la organización, pueden utilizarse las siguientes prácticas:

- Monitorizar el proceso y tomar medidas de las mejoras introducidas.
- Establecer hitos para lograr objetivos de mejoras.
- Dar responsabilidad a los empleados, que puedan proponer mejoras e ideas para que el proceso sea más ágil.
- Utilizar procedimientos o métodos tradicionales en la búsqueda de mejoras, como los “5 por qué.”

10.- Equilibrar las mejoras del flujo con las mejoras de los procesos.

Observar los procesos y analizar lo que se puede mejorar, tanto en relación con los flujos de procesos como con las conversiones.

Tanto la mejora de flujos como la mejora de las conversiones están muy ligadas entre sí:

- Un mejor flujo requiere menos capacidad de conversión y menos equipamiento o maquinaria para ello.
- Los flujos más controlados hacen que la implementación de nueva tecnología en el proceso sea más sencillo.
- La nueva tecnología puede producir menos variabilidad y eso beneficia al flujo de trabajo.

11.- *Benchmarking*.

Se trata de “copiar” las prácticas de los mejores. Hay que analizar el sector y ver qué empresa tiene el mejor flujo o las mejores prácticas desarrolladas. Una vez identificada, se traslada esa manera de trabajar a la propia empresa.

Los pasos básicos para el *benchmarking* son los siguientes (8):

- Conocer el proceso, sus puntos fuertes y débiles.
- Conocer los líderes del mercado, buscarlos, entender cómo realizan las actividades y comparar.
- Incorporar los puntos fuertes, ya sea copiando, modificando o incorporando las mejores prácticas a los propios subprocesos.

De esta forma, se han expuesto los 5 principios básicos de la filosofía *Lean*, y se ha profundizado en 11 principios propuestos por Koskela. En futuros apartados se analizarán las técnicas que permitan poner en práctica estos principios.

2.2.- Origen y evolución de la filosofía

2.2.1.- Origen

La filosofía *Lean* tiene su origen en el estudio por parte de la empresa Toyota del sistema de producción en cadena de Henry Ford. En este apartado se estudia la evolución desde sus inicios; analizando la fundación de Toyota y todos los pasos posteriores que han ido “moldeando” el concepto de *Lean* hasta su entendimiento como en nuestros días.

Al final del apartado se adjuntará una línea de tiempo a modo de síntesis, que ayude a situar en el tiempo todos los hitos importantes en la historia de *Lean*.

Inicios: Fundación de Toyota Automatic Loom Works.

El origen de Toyota no está del todo claro. Holweg lo data en 1918(42), Botero Toro en 1910(30) y la propia Toyota en 1907(43). Lo que sí está claro y todos ellos coinciden es que Sakichi Toyoda fue el fundador de una pequeña empresa dedicada a la fabricación de telas, la Toyota Automatic Loom Works. Tuvo éxito y en 1929 vendió por la cantidad de £ 100.000 la patente de fabricación de las telas. Según (43) ese dinero se destinó para la fundación de la idea automovilística de su hijo, Kiichiro.

Del periodo textil inicial de Sakichi, cabe destacar la aportación de dos conceptos importantes que se han adoptado en la filosofía *Lean*: El primero de ellos, el concepto “Jidoka”. Se traduce como calidad incorporada. El segundo fue los 5-Why’s, los 5 porqués, teoría que busca la causa real de cualquier problema preguntándose 5 veces el por qué sucedió un problema.

Al mismo tiempo, en el continente americano, en 1920, Henry Ford revolucionaba el mundo a través de la producción en masa. Su línea de montaje en cadena ha sido una de las innovaciones más trascendentales de la era industrial. (9)

2ª etapa: Fundación de la Toyota Motor Company.

En el lecho de muerte, Sakichi Toyoda dijo a su hijo Kiichiro: “Yo he servido a nuestro país con el telar. Quiero que tú lo sirvas con el automovilismo”. Lo cierto es que esta versión carece de confirmación histórica, y se considera como una versión romántica/heroica del inicio de Toyota en el sector del automóvil. (10)

En 1935 Kiichiro inició la producción del primer modelo, y en 1937 se fundó la Toyota Motor Company. La segunda guerra mundial supuso la interrupción de la actividad, y la difícil situación de la post-guerra en Japón hizo que el inventario aumentará considerablemente, provocando serios problemas a Toyota.

Con la intención de reducir su volumen, Kiichiro realizó un gran aporte a la filosofía *Lean*: El concepto del Just-in-time (JIT). Con el JIT se busca no tener exceso de producción acumulada, y la colaboración con los proveedores para nivelar el inventario y la producción. (9). Se fundamenta en 3 conceptos:

- Sistema “*pull*”.
- Takt Time.
- Flujo continuo.

Estos 3 elementos tienen como base el Heijunka, herramienta utilizada para nivelar el tipo y la cantidad de la producción en un determinado periodo. (11)

3ª etapa: Visitas a EE.UU.

Tras la segunda guerra mundial, la difícil situación económica de la post-guerra hizo que se dividiera la sección Toyota Motor Manufacturing por un lado, y por otro la Toyota Motor Sales. El primo de Kiichiro, Eiji Toyoda, se convirtió de esta manera en el director general de la sección de producción.

En 1950 fue enviado a EE.UU. para analizar los métodos de producción aplicados en las empresas americanas. Tras la visita, se dictaminó que la producción en masa analizada en las fábricas visitadas no se podría implantar en sus fábricas, ya que el mercado japonés no absorbería todo el volumen producido debido a su diferente comportamiento.

En este momento aparece una figura muy importante en la historia de la filosofía *Lean*: Taiichi Ohno. Era un ingeniero mecánico que se unió a Toyota en 1932, pasando en 1943 a la subdivisión automovilística. Tras visitar y analizar el sistema de producción americano, señaló dos inconvenientes: El primero, que la producción en masa genera unos grandes inventarios de materia prima y de producto terminado, además de que el producto resultante tenía numerosos defectos. El segundo defecto era la incapacidad de acomodar el “valor” del cliente al producto fabricado.

A partir de 1948, Ohno extendió su idea de realizar pequeños paquetes de producción por toda la organización Toyota. De esta manera se conseguía eliminar el desperdicio, técnica que había aprendido de su época en los telares. Incorporó ideas como el sistema de tarjetas o sistema Kanban, para controlar el sistema de reposición de material.

De entre los avances y técnicas aplicadas durante este tiempo por Ohno, cabe destacar el concepto “Kaizen” o mejora continua, y las siete pérdidas que deben superarse con el fin de lograr el “Kaizen”, que son:

- 1.- Sobreproducción.
- 2.- Tiempo de espera.
- 3.- Transporte.
- 4.- Exceso de procesado.
- 5.- Inventario.
- 6.- Movimiento.
- 7.- Defectos

El ingeniero Sigeo Shingo, consultor de la empresa, aportó el concepto “poka-yoke”, que significa a prueba de errores.

4ª etapa: Expansión del *Lean* a proveedores. Aparición de TQM.

En la década de los 60, el sistema de producción Toyota era desconocido para el resto del mundo. En esta década fue cuando Toyota comenzó a enseñárselo a proveedores, dejando de ser únicamente desarrollado de manera interna. Tras la primera crisis del petróleo en 1973, el gobierno japonés se dio cuenta de que Toyota, a pesar de las dificultades, seguía teniendo éxito a diferencia del resto de empresas. En ese momento fue cuando comenzó a conocerse más acerca de su modelo de producción.

En 1960 también surge la Gestión del Control Total de la Calidad/ *Total Quality Management* (GCTC/TQM), que consiste en organizar las actividades de diseño y producción de una manera más matricial, sin abandonar la estructura formal de manera funcional. De este TQM se deriva, años más tarde (1985) el Six-Sigma.

Etapa actual: Expansión del *Lean* a nivel académico y empresarial.

A finales de la década de los 80 y a lo largo de la de los 90 se produce una gran expansión del *Lean* a nivel académico. En esta época es cuando se denominó al sistema de producción Toyota como *Lean*, y empezaron a surgir las primeras publicaciones, como “*The machine that changed the world*” de Womack y Jones (1990), o “*Lean Thinking*”, de los mismos autores, (1996).

En 1997 Womack funda el *Lean Enterprise Institute*.

Desde entonces, las publicaciones e investigaciones acerca del *Lean* han ido en aumento. Se ha indagado acerca de su origen, la evolución del concepto, sus principios y técnicas. Actualmente, se está investigando sobre el aspecto social del *Lean*, en temas relacionados con los recursos humanos y la consideración de la persona.

A continuación se adjunta una línea del tiempo, en el que figuran los hitos más importantes de la historia de *Lean* (Fig.2.7):

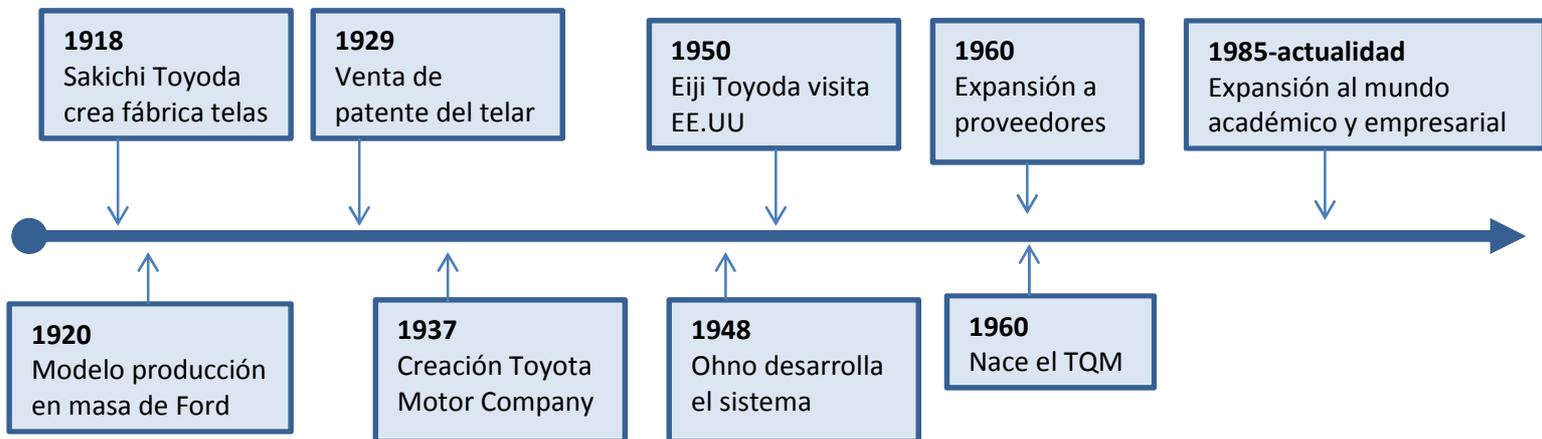


Figura 2.7. Línea de tiempo con los hitos en la historia del origen del Lean.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.- Evolución conceptual

La filosofía *Lean* ha ido evolucionando a lo largo de los años, y de la misma manera también la evolución conceptual acerca de ella. Ya Koskela en su trabajo de 1992 (1) clasificaba la concepción del *Lean* en 3 etapas:

- Una primera etapa en la que era considerada como un conjunto de herramientas, como el Kanban u otras técnicas de mejoramiento de la calidad.
- A continuación una fase en la que se considera un método de producción.
- Una última etapa en la que se considera una manera de gestionar una empresa.

En cambio, otros autores como Shah y Ward (3) han defendido otro modelo de evolución conceptual del *Lean*, un modelo que analiza cómo ha evolucionado el concepto de *Lean* a medida que se iba desarrollando la teoría, quedando ligado al origen de la filosofía.

Para estos autores, el *Lean* desciende del modelo de producción Toyota (Toyota Production System, TPS). Clasifican su evolución en 5 grandes bloques, que se explicarán a continuación. Éstos son los siguientes: Antecedentes, progreso en Japón, llegada del TPS a América, la época de progreso académico, y el estado actual. (42) (Fig.2.8)



Figura 2.8. Evolución conceptual de la filosofía *Lean*.

Fuente: Elaboración propia.

Antecedentes: 1900-1927. En esta época se desarrolla el modelo de producción de Ford que revoluciona el mundo industrial. Este modelo de producción en masa, en el que se fabrica el mismo modelo, y cada operario está capacitado para realizar una labor concreta, fue estudiado en los inicios de Toyota, tal y como se ha analizado en el apartado anterior.

Progreso en Japón: La creación de Toyota como fabricante de coches en 1937 genera el comienzo del desarrollo de las principales técnicas *Lean*. Ohno fue el principal propulsor de las técnicas *Lean*, tal y como se ha analizado en el apartado 1.2.1.- *Origen del Lean*. Es la época en la que se desarrollan y perfeccionan el sistema Just in Time, los 7 desperdicios de Ohno y el sistema Kanban entre otros. El concepto de *Lean* consistía en una serie de técnicas independientes para la mejora del funcionamiento de la empresa.

Llegada del TPS a América: El impacto de la crisis del petróleo de 1973 en EE.UU., unida a las primeras publicaciones académicas sobre el modelo de producción de Toyota, hacen que se comience a generar un interés por la filosofía *Lean*. El rendimiento de Toyota, con menor gasto y menor plantilla, comparado con el de otros fabricantes, hace que el paradigma de producción en masa se comience a cuestionar. En Toyota ya se concebía al *Lean* como una forma de gestionar la producción de la empresa, con buenos resultados.

Progreso académico: Se utilizar el término *Lean* por primera vez para hacer referencia a este sistema de producción. Surgen los principales artículos y libros acerca de la materia, en la década de los 90, con Womack y Jones como principales autores. Se produce una gran difusión debido al interés que suscita la materia.

Actualidad: Se han escrito numerosos artículos y libros acerca de la filosofía *Lean* y sus ventajas. Se está profundizando en sus características más sociales, relacionado con el tema de recursos humanos dentro de la empresa. Se concibe a *Lean* como una forma de gestionar la empresa, que tiene en cuenta tanto el aspecto de la producción como el aspecto humano.

2.2.3.- Fuentes de estudio actuales

La gran expansión que ha sufrido en las dos últimas décadas la filosofía *Lean* han permitido que ésta sea investigada y aplicada por todo el mundo. En este apartado se pretende dar una muestra de la gran difusión, mostrando en qué lugares se está trabajando sobre esta materia.

En España se han desarrollado varios postgrados o títulos propios en universidades, donde se profundiza en la filosofía *Lean*. Una muestra de ello es la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), que tiene programas de mejora *Lean Six Sigma*. Según la página web de la UPC, su programa tiene como objetivo “*hacer que las empresas sean más eficientes y competitivas. Se basa en una organización con responsabilidades bien definidas, el seguimiento de unas etapas que aseguran que no se olvidará nada importante y con el uso de datos para la toma de decisiones.*”

También en España, la Universidad Católica de Ávila, a través del grupo San Valerio, oferta un curso online de 6 créditos ECTS (European Credits) sobre *Lean Manufacturing*. Según indica la página del programa, “*El pensamiento Lean es innovador, en cuanto a que afronta el análisis de procesos y su mejora continua de una forma diferente a la tradicional. Asegura, por otro lado el uso eficiente de los recursos, gracias a la puesta en práctica de técnicas, herramientas y filosofías que permiten aminorar o eliminar tareas que suponen coste pero que no agregan valor*”.

Estos dos cursos son una pequeña muestra de centros españoles que imparten e investigan acerca de *Lean*, pero existen más.

A nivel internacional, destacan los siguientes centros:

- *Lean Enterprise Academy*: Líder en la aplicación del pensamiento *Lean*. Esta academia situada en Reino Unido se dedica a dar a conocer el pensamiento *Lean* y ayuda a empresas a implementarla.

- UPAEP- *Lean Advancement Initiative*: Grupo de investigación aplicada creado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Está conformado por miembros de la industria, del gobierno y la academia.

- En Sudamérica destaca el GEPUC. Programa de investigación colaborativa con una docena de empresas de la industria de la construcción. Desde 2002 está reconocido como centro de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Es un referente en Gestión de Proyectos, buscando un enfoque integral y desarrollando nuevos conocimientos y herramientas a partir de un enfoque I+D.

- El Instituto *Lean Management*: Asociación sin ánimo de lucro establecida por un grupo de profesionales expertos en pensamiento *Lean*. Tienen como misión la extensión del pensamiento *Lean*, y su implementación en todos los sectores de la economía y funciones de la empresa. En España tienen la sede en Sabadell (Cataluña). Forman parte de la *Lean Global Network*, asociación entre diferentes instituciones en todo el mundo.

Tal y como se observa en el siguiente gráfico, están distribuidos por todo el mundo (Fig.2.9)



Figura 2.9. Mapa de instituciones del Lean Global Network.

Fuente: Instituto Lean Management.

2.3.- Campos de aplicación.³

La filosofía *Lean* tradicionalmente se ha aplicado al mundo de la ingeniería, centrándose más su aplicación en el sector industrial, debido a que es más sencilla su aplicación, donde las condiciones son siempre las mismas, y los procesos son repetitivos, antes que aplicarlo al sector de la construcción, en el que aun siendo posible su aplicación, no es tan sencilla.

No obstante, las ventajas con respecto a la optimización de procesos y satisfacción del cliente, han hecho que la aplicación del *Lean* trascienda a otros sectores, como la construcción, como se ha mencionado en el epígrafe anterior o a la Gestión de Proyectos.

La figura 2.10 recoge un esquema donde se recogen los diferentes campos de aplicación:

³ Apartado realizado consultando (Valencia, 2013)

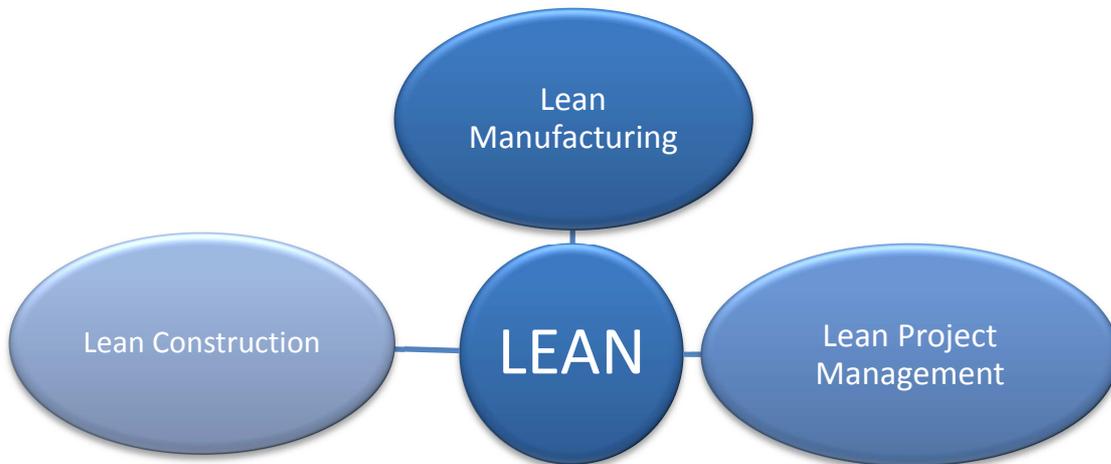


Figura 2.10. Diferentes sectores donde se aplica la filosofía Lean.

Fuente: Valencia P., 2013

2.3.1.- Lean Manufacturing (LM)

Es la filosofía que abarca el conjunto de técnicas de fabricación que buscan la mejora de los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de desperdicio. Lo que trata de hacer el LM es reducir al máximo los desperdicios, para hacer lo más eficientes posibles los procesos, y lograr la satisfacción plena del cliente.

Los pasos para emprender un proceso de transformación son los siguientes: Definir la necesidad de cambio, compromiso de la dirección y de los procesos soporte e identificar los procesos involucrados en la transformación (Fig.2.11). (12)

Definir la necesidad de cambio: Esencial para comprender y comunicar continuamente cuál es la motivación para una transformación *Lean*. Es necesario proporcionar una orientación y claridad a todos los empleados de la empresa.

Compromiso de la dirección y de los procesos: Si los empleados no observan el sentir y creer de un verdadero compromiso de la alta dirección, no causará ningún efecto en la implementación de *Lean*. Esta participación y apoyo debe ser no solo verbal sino también con actos, donde los empleados sean partícipes de dicho proceso de transformación.

Identificar los procesos involucrados en la transformación: La pauta a seguir y la estrategia de implementación. Se deben establecer unas guías a medida para la empresa, indicando qué se transforma a *Lean*, estableciendo unos plazos para ello. Deberá establecerse una prioridad entre los procesos y determinarse el personal a cargo.



Figura 2.11. Pasos para emprender un proceso de transformación.

Fuente: (Valencia, 2013)

Los 5 principios básicos del *Lean* (apartado 1.1.2.- *Principios Lean*) también se aplican en este caso.

2.3.2.- Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction* (CsP/LC)

Consiste en aplicar la filosofía *Lean* al sector de la Construcción. La clave está en la nueva forma de entender la producción en la construcción, cambiando el modelo tradicional. Esto se ha analizado en la introducción del apartado 1. *Filosofía Lean: Qué es. Origen.*, donde se ha observado la propuesta de la producción de Koskela, que considera los tiempos de esperas, transporte e inspección.

Al igual que el LM, el LC aplica los 5 principios básicos del *Lean*, pero también aporta los 11 principios propuestos por Koskela (apartado 1.1.2.- *Principios Lean*).

La figura 2.12 compara los 5 principios propuestos por Jones y Womack frente a los 11 principios de Koskela:

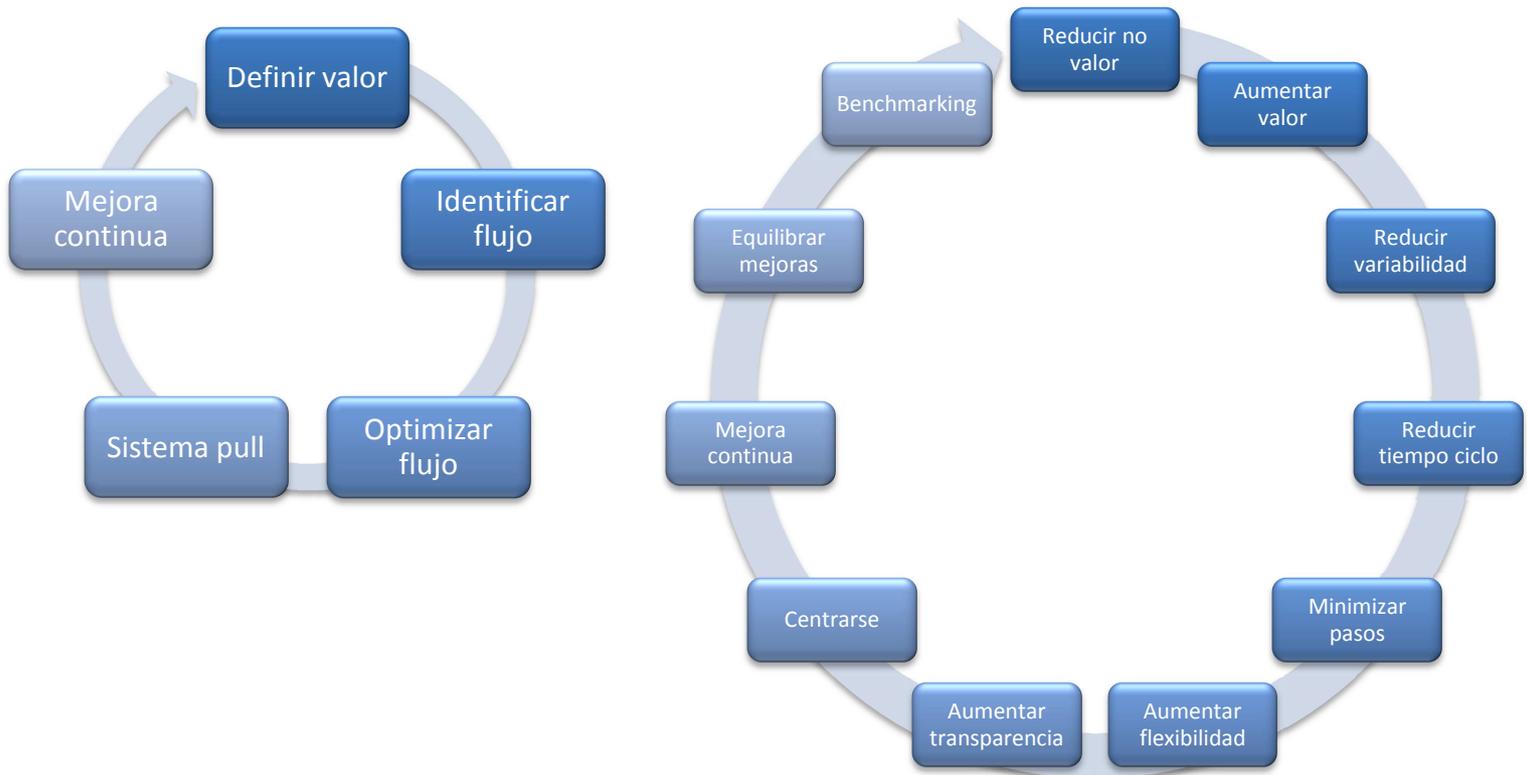


Figura 2.12. 5 principios Womack & Jones vs 11 principios Koskela. Elaboración propia

Koskela puso las bases de la aplicación del *Lean* al sector de la Construcción. Destacó herramientas como el JIT, el TQM e ideas del TPS aplicadas a la Construcción. Posteriormente introdujo 3 objetivos: Reducción de costos, ahorro de tiempo e incremento del valor para el cliente.

Aparte de las principales técnicas de la filosofía *Lean* que se analizarán más adelante, el gran aporte que realiza el LC es el *Last Planner System* (LPS) y el *Lean Project Delivery System* (LPDS) que se estudiará en posteriores apartados. Se trata de una interesante técnica para planificar la ejecución de un proyecto, donde se integra a todos los participantes desde el principio del proceso.

2.3.3.- Lean Project Management (LPM)

Es un resultado amplio de otros principios *Lean* y con los que tiene muchas ideas en común. La definición es entregar más valor al cliente con menos residuos en la ejecución de un proyecto.

El objetivo del pensamiento *Lean* es la optimización del proceso de Gestión de los Proyectos, que involucra todas sus etapas y adaptación de los principios generales de la administración a la especial naturaleza de los proyectos: actividades con principio y fin. (5)

Hay que cuidar la restricción simple (relación entre tiempo, coste, alcance y calidad) en los proyectos para no distorsionar (9). Sin embargo, si se centra en cada una de sus componentes, la relación no es eficiente, y queda deformada, como se observa en la figura 2.13:

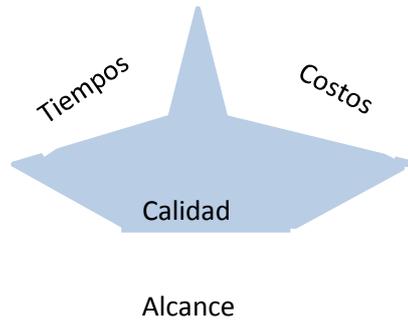


Figura 2.13: Restricción simple en proyectos.

Fuente: (Valencia, 2013).

El objetivo de *Lean* es que la restricción simple se cumpla de manera eficiente, como en figura 2.14:

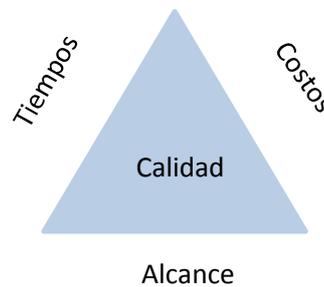


Figura 2.14: Restricción simple en proyectos con Lean.

Fuente: Valencia, 2013

2.4.- Técnicas de aplicación

Hasta el momento se ha analizado qué es *Lean*, el origen de esta filosofía de producción, y los diferentes campos donde se puede aplicar. En este apartado se va a analizar las diferentes técnicas que se utilizan para implantar el *Lean* en las empresas. Pero antes de ello, conviene realizar una aclaración. Para hablar de las diferentes técnicas de *Lean*, hay quien se refiere a ellas como herramientas, y quien las denominan técnicas.

Herramienta, según la RAE, es un “*Instrumento, por lo común de hierro o acero, con que trabajan los artesanos*”. WordReference la define como “*Objeto que se utiliza para trabajar en diversos oficios o realizar un trabajo manual*”.

Técnica, según la RAE, es un “*Conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte*”. WordReference la define como “*Que conoce muy bien los procedimientos de una ciencia, un arte o un oficio y los lleva a la práctica con especial habilidad*”.

Tras analizar las dos acepciones, se considera que lo más apropiado para referirse a las actividades que ayudan a implantar el *Lean* es la palabra técnica. Es una definición más completa y exacta, ya que son procedimientos y no objetos, y se trata de una filosofía o ciencia de producción, no un oficio. Por ello se considera que se deben denominar técnicas *Lean* y no herramientas *Lean*.

También hay que destacar que varias de las técnicas que se citan a continuación no son únicamente técnicas de gestión *Lean*. Se trata de procesos que *Lean* considera apropiados para las organizaciones, cuyo uso recomienda, pero no todas ellas son técnicas generadas específicamente para *Lean*, ya que varias están relacionadas también con la Gestión de la Calidad.

En este apartado se analizan de forma exhaustiva las siguientes técnicas de gestión *Lean*:

- Las 5 “S”
- Hoshin Kanri
- El informe A3
- Mapa de la cadena de valor/*Value Stream Mapping*
- Kanban
- Poka-yoke
- Jidoka
- Heijunka

Además, también se analizan de forma más breve las siguientes:

- Diagramas de Ishikawa
- Método de los 5 porqués
- Programa maestro/*Master Schedule*
- Célula flexible
- Cambio de modelo en minutos de un dígito (SMED)
- Control visual

2.4.1.- Las 5 “S”

Es un principio japonés de bienestar personal y organizacional, términos que empiezan por la letra S. Tiene como principal objetivo conseguir que los puestos productivos de las empresas estén limpios, ordenados y haya un buen ambiente de trabajo. Este último aspecto tiene especial relevancia, ya que influye en el rendimiento. Un ambiente sucio o desordenado provoca una pérdida de eficacia.

Las 5 “s” aglutinan las actividades siguientes (Fig.1.15):

- 1.- Seiri (organización)
- 2.- Seiton (orden)
- 3.- Seiso (limpieza)
- 4.- Seiketsu (control visual)
- 5.- Shitsuke (disciplina)



Figura 2.15: Las 5 “s”, significado en español e ideograma en japonés.

Fuente: Pérez Velázquez, 2011

Para implantar la metodología de las 5 “s” se deben cumplir las siguientes condiciones:

- La dirección de la empresa debe estar implicada, definiendo los objetivos y los recursos asignados a las actividades.
- Aplicación de la metodología primero en una zona, que se debe elegir de manera correcta, tras estudiar la empresa y sus procesos.
- Búsqueda de que el personal de la empresa se involucre en la implantación de la metodología.
 - Dotar de una formación básica al personal.
 - Facilitar el material disponible y las herramientas necesarias para una adecuada implantación del sistema.

A continuación se analizan las 5 “s” de manera individual:

1.- Seiri:

Su significado es separar, organizar. Durante esta fase se retira del área de trabajo todo aquello que no se necesita. Se conserva lo útil y se elimina lo demás.

Lo primero de todo es definir cuál es la función que se realiza en esa área. Tras terminar de aplicar el seiri, la función principal del área debe ser más accesible que al inicio.

Se separa lo innecesario de lo necesario, y lo que se clasifica como innecesario sale destino a la basura, chatarra u otra zona donde pueda ser reutilizado.

Al acabar, se tiene el área de trabajo limpia de elementos innecesarios y los elementos restantes ordenados en función a su uso. También se puede encontrar con elementos innecesarios que no puedan ser eliminados de manera instantánea, o elementos necesarios que necesiten ser reparados.

La tabla 2.2 recoge la ejecución y los beneficios del Seiri:

Tabla 2.2: Ejecución y beneficios del Seiri

Fuente: Elaboración propia

Seiri - Organizar	
Ejecución	Los elementos necesarios deben mantenerse cerca de la acción, y se deben retirar todo lo que se califique como innecesario. Para ello se realizan 2 listas, donde figuran por un lado los elementos necesarios y por otro, los innecesarios.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene más espacio en el área de trabajo. • Mejor control del inventario. • Eliminación de despilfarros antes ocultos, debido a duplicidades de material o herramientas en mal estado. • Menos accidentes cuya causa eran los materiales en mal estado.

2.- Seiton:

Significa ordenar. Se coloca cada elemento del área de trabajo en el lugar más apropiado. Una vez que se dispone de los elementos necesarios, tras aplicar el Seiri, se debe saber dónde colocarlos. Su ubicación depende del uso y distribución del área de trabajo.

La tabla 2.3 recoge la ejecución y beneficios del Seiton:

Tabla 2.3: Ejecución y beneficios del Seiton

Fuente: Elaboración propia

Seiton - Orden	
Ejecución	<p>Para poder llegar a normalizar un puesto de trabajo, se debe crear un espacio de trabajo ordenado. Para ello se recomiendan las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dar un modelo de etiqueta, nombre o código para tipo de artículo o herramienta. • Guardar los utensilios en función del uso y frecuencia. • Colocar etiquetas visibles y colores para localizar objetos de manera rápida y sencilla.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Ayuda a identificar cuando falta algo. • Permite saber dónde colocar las herramientas y utensilios en el área de trabajo. • Se encuentran más rápido y fácilmente los objetos, mejorando la productividad. • Da una mejor apariencia, de responsabilidad y compromiso en el trabajo. • Libera espacio y hace más agradable el ambiente de trabajo.

3.- Seiso:

Significa limpiar. Limpiando se descubre el verdadero estado de los utensilios. De esta manera se consiguen corregir fuentes de suciedad, averías o equipos defectuosos.

Como resultado de la aplicación del Seiso, se obtiene un área de trabajo limpia, con los equipos en perfecto estado o etiquetados para ser reparados o sustituidos. Además se debe establecer el nivel de exigencia de limpieza y su frecuencia.

La tabla 2.4 recoge la ejecución y beneficios del Seiso:

Tabla 2.4: Ejecución y beneficios del Seiso

Fuente: Elaboración propia

Seiso - Limpieza	
Ejecución	Se debe formar y dotar del material necesario a los operarios. Además se debe establecer un tiempo para realizar la limpieza. Por ello se recomienda la ejecución de jornadas de limpieza, para mentalizar al personal e involucrar también a la dirección de la empresa.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor vida útil de los utensilios. • Menor porcentaje de posibilidad de contraer enfermedades. • Menor porcentaje de accidentes en el trabajo. • Mejor aspecto del lugar de trabajo.

4.- Seiketsu:

Significa normalizar. Se crean métodos para asegurarse de que el trabajo está bien realizado. Para ello se crean unas instrucciones que indiquen qué realizar cuando alguna máquina no funcione de manera correcta o algún utensilio este fuera de lugar. Cuanto menos sean estas instrucciones, mejor será el funcionamiento de la metodología.

La tabla 2.5 recoge la ejecución y beneficios del Seiketsu:

Tabla 2.5: Ejecución y beneficios del Seiketsu

Fuente: Elaboración propia

Seiketsu – Control visual	
Ejecución	En esta fase se mantiene todo lo anteriormente ejecutado, tratando de mantener lo realizado por las 3 “s” anteriores. Se mejora la limpieza y se crean hábitos para mantener el funcionamiento. En caso de surgir problemas, se trabaja sobre ello para darles una solución y ponerlo en práctica.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Se crea un “know-how” de la empresa durante los años de aplicación de la metodología. • Se mejora el bienestar.

5.- Shitsuke:

Significa disciplina. No es sencillo acostumbrarse al funcionamiento de las 5 “s” de manera inmediata, se trata de cambiar los hábitos de orden y limpieza, corregir los errores y mejorar.

Para comprobar que se va cumpliendo con los requisitos de implantación, conviene realizar una puntuación de las 5 “s” y realizar controles, más intensos al principio. Si no se consigue desarrollar un hábito con esta metodología, se debe volver a la situación de partida y la conclusión final será que se ha perdido el tiempo invertido en la implantación del método.

La tabla 2.6 recoge la ejecución y beneficios del Shitsuke:

Tabla 2.6: Ejecución y beneficios del Shitsuke

Fuente: Elaboración propia

Shitsuke - Disciplina	
Ejecución	<p>Es difícil de medir, ya que es complicado o imposible medir la disciplina. Pero si se pueden crear condiciones que favorezcan la buena actitud, como por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ayudas visuales. • Involucración de la alta dirección de la empresa. • Boletín informativo. • Crear rutinas diarias. • -Evaluaciones periódicas de la metodología.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Se evitan reprimendas y sanciones. • Se aumenta la eficacia laboral. • El personal es más apreciado por sus jefes y compañeros. • Se mejora la imagen.

Concluyendo con la metodología de las 5 “s”, se llega a la conclusión de que su correcta utilización presenta las siguientes ventajas:

- Disminuyen los errores en el área de trabajo.
- Se producen menos averías de máquinas.
- Se genera un menor inventario.
- Disminuye el número de accidentes.
- Se crea más espacio.
- Se mejora la imagen.

2.4.2.- Hoshin Kanri

Palabra japonesa que puede traducirse como despliegue de medios para alcanzar objetivos. “Ho” significa dirección, “shin” aguja, por lo que “Hoshin” puede traducirse como brújula o dirección de aguja. Por su parte, “Kan” significa control, y “ri” es razón o lógica, por lo que “Kanri” se puede traducir como control lógico. Conjuntando ambas traducciones, se obtiene control lógico de la dirección.

Es una técnica que ayuda a las empresas a enfocar sus esfuerzos y analizar sus actividades y sus resultados. Integra todas las actividades del personal de una empresa, y las reorienta hacia un mismo objetivo, para la consecución de las metas clave propuestas por la alta dirección, siendo capaz de reaccionar rápidamente ante los cambios del entorno.

Busca, a través de un proceso participativo, establecer, implementar y posteriormente autocontrolar los objetivos fundamentales de la organización, originados desde la alta gerencia, al igual que garantiza los medios correspondientes y los recursos necesarios que aseguren que los objetivos serán alcanzados en todos los niveles de la organización.

Características:

Son una serie de sistemas, formularios y reglas que impulsan a los trabajadores a analizar situaciones, crea planes de mejora, realizar controles de eficiencia y tomar las medidas necesarias, resultando como beneficio principal el que todo el personal enfoca su esfuerzo hacia los aspectos claves para alcanzar el éxito.

Se analizan los resultados de calidad, entrega y costos semanalmente para asegurar que se analicen y tomen decisiones de manera semanal.

Contribuye al desarrollo del recurso porque:

- Cada departamento define su rol y su responsable.
- Cada gerencia piensa sus propios objetivos y así premia automotivarse para ideas más altas.
- Cada departamento es consciente de la consecución o no de sus objetivos propuestos.

Objetivos:

El sistema “Hoshin Kanri” implanta los objetivos a largo plazo y las políticas estratégicas y operativas de la alta dirección. Posteriormente se implanta a toda la organización para que cada departamento automatice el mismo sistema y presente sus propios objetivos y metas para contribuir al logro de los objetivos principales.

Los principales objetivos son:

- Integrar a todo el personal de una organización hacia los objetivos de la empresa.
- Integrar todas las actividades en función de los objetivos clave.
- Ajustar los objetivos y actividades en función de los cambios del entorno.

Ventajas de “Hoshin Kanri”:

Esta técnica presenta las siguientes ventajas:

- Permite crear una estructura sistemática y efectiva para comunicar los objetivos principales, tanto a largo como a corto plazo, desde la alta gerencia hasta la parte operativa.
- A través de los conceptos de participación y compromiso los trabajadores se convierten en realidad ya que así se sienten en parte activa e importante de la empresa. De esta forma los trabajadores colaboran y buscan un fin común.
- Contribuye en el desarrollo de los recursos humanos debido a:
 - Cada departamento define su papel y responsabilidad.
 - Cada gerencia crea ideas para el logro de los objetivos.
 - Cada persona se da cuenta del logro o no de los objetivos propuestos.
- Se mejora la capacidad de predecir y de responder a cambios de mejora.

Conclusión:

Esta técnica *Lean* es una herramienta muy potente, ya que no sólo no permite un mayor y mejor control acerca del cumplimiento de los objetivos, si no que forma parte de la toma de decisión de ellos. Se trata de una manera de gestionar la empresa, establece los objetivos estratégicos y operacionales integrando en la decisión al resto del personal, no solo a la dirección, consiguiendo mejores resultados finales.

2.4.3.- Informe A3

Es una técnica desarrollada por Toyota, cuya función es la resolución de problemas de forma que se genera conocimiento y ayuda a la gente a aprender a aprender.

Es un proceso mediante el cual se aprende y comunica una forma de aprender y concretar las cosas y un intento de que todas las personas dentro de la organización sean capaces de resolver problemas. Todos los problemas deben ser descritos y resueltos en una hoja de tamaño A3, de ahí el nombre de la técnica. Este tamaño se debe a que es el formato de papel más grande que se puede enviar a través de un fax.

No es un simple resumen, es un informe completo que documenta un proceso, y donde se trata de utilizar la mayor cantidad de esquemas y figuras de forma que sea mucha más visual y sencillo de entender.

Como crear un informe A3:

1- Se debe definir el problema de manera clara y concisa. La parte más importante del A3 es acotar el problema de manera simple y eficaz.

2- Situación actual: El problema está englobado dentro de un proceso. Se trata de identificarlo con datos reales. Usar esquemas y diagramas facilita el que sea más sencillo de entender.

3- Análisis de causas: Mostrar gráficamente el análisis y conclusiones. Para realizar esta parte sirven como ayuda la técnica del Diagrama de Ishikawa, los 5 porqués, etc.

4- Situación/objetivo: Representar cuál sería la situación ideal, con los mismos indicadores que el apartado anterior.

5- Plan de acción: Definir qué acciones deben realizarse, quién, cómo, cuándo... No se usa el término de solución, ya que las soluciones pueden generar otros problemas. Por ello se utiliza la palabra contramedida, que modifica las condiciones existentes para corregir errores.

6- Seguimiento: Sirve para ver en qué situación están las acciones definidas. Todo plan de acción incluye un programa “Hansei” (reflexión) para identificar posibles futuros problemas y proponer contramedidas a ellos.

7- Resultado: Se muestra que es lo que se ha conseguido, ya que así se obtienen dos aspectos positivos:

- Un registro sencillo de la resolución del problema.
- Extensión de las conclusiones a otros problemas.

En la siguiente figura (Fig.2.16) se recogen estos pasos para crear el informe A3, ordenados y ubicados en su posición correcta.

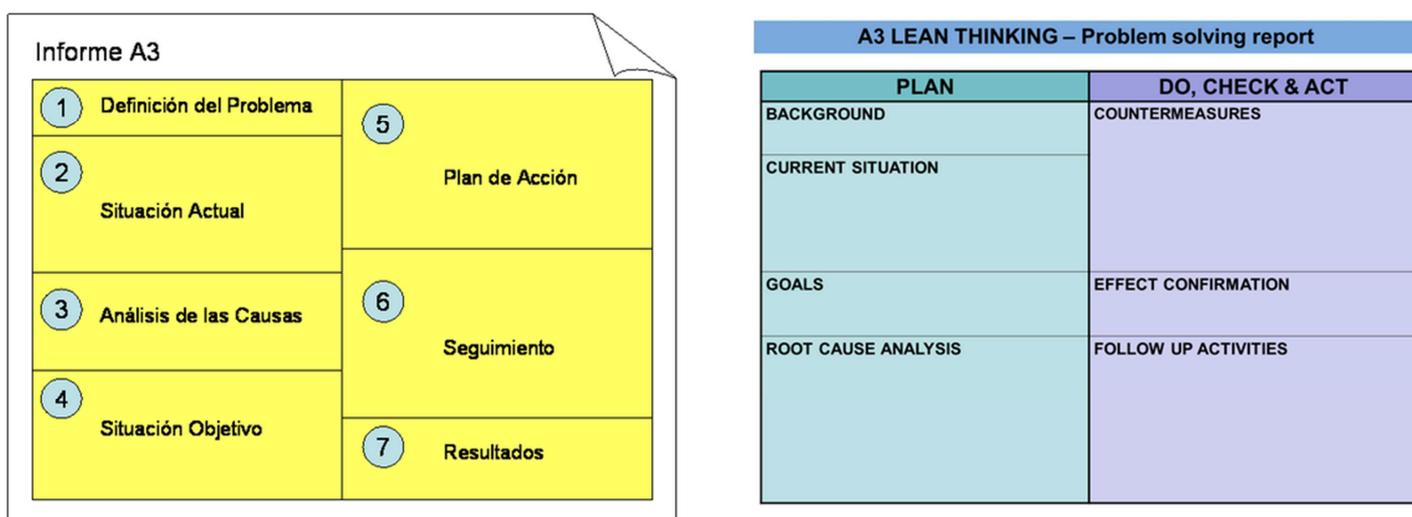


Figura 2.16: Composición del informe A3, modelo en castellano vs modelo en inglés.

Fuente imagen 1: Leanroots.

Fuente imagen 2: Edu Castella, máster en Project Management en Universidad La Salle, Barcelona.

Ventajas del informe A3:

El informe A3 presenta las siguientes ventajas:

- Es un proceso de pensamiento lógico.
- Trata de eliminar la subjetividad de las personas.
- Se focaliza en el proceso y en los resultados.
- Pretende ser un informe breve, muy visual y que cualquier trabajador pueda entender.
- Fomenta que los afectados puedan dar su opinión y manifestar su acuerdo con las conclusiones y las acciones a realizar.

2.4.4.- Mapa de la cadena de valor/*Value Stream Mapping* (MCV/VSM)

El VSM es una técnica muy potente que permite identificar la cadena de flujo de valor (uno de los principios *Lean*, véase apartado 2.1.2.- *Principios*). La cadena de valor está conformada por todas las acciones requeridas para:

- Transformar la materia prima en el producto que se entrega al final al cliente.
- Diseñar el flujo desde el concepto hasta el lanzamiento de producto.

Se trata de una técnica gerencial fundamental en el análisis de los procesos de cualquier organización. El objetivo es identificar aquellas actividades que pudieran suponer una ventaja competitiva a la empresa.

La principal ventaja es que permite obtener una visión global de los procesos, identificando las oportunidades de mejora y priorizando determinadas acciones.

Pasos para recopilar información sobre el proceso:

- Escoger el área y establecer los límites, dejando claro cuál es el alcance.
- Definir la provisión.
- Considerar el flujo de materiales y también la información necesaria para que exista ese flujo.
- Análisis del proceso aguas arribas. Posteriormente se miden los tiempos de actividades.
- Cada proceso tendrá su caja de procesos, donde figurarán los siguientes datos:
 - Tiempo de ciclo: Cantidad total de tiempo que se requiere para completar el proceso. No solo el tiempo para realizarlo, sino el tiempo para redactar los documentos, las esperas, los transportes, almacenajes, revisión de tareas y repetir el trabajo. La reducción de tiempo total libera recursos, reduce costes y mejora la calidad. Se debe de calcular, ya que probablemente será diferente al tiempo que venga recogido en los procedimientos de la empresa
 - Valor agregado: Tiempo de los procesos que transforman el producto de manera que el cliente está dispuesto a pagar por ello.
 - Tiempo de cambio de modelo.
 - Número de personas requeridas.
 - Tiempo de trabajo disponible del personal.
 - Plazos de espera
- Para indicar el inventario de cada proceso, se utiliza un símbolo, un triángulo.
- El flujo de la información se dibuja como líneas rectas si es manual. En caso de que sea información electrónica, se rotula un rayo.
- Por último, debajo de los procesos se representa una línea de tiempo donde figuren los tiempos.

Pasos para dibujar el VSM:

Para realizar el VSM, se deben seguir los siguientes pasos:

- Dibujar iconos del cliente, proveedor y control de producción.
- Ingreso de los requisitos de cliente por mes y día.
- Producción diaria y requisitos de contenedores.
- Agregar cajas de procesos en secuencia, de izquierda a derecha.
- Agregar caja de datos debajo de los procesos.
- Agregar las flechas de comunicación, método, y frecuencias de las mismas.
- Introducir los datos del proceso.
- Símbolos y número de operadores de cada proceso.
- Agregar los inventarios y la cantidad de cada proceso.
- Agregar las flechas de producción push o pull, en función del tipo.
- Agregar información que pueda ser útil.
- Agregar las horas de trabajo en la línea de tiempo.
- Cálculo del tiempo de ciclo total y del tiempo de procesamiento total.

En la figura Fig. 2.17 se recogen los pasos anteriores:

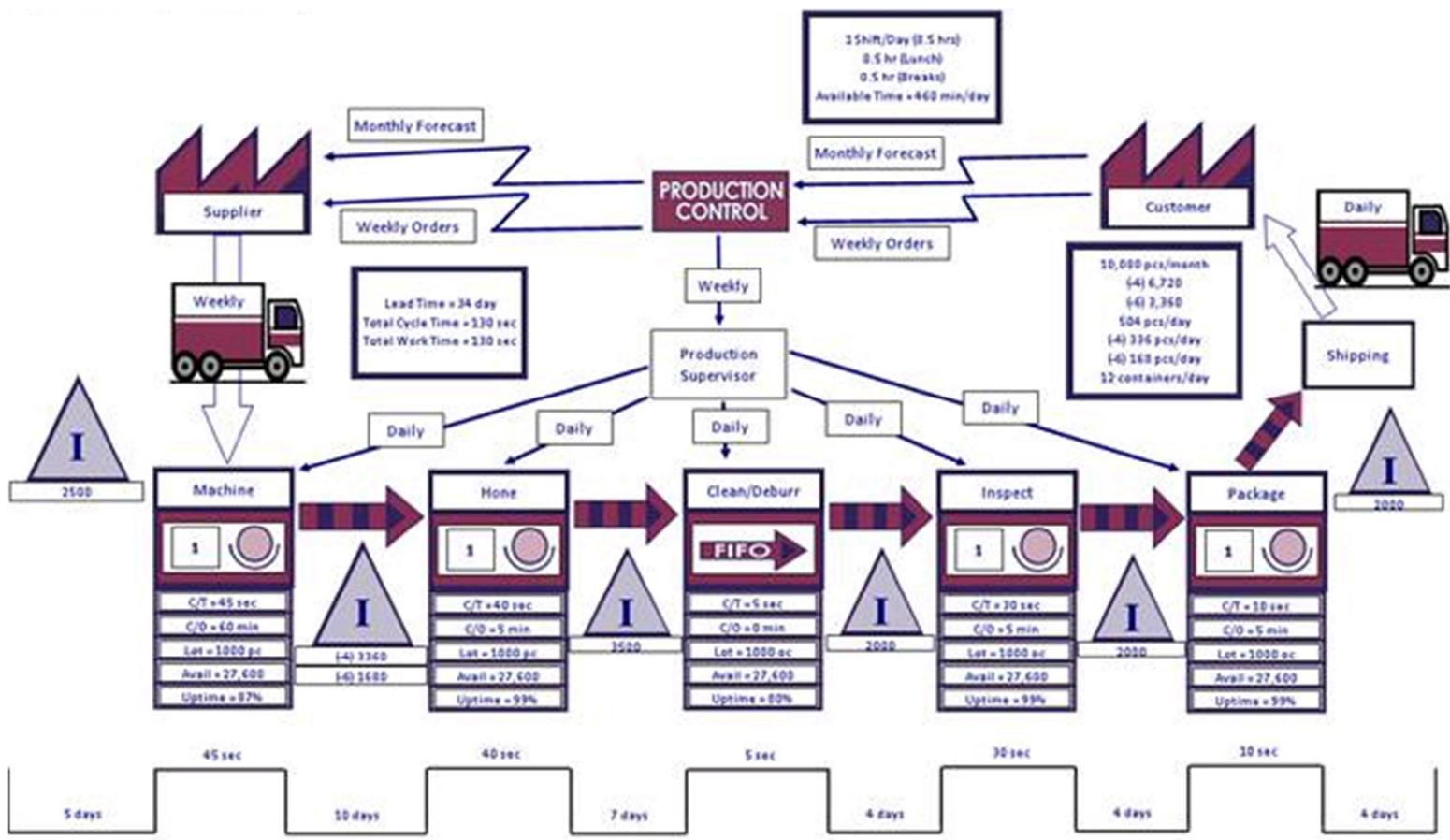


Figura 2.17. Representación del VSM.

Fuente: SigmaXL

Ventajas del VSM:

- Ayuda a visualizar más que el nivel de proceso productivo en el que se encuentra. Representa los pasos que se llevan a cabo en un proceso y la manera en la que estos se comportan.
- Se puede identificar a través del VSM donde se generan los desperdicios.
- Permite identificar detalles ocultos que solo aportan desperdicio e ineficiencia.
- Proporciona un lenguaje común para hablar del proceso de ejecución, lo que facilita la comunicación entre los empleados de una empresa.

2.4.5.- Kanban

Es un término japonés que significa etiqueta de instrucción. Es una tarjeta, generalmente rectangular, que va adherida a los contenedores de los productos y que contiene toda la información necesaria para su transformación durante el proceso productivo.

La información que contiene Kanban puede variar en función de las empresas, pero hay una información mínima a recoger:

- Nombre y/o código del puesto o máquina que procesará el material.
- Iniciales o código del encargado del proceso.
- Capacidad del contenedor de los materiales requeridos.
- Momento en que fue procesado el material.
- Momento en que se debe entregar el material.
- Número de turno en que se procesó.
- Número de lugar en el almacén principal.
- Estado en que se encuentra el material procesado.

Objetivos de Kanban:

- En producción:
 - Dar instrucciones en las condiciones actuales de trabajo.
 - Prevenir que se agregue más trabajo a las órdenes ya empezadas.
- -En flujo de materiales:
 - Prioridad en producción. Se ejecuta primero lo que sea más importante o necesario.
 - Comunicación más fluida.

Tipos de Kanban:

Se pueden clasificar hasta en 3 grupos diferentes de Kanban dependiendo de la función que realicen:

- Kanban de señal: Se representa con un triángulo. Autoriza al último puesto de procesamiento para que ordene a los puestos aguas arriba comenzar a procesar los materiales.

- **Kanban de producción:** Indica la cantidad a producir por los procesos anteriores. Si no puede ser colocada cerca del material, debido a las características del proceso, se colocará cerca del lugar donde está siendo procesado.

- **Kanban de transporte:** Indica la cantidad de material a recoger por el proceso posterior.

Funcionamiento de Kanban:

El sistema Kanban se pone en marcha cuando el cliente realiza un pedido. En ese momento, el último puesto de producción recibe un Kanban de señal. Para satisfacer la demanda, el puesto necesita unos productos, por lo que el operario del último puesto coge los contenedores que necesite en cuanto al tipo y lote de material y los envía al puesto anterior al suyo. Los contenedores, que van vacíos, van acompañados de:

- Tantos Kanban de transporte como puestos anteriores haya en la cadena de valor. Todas estas tarjetas irán sin rellenar la información.

- Un Kanban de producción (con toda la información necesaria) adherida dentro del contenedor, siendo una orden de realización para el puesto anterior.

El operario del puesto anterior coge un Kanban de transporte del contenedor y retira el Kanban de producción que se le ha enviado. A su vez, introduce el Kanban de producción que envía al puesto anterior al suyo. Se repite este proceso hasta llegar al puesto de producción inicial. En ese momento, el flujo de información finaliza. El operario del puesto inicial recoge sus Kanban del contenedor y comienza a procesar. En este momento comienza el flujo de materiales.

El puesto inicial realiza las órdenes que le han llegado del segundo puesto, introduce los materiales en el contenedor y rellena la ficha de información del Kanban de transporte. El contenedor llega al puesto siguiente, donde el encargado comprueba la ficha de transporte, realiza sus órdenes, introduce el material en el contenedor, y adhiere y completa la ficha Kanban de transporte, para posteriormente enviarlo al puesto siguiente. Se repite la acción hasta llegar al puesto final de producción.

De esta manera se obtiene un sistema de información rápido, simple, preciso y fiable que se puede aplicar para todo tipo de fábricas.

A continuación se adjunta la figura 2.18 donde se recoge a modo de ejemplo un modelo de tablero Kanban donde se controlan las actividades:

Conclusión sobre Kanban:

Tras analizar el proceso de funcionamiento de Kanban, se observa que es mucho más que una etiqueta de instrucción. Es una técnica de producción en la que se dan órdenes de trabajo a los diferentes puestos de producción mediante la utilización de tarjetas denominadas Kanban. De esta manera se pretende adaptar la producción del sistema a la demanda del mercado, de forma que no se generen grandes inventarios dentro de la empresa. Con Kanban se consigue trabajar con lotes pequeños, los tiempos del material en el inventario son cortos y el suministro de materiales se vuelve rápido.

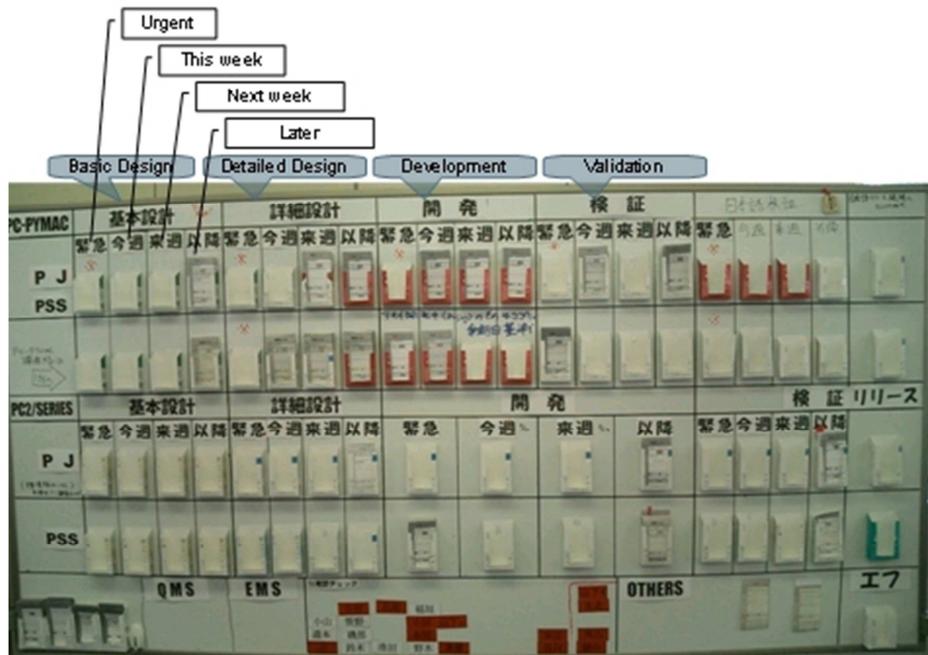


Figura 2.18. Tablero de control Kanban.

Fuente: infoq.

Sus principales objetivos son:

- Minimizar el tiempo de entrega.
- Identificar y reducir los cuellos de botella en la producción.
- Facilitar el flujo de materiales constante.
- Favorecer el Just in Time

2.4.6.- Poka-Yoke

Es una palabra japonesa que significa “a prueba de errores”. Se trata de un dispositivo cuya finalidad es evitar los errores. Esta técnica, desarrollada por el ingeniero de Toyota Shigeo Shingo, trata de crear un sistema donde los errores sean imposibles de cometer.

Un Poka-Yoke es cualquier mecanismo que evita que los errores ocurran, o que en caso de suceder sean muy evidentes. No son dispositivos estrictamente necesarios para evitar que ocurran, pero ayudan a evitarlos. Un ejemplo de Poka-Yoke en la vida cotidiana sería una tarjeta de crédito, que tiene una flecha que indica el lado correcto por donde debe introducirse en los cajeros.

El concepto del Poka-Yoke es simple. Si se evitan los errores, la calidad es mejor, se evitan los retrabajos, y se gana tiempo. Así se aumenta la satisfacción del cliente y a la vez se disminuyen costes.

Técnicas:

- De predicción: Antes de que ocurra el error. Sirven para que un operario no cometa errores en la producción.
- De detección: Son mecanismos que avisan al operario de cuando se ha cometido un error o producto defectuoso.

Tipos:

- De contacto: Formas, dimensiones o algunas otras propiedades físicas que hagan contacto de tal forma que se sepa que se realiza de manera correcta.
- De número constante: Determinar un número de movimientos o actividades necesarios, que en caso de sobrepasarse alerta al operario.
- De secuencia: Instrucciones para que los pasos dados en el proceso de producción sean los correctos.

La figura 2.19 muestra diferentes Poka-Yoke que se encuentran en el día a día.



Figura 2.19. Ejemplos de Poka-Yoke en el día a día.

Fuente: Imágenes de google

Beneficios:

- Evitar errores.
- Refuerzo del procedimiento operacional o secuencial.
- Asegurar la calidad en la fuente no en el resultado.
- Eliminar las decisiones que llevan a las acciones incorrectas.

2.4.7.- Jidoka

Término japonés que se traduce como “automatización con toque humano”. Es un automatismo implantado en Toyota, que ante la aparición de un defecto permite la paralización de la línea para reaccionar y corregir errores.

Esta técnica da más capacidad a las máquinas, lo que permite a un operario supervisar el funcionamiento de más máquinas a la vez, aumentando así la productividad. Para poder supervisar de manera correcta las máquinas, conviene tener un programa de ayuda visual, como Andon (programa que se analizará en el apartado 1.4.9.6).

Existen ciertas similitudes entre Jidoka y Poka-Yoke, pero hay una diferencia importante. Mientras que con Poka-Yoke se detiene el producto con anomalía, Jidoka puede llegar a parar una línea completa de trabajo para evitar que se produzcan errores. Busca el principio cero defectos:

- No se debe aceptar un defecto.
- No se debe entregar un defecto.
- No se debe producir un defecto.
- Todo defecto detectado debe solucionarse de manera inmediata.

Pasos para su aplicación:

- 1.- Detectar la anomalía.
- 2.- Para la producción.
- 3.- Fijar o corregir la anomalía.
- 4.- Investigar la causa raíz e implantar contramedidas.

Ventajas de Jidoka:

- Mejora la velocidad para detectar defectos.
- Reduce costos reduciendo el daño al trabajo en progreso y al equipo y evitando que se continúe procesando un trabajo en progreso defectuoso.
- Mejora la motivación del trabajador, que ve que puede resolver problemas que aportan mejoras a la empresa.
- Al permitir que un trabajador supervise varias máquinas a la vez, se reducen los costos por mano de obra.

2.4.8.- Heijunka

Palabra japonesa que define la nivelación del programa de producción por el volumen y la mezcla de productos fabricados durante un tiempo dado. Permite amortiguar las variaciones de la demanda comercial, produciendo, por pequeños lotes, varios modelos diferentes en la misma línea de producción.

Takt-Time (TT):

Para transmitir el ritmo de la demanda a la producción se utiliza el Takt-Time. Es un término de origen alemán, que define la unidad de tiempo que tarda el cliente en consumir una unidad de producto o servicio. Es el ritmo de trabajo al cual un producto debe fabricarse para satisfacer la demanda del cliente. Se calcula definiendo la cantidad requerida por el cliente en un periodo de tiempo determinado:

$$Takt - Time = \frac{Tiempo\ disponible}{Demanda}$$

Ritmo de la producción:

Una vez conocido el ritmo de la demanda, se define el ritmo de la producción. Para poder conocerlo se utiliza el tiempo de ciclo (*tc*) (ya definido en el apartado 2.4.4.- *Mapa de la cadena de valor/Value Stream Mapping (MCV/VSM)*). Con el *tc* se puede conocer la capacidad de producción. Se obtienen 3 valores:

- Eficiencia teórica: Sería el tiempo de trabajo real del proceso en caso de no existir interrupciones.
- Eficiencia técnica: El tiempo de trabajo contabilizando las interrupciones.
- Eficiencia real: Es el tiempo de trabajo descontando los tiempos de mantenimiento, cuellos de botella...

Con el Takt-Time y el ritmo de la producción, pueden darse 3 supuestos:

- $t_c < TT$: El ritmo de la producción es mayor que la demanda. Si se sostiene a lo largo del tiempo se genera producto acumulado.
- $t_c = TT$: Situación deseada, ya que la demanda y la producción se ajustan y se producen las unidades demandadas por el cliente.
- $t_c > TT$: No se logran satisfacer las necesidades del cliente, ya que existe más demanda que ritmo de producción.

Para controlar estas dos medidas se utiliza la técnica de Heijunka, que se encarga de nivelar las dos variables, buscando un punto intermedio.

Consiste en definir la cantidad y variedad de los productos a producir en un plazo de tiempo determinado. De esta manera se busca nivelar la producción para ajustar de manera eficiente la producción a la demanda del cliente. Para poder lograrlo, se trabaja con pequeños lotes, de manera que el inventario disminuya y el tiempo de procesado es menor, reduciéndose costes y mano de obra.

Es una técnica muy importante dentro de la filosofía *Lean*, debido a que si la demanda no está nivelada, es complicado mantener un sistema de producción *pull*. Por ello hay que nivelar la producción a la demanda, antes que trabajar con un programa específico o normalizado.

Para nivelar estas dos variables, existen dos opciones:

- Nivelación por cantidad (Fig.2.20): Se conoce la demanda del cliente para un determinado periodo de tiempo y se reparte equitativamente durante esos días. Cada día se produce la misma cantidad de producto.

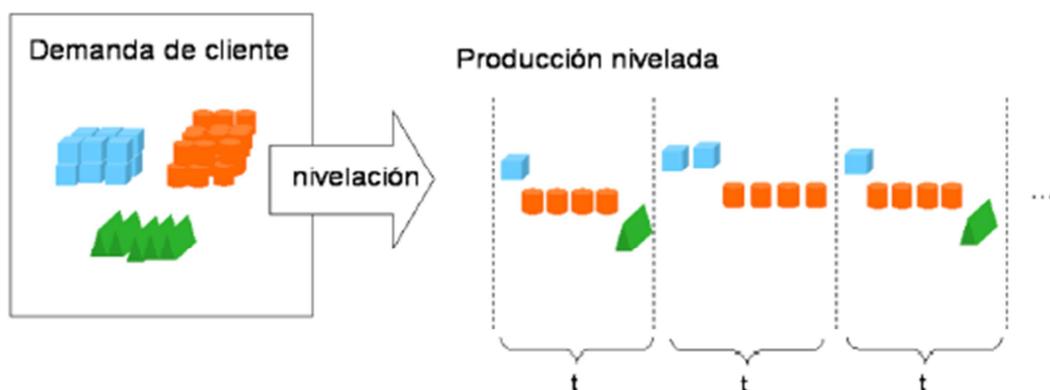


Figura 2.20. Nivelación por cantidad.

Fuente: Leanroots

- Nivelación por mezcla de productos (Fig.2.21): Consiste en conocer la demanda diaria de producto y se ajustan los lotes al mix de productos diarios.



Figura 2.21. Nivelación por mix de productos.

Fuente: Pérez Velázquez, 2011

Ventajas:

- Flujo continuo.
- Se produce con lotes reducidos.
- Se reducen los stocks en general y los inventarios entre puestos de línea.
- Mejoras de la calidad.
- Mayor flexibilidad (entendida como la capacidad para adaptarse a los cambios).
- Evita la sobreproducción.
- Fabricación sobre pedido en un periodo de tiempo dado.

2.4.9.- Otras técnicas

Hasta el momento se han analizado varias técnicas *Lean*, por lo general las más usadas. Pero existen algunas técnicas más que ayudan al correcto funcionamiento de la filosofía *Lean*. Ciertas de ellas se emplean dentro de otras que ya han sido analizadas. A continuación se analizan brevemente, definiéndolas y comentando los aspectos más significativos.

2.4.9.1.- Diagramas de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama causa-efecto o método de espina de pez, es una técnica muy útil que permite obtener las posibles causas de los problemas que surgen en las empresas. Es un método muy visual, lo que facilita su comprensión.

No es una técnica creada por y para *Lean*, es *Lean* el que recomienda su utilización, reconociendo el gran potencial del diagrama de Ishikawa. Y es que es una de las 7 técnicas básicas de la calidad, de aplicación sencilla y obteniendo buenos resultados.

No obstante, cabe destacar que su función es la de detectar las causas de un problema, pero no dar una solución al mismo.

Los factores o las causas se agrupan dentro del grupo conocido como las 5 “M”:

- Mano de obra.
- Máquinas.
- Materiales.
- Método.
- Medio.

El informe A3, en su apartado de análisis de las causas (ver punto 1.4.3 *El informe A3*) utiliza el diagrama de Ishikawa entre otros métodos para hallar el motivo del problema.

Beneficios:

- Agrupa las causas en categorías.
- Orienta las acciones posteriores hacia las causas.
- Proporciona un nivel de comprensión común a todo el equipo de trabajo.

2.4.9.2.- 5 porqués/5 Why

Es una herramienta creada por Sakichi Toyoda, aplicada en Toyota, que consiste en la repetición o secuencia de preguntas en la fase de análisis del problema para buscar las causas principales.

Se deben responder dos tipos de preguntas:

- Cuál es la causa raíz (para corregirla).
- Cuál es la causa raíz por la no ha habido anticipación (para la prevención).

Pueden ser más o menos de 5 preguntas, lo importante es encontrar la causa raíz. Tampoco interesa realizar muchas repeticiones, interesa más un 60% de la solución que buscar el 100% de la solución y no llegar a determinarla nunca.

Al igual que Ishikawa, el informe A3 se apoya en esta herramienta para el análisis de las causas.

2.4.9.3.- Programa Maestro/*Master Schedule* (PM/MS)

Se trata de una herramienta que ayuda a organizar las diferentes actividades dentro de una empresa, de forma que se tienen claras las acciones que se deben realizar para alcanzar a un objetivo.

Para ello se deben reflejar en los MS los siguientes aspectos:

- ¿Qué acciones se van a realizar?
- ¿Por qué merece la pena realizarlos?
- ¿Quién va a realizar dicha tarea?
- ¿Fecha de inicio y fin de la tarea?

Para realizar un MS se crea una tabla, donde en las columnas figuran la unidad de tiempo, y en las filas las acciones, junto con el responsable y la ganancia que aporta. Se utiliza una tipología de signos:

- Inicio de la acción se representa con un triángulo.
- Fin de la acción se representa con un círculo.
- La duración se representa mediante una línea recta que une el inicio y fin.
- En caso de no cumplirse el plazo de entrega, se indica con una línea roja.

Los MS se revisan semanal o mensualmente. Se comprueban las acciones correspondientes, si van adelantadas o retrasadas. En la sección siguiente, 2. *Lean Construction*, se analiza una técnica denominada Last Planner System (LPS), cuya función y metodología es muy similar al MS.

2.4.9.4.- Célula flexible

La célula flexible es una técnica de distribución de los puestos de producción, de manera que se logra eliminar el máximo número de despilfarros. Así favorece el flujo de material en pequeños lotes, se reduce el stock y las esperas. Se distribuyen los puestos de trabajo en forma de U. (Fig.2.22)

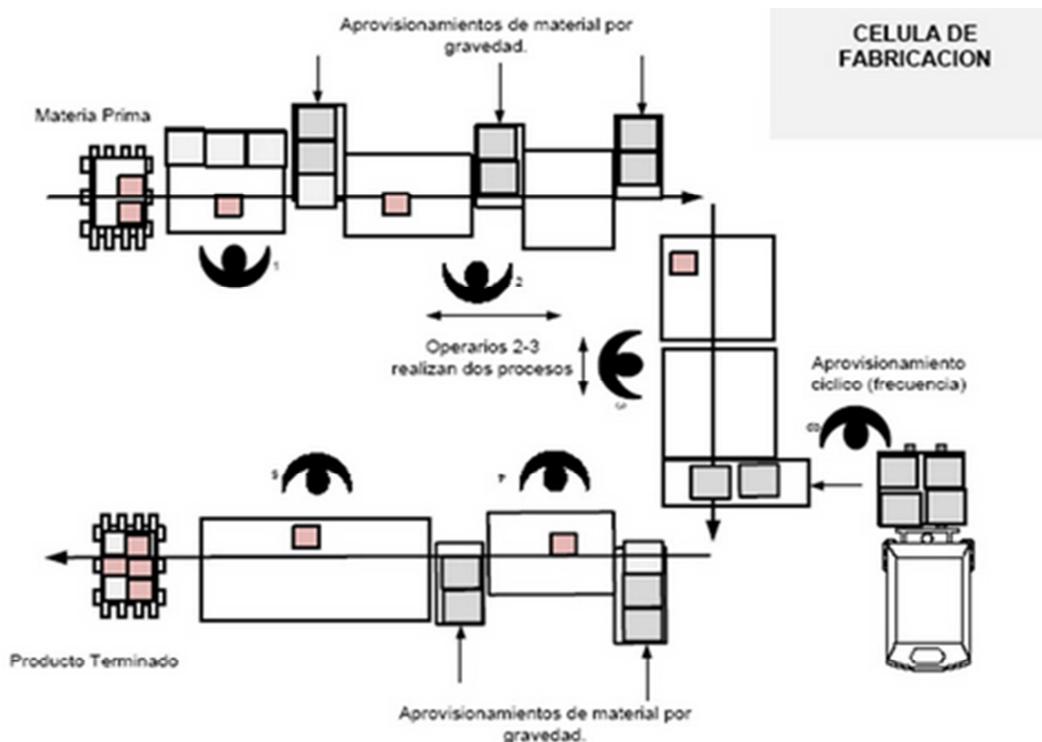


Figura 2.22. Ejemplo de célula de trabajo flexible.
Fuente: AIMME.

La mayor ventaja de esta forma de distribución es la eliminación de los muchos despilfarros y la flexibilidad.

Despilfarros eliminados:

- Minimización de los transportes.
- Menor número de movimientos.
- Eliminación de las esperas.
- Eliminación del stock o inventario.

2.4.9.5.- Cambio de modelo en minutos/*Single Minute Exchange of Die* (CMM/SMED)

El cambio de modelo en minutos de un dígito es una técnica desarrollada en Toyota por el ingeniero Shigeo Shingo, que se conoce por sus siglas en inglés, SMED.

La herramienta SMED elimina el concepto de lote de producción reduciendo al máximo posible el tiempo de preparación y cambios de modelo en las máquinas y materiales. Es utilizado en empresas que desean incrementar su flexibilidad en la producción, y disminuir el inventario necesario en cada etapa del proceso de producción.

Se desarrolló debido a que en la década de los 60, para cambiar el modelo de producción, Toyota tardaba 4 horas para poder comenzar a fabricar ese nuevo modelo, mientras que competidores como Volkswagen lo realizaban en la mitad de tiempo, 2 horas. Por ello Taiichi Ohno encomendó a Shigeo Shingo la tarea de reducir los tiempos de cambio de modelo. Tras un periodo de investigación, desarrolló la herramienta SMED, y se consiguió realizar el cambio de modelo en 3 minutos.

Ventajas de SMED:

- Si el tiempo de cambio es elevado, los lotes son grandes y producen más inventario. En cambio, con SMED desciende el tiempo de cambio, los lotes son más pequeños y el inventario casi nulo.
- Un modelo de cambio rápido y sencillo elimina la posibilidad de errores en el proceso de ajuste de la maquinaria.
- Realizar cambios rápidos hace que el tiempo de trabajo efectivo de la máquina sea mayor y por tanto se eleva la productividad de la máquina. 7

2.4.9.6.- Control visual

Un control visual es un estándar representado a través de un elemento tipo gráfico o físico, de color y fácil de ver. Comunica información, de forma visual, de manera que las acciones están controladas.

La función del control visual es transmitir la información que sea de real interés. Para ello se debe priorizar la información y el alcance (información del sector, o información interna de la empresa).

Para realizar el control visual, *Lean* se apoya en la herramienta diseñada por Toyota, Andon. Se trata de un dispositivo que emite luz y resalta un texto, imagen o diseño, que advierte de anomalías en el proceso. Presenta las siguientes ventajas:

- Permite conocer con facilidad si el equipo y el proceso funciona de manera óptima, e incluso advierte el tipo de anomalía que sucede.
- Desencadena una reacción para corregir anomalías.
- Para que Andon sea eficaz deben darse los siguientes factores:
- Debe ser simple y fácil de entender.
- Se debe dejar claro qué es lo que se pretende conseguir.
- Se debe definir con precisión el procedimiento a seguir en caso de anomalías.

La figura 2.23 muestra un sistema Andon aplicado a la construcción a través de un modelo BIM:

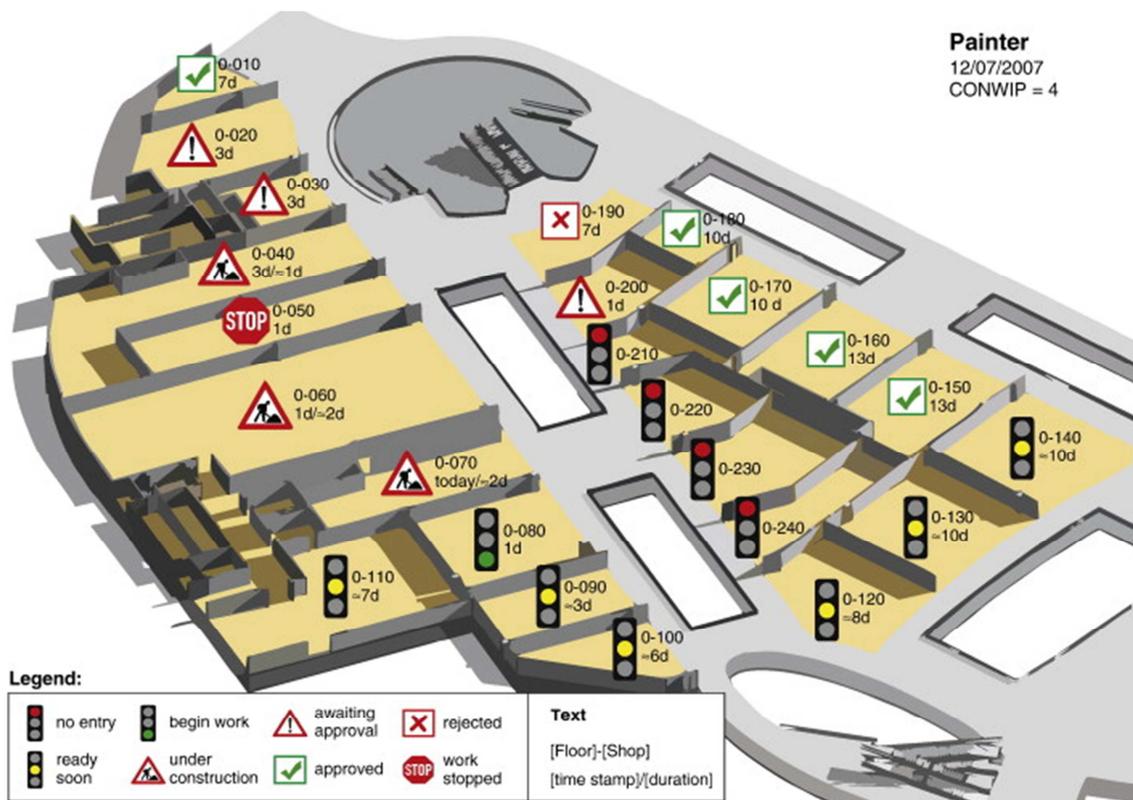


Figura 2.23. Ejemplo de sistema Andon aplicado a la construcción con BIM.

Fuente: Rafael Sacks et al, 2010.

2.5.- Estudio bibliométrico

Según Pritchard (13) la bibliometría es *“la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos dispuestos para definir los procesos de comunicación escrita y la naturaleza y el desarrollo de las disciplinas científicas, mediante el recuento y análisis de las distintas facetas de dicha comunicación”*.

Para realizar un análisis de características de la actividad científica se utilizan indicadores bibliométricos. Estos indicadores se definen como datos numéricos extraídos de los documentos publicados por investigadores. Los indicadores pueden ser unidimensionales, que estudian una sola característica y no analizan la relación entre artículos, o multidimensionales que consideran distintas variables y analiza la posible relación entre artículos.

El artículo del cual se extrae esta información (14) para exportar los datos de la base de datos utiliza el software Sitkis V.2. La metodología utilizada es el análisis de citas conjuntas. La citación conjunta es la frecuencia con la que dos documentos previos son citados simultáneamente en un documento posterior.

A continuación se adjuntan los pasos realizados en el estudio para obtener los resultados finales:

2.5.1.- Obtención de datos

Para obtener las referencias bibliográficas, los autores del artículo han utilizado la base de datos ISI Web of Knowledge. Utilizan dos palabras claves; *“lean”* y *“management”*, ya que la búsqueda conjunta *“lean management”* no tenía muchos resultados. De esta forma se obtienen 1.183 resultados.

A continuación se describen los filtros utilizados en la búsqueda:

- Se elimina lo que no sea un artículo científico, quedando la muestra total en 932 artículos. Se aplica este filtro debido a que los artículos son considerados como conocimiento certificado y valorado positivamente para su publicación.
- Se descartan todas las referencias que tienen relación con la medicina, ya que el término lean en inglés, aplicado con el significado graso es muy utilizado en ella. Aplicando este filtro la muestra desciende a 507 artículos.
- Se revisan los artículos comprobando los títulos y los resúmenes de cada artículo para comprobar que realmente se ajustan al tema tratado. La muestra acaba siendo de 353 artículos.

En la tabla 2.7 se muestra la evolución de la aplicación de filtros a la muestra:

Tabla 2.7. Evolución del número de artículos tras aplicar filtros.

Fuente: Sánchez Ruiz & al, 2012

Filtros	Nº artículos
Búsqueda inicial	1.183
Solo artículos científicos	932
Según temas	507
Revisión de títulos y resumen	353

De cada artículo se extraen los siguientes datos:

- Autor.
- Título del artículo.
- Revista donde se ha publicado.
- Idioma de publicación.
- Tipo de documento (artículo).
- Palabra clave.
- Resumen.
- Referencias.

2.5.2.- Tratamiento de datos

Una vez se ha obtenido la base de datos, se exporta a MS Access y se depura aplicando los siguientes conceptos:

- Identificar y corregir los errores tipográficos que afectan a nombre del autor, título del artículo...
- Comprobar que la fecha de publicación corresponde a la primera edición y no a posteriores, ya que esto podría generar que un mismo documento se duplique o triplique, en función de las fechas diferentes de edición que existan.

2.5.3.-Resultados

Tras realizar el análisis se observa que cada vez interesa más Lean tanto en el mundo académico como en las empresas. Se evidencia una evolución constante a lo largo de los años (ver Fig.2.24)

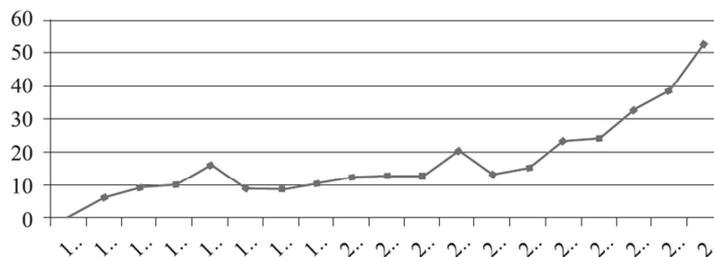


Figura 2.24. Evolución anual de las publicaciones sobre Lean.

Fuente: Sánchez Ruiz & al, 2012

Como autores más citados se obtienen los que figuran en la tabla 2.8. El primer autor ha recibido 307 citas por parte de los 353 autores restantes

Tabla 2.8. Autores más citados en Lean.
Fuente: Sánchez Ruiz & al, 2012

AUTOR	Nº DE CITAS RECIBIDAS
WOMACK JP	307
SCHONBERBER RJ	78
HINES P	67
HAYES RH	65
OHNO T	63
MACDUFFIE JP	60
BALLARD G	53
MONDEN Y	51
SHINGO S	49
SHAH R	49
LIKER JK	47
CHRISTOPHER M	47
ADLER PS	46
PORTER ME	46
KOSKELA L	45

De la misma manera, se ha obtenido un listado de los artículos o libros más citados (Tab.2.9):

Tabla 2.9. Obras más importantes de la literatura sobre Lean.
Fuente: Sánchez Ruiz & al, 2012

AUTOR	TÍTULO	AÑO	Nº DE CITAS RECIBIDAS
James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos	The Machine that Changed the World	1990	160
James P. Womack, Daniel T. Jones	Lean Thinking	1996	107
Taiichi Ohno	Toyota Production System: beyond large-scale production	1978	50
Yasushiro Monden	Toyota Production System: An Integrated approach to Just-in-Time	1983	38
Shah, R; Ward, P.T.	Lean Manufacturing: context, practice bundles and performance. Journal of Operations Management. Vol. 25 (4)	2003	30
Richard Schonberger	Japanese Manufacturing Techniques: nine hidden lessons in simplicity	1982	29
Yin, R.K.	Título: No disponible. Publicación: Case Study Res Design	2003	29
Jeffrey K.Liker	The Toyota Way: 14 management principles from the world's greater manufacturer	2004	27
Shingeo Shingo	A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint.	1981	26
Krafcik, J.F.	Triumph of the Lean Production System. Sloan Management review. Vol.30 (1)	1988	22
Richard J. Schonberger	World class manufacturing: the lessons of simplicity applied.	1986	21
Mike Rother	Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda.	1999	20
Robert H. Hayes, Steven C. Wheelwright	Restoring our competitive edge: competing through manufacturing	1984	20

3.- Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction*

En el apartado anterior se han analizado los principios de *Lean* y las principales técnicas que permiten su implantación en las empresas, desde un punto de vista más orientado hacia el sector industrial. En él, las tareas están mucho más normalizadas y se obtienen unas mejores condiciones de trabajo debido a un entorno estable, muy diferente al que existe en la construcción.

Sin embargo, los grandes beneficios que aporta la implantación de *Lean* a las empresas, y los problemas que están presentes en el sector de la Construcción, justificaron que un grupo de investigadores (Koskela, Howell, Ballard...) estudiaran la implantación de la filosofía *Lean* en el sector de la Construcción. El resultado es Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction* (CsP/LC).

Pero para poder llegar a comprender qué es la Construcción sin Pérdidas, es necesario hacer unas reflexiones previas sobre el estado actual del sector, recordar el concepto de valor, y analizar las principales pérdidas que se producen en la Construcción.

En este apartado se va a analizar qué es la Construcción sin Pérdidas, las principales técnicas que permiten la implantación en las empresas constructoras y se analizarán los resultados obtenidos en la aplicación en obras reales.

3.1.- Conceptos previos

El sector de la Construcción en España se encuentra en un mal momento. La profunda crisis que ha sacudido el mundo desde el 2008 ha provocado un gran daño, como se observa en las figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4:

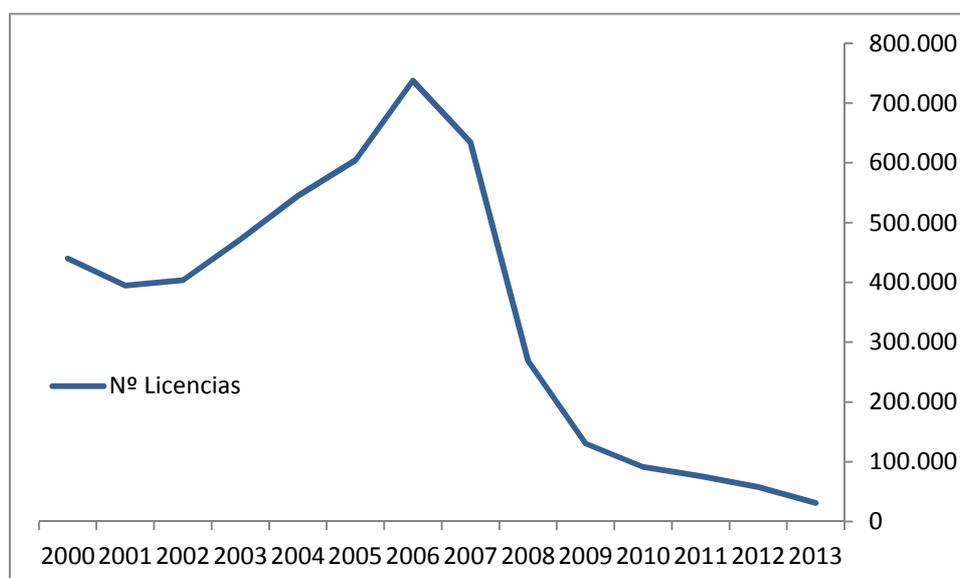


Figura 3.1. Evolución del número de licencias de obras expedidas en España en el periodo 2000-2013.

Fuente: Mº de Fomento

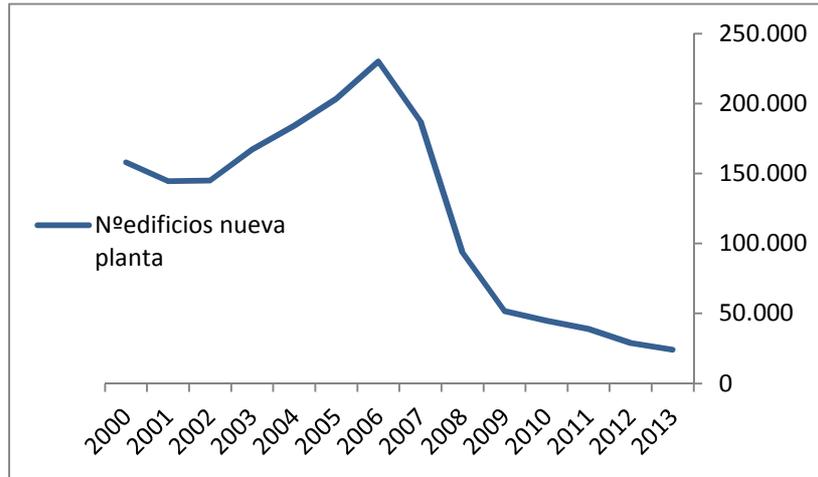


Figura 3.2. N° de edificios de nueva planta realizados en el periodo 2000-2014.
Fuente: M° de Fomento.

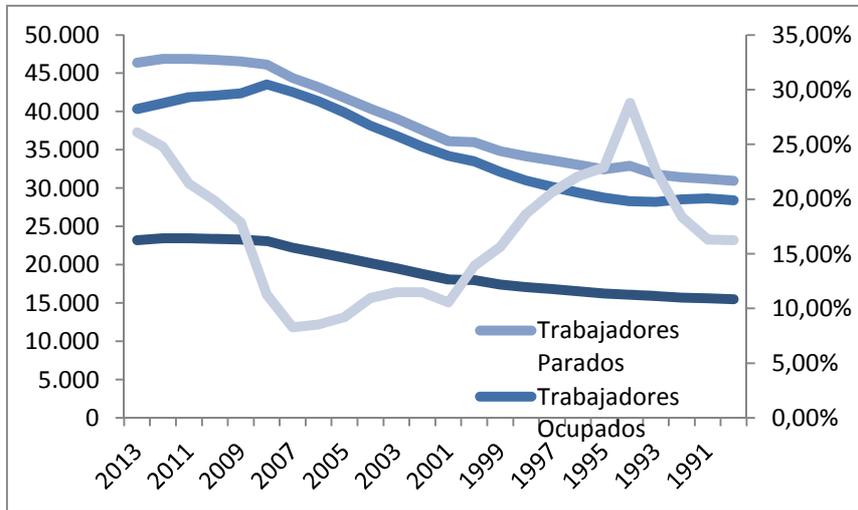


Figura 3.3. Evolución del empleo en el sector de la construcción español en el periodo 2000-2013.
Fuente: M° de Fomento.

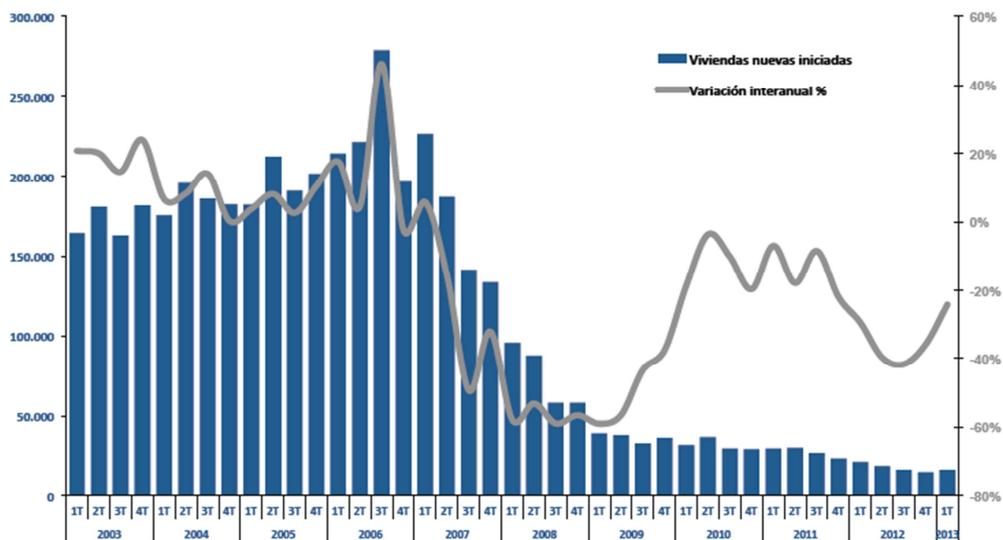


Figura 3.4. Viviendas nuevas iniciadas en el periodo 2003-2013.

Fuente: SEOPAN.

Los datos obtenidos del Ministerio de Fomento y de la SEOPAN evidencian el gran impacto negativo que ha generado la crisis financiera en la construcción española.

Sin embargo, a pesar de la mala situación, es una gran oportunidad de mejora. Ante las dificultades económicas, se han vuelto necesarias buenas prácticas de gestión y control de la producción, hecho que no sucedía antes debido a que no era necesario analizar las obras de manera intensa ya que se vendían de manera completa, generando importantes beneficios.

Por ello, el autor ve un nicho de mejora. Es el momento de transformar los defectos y puntos débiles del sector en virtudes que permitan salir de la recesión económica. La Construcción sin Pérdidas permite un mayor y mejor control de la producción, generando menos pérdidas y consecuentemente, un mayor beneficio y satisfacción del cliente.

3.1.1.- Estado actual del sector de la Construcción

Los métodos de construcción actuales (de ahora en adelante denominados método tradicional) *“dedican mucho tiempo y esfuerzo para realizar las planificaciones temporales, los presupuestos y otros requerimientos de las obras, lo que se conoce como el **SE DEBE** hacer. Posteriormente se monitoriza el proyecto para comparar lo que **SE HA HECHO** con el **SE DEBE**. Todo funciona de manera correcta hasta que un elemento del sistema falla y genera una reacción en cadena que provoca pérdidas de tiempo y dinero en el proyecto.”*(15).

Según Howell (16) la forma tradicional de gestionar los proyectos se centra en optimizar los mismos actividad tras actividad, asumiendo que el valor del cliente se ha identificado en la fase de proyecto. De esta manera, los proyectos se dividen en actividades más pequeñas a las que se les estima una duración, y se les asigna unos recursos. Estas actividades se controlan comparándolas con las predicciones realizadas en la programación y presupuesto.

El problema de esta manera de funcionar es que el modelo de producción de la Construcción se centra únicamente en las actividades, y no permite destapar las pérdidas que se generan entre ellas, debido a su impredecible comportamiento y los posibles retrasos en la llegada del material requerido para ejecutarlas.

“La actual manera de producir y gestionar proyectos se centra en las actividades e ignora el comportamiento del flujo y el valor.”(17)

Resumiendo, la manera actual de gestionar los proyectos de construcción se puede considerar como una actividad centrada en contratar a empresas constructoras que desarrollan actividades, definiendo y decidiendo los objetivos. La coordinación entre las diferentes empresas participantes y el personal de las mismas se realiza mediante la aplicación de una programación general que establece la secuencia de actividades y determina el comienzo y final de cada una de ellas. En cada actividad se producen errores, genera un coste y se produce un aprendizaje. El coste se reduce mejorando la productividad, y la duración del proyecto se acorta acelerando la ejecución de las actividades o realizando cambios en el proyecto. De esta forma no se logran evitar la mayoría de los desperdicios.

Principales problemas en el sector de la Construcción

Diversos autores han realizado trabajos con la intención de identificar las causas de la generación de pérdidas en la construcción. Éstas se analizarán en el apartado 3.1.2.2.- *Análisis de las pérdidas*. Koskela (1) destacó los siguientes problemas:

- Baja productividad.
- Falta de seguridad de los trabajadores.
- Malas condiciones de trabajo debido a la meteorología, actividades peligrosas...
- La calidad no cumple con los requisitos establecidos.

Se podrían añadir a esta lista otros factores como la falta de cualificación del personal, la falta de conocimientos en técnicas de gestión que mejorasen la forma de trabajar o la reticencia general del sector a adoptar técnicas innovadoras.

Concepto de productividad

La productividad se puede expresar como *“la relación existente entre lo producido y lo gastado.”*(18) o *“la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado.”*(19).

Para ser productivos, es necesario ser eficientes y eficaces (Tabla 3.1):

Tabla 3.1. Relación entre la eficiencia, eficacia y la productividad.

Fuente: Botero&Álvarez 2004.

UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS		
Pobre	Alta	
EFICAZ PERO INEFICIENTE	EFICAZ Y EFICIENTE ALTA PRODUCTIVIDAD	ALTA
INEFECTIVO E INEFICAZ	EFICIENTE PERO INEFICAZ	BAJO
		OBTENCIÓN DE LAS METAS

Existen diferentes tipos de productividad, las importantes son:

- **Productividad de materiales:** Importante controlarla para evitar los desperdicios que generan su coste.

- **Productividad de la mano de obra:** Es la productividad clave, ya que del ritmo de los trabajadores depende la productividad del resto de recursos.

- **Productividad de la maquinaria:** Es importante por el alto coste que genera, por lo que hay que calcular bien su utilización para optimizarla al máximo.

Algunos de los principales defectos que lastran la productividad son:

- Errores de proyecto
- Modificación al proyecto de ejecución durante la ejecución del mismo.
- Falta de supervisión de los trabajadores.
- Agrupamiento de los trabajadores en espacios muy reducidos.
- Alta rotación de trabajadores.
- Malas condiciones de seguridad.
- Distribución inadecuada de los materiales en la obra.
- Falta de los materiales requeridos.
- Falta de suministro de equipos y herramientas.
- Clima y condiciones adversas de la obra.

Ante esta situación, la Construcción sin Pérdidas propone un sistema productivo que tenga en cuenta el flujo, donde sí figuran por ejemplos los transportes de materiales o la información, para lograr mejorar la productividad.

Propuesta de aplicación del concepto *Lean*

En el momento de implementar *Lean* en el sector de la Construcción, aparece una situación curiosa. Varias de sus técnicas y metodologías de trabajo ya se han implementado en diferentes partes de las empresas relacionadas con el sector.

Conceptos como el TQM lleva tiempo instaurado en la construcción, aplicándose primero en los materiales y posteriormente a los estudios y empresas constructoras. O por ejemplo el JIT se aplica a suministradores, como pueden ser los fabricantes de elementos de carpinterías.

Con la intención de mejorar la productividad y el rendimiento del sector, la Construcción sin Pérdidas propone cambiar la forma de entender la producción. “*Los métodos de gestión de proyectos o herramientas como CPM deterioran el flujo ya que únicamente se fijan en las actividades que realizan transformaciones, pero se olvida del resto.*” (20).

Por ello, el primer paso a realizar consiste en cambiar el modelo, y orientar la producción no solo a las actividades de transformación, si no considerar la producción como un flujo donde existen transformaciones y otras actividades como los flujos de información y materiales.

De esta manera *“se logra generar y entregar un valor único al cliente. Se centra más en el proyecto de manera global, preocupándose por el coste y la duración del proyecto entero y no centrándose en las actividades.”* (15). La coordinación del proyecto se sigue apoyando en la planificación general, pero se gestiona todo el flujo de la producción. Al considerar este nuevo concepto, es cuando se descubren varias pérdidas que estaban encubiertas al no tener en cuenta los flujos que no generan transformación.

La Construcción sin Pérdidas se centra en cómo se genera el valor que desea el cliente, y su implementación comienza aceptando la idea de perfección que propone, conociendo y entendiendo sus principios y técnicas.

Esquema modelo de producción

Las dos ideas principales del modelo de producción propuesto por la Construcción sin Pérdidas son las conversiones o actividades de transformación y el flujo. Tal y como se ha analizado en el apartado introductorio del apartado 2.- *Filosofía Lean*, el esquema de la producción lean que propuso Koskela (Koskela, 1992), que resulta igual aplicado a la construcción, es el de la figura 2.1.

“Solo las actividades de transformación añaden un valor al material, a la pieza o a la información que está siendo transformado en un producto.”(20).

Comparación del modelo tradicional y el de Construcción sin Pérdidas

Koskela realiza una interesante comparación entre ambos modelos en la que se compara el concepto, el control de producción y cómo se realizan las mejoras (Tabla 3.2). De esta forma se destaca cómo el método tradicional se centra en las actividades de transformación, mientras que la Construcción sin Pérdidas considera también los flujos. Además este último modelo introduce el concepto de valor, que si bien algunas empresas del sector ya plasman la importancia del mismo, no es una práctica habitual.

Tabla 3.2. Comparación entre los dos modelos de producción.

Fuente: Formato propio a partir de Koskela, 1992.

	MÉTODO TRADICIONAL	CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS
CONCEPTO	La producción está compuesta por una serie de actividades de transformación que agregan valor.	La producción está compuesta por un flujo (no agrega valor) y unas transformaciones (agregan valor).
CONTROL DE PRODUCCIÓN	Dirigido al coste de las actividades.	Dirigido al tiempo, coste y valor de los flujos.
MEJORAMIENTO	Incremento de la eficiencia de las transformaciones a través de nueva tecnología.	Eliminación de actividades que no agregan valor, incrementando la eficiencia de las que sí agregan valor a través de mejora continua y nueva tecnología.

3.1.2.- Valor y pérdida

3.1.2.1.- Valor

En el apartado 2.1.2.- *Principios* se ha definido qué es el valor, concepto no es estático, ya que puede cambiar a medida que pasa el tiempo, y muy subjetivo, ya que depende de la percepción de cada persona.

El concepto de valor debe tener en cuenta un contexto global, influido por el contexto social, económico y político.

En función del valor, las actividades que conforman el flujo de trabajo pueden clasificarse en actividades que añaden valor (AV) y actividades que no añaden valor (NAV).

Son actividades AV aquellas que provocan una transformación al producto que le añade el valor que desea el cliente. En cambio, las actividades más relacionadas con el flujo, como pueden ser los transportes, materiales o información, se clasifican como NAV. La Construcción sin Pérdidas tiene dos objetivos en cuanto al valor:

- Eliminar o minimizar al máximo las NAV.
- Potenciar las actividades AV.

Dentro de las actividades NAV se pueden distinguir dos tipos de actividades:

- Actividades NAV que no generando valor, son necesarias para que otras actividades AV se puedan realizar. Hay que intentar que estas actividades sean pocas, y conseguir que o bien añadan un valor al producto, o que no sean necesarias para otras actividades AV.

- Actividades NAV que no generan un valor y además no son necesarias. Son actividades que están consumiendo recursos y provocan pérdidas, ya que no generan beneficios en el proceso. Estas actividades se deben eliminar.

Para que las empresas conozcan mejor qué es el valor, Paulo Napolitano y Fernando Cerveró han propuesto el modelo Meta-Organization (MO) (21). Según estos autores, una empresa conoce el concepto de valor de los clientes a través de un sistema sensorial que capta las interacciones con el entorno. Cada empresa tiene un sistema diferente, ya que es algo propio e individual, y no detectan todo el concepto de valor. Por ello se tiene dificultad para conocer el valor, debido a que a través del sistema se conoce parte del mismo, pero no de manera global. (Fig.3.5 y Fig.3.6)

Al no captar el concepto global de valor del cliente, cuando surgen cambios, las empresas tienen problemas para adaptarse y reaccionar a la misma velocidad que el entorno.

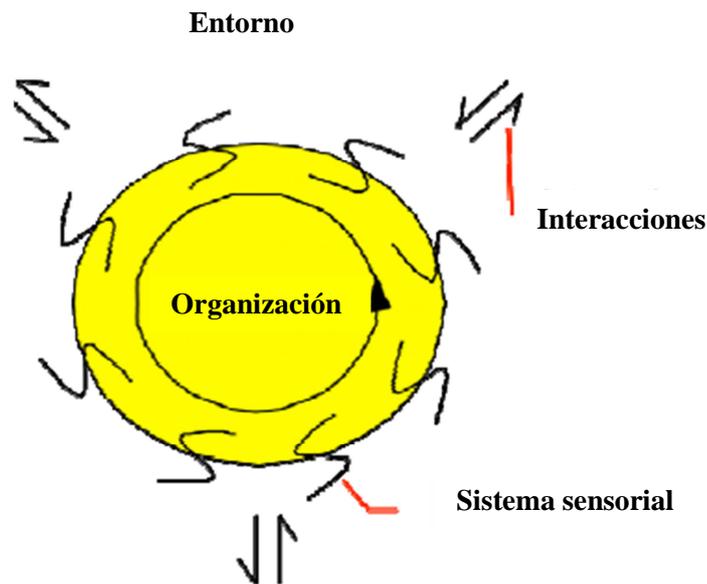


Figura 3.5. Modelo de sistema sensorial de las empresas para captar el concepto de valor de los clientes. Fuente: Napolitano&Cerveró, 2011.

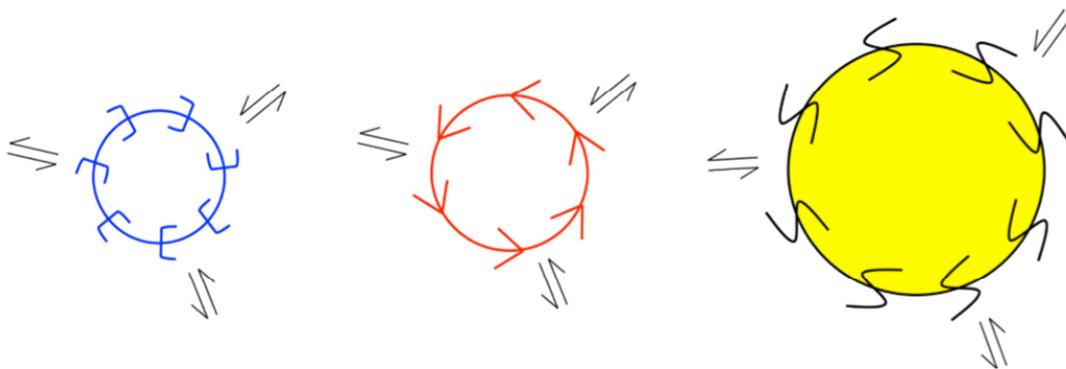


Figura 3.6. Cada empresa interactúa de diferente forma.

Fuente: Napolitano&Cerveró.

Lo que proponen Napolitano y Cerveró es crear un vínculo entre cada sistema sensitivo, de manera que las empresas posean más información que la propia, y se adapten de forma más rápida y eficaz a los cambios. Estos vínculos entre sistemas se crean a través de unas relaciones de interdependencia que presentan las siguientes características:

- Se comparten unos principios comunes a todos.
- Todos los participantes confían el uno del otro, y al mismo tiempo son responsables de cada uno.
- Como mínimo deben de haber dos participantes.

Existen tres condiciones básicas para la existencia de una MO:

- El objetivo de la MO es trabajar por el bien de todos los miembros y ayudarlos en sus operaciones.
- Los miembros son de un mismo sector, o presentan unos intereses comunes.
- Todos los miembros son iguales, tienen el mismo valor, y son libres de marcharse cuando quieran.

El funcionamiento de las MO se basa en tres etapas o pasos: El Meta-Training, Meta-Sharing y Meta-Research. (Fig.3.7)

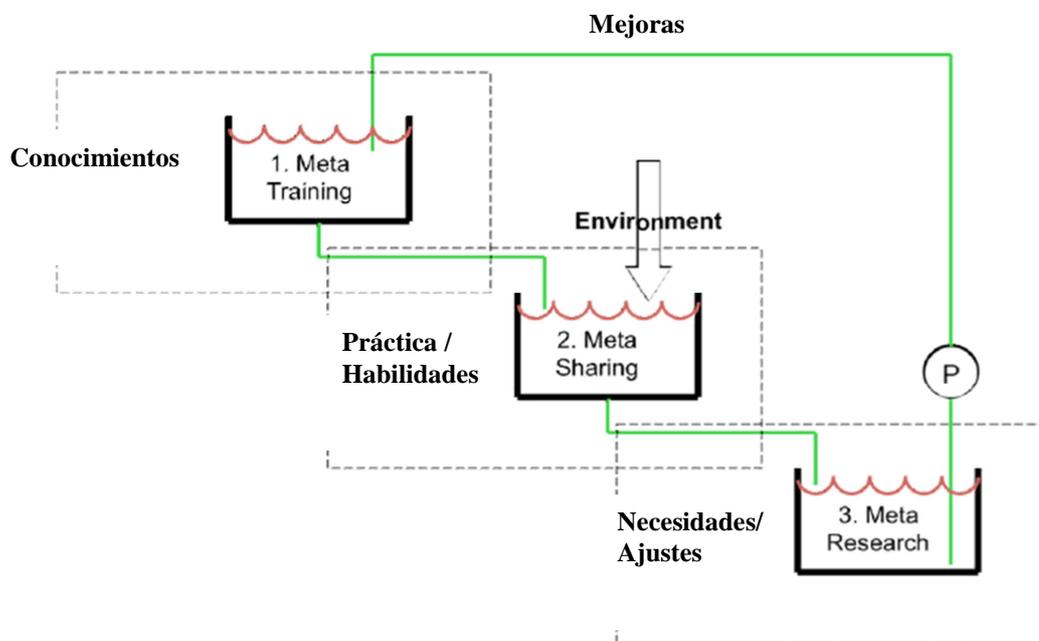


Figura 3.7. Funcionamiento de la MO.

Fuente: Napolitano&Cerveró.

- El Meta-Training consiste en dar una formación del concepto de Lean a los futuros participantes de la MO. Este proceso debe crear un impacto en la estrategia de la empresa.

- El Meta-Sharing tiene como objetivo el compartir la experiencia en la implementación de Lean.

- El Meta-Research tiene como objetivo eliminar los obstáculos y ayudar a desarrollar nuevos procesos que ayuden a las empresas. Se genera un conocimiento mayor.

De esta manera, los sistemas sensoriales de las empresas quedan unidos, y el conocimiento de cuál es el concepto de valor de los clientes es más fácil de entender por su parte. (Fig.3.8)

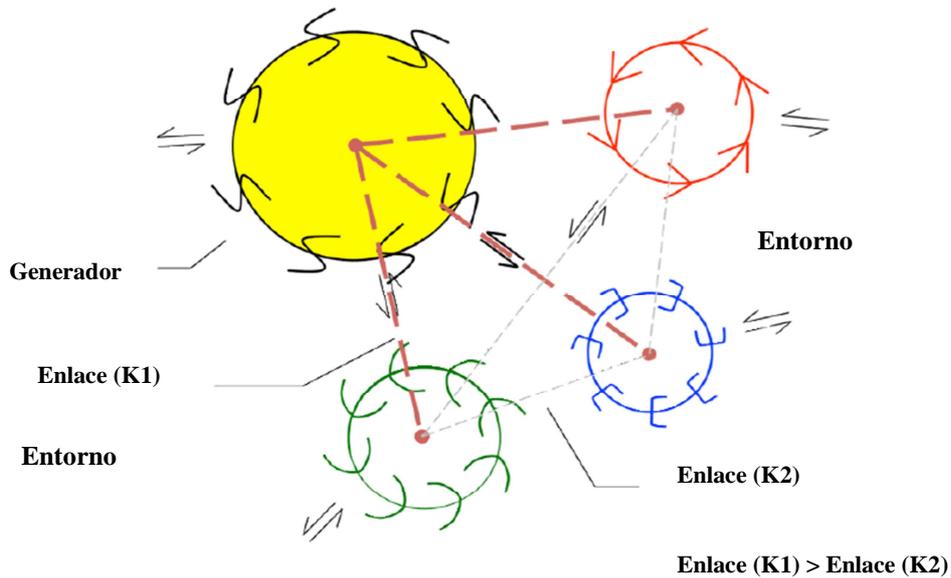


Figura 3.8. Estructura de una MO.

Fuente: Napolitano&Cerveró.

3.1.2.2.- Análisis de las pérdidas

El método tradicional no ha considerado nunca las actividades que conforman el flujo. Sin embargo, la experiencia en la implantación de Lean en empresas indica que es en estas actividades donde se producen varias de las pérdidas del proceso. Por ello resulta interesante analizarlas para saber dónde hay que centrar los esfuerzos de mejora.

Koskela (20) presentó una tabla donde se identificaban algunas de las pérdidas de la construcción, pero no de manera global (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Desperdicios en construcción.

Fuente: Koskela, 1993.

Desperdicio	Coste	País
Costes de calidad debidos a no conformidades	12% del coste total de proyecto	EE.UU
Coste de calidad externo	4% del coste total de proyecto	Suecia
Soluciones constructivas no realizables	6-10% del coste total de proyecto	EE.UU
Mala gestión de materiales	10-12% coste de ejecución	EE.UU
Exceso de consumo	10% de media	Suecia
Trabajo en actividades NAV	2/3 del tiempo total	EE.UU
Falta de seguridad	6% del coste total de proyecto	EE.UU

Botero y Álvarez (22) realizaron un análisis de las pérdidas generadas en diferentes obras. A continuación se adjuntan una serie de gráficas con los resultados obtenidos (Fig.3.9, Fig.3.10 y Fig.3.11):

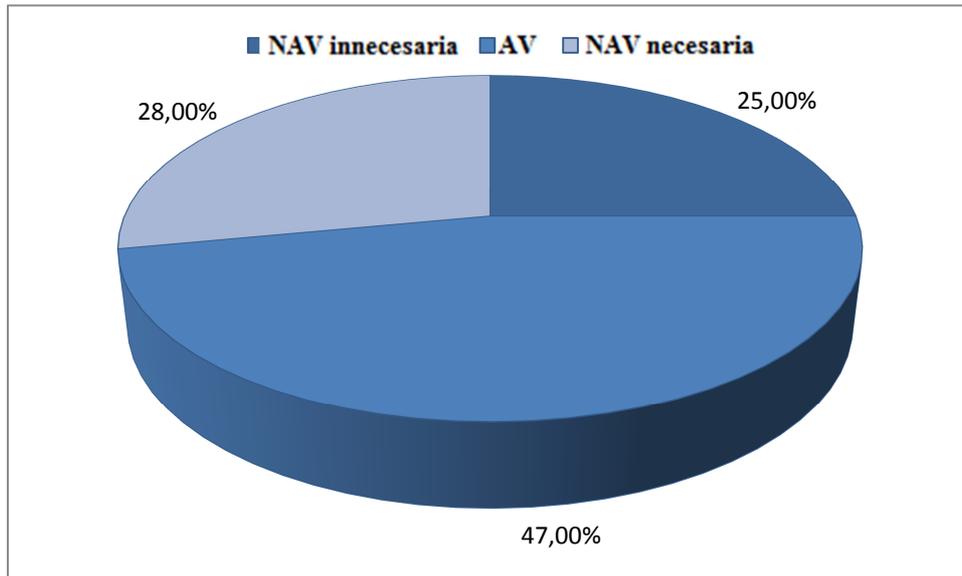


Figura 3.9. Distribución general de actividades en obras chilenas.

Fuente: Botero&Álvarez, 2003.

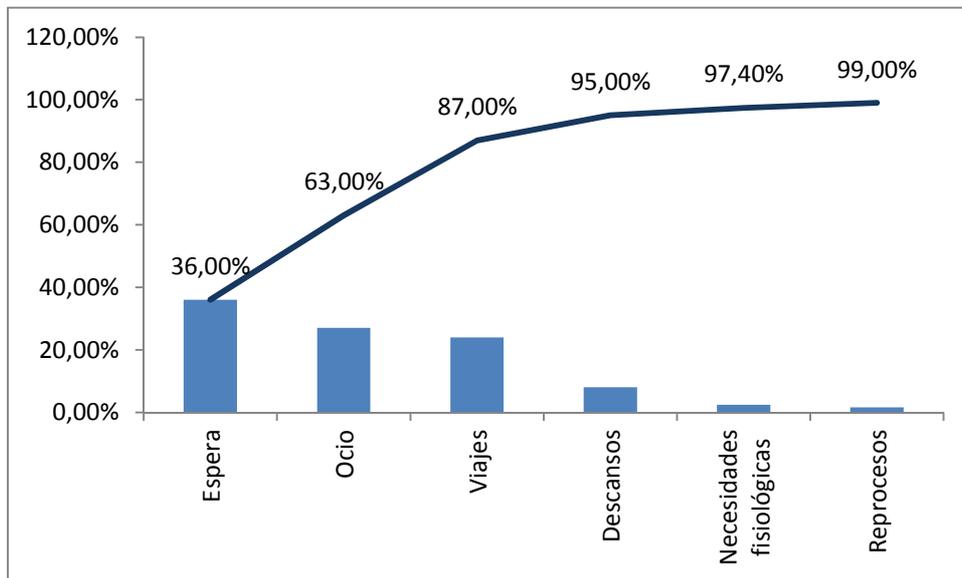


Figura 3.10. Distribución actividades NAV innecesarias en Chile.

Fuente: Botero&Álvarez, 2003.

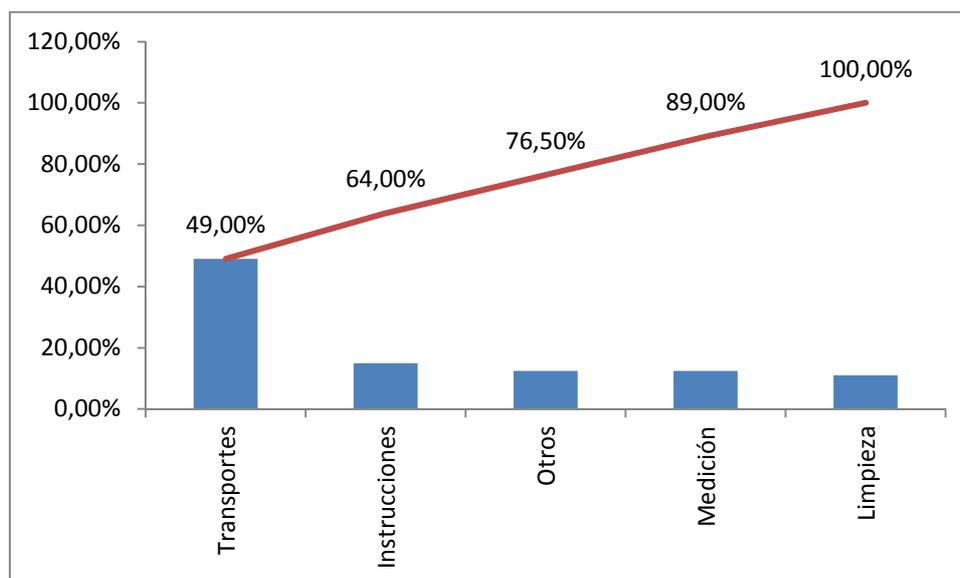


Figura 3.11. Distribución de actividades NAV necesarias en Chile.

Fuente: Botero&Álvarez, 2003

Del análisis de estos datos se desprende que más de la mitad del tiempo dedicado a la ejecución de obras en Chile, en el momento del estudio, se invierte en actividades que no generan valor, actividades NAV. Solamente un 47% de las actividades añaden el valor requerido por el cliente. Dentro del 53% de las NAV, un 47% de las actividades son innecesarias (25% del total). Esto significa que, con un correcto análisis, podrían ser eliminadas o reducidas al máximo, de manera que las pérdidas generadas en las obras disminuirían de manera sensible.

La Construcción sin Pérdidas busca eliminar todas las pérdidas del proceso, de manera que se logre generar el valor requerido por el cliente sin producir desperdicios innecesarios.

A continuación se analiza qué es la Construcción sin Pérdidas o *Lean Construction*.

3.2.- Qué es Construcción sin Pérdidas/*Lean Construction*

3.2.1.- Definición

El *Lean Construction Institute* la define como: “*Lean Construction (Construcción sin Pérdidas) es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto – una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. La Construcción sin Pérdidas se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada – maximizar el valor y minimizar los desperdicios- hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto. Como resultado:*

- La edificación o infraestructura y su entrega son diseñados juntos para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.

- El trabajo se estructura en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.

- Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costes o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada.

- El control se redefine como pasar de “monitorizar los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”. Los rendimientos de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.”

Otra definición de la Construcción sin Pérdidas es la que facilita Pons:

“Es la aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean a lo largo de todo el Ciclo de Vida de un proyecto de construcción. Abarca la aplicación de principios y herramientas Lean al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio. Entendemos Lean como una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, por lo tanto, sus principios pueden aplicarse en todas las fases de un proyecto: diseño, ingeniería, pre-comercialización, marketing y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro.” (23).

El Spanish Group of Lean Construction (SGLC) la define como sigue:

“La Construcción sin Pérdidas es una combinación entre la investigación habitual en la gestión de proyectos de construcción y la aplicación de los principios y prácticas del Lean Manufacturing.

Este novedoso sistema de gestión de proyectos de construcción persigue la mejora continua. Minimiza los costes y maximiza el valor del producto final definido por el cliente.”

Se trata en definitiva de gestionar un proyecto de edificación (desde la fase de proyecto hasta la entrega final del edificio ya terminado) con el fin de aportar un valor añadido al cliente (que define qué es para él el valor), tratando de eliminar todo aquello que no genera valor y provoca pérdidas, optimizando en todo momento el proceso considerando el proyecto globalmente, no centrándose en las actividades, y aplicando una mejora continua al mismo, logrando así alcanzar la plena satisfacción del cliente.

Por lo tanto, las tres ideas claves de la Construcción sin Pérdidas o *Lean Construction* son:

- Entregar valor al cliente.
- Optimizar el proceso para evitar pérdidas.
- Aplicar una mejora continua al proceso.

3.2.2.- Principios

En el apartado 2.1.2.- *Principios* del presente documento se han analizado los 5 principios de la filosofía Lean. La Construcción sin Pérdidas presenta los mismos principios, que se citan a continuación:

- 1).- Definir el valor.
- 2).- Identificar el flujo: Identificar la cadena de valor.
- 3).- Optimizar el flujo del valor para evitar interrupciones en el mismo.
- 4).- Permitir que los clientes extraigan el valor. (Pull).
- 5).- Buscar permanentemente la perfección. La mejora continua.

También se aplican los 11 principios propuestos por Lauri Koskela:

- 1.- Reducir las actividades que no aportan valor al cliente.
- 2.- Aumentar el valor del producto/servicio a través de las consideraciones de los clientes.
- 3.- Reducir variabilidad.
- 4.- Reducir el tiempo de ciclo.
- 5.- Minimizar los pasos para simplificar el proceso.
- 6.- Aumentar la flexibilidad de salidas.
- 7.- Aumentar la transparencia del proceso.
- 8.- Centrarse en el proceso global.
- 9.- Introducir mejoras continuas en el proceso.
- 10.- Equilibrar las mejoras del flujo con las mejoras de los procesos.
- 11.- Benchmarking.

3.2.2.1.- Aplicación

En este apartado se va a analizar la aplicación de los 5 principios propuestos por Womack y Jones en su libro "*Lean Thinking*".

1) Definir el valor:

El valor es el punto de partida de *Lean*. Implica entender qué es lo que quiere el cliente. Es el sentimiento de apego o aprecio que tiene un cliente hacia un producto o servicio para satisfacer sus necesidades a un precio concreto.

En el método tradicional se define el valor, pero no se realizan actividades de control del flujo del valor. Se realiza de forma parcial, no completa. Se conoce el valor del cliente, pero no se perfecciona el proyecto en base a él. Por ello, para conseguir implementar este primer principio básico de *Lean* en la Construcción, se debe de conocer cuál es el valor que quiere el cliente antes de que se comience la redacción del proyecto. Y todas las acciones posteriores deben ir encaminadas a la consecución de ese valor, de la mejor forma posible.

2) Identificar la cadena de valor:

Son las actividades necesarias para la transformación de materiales e información en un producto o servicio. Esta cadena abarca todo el proceso, desde la concepción del diseño, pasando por la ejecución, y entregando el producto al cliente. Es en los flujos de valor donde se genera el beneficio y en ellos es más fácil hallar las pérdidas.

Para aplicar este principio a la construcción, una práctica habitual es realizar VSM a nivel de proyecto, donde se reflejen las principales informaciones y entradas y salidas de materiales. Una vez se realiza este VSM general, se descompone en otros más específicos que faciliten entender mejor el proceso e identificar las pérdidas y opciones de mejora.

3) Optimizar el flujo:

Este principio consiste en hacer que las operaciones generadoras de valor del proceso fluyan. Como ya se ha analizado en apartados anteriores, las actividades que realmente generan valor (AV) al producto son pocas, y abundan las actividades que no generan valor (NAV), pudiendo ser necesarias o no necesarias. En este paso se intenta eliminar todo los desperdicios que se puedan, y en caso de no poder eliminarlos, se minimizan.

En el modelo actual de producción en la construcción hay actividades que generan grandes esperas o que provocan la necesidad de tener grandes acopios de materiales, y por tanto grandes inventarios (para *Lean* el inventario es una pérdida). Por ello, para aplicar este tercer principio *Lean* a la Construcción existe la técnica de Just in Time (JIT). Con un correcto suministro de materiales podemos evitar la existencia de grandes acopios, pero para ello necesitamos hacer que el flujo sea fiable y no suponga faltas de suministro inesperadas.

4) Sistema *Pull*:

Es un sistema en el que las actividades finales dan la señal de sus necesidades a las actividades iniciales, apoyándose a menudo en la técnica Kanban. De esta forma únicamente se produce lo que realmente se va a entregar, lo que el cliente quiere y ha definido previamente. El sistema *pull* es un apoyo fundamental para el funcionamiento del JIT.

El sistema *pull* ya se aplica en la construcción a nivel global; no se construyen edificios si no se tiene una certeza de que van a tener un comprador. Esto ha sido cierto siempre, excepto en tiempos de especulación donde se edificaba confiando en que apareciera un comprador seguro. Pero en general, y más aún ahora en tiempos de crisis, el sistema *pull* se aplica cada vez más.

En cambio, a nivel más específico, en el desarrollo de las actividades, no se aplica. Esto se debe a que el modelo tradicional de producción siempre busca que las actividades comiencen lo más pronto posible. Esto provoca que algunas actividades tengan que sufrir parones, debido a que no están acabadas otras actividades previas necesarias. Por ello, el principio “*pull*” de la filosofía *Lean* busca que las actividades en la Construcción comiencen cuando realmente sean necesarias y puedan ejecutarse.

5) Perfección o mejora continua:

Como indica su nombre, este principio busca la perfección del proceso. Se entiende como perfección al proceso que proporciona puro valor, de la manera en la que lo ha definido el cliente, sin desperdicio de ninguna clase.

Para conseguir esta perfección, se aplican otras técnicas *Lean*, como el Kaizen (mejora continua), la estandarización y el ciclo de Deming PDCA.

Aplicando estos 5 principios, las empresas estarán ofreciendo un producto que cada vez estará más cerca del producto o servicio que realmente requieran los clientes, lo que generará una mayor satisfacción en ellos. Además, al disminuir los desperdicios del proceso, no solamente favorece a aumentar la satisfacción de los clientes, se está consiguiendo disminuir el coste del proceso por lo que aumentan los beneficios iniciales.

3.2.3.- Peculiaridades de la construcción que afectan a la implementación de la CsP

Koskela (1) diferenció tres características que diferencian al sector de la construcción de cualquier otra actividad productiva. Estas características son las que diferencian al sector claramente del sector industrial, y como se verá en el apartado siguiente, se utiliza con frecuencia como principal obstáculo en la implementación de nuevas técnicas o tecnologías que provienen de dicho sector. Las tres características de la construcción son las siguientes (Fig.3.12):

- La naturaleza única del proyecto. Esta característica se puede reducir con la aplicación de la estandarización (industrializar los procesos, como el uso de placas de yeso laminado o paneles sándwich) y hacer más precisas las relaciones con suministradores y subcontratas de manera que se haga más fiable el flujo.

- El emplazamiento y las dificultades derivadas de la ubicación de la obra para ejecutar los trabajos. Se puede reducir el impacto de este factor a través de la prefabricación y de trabajos en realizados en taller.

- El aspecto temporal que tienen los proyectos. Durante la ejecución de los proyectos, diferentes empresas subcontratadas quedan ligadas a un constructor principal durante la duración de los trabajos. Para una mejor coordinación de trabajos, y disminuir la variabilidad, se pueden realizar acuerdos de colaboración en diferentes proyectos, de manera que las empresas ya conocen la forma de trabajar de cada una.

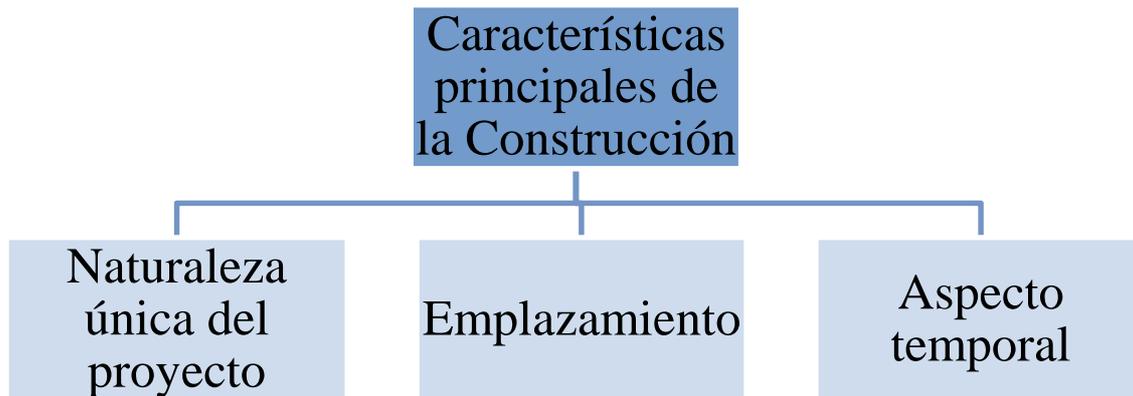


Figura 3.12. Características principales del sector de la construcción.

Fuente: Elaboración propia.

Ante estas peculiaridades o características de la construcción, Ballard y Howell (24), autores que también destacan a su vez las tres características como las propias del sector de la Construcción, proponen desde un punto de vista *Lean* actuar de dos maneras diferentes:

- Minimizar las peculiaridades de la construcción y sacar ventaja de los pasos dados ya en el sector industrial en la implementación del Lean.
- Desarrollar técnicas Lean que se adecuen a proyectos complejos y dinámicos.

3.2.4.- Obstáculos en la implementación de la CsP

Mientras se implementa *Lean* o cuando surge la propuesta, hay personas que, al ver que se trata de una técnica proveniente del sector industrial, son reacias a su adaptación a la Construcción, justificándolo en las peculiaridades de la construcción analizadas en el apartado anterior.

A estas personas se les debe indicar que, como se ha visto, existen diversas formas de hacer más similar la Construcción a la industria, mediante la normalización de procesos y la prefabricación.

Una de las primeras acciones, como se verá en apartados posteriores, es proteger de la variabilidad y la incertidumbre al flujo del proceso. Ante esta acción, surgen tres comportamientos típicos (24):

- El proteger el flujo es innecesario: Su argumento se basa en pensar que no hace falta hacer más fiable el flujo de valor, y que con la programación general es suficiente para realizar las asignaciones de tareas, haciendo innecesarias las planificaciones semanales de la CsP. Pero la experiencia dice que este argumento es falso, y que las programaciones generales no están lo suficientemente detalladas y bien hechas como para poder realizar asignaciones de manera fiable.

En obras realizadas con la metodología tradicional no se llegan a completar el 60% de las asignaciones planificadas, y a veces no supera el 35% (Ballard&Howell, 1998).

- El proteger el flujo es imposible: Se excusan en que no tienen tiempo para realizar unas correctas asignaciones para los trabajos ya que pierden tiempo para trabajar y esto no puede suceder.

- La protección del flujo ya se realiza: En este caso, se pide a esas personas que revisen sus planificaciones semanales, y el grado de cumplimiento de las actividades planificadas, y busquen motivos o errores en caso de que no sean satisfactorios.

Jose de Paula y otros (25) también indican otro obstáculo en la implementación de la Construcción sin Pérdidas, lo que provoca que se deje de utilizar esta técnica de gestión de proyectos.

Para ellos, un motivo del fracaso en la implementación en diversas empresas constructoras de Brasil, se trata de que implementan las técnicas *Lean* en la fase operacional de sus empresas, sin quedar ligadas a la fase estratégica de las mismas. Por este motivo, a pesar de empezar a implementar *Lean*, no pueden sostener el modelo debido a que la parte importante de la empresa es la que toma decisiones, y esa es la fase estratégica. La fase operacional es la que se encarga de realizar las acciones, pero sigue las pautas de la fase estratégica.

Por ello, para estos autores el motivo por el cual algunas empresas fracasan en la implementación de la Construcción sin Pérdidas y vuelven al modelo tradicional de producción se debe a no ligar la estrategia empresarial con el modelo *Lean*.

Pons (23) recoge las siguientes frases que se utilizan como excusa para no implantar la Construcción sin Pérdidas:

- “Aquí siempre hemos trabajado así”.
- “Esa no es mi responsabilidad”.
- “A mí no me ha dicho nadie nada”.
- “No tengo tiempo para eso”.
- “De todas formas no cambiaría nada”.
- “Otro artilugio que no durará”.
- “Eso no es posible hacerlo aquí”.
- “Hay problemas más importantes”.
- “Ya tenemos bastante trabajo”.
- “Y yo, ¿qué saco con esto?”.
- “Ya lo probamos una vez y no funcionó”.

Por último se recogen en una tabla los principales obstáculos (Tabla 3.4):

Tabla 3.4. Principales obstáculos en la implementación de la Construcción sin Pérdidas.

Fuente: Pons, 2014

Barreras para la implementación de la Construcción sin Pérdidas
Falta de conocimiento del significado de Lean y sus Beneficios
Falta de información
Falta de compromiso por parte de propietario y gerentes
Creencia de que Lean absorberá demasiado tiempo
Pobre comunicación y falta de colaboración entre promotores, constructores, clientes y consultores externos
Dificultad para alinear los intereses de las diferentes partes
Los contratos relacionales se ven como algo no probado aún en los tribunales de justicia
Lean requiere de cambios de pensamiento y de comportamiento que no todos aceptan
Falta de compromiso de los miembros del equipo o rechazo a cambios de actitud

3.2.5.- Soluciones que aporta la CsP

La Industria ha servido como referencia para encontrar soluciones a los problemas de la Construcción. Tanto la idea de que los procesos se normalicen, la prefabricación o la implantación de nueva tecnología provienen de dicho sector.

Desde mediados de los años 90, en el sector industrial se puso de moda por sus excelentes resultados, una nueva filosofía de gestión de la producción, donde las bases y los principios relacionados con el proceso de producción son lo más importante, la filosofía *Lean*, analizada en el apartado 2.- *Filosofía Lean* de este documento. Esta nueva forma de entender la producción, ha permitido al sector industrial conseguir grandes mejoras en la productividad, el rendimiento de los trabajadores, o la disminución de las pérdidas en los procesos.

A continuación se analizan las soluciones propuestas específicamente por la Construcción sin Pérdidas para los problemas que amenazan al sector de la Construcción, consiguiendo minimizar pérdidas e incrementar la productividad.

3.2.5.1.- Principales problemas de la producción en la construcción

En el apartado 3.1.1.- *Estado actual del sector de la Construcción* se han analizado los principales problemas que amenazan el sector, entre ellos su baja productividad. Este problema es resultado de un entendimiento erróneo del proceso de producción del método tradicional de producción, que genera muchas pérdidas que a su vez afectan gravemente a la productividad.

El primer problema que aparece en la producción es la necesidad de gestionar de manera correcta la dependencia y la variabilidad. Para entender la importancia que tienen estos dos conceptos, se cita a continuación el ejemplo propuesto por Greg Howell (16) explicando la importancia de la relación entre ambos conceptos:

“Sitúense en una autopista con tráfico. Desde un punto de vista idealizado, si cada coche condujera exactamente a la misma velocidad, el espacio entre los coches podría ser muy pequeño, para logra el máximo aprovechamiento del espacio de la autopista. De esta manera la capacidad total de la misma se vería limitada por la velocidad que llevaran los coches. Cada coche dependería del de adelante suya, y ocuparía el sitio que deja libre, existiendo una variabilidad del sistema igual a 0. De esta manera idealizada, no existiría un inventario de pavimento de autopista no utilizado, ya que la misma estaría siendo utilizada al 100%.”

¿Qué ocurre en realidad? Los coches ocupan el espacio que dejan libres otros, pero la velocidad no es la misma en todos los casos. ¿Cómo afecta esta variable real al modelo? Cuanto más cercanos son los huecos entre coches, una pequeña variación de velocidad genera una reacción en cadena enorme. Por muy pequeña que sea, puede provocar una gran reacción en cadena de frenazos que hacen que se pierda la velocidad. Y es muy complicado volver a alcanzar la misma velocidad con el mismo régimen de ocupación de la autopista, ya que es muy difícil acelerar suavemente para recuperar la misma distancia con el anterior y adecuar la velocidad para ir todos iguales. Una alta velocidad no asegura un tiempo mínimo de viaje debido a las condiciones de variabilidad y dependencia.

Extrapolando este ejemplo a la construcción, se concluye que un sistema no funciona de manera correcta cuando las relaciones son estrechas y la variabilidad o incertidumbre es muy grande. Esto afecta mucho a la construcción, ya que las actividades están normalmente muy relacionadas entre sí, y la incertidumbre a la vez suele ser muy alta.

Esta reflexión lleva al siguiente problema de la producción en construcción, el saber gestionar la incertidumbre derivada del entorno de trabajo. Se puede distinguir entre los siguientes tipos de incertidumbre:

- En objetivos de proyecto.
- En cómo alcanzar los objetivos de proyecto.
- De disponibilidad de recursos.
- En aprovisionamientos debido al retraso de proveedores.
- Del rendimiento de los recursos.
- De la meteorología y cómo afectará al transcurso de la obra.
- Del cumplimiento del presupuesto.
- Del cumplimiento del cronograma.

Todos estos tipos de incertidumbre son interdependientes. Los objetivos del proyecto pueden variar una vez que se ha obtenido un método para alcanzarlos. Los retrasos en la entrega de materiales pueden afectar a las secuencias de tareas, la duración de las actividades o su coste asociado. El bajo rendimiento de los recursos se incrementa cuando la incertidumbre del proceso es alta debido a que el constructor no puede asegurar qué posible tarea estará disponible para su realización. (24)

Cuando no es posible determinar qué y cuánto trabajo estará disponible en un futuro próximo, es imposible conocer los recursos necesarios y no se puede elaborar planes detallados, ya que podrán realizarse o no, en función de un incierto desarrollo del proyecto.

Ante esta situación de incertidumbre, la respuesta del método tradicional de desarrollo de proyectos ha sido la flexibilidad. Consiste en que los acopios en obra se ven incrementados (gran acopio de materiales en obra), debido a que como no se sabe con certeza qué trabajo se va a poder realizar, se está preparando para dar respuesta a cualquier situación. Ello provoca la duplicidad de recursos, múltiples paradas y comienzos en actividades, incorrectas secuencias de trabajo e ineficacia en el control del proyecto.

3.2.5.2.- Solución a la relación dependencia-asociacionismo y a la variabilidad

Solución a la relación dependencia-asociacionismo:

Ante el problema que surge a resultas de la relación dependencia-variabilidad, gestionar la interacción entre las actividades es esencial para entregar proyectos en poco tiempo. Hay que minimizar el efecto combinado de la dependencia y variabilidad. Para ello es necesario mejorar la fiabilidad en los proyectos y para eso hacen falta nuevas formas gestión.

En estas circunstancias surge el asociacionismo. Consiste en que los responsables de cada actividad deben de ser capaces de comunicar directamente y sin desconfianza a los responsables de los proyectos y a sus compañeros cualquier problema que surja. De esta forma de entender la producción, el asociacionismo es una prueba del fallo de la producción tradicional, pero también supone una oportunidad de colaborar rediseñando el planeamiento del sistema basándose en la coordinación y confianza en el trabajo. (16)

Lean apoya el desarrollo de equipos de trabajo y, con buena voluntad, cambia las cargas de trabajo a lo largo del proceso para asegurarse de que el proceso de producción puede continuar con un buen funcionamiento. Relaciones de asociacionismo junto con la filosofía *Lean* posibilitan una rápida aplicación del concepto.

La confianza surge donde hay seguridad. El asociacionismo genera confianza y *Lean* genera seguridad, por lo tanto estas relaciones se combinan muy bien entre ambas.

Solución a la incertidumbre creada por el entorno:

Ante la incertidumbre del entorno, la Construcción sin Pérdidas propone proteger la producción y estabilizar el entorno. (Fig.3.13)

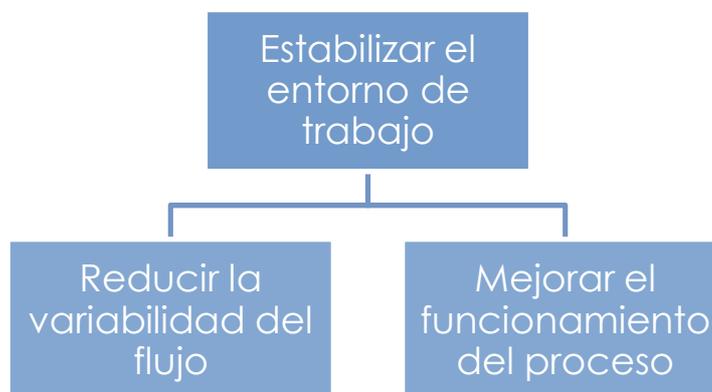


Figura 3.13. Estabilizar el entorno de trabajo.

Fuente: Ballard&Howell, 1994

Para proteger la producción se asignan tareas de calidad, y se incrementa la fiabilidad de los compromisos. Esto se realiza a través de Planes de Trabajo Semanales/*Weekly Work Plan* (PTS/*WWP*).

La protección comienza con la realización de una programación inicial, donde figuran las actividades a realizar. A partir de este plan inicial se calcula cuando serán necesarios los recursos para cada actividad, pero sin definir exactamente la cantidad, quedando un colchón para poder elegir. Cuando se realiza la *WWP*, se revisan los compromisos adquiridos en la programación inicial, se comprueba el trabajo a realizar y se autoriza la producción semanal. Cuando se ha realizado el trabajo, se comprueba el rendimiento del mismo a través del Porcentaje de Actividades Completadas (PAC), para comprobar el grado de cumplimiento de los compromisos adquiridos.

Una *WWP* de calidad debe según Ballard y Howell (24) (Fig.3.14):

- Seleccionar una correcta secuencia de trabajo de las actividades a realizar.
- Seleccionar una correcta cantidad de trabajo a realizar durante la semana.
- El trabajo seleccionado con estos 2 criterios puede realizarse.



Figura 3.14. Realización de WWP de buena calidad.

Fuente: Ballard&Howell, 1994.

Para realizar unas asignaciones de calidad a las actividades se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Definición: ¿Son correctas las asignaciones? ¿El control es adecuado? ¿Se coordinará el trabajo?
- Solidez: ¿Es seguro que se puede realizar el trabajo? ¿Están los recursos disponibles?
- Secuencia: ¿Están ordenadas las actividades de manera correcta, siguiendo las normas de buena construcción?
- Tamaño: ¿Se ajusta el rendimiento de los operarios a la dimensión del trabajo requerido?
- Aprendizaje.

Procedimiento para realizar los compromisos de las WWP (16) (Fig.3.15):

- 1.- Identificar las asignaciones de trabajo disponibles y ordenarlas según prioridad, a través de la información facilitada por el responsable del proyecto y a partir del conocimiento propio.
- 2.- Determinar la disponibilidad de los operarios (vacaciones, bajas u otros motivos por los que no estén disponibles).
- 3.- Asignar el trabajo a cuadrillas de operarios.
- 4.- Si hay más trabajo del que los operarios pueden realizar, éste queda en espera y no se asigna ya que no se podrá realizar esta semana.
- 5.- Si faltan operarios que debían de estar trabajando, se avisa a los encargados.
- 6.- Una vez realizado el plan, se consulta el mismo con los responsables. A partir de ahí se debe garantizar de que el trabajo se realice de manera correcta y segura.
- 7.- Realizar el seguimiento y control del plan, y en caso de haber fallos, identificar las causa.
- 8.-Cada semana, analizar el PAC y analizarlo para mejorar progresivamente.

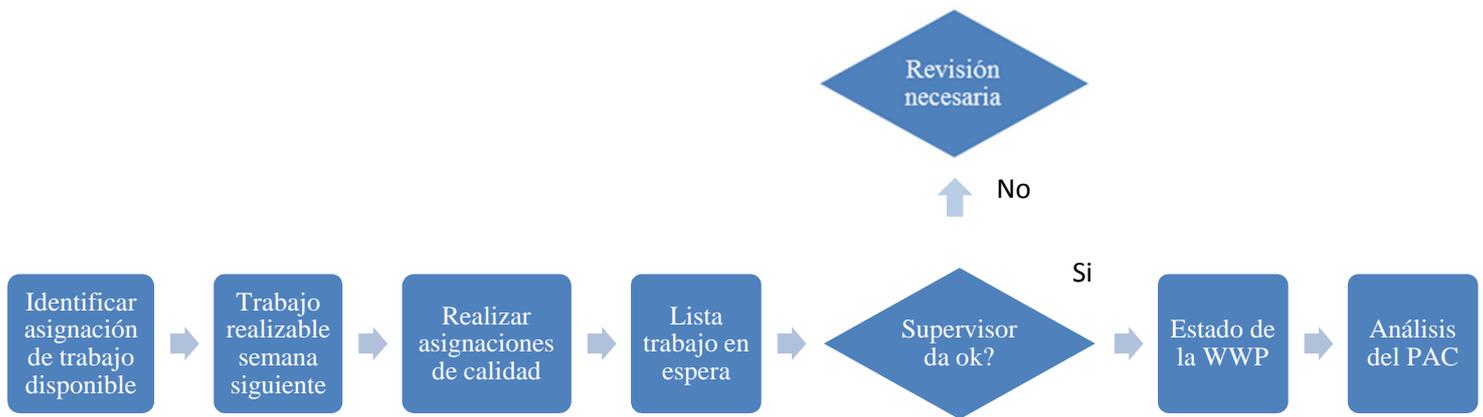


Figura 3.15. Procedimiento de la WWP.

Fuente: Ballard&Howell, 1998.

Proteger la producción para estabilizar el entorno aporta los siguientes beneficios:

- Se introduce certeza y estabilidad en el proceso.
- Se hace lo que se dice que se va a hacer.
- Contratistas y subcontratistas también hacen a lo que se comprometen a realizar.
- No se trabaja con tanta presión y se compromete a seguir aprendiendo y mejorando.
- Se promueve la fiabilidad, porque lo que se ha comprometido se realiza.
- Se mejoran los controles porque se conocen las causas.
- La confusión y la ambigüedad generada por la incertidumbre son minimizados.
- Actividades que no añaden valor se reducen.

3.2.6.- Implicaciones de la CsP

Son muchas y diferentes las implicaciones que tiene la implantación de la Construcción sin Pérdidas respecto con los agentes participantes. Koskela (20) las recogió en tres grandes grupos:

- Implicaciones del mundo académico:

El enfoque actual de la investigación y la enseñanza en carreras o grados relacionados con la construcción (arquitectura, arquitectura técnica...) está basado en el concepto obsoleto del método tradicional. Por ello es necesario que se cambia el enfoque por el método que propone la filosofía *Lean*.

- Implicaciones de un mayor esfuerzo de desarrollo en la construcción:

Los esfuerzos en desarrollar la prefabricación, de estandarizar el sector, desarrollar tecnologías o automatizar la construcción han conseguido mejorar la eficiencia de las actividades que añaden valor. Pero al mismo tiempo también han mejorado actividades que no añaden valor a los productos, por lo que se ha gastado tiempo y dinero en mejorar actividades que no son necesarias. Por eso este esfuerzo en mejorar el sector se debe focalizar hacia la mejora del flujo de trabajo. Koskela (20) da tres ideas para ello:

- Automatizar las actividades que añaden valor al producto.

- Mejorar el flujo del proceso de la construcción antes de realizar la automatización de las actividades AV.

- La mejora continua debe estar presente en todas las fases del proceso.

- Implicaciones para el sector de la construcción

Las empresas ya pueden comenzar la aplicación de los principios, técnicas y herramientas de la Construcción sin Pérdidas, con mejoras en calidad, tiempo y seguridad.

Cambios necesarios para la implantación de la Construcción sin Pérdidas (Pons, 2014)

Inicio de la implantación de la Construcción sin Pérdidas

No supone una inversión cara debido a que las primeras etapas de la implantación se pueden hacer con recursos propios. También se puede invertir en tecnología, pero siempre y cuando venga acompañada de resultados y beneficios, y esté probado y sea fiable.

Cambio de actitud

El sector de la Construcción necesita un cambio de cultura, a nivel de gestión sobre todo, ya que ha sido siempre muy tradicional. Se debe de invertir los beneficios en formación de los empleados, y saber adaptarse a los cambios de manera rápida y flexible.

Cómo afecta a los agentes implicados

- **Proyectistas-Arquitectos:** Se tienen que adaptar a las nuevas tecnologías, y familiarizarse con la utilización de BIM o TIC.

- **Promotores:** Exigir un rol más participativo a la hora de determinar las necesidades del cliente, comprender dificultades del proyecto y participar más en el tema de decisiones del proyecto.

- **Constructores y Suministradores:** La Construcción sin Pérdidas promueve que su intervención en el proyecto se realice en fases mucho más tempranas que en el método tradicional. Por ello van a poder participar en la toma de decisiones y aportar soluciones antes de que se redacte el proyecto definitivo.

Recomendaciones

En su libro, Juan Felipe Pons (23) recoge una tabla del informe de McGraw Hill Construction (2013) donde se proponen una serie de recomendaciones generales y específicas para la implantación de la Construcción sin Pérdidas, que se reproduce a continuación (Tabla 3.5):

Tabla 3.5. Recomendaciones para la implantación de la Construcción sin Pérdidas.

Fuente: McGraw Hill Construction, 2013, citado por Pons, 2014.

Recomendaciones generales	Recomendaciones para el constructor
<p>Proporcionar educación sobre la necesidad de una mayor eficiencia.</p> <p>Las asociaciones del sector tienen que ofrecer más información sobre la Construcción sin Pérdidas, patrocinar la investigación y promocionar la filosofía de la mejora continua.</p>	<p>Adoptar un enfoque de colaboración hacia Lean para maximizar las ganancias.</p> <p>Las empresas deben aprender a trabajar de manera colaborativa para sacarle el mayor beneficio posible a la aplicación de la filosofía y las técnicas Lean.</p>
<p>Crear un software que apoya la necesidad de la colaboración interna y externa.</p> <p>Las empresas de software tienen la oportunidad de crear mejores herramientas para apoyar la tendencia de Lean hacia un forma de trabajar más colaborativa.</p>	<p>Promover y planificar el cambio cultural necesario para una adopción plena de Lean.</p> <p>Las empresas que quieran implantar la Construcción sin Pérdidas necesitan tener en cuenta cómo atraer el interés de sus empleados, como parte de su estrategia.</p>
	<p>Seguir y compartir datos hasta el nivel más bajo posible de la organización.</p> <p>Las empresas que quieran mejorar la eficiencia se beneficiarán más si comprenden y analizan los procesos a nivel de operario, siguiendo cada paso del proceso para ver dónde pueden hacerse las mejoras.</p>

3.2.7.- Beneficios de la CsP (23)

No existen datos sobre la implantación de la Construcción sin Pérdidas en España, sin embargo dos estudios americanos (*Lean en la construcción*, 2012 y McGraw Hill Construction, 2013) indican que de las empresas que lo han implantado, entre un 70% y un 85% de ellos han alcanzado un nivel alto de beneficios, como los siguientes (Tabla 3.6):

Tabla 3.6. Beneficios de la Construcción sin Pérdidas.

Fuente: Pons, 2014.

Informe sobre el estado de Lean en la construcción en EE.UU.	Informe de McGraw Hill Construction sobre la aplicación de Lean Construction
Mejor cumplimiento del presupuesto	Mayor calidad en la construcción
Menor número de cambio de órdenes y pedidos	Mayor satisfacción del cliente
Rendimiento más alto de entregas a tiempo	Mayor productividad
Menor número de accidentes	Mejora de la seguridad
Menor número de demandas y reclamaciones	Reducción de plazos de entrega
Mayor entrega de valor al cliente	Mayor beneficio y reducción de costes
Mayor grado de colaboración	Mejor gestión del riesgo

En España lo más próximo a analizar los beneficios de la Construcción sin Pérdidas es un análisis de la implantación de *Lean* en las empresas del sector industrial. Dicho estudio fue realizado el año 2013 por la Fundación Escuela Organización Industrial. En él se reflejan los siguientes resultados (Fig.3.16):

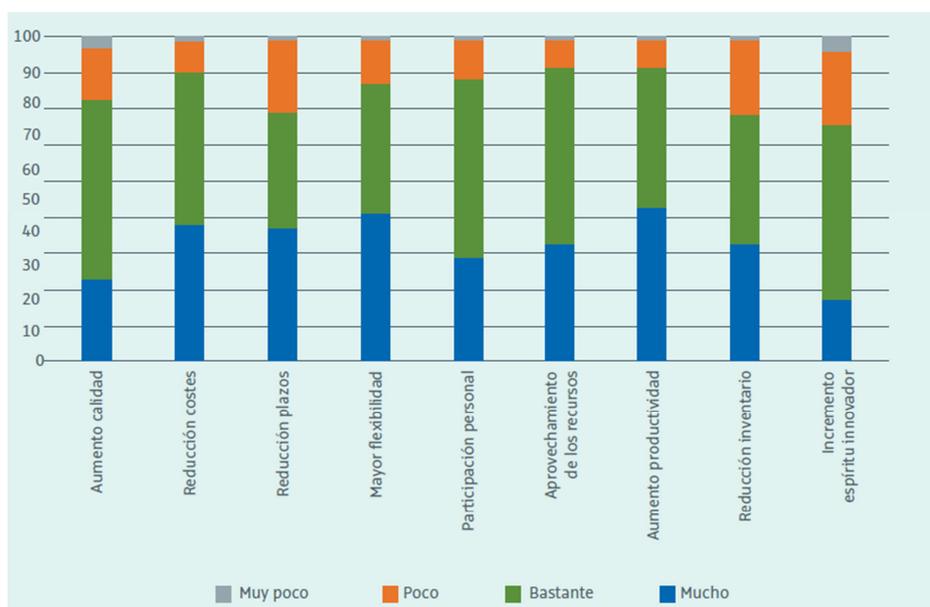


Figura 3.16. Beneficios según estudio de la Fundación Escuela Organización Industrial.

Fuente: Pons, 2014

Este estudio confirma el hecho de que la implantación de *Lean* en las empresas supone un amplio beneficio y proporciona numerosas ventajas competitivas respecto a las empresas que siguen funcionando con el método tradicional. El 90% de las empresas encuestadas valoraron con un mucho o bastante las mejoras obtenidas.

Por último se recogen los obstáculos (analizados previamente en el apartado 3.2.4.- *Obstáculos en la implementación de la CsP*) y los desafíos en la implantación de la Construcción sin Pérdidas en las empresas de la construcción, obtenidos de dos estudios realizados por Sayer y Anderson (obstáculos) y por McGraw Hill Construction (desafíos), recogidos por Pons (23) (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Desafíos y barreras para la implementación de la Construcción sin Pérdidas.

Fuente: Pons, 2014.

Barreras para la implementación de la Construcción sin Pérdidas	Desafíos que afectan a quienes practican Lean	Desafíos que afectan a quienes no practican Lean
Falta de conocimiento del significado de Lean y sus Beneficios	Falta de conocimiento (47%)	Falta de apoyo de la Industria/Comprensión de Lean (39%)
Falta de información	Falta de apoyo suficiente a través del equipo de proyecto (43%)	Percepción de que Lean absorberá demasiado tiempo (33%)
Falta de compromiso por parte de propietario y gerentes	Percepción de que Lean es demasiado complejo (40%)	Falta de conocimiento (32%)
Creencia de que Lean absorberá demasiado tiempo	Resistencia al cambio de los empleados (40%)	Preocupación por la rentabilidad a través de la transición hacia Lean (28%)
Pobre comunicación y falta de colaboración entre promotores, constructores, clientes y consultores externos	Falta de apoyo de la industria/comprensión de Lean (39%)	Percepción de que Lean es demasiado complejo (26%)
Dificultad para alinear los intereses de las diferentes partes	Percepción de que Lean absorberá demasiado tiempo (31%)	Falta de apoyo suficiente a través del equipo de proyecto (25%)
Los contratos relacionales se ven como algo no probado aún en los tribunales de justicia	Falta de normas o estándares (19%)	Falta de normas o estándares (18%)
Lean requiere de cambios de pensamiento y de comportamiento que no todos aceptan	Preocupación por la rentabilidad a través de la transición hacia Lean (9%)	Resistencia al cambio de los empleados (18%)
Falta de compromiso de los miembros del equipo o rechazo a cambios de actitud	Reticencias sindicales (5%)	Reticencias sindicales (16%)

3.3.- Técnicas de aplicación de la CsP

En este apartado se van a analizar técnicas de aplicación de la Construcción sin Pérdidas, algunas que se han creado únicamente para el sector de la construcción, y otras que ya se han analizado en el apartado 2.4.- *Técnicas de aplicación* , pero analizadas para su aplicación a la construcción.

3.3.1.- Sistema del Último Planificador/*Last Planner System* (SUP/LPS)

3.3.1.1.- Conceptos básicos

¿Qué es LPS?

Last Planner System es una técnica de aplicación de la CsP que posee dos aspectos claves: El control de la producción unitaria y del flujo de trabajo.

El control de la producción unitaria sirve para realizar mejores asignaciones, aprendiendo constantemente para la mejora continua. Para realizar un buen control unitario es importante que las WWP sean de calidad, y cumplan con los requisitos analizados en el apartado 3.2.5.2.- *Solución a la relación dependencia-asociacionismo y a la variabilidad*, en el apartado solución al entorno de trabajo.

El control de flujo de trabajo sirve para generar un flujo de trabajo entre las unidades, en la mejor secuencia posible. Para ello se apoya en el nivel de planificación intermedia que se analizará más adelante.

El *Last Planner* se basa en la filosofía *Lean*, y su objetivo es lograr un flujo de trabajo continuo y el aumento de la productividad. Permite trasladar los objetivos del proyecto a las actividades diarias, trabajando por zonas y programando en cascada: Se organizan tres niveles, programación a largo plazo/*Main Progra*), a medio plazo/*Lookahead* y a corto plazo (WWP). (26). Está diseñado para mejorar y estabilizar el entorno de trabajo, aumentando la fiabilidad de la planificación. Esto es posible si se actúa en los tres niveles de programación anteriores.

Permite la gestión colaborativa de las relaciones y comunicaciones necesarias para garantizar una coordinación efectiva, una planificación de la producción y la entrega de proyectos. (27)

Con la figura del Último Planificador/*Last Planner* (UP/LP) se decide finalmente que será realizado y por quién. Es una función que puede realizar cualquiera de las siguientes personas:

- Capataz
- Jefe de obra
- Supervisor
- Subcontratista
- Gestor
- Otros

- Evolución histórica:

El *Last Planner System* se desarrolla en sus inicios para la mejora de la calidad de los planes semanales en la industria, en el control de proyectos de metalurgia. Así comenzaron a desarrollar Ballard y Howell este potente método de planificación colaborativa. En su tesis doctoral, Ballard (28) incluyó un proceso de búsqueda de restricciones para mejorar el control del flujo de trabajo. De esta forma LPS encaja con los principios del sistema de producción Toyota, la producción ajustada y el pensamiento desarrollado por Koskela desde 1992. (27)

El inicio de LPS se ha asociado a Ballard y la tesis ya citada del 2000, pero “*realmente supone una evolución y mejora de las herramientas tradicionales de programación en cascada*”. (27). Lo que realmente hizo Ballard es mejorar la fiabilidad del flujo de trabajo y desarrollar una herramienta de cuantificación de la productividad, que eran los aspectos a mejorar del LPS en aquella época.

Los beneficios derivados de implementar LPS han sido tales que ya se han aplicado en diversas obras de países como Estados Unidos, Reino Unido, Dinamarca, Finlandia, Australia, Indonesia, Venezuela, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador y Perú. (27) (Fig.3.17)



Figura 3.17. Países que utilizan de LPS.

Fuente: Elaboración propia.

Conceptos novedosos que aporta el LPS son la colaboración entre agentes, la planificación conjunta de todos los participantes del proceso edificatorio, los compromisos de ejecución de actividades y el concepto de cliente global, tanto externo e interno.

- Evolución conceptual:

El primer paso que se realizó fue constatar que a causa del trabajo en un entorno incierto e inestable, las planificaciones no eran fiables, teniendo que planificar muy próximo a la fecha de ejecución. Ello provocaba que de las actividades previstas a realizar en una semana de trabajo, menos de la mitad fueran realizadas. Para evitarlo e intentar realizar los trabajos comprometidos cada semana, aparece el primer elemento de LPS: Realizar asignaciones de trabajo de calidad. Para ello se siguen los 5 principios analizados en el apartado 3.2.5.2.- *Solución a la relación dependencia-asociacionismo y a la variabilidad*, citados a continuación:

- Definición
- Solidez
- Secuencia
- Tamaño
- Aprendizaje

Que son lo que Ballard y Howell (29) denominaron Protección de la producción/*Shielding Production*.

Sin embargo, dicha protección por sí sola no es capaz de evitar problemas por fallos de suministro, o escasa cantidad de trabajo. Por ello LPS evoluciona implementando la WWP. Su objetivo es controlar el flujo de trabajo y hacer que las asignaciones de calidad que ya se realizaban estén listas para su ejecución.

En este punto, el LPS ya tenía asignaciones de calidad y un control semanal sobre el flujo de trabajo. Lo siguiente en implementarse fue el *lookahead*, con la intención de controlar las WWP. Era un concepto que ya se utilizaba en el sector pero se le cambian y amplía tanto el concepto como los objetivos.

Por último se añadió la planificación conjunta a través de la *Pull Session*, mediante la que todos los agentes implicados realizaban la planificación de la obra.

Principios del LPS

Botero Toro (30) recoge en su tesis los siguientes principios del LPS:

- Ninguna tarea debe comenzar sin antes tener los requerimientos listos para esa tarea. Así se minimiza la cantidad de trabajo en condiciones no óptimas.
- La realización de todas las tareas tiene control y seguimiento por medio del porcentaje de actividades completadas. De esta forma disminuye el riesgo de añadir variabilidad a las etapas posteriores.
- Las causas de no cumplimiento de las actividades no realizadas deber ser investigadas y corregidas.
- Siempre se deben tener actividades en reserva con el fin de que sean el camino a tomar en la situación de no poder cumplir con una actividad propuesta.
- En el *lookahead* se deben identificar los requerimientos y deben enfocarse todos los esfuerzos por tenerlos listos.

Se puede, se debe, se hará

Una de las grandes innovaciones que conlleva la utilización de LPS es la manera de seleccionar las tareas que van a ejecutarse semanalmente. Es lo que se conoce como asignación o actividades, que consiste en la comunicación de los requisitos del UP a los equipos que materializan el trabajo. Además implica un compromiso ante el resto de las empresas de que el trabajo se realizará.

La gestión tradicional planifica las tareas con relación a lo que **debe** ser ejecutado, considerando que los recursos necesarios para su realización estarán disponibles. Esto genera una gran presión al responsable del control de la producción, el UP, ya que su trabajo se valorará en función del grado de cumplimiento de la planificación, la que unido a posibles fallos y retrasos en la entrega de materiales o la falta de información, hace imposible que el “**se hará**” coincida con el “**debe**”, haciendo que la planificación no se cumpla.

Ante esta situación de incumplimiento, LPS propone que la planificación se haga teniendo en cuenta el “**se debe**”, como antes, pero ahora no se da por supuesto que los recursos estarán disponibles, sino que a la vez se considera el “**se puede**”. De esta manera se condiciona la programación prevista con las restricciones de recursos, prerequisites y se consigue que el **se hará** se pueda realizar. (Fig.3.18)

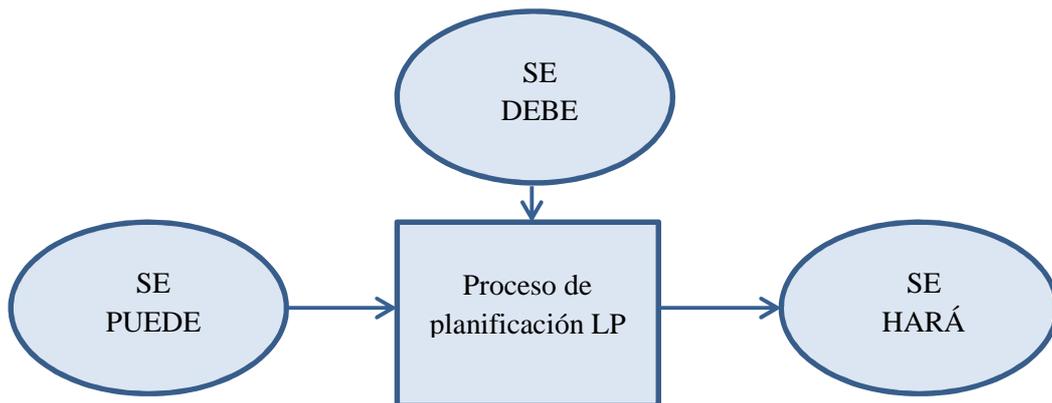


Figura 3.18. Se puede-se debe- se hará.

Fuente: Ballard, 2000.

Cerveró (31) define los tres conceptos de la siguiente manera:

- Se debe: Se fijan los objetivos globales teniendo en cuenta las restricciones del proyecto.
- Se puede: Se utilizan estos objetivos para planificar procesos más detallados y se especifican los medios necesarios para conseguir los objetivos.
- Se hará: Se eliminan las restricciones y el UP decide que hará y se compromete a ello.

En la gestión tradicional, como se ha analizado en los párrafos anteriores, la planificación (“**se hará**”) se realiza considerando solo el “**debe**”, se olvida del “**puede**”. Esto provoca que no se logren todos los compromisos, ya que el “**se hará**”, lo que se ha comprometido, al no tener en cuenta el “**se puede**”, es más grande de lo que se puede realizar, y por ello no se cumple con lo programado. (Fig.3.19)



Figura 3.19. Interrelación de actividades en programación según método tradicional.

Fuente: Alarcón, 2001.

En cambio LPS sí considera el “**puede**”, y eso se refleja en el cumplimiento del “**se hará**”, ya que el “**se puede**” es más grande que los compromisos del “**se hará**”. (Fig.3.20)

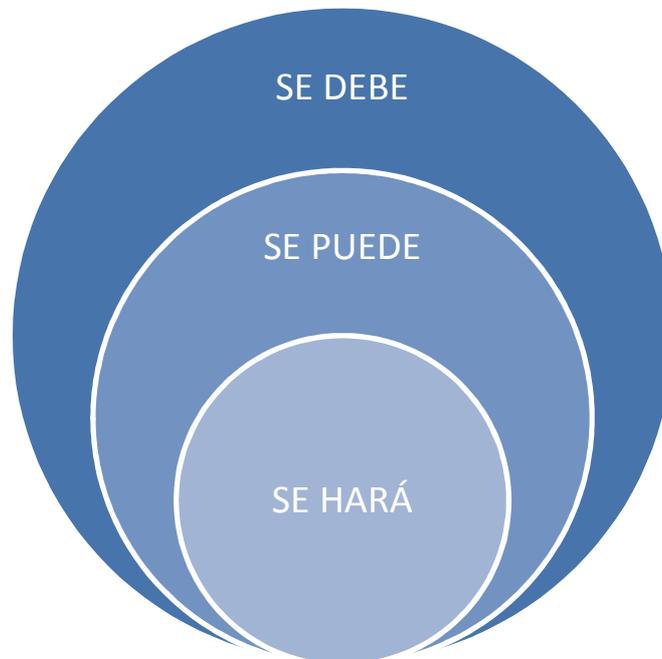


Figura 3.20. Interrelación de actividades en programación según LPS.

Fuente: Alarcón, 2001.

Por último, se relacionan los tres niveles de programación que se desarrollarán en apartados posteriores con el “se puede”, “se debe” y “se hará”. (Fig.3.21)

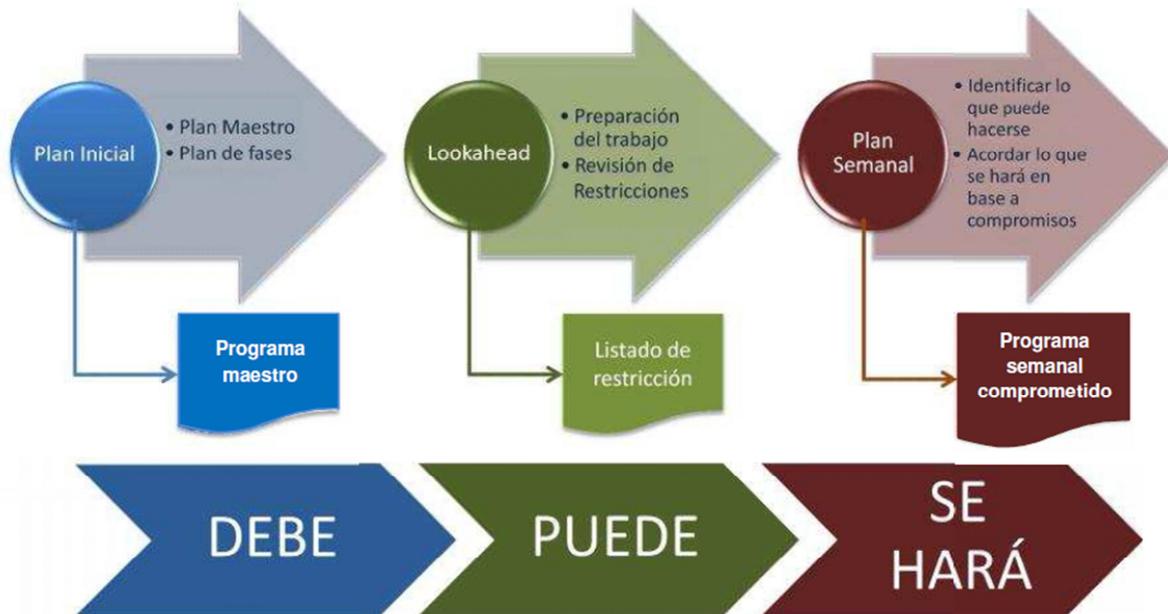


Figura 3.21. Interrelación entre los programas.

Fuente: Sanchís Mestre, 2013, citando a Alarcón, 2001.

Prerrequisitos y restricciones

Una vez se han realizado las asignaciones, se deben conocer las restricciones y los prerrequisitos de cada actividad.

- Los prerrequisitos son todas aquellas acciones o actividades que deben haberse realizado antes de que se realice la actividad concreta. Hasta que el prerrequisito no haya finalizado o se considere como “liberado”, la actividad no podrá realizarse. Se consideran prerrequisitos algunas de las siguientes acciones:

- Especificaciones de planos
- Equipos
- Claridad de trabajo

- Al igual que los prerrequisitos, las restricciones suponen un impedimento para la realización de las actividades. Ballard (28) considera las siguientes restricciones:

- | | |
|----------------|-----------------------|
| - Contratos | - Diseño |
| - Materiales | - Trabajos anteriores |
| - Espacio | - Equipamientos |
| - Inspecciones | - Otros |

Todas las restricciones que vayan apareciendo se anotan, con el fin de mejorar de forma continua.

Pull vs Push

Push es un método de introducir materiales e información dentro de un proceso. La alternativa es “empujar” (“*push*”) las entradas a través de objetivos de entregas y de un porcentaje de completación de actividades.

Las planificaciones realizadas por el método tradicional han sido realizadas con el sistema *push*. Se ha programado del principio al final, haciendo que cada actividad empuje el comienzo de la siguiente para cumplir los plazos. (Fig.2.32)



Figura 3.22. Sistema Push.

Fuente: Ballard, 2000

En cambio el método *Pull*, propuesto por LPS, permite comenzar una actividad cuando realmente es necesaria, cuando se puede realizar el trabajo. Se programa del final la comienzo, tirando las actividades una de otra. (Fig.3.23)

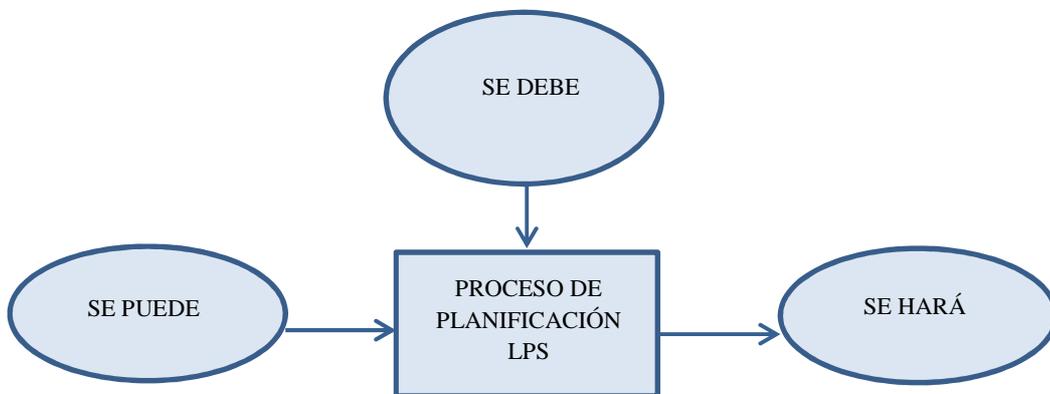


Figura 3.23. Sistema Pull.

Fuente: Ballard, 2000

Para realizar las asignaciones LPS utiliza técnicas *pull*, por lo que LPS es un sistema *pull*.

3.3.1.2.- Niveles de programación de LPS⁴

Estructura de trabajo

En LPS existen tres niveles de programación: Programación a largo plazo/*Pull session*, Programación intermedia/*lookahead* o a medio plazo, y la Programación a corto plazo/*Weekly Work Plan*. Cuanto más alto es el nivel (más largo es el periodo que abarca) más general es la programación y menor el nivel de detalle de las actividades. En cambio, cuanto más bajo es el nivel (el periodo que abarca es más corto) más se puede especificar la planificación, obteniendo mayor nivel de detalle.

A continuación se van a analizar los tres niveles de programación. Previa a estas planificaciones, se realiza una programación general, con los plazos de ejecución y recursos que se prevé utilizar para tener una primera idea general del proceso.

Programación a largo plazo/*Pull session*

Se trata de una planificación en equipo en la que los participantes (un representante de cada empresa que participa en la ejecución del proyecto, con poder de decisión) deciden como deben realizarse los trabajos para poder cumplir con la fecha término definida en la programación general. (Fig.3.25)

Se identifica cada fase y las actividades que la forman, con las fechas de inicio y fin del plan general las fechas de inicio y fin previstas. Se puede dividir la planificación por sectores, zonas o responsables. Para realizar la programación se utilizará *post-it* de colores; cada empresa tiene un color asociado para identificar sus actividades lo que a la vez suponen su compromiso.

Se comienza a planificar desde el final, avanzando hacia atrás de manera que se liberan actividades hasta llegar a obtener al final una red lógica con la planificación. En los *post-it* además de la actividad pueden figurar más datos como duración, número de recursos, etc. (Fig.3.24)

⁴ Apartado realizado siguiendo las pautas recogidas por Ballard en su White Paper nº7, 2000, su tesis, por Sanchís Mestre, 2013, y por Botero Toro, 2014.



Figura 3.24. Post-it para pull session.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.25. Pull session.

Fuente: www.myvplanner.com

Una consideración muy importante sobre la duración de las actividades es que no debe incrementarse por colchones, es decir, debe de ser la duración real, sin holguras por posibles imprevistos que puedan surgir durante la ejecución. El cronograma que se obtiene es una red de compromisos de las empresas, con fuerza equivalente a la de un contrato, y no se puede cambiar salvo en los siguientes supuestos:

- Cambio del contrato principal
- Acuerdo del equipo de trabajo en que no se puede cumplir con el cronograma previsto.
- Determinación de una manera mejor y más rápida para hacer el trabajo.

La *pull session* es la base del *lookahead* y de la WWP.

Normas a seguir en la *pull session*:

- Facilitador:

- Nadie es más adecuado que otro: depende de la química del equipo y de quién sabe más de cada fase.

- No debe dar soluciones, sino mantener un hilo conductor para impulsar las soluciones.

- Tamaño y duración de las fases:

- Acotadas, de duración razonable. Idealmente sin demasiados participantes.

- Los participantes deben ir preparados y con suficiente información, tener una visión global de cada fase, suficiente experiencia y “autoridad” para comprometerse en relación al proyecto.

- “*PULL*” (Tirar) es el concepto más complicado de hacer entender y aceptar a la gente. No se está acostumbrado a programar de atrás hacia delante. Exige cambiar completamente la mentalidad: “Tirar de las tareas” *PULLING Tasks*. En la programación tradicional cada tarea empuja a la siguiente, con la programación de atrás hacia adelante se parte de cuándo se necesita una tarea acabada según el programa, para elegir su inicio, de manera que la última tarea a realizar “Tira” (*PULL*) de la anterior.

- Más sencilla de realizar si se ha establecido una estrategia clave de trabajo.

- El número de actividades las define el equipo según sus necesidades.

- Solape de tareas: en muchas ocasiones lo más sencillo es fragmentar la primera en subtareas para poder liberar a la siguiente (mejor que liberar a la siguiente en incrementos establecidos).

- Las duraciones se determinan en días hábiles (no en calendario).

- No se acaba la reunión hasta estar seguros de que se puede entregar la obra en el tiempo requerido (con una duración máxima de 4 horas).

Beneficios de la *pull session* para el equipo y cada integrante:

- Mejor comprensión del valor del proyecto

- Oportunidad de conocer y familiarizarse con los otros miembros del equipo mientras planifican el trabajo.

- Cada miembro sabe lo que los otros miembros del equipo necesitan para realizar sus tareas, lo que es importante para el éxito de los demás.

- Trabajo planificado de manera que todos entienden y se ponen de acuerdo sobre lo que se debe hacer y cuándo. El equipo sabe cómo prepararse para llevar a cabo sus compromisos.

- Visualización de una secuencia lógica de actividades y la duración de las mismas.

- Gráficos de Gantt creados a partir de la agenda del equipo: y por tanto creíbles.
- Se reconoce como propio el programa que se emplea para crear el lookahead durante el resto de la fase de proyecto.

Preparación de los participantes:

- Deben revisar el actual conjunto de planes, no sólo por su ámbito de trabajo, sino también para entender cómo su producto de trabajo apoya los esfuerzos de los demás.
- También la fijación de precios que proporcionaron o utilizado en sus intentos por comprender los riesgos y las oportunidades que se han identificado hasta la fecha. Deben estar preparados para discutir formas alternativas de la realización de su trabajo (y ser capaces de comprometerse a realizarla de forma alternativa).
- Deben estar familiarizados con los "hitos" y las actividades que aparecen.

Programación intermedia/lookahead

Es el 2º nivel de programación de LPS, la planificación intermedia, donde cobran importancia las actividades de futuro cercano. Su principal objetivo es controlar el flujo de trabajo (coordinación de diseño, proveedores, recursos humanos, información y requisitos previos).

La planificación intermedia también se utiliza en el método tradicional, para conocer las actividades que se deben realizar según la planificación general. Sin embargo, el concepto de *lookahead* o planificación a medio plazo para LPS implica otro significado y otros objetivos. Según Ballard (28) el *lookahead* posibilita la realización de las siguientes funciones:

- Formar el número y secuencia del flujo de trabajo.
- Adaptar el flujo de trabajo y la capacidad.
- Descomponer la planificación general en pequeños paquetes de trabajos y operaciones.
- Desarrollar métodos de trabajo.
- Mantener un inventario de trabajos disponibles.
- Actualizar y revisar la planificación general cuando se requiere.

Periodo de análisis:

El número de semanas que abarca la ventana de análisis del *lookahead* puede variar entre las 3 y 12 semanas, siendo el plazo de entre 4 y 6 semanas lo más habitual. Los criterios en los que se basa el tamaño del periodo de análisis son:

- Características generales del proyecto.
- Fiabilidad de la planificación.
- Tiempos de servicio de proveedores.
- Equipos de trabajo.

Cuanto peor sean las condiciones anteriores, mayor será el periodo de análisis requerido para un mejor funcionamiento del flujo de trabajo. La figura 3.26 representa un esquema del funcionamiento del *lookahead*.

Actividades:

Una vez se conoce el periodo de la ventana del *lookahead*, se pueden conocer las actividades que se deben realizar según la planificación general. Cada tarea o actividad tiene asociadas unas restricciones que hacen que se puedan realizar o no. Se deben identificar todas ellas y entonces pasar a la siguiente etapa de análisis las restricciones.

Análisis de las restricciones:

En el apartado anterior 3.3.1.1.- *Conceptos básicos* se han analizado prerequisites y restricciones. A continuación se describen los pasos necesarios para conocer y liberar las restricciones:

- **Revisión:** Se conoce el estado de las actividades con respecto a sus restricciones y la posibilidad de que esa actividad comience antes de lo previsto. Según sea la respuesta a estas dos cuestiones existen distintas posibilidades: Adelanto del comienzo de la actividad o retraso respecto a su fecha establecida en la planificación general. Esta es por lo tanto la 1ª opción de conseguir estabilizar el flujo de trabajo.

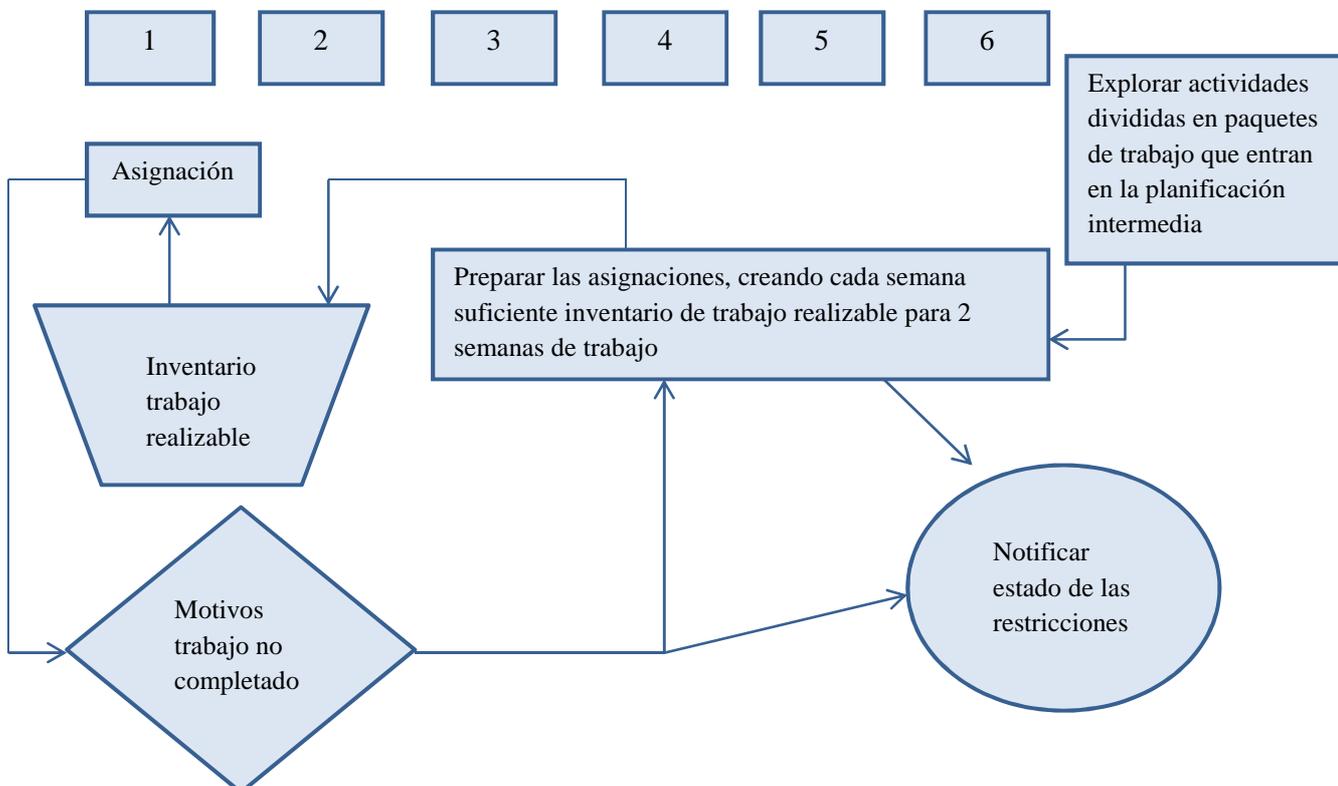


Figura 3.26. Proceso de *lookahead* para periodo de 6 semanas.

Fuente: Ballard, 2000.

- Preparación de las restricciones: La intención de este paso es liberar las actividades de restricciones, de manera que estén disponibles para ser ejecutadas. Para ello se siguen tres etapas:

- Conocer el tiempo de respuesta: Se trata de conocer quién será el último responsable en la liberación de restricciones de la actividad, y cuánto tardará, para conocer la fecha de comienzo de la siguiente actividad. El periodo deber ser inferior del *lookahead*, porque si no, no entra en el periodo de análisis. Es muy importante mantener un contacto activo con los proveedores para evitar sorpresas e imprevistos por retrasos en las entregas.

- Arrastrar: Saber con certeza las necesidades del proveedor para completar la actividad que comienza.

- Apresurar: Si el periodo es demasiado largo, se asignan recursos adicionales para acelerar el proceso.

Inventario de trabajo realizable (ITR):

Todas aquellas actividades liberadas de restricciones que son susceptibles de ser ejecutadas. Pueden ser tres tipos:

- Del ITR de la semana anterior.
- Del ITR de la semana planificada.
- Del ITR de dos semanas futuras. Es la situación ideal para cualquier planificador.

Programación a corto plazo/Weekly Work Plan

La planificación semanal es el tercer nivel de programación del LPS, y es cuando la planificación presenta un mayor nivel de detalle. La realiza el UP.

Formación de la programación semanal:

Debe seguir las instrucciones para realizar asignaciones de calidad. Para ello se proponen los 5 criterios especificados en el apartado 3.2.5.2.- *Solución a la relación dependencia-asociacionismo y a la variabilidad:*

Porcentaje de actividades completadas (PAC):

Consiste en una medición del grado de cumplimiento de, como indica su nombre, las actividades que se ha comprometido realizar. El objetivo es medir el grado de cumplimiento de la WWP para estimar la calidad. Este paso es muy importante, ya que permite el aprendizaje de los errores y por tanto de mejora. No mide el alcance de la obra, sólo el cumplimiento del trabajo que se han comprometido a realizar. (Fig.3.27)

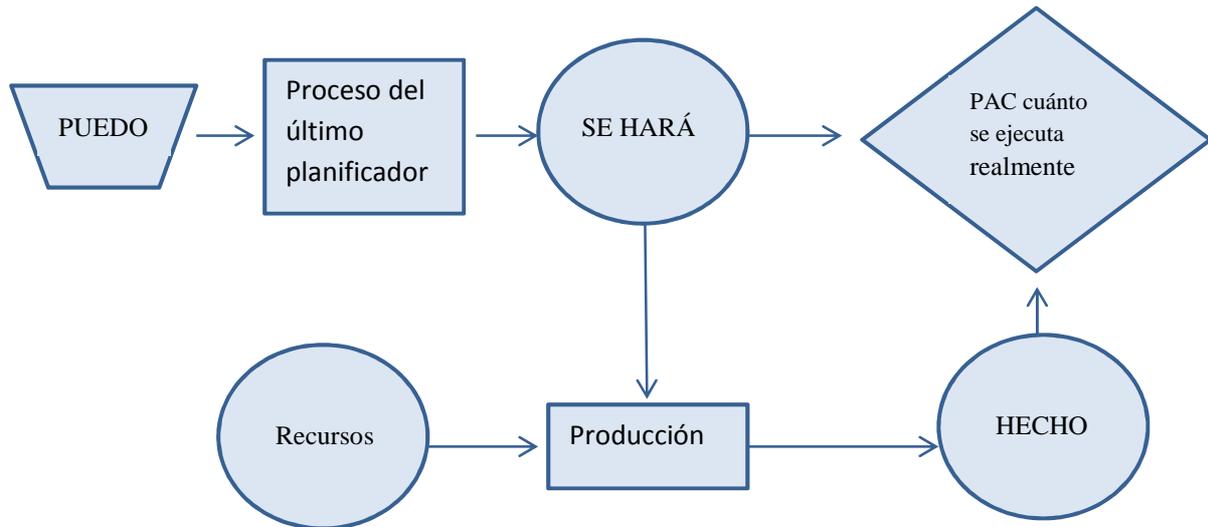


Figura 3.27. Porcentaje Actividades Completadas.

Fuente: Ballard, 2000 citado por Sanchís Mestre, 2013

Reunión para la WWP:

Es una reunión que se celebra la semana previa con los propósitos son los siguientes (27):

- Revisar y aprender del PAC de la semana anterior.
- Analizar las Causas de No Cumplimiento.
- Tomar acciones para mitigar las Causas de No Cumplimiento.
- Realizar un paralelo entre los objetivos alcanzados y los propuestos por el proyecto.
- Determinar las actividades que entran en la planificación *Lookahead*, analizando y responsabilizando las restricciones de cada tarea ingresada.
- Realizar un adecuado análisis de las restricciones (revisión y preparación).
- Determinar el ITE para la próxima semana.
- Formular el plan de trabajo para la semana siguiente.

3.3.1.3.- Beneficios

En la siguiente tabla figuran algunos de los beneficios derivados de LPS, según autores como AlSehaimi (27) o Botero (32): (Tabla 3.8)

Tabla 3.8. Beneficios del LPS.

Fuente: Elaboración propia.

BENEFICIOS DEL LPS
Permitir a los UP planificar su carga de trabajo
Mejorar el proceso de aprendizaje
Mejorar la planificación y el control
Mejorar la precisión de los recursos necesarios
Disminuir la incertidumbre
Preparar y fomentar el trabajo en equipo
Mejorar la gestión
Mejorar la comunicación
Mejorar el cumplimiento de actividades
Control y medición de lo que se ejecuta
Mejora continua

3.3.1.4.- Conclusiones

El LPS permite controlar la producción en la gestión de los proyectos. Es un mecanismo para transformar lo que se debe hacer en lo que se puede hacer, teniendo un inventario de trabajo ejecutable preparado a través del uso del *lookahead* y de la WWP. Las asignaciones realizadas en la WWP suponen el compromiso firme de que el trabajo se realizará.

En la figura 3.28, el esquema global de LPS:

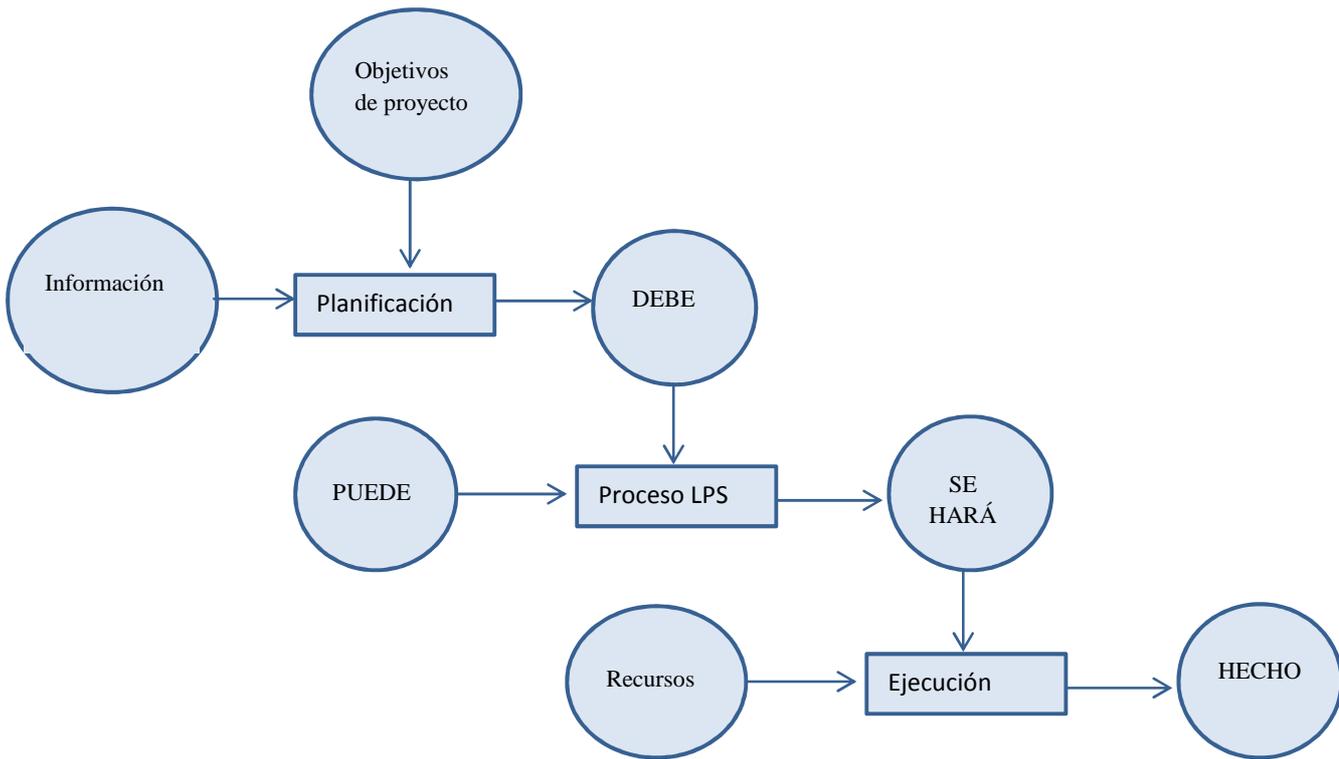


Figura 3.28. Last Planner System o Sistema del Último Planificador.

Fuente: Ballard, 2000.

3.3.2.- Lean Approach Process (LAP)

En el apartado 2.4.2.- *Hoshin Kanri* se analiza la técnica *Lean* de Hoshin Kanri. Para ponerla en práctica, en Construcción se ha desarrollado el *Lean Approach Process* (LAP) [Napolitano, (33)] que facilita la implantación de *Lean* en las empresas constructoras, o en el desarrollo de proyectos o procesos. Su eficacia se ha comprobado de manera satisfactoria en diversos proyectos desarrollados en América en la empresa donde trabaja Napolitano.

LAP está basado en los 5 principios de Womack y Jones (2) y está relacionado con el ciclo de Deming, el PDCA, como un proceso de mejora continua. A continuación se analiza que propone LAP con respecto a los 5 principios de *Lean*:

- Identificar, qué es el valor para el cliente. Todos los agentes participantes en el proyecto crean una matriz de valores. Para ello, previamente han de definir qué es para ellos el valor y qué significa. A partir de sus definiciones individuales, se construye la matriz de valores agrupando significados similares por columnas. Cada columna recibe un nombre que defina todos los valores que agrupa. Son los True North Indicators (TNI).

Si existen muchos TNI, es necesario compararlos entre sí para saber cuáles son los principales, con mayor impacto, y cuáles son los secundarios, que dependen de los principales.

3.3.3.- Lean Project Delivery System (LPDS) e Integrated Project Delivery (IPD)

En este apartado se desarrollan LPDS e IPD, dos técnicas muy similares que se diferencian en aspectos menores que se analizan más adelante.

3.3.3.1.- Concepto de LPDS

Una técnica *Lean*, desarrollada por Ballard en el año 2000 (34) y actualizada por el mismo autor en el 2008. Consiste en gestionar un proyecto durante todas sus fases de manera colaborativa. Se forma un equipo de trabajo responsable de compatibilizar los objetivos finales con los recursos disponibles y las restricciones existentes.

Lichtig (35) define las siguientes características fundamentales:

- El proyecto se organiza y gestiona como un proceso que genera valor.
- Los agentes que intervienen en procesos tradicionalmente tardíos se involucran también en la planificación inicial y en el desarrollo del proyecto de ejecución por medio de equipos multi-disciplinarios.
- El control del proyecto tiene una función ejecutiva, no espera a que se cometa un error para detectarlo.
- Los esfuerzos se centran en conseguir un flujo de trabajo estable, no en aumentar la productividad.
 - Las técnicas *pull* se utilizan para manejar el flujo de información y materiales.
 - Los acopios de materiales se usan para absorber variaciones.
 - Los ciclos de “*feedback*” o retroalimentación se incorporan en cada nivel, para poder realizar ajustes rápidos.

El modelo de LPDS está organizado en 5 fases: Definición del proyecto, Diseño *Lean*, Suministro *Lean*, Ensamblaje *Lean* y Uso y Mantenimiento. A su vez, cada fase está compuesta por diferentes etapas, considerándose un total de 11 etapas. Además, el módulo de control de producción y la estructuración del trabajo están presentes en todas las fases, y el proceso genera un bucle de aprendizaje. (Fig.3.30)

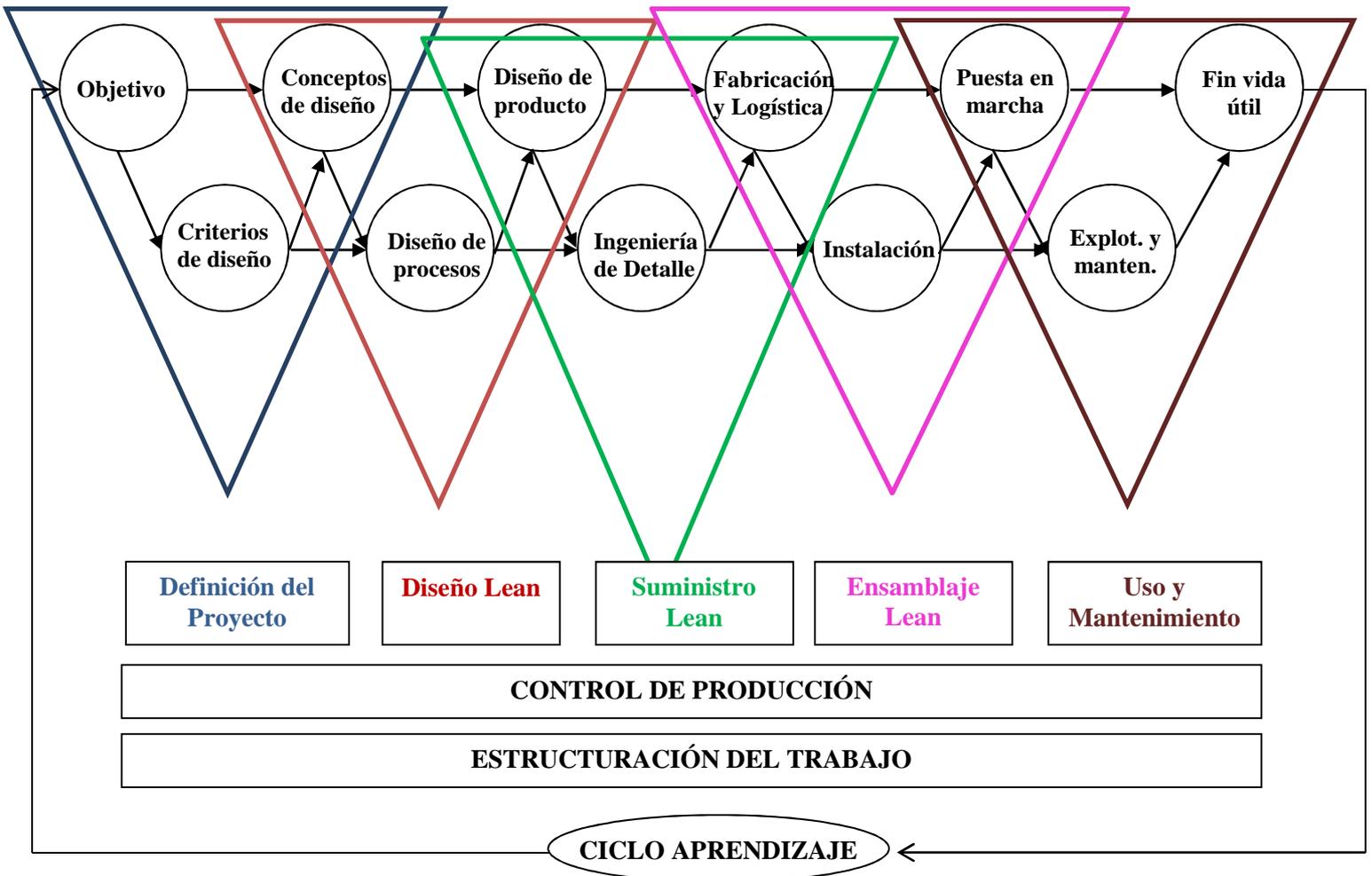


Figura 3.30. *Lean Project Delivery System*

Fuente: Ballard, 2008

El cliente define qué es lo que quiere y sus restricciones (localización, coste, tiempo). Define el coste estimado del proyecto. El equipo debe entender estos requisitos para ofrecer el mejor valor al cliente.

En el apartado siguiente se analizan las 5 fases de un proyecto LPDS.

3.3.3.2.- Fases de un proyecto según LPDS

En la figura 3.30 se observan las 5 fases de un proyecto LPDS que son analizadas a continuación: Definición del Proyecto, Diseño Lean, Suministro Lean, Ensamblaje Lean y Uso y mantenimiento.

Fase Definición del Proyecto

Al comienzo de esta fase se reúnen todos los colaboradores. El equipo proyectista (formado no solo por arquitectos, sino también por constructores e ingenieros) trabaja junto al promotor para definir el proyecto; analizan qué quieren los clientes y “traducen” esos propósitos en requisitos específicos. Es muy importante identificar bien los propósitos y analizar cómo se utilizarán en un futuro la edificación para proyectarla de la mejor manera y construirla con el máximo valor posible.

Durante esta fase el cliente define el coste que puede asignar el proyecto, que no debe verse superado en ningún momento de su ciclo de vida. El equipo de trabajo define el coste esperado, que consiste en los costes de la ejecución del proyecto mediante las mejores prácticas. A partir de experiencias anteriores similares, análisis de obras parecidas o de simulación de los costes en base a la experiencia del equipo. El coste esperado debe ser menor que el coste permitido. Por último está el coste objetivo (o *target costing*) que es menor que el coste esperado. Se analiza en el apartado 3.3.3.3.- Coste objetivo/Target Costing.

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

Para alcanzar el coste objetivo se establecen objetivos intermedios como la factibilidad de la construcción, el montaje, la flexibilidad, la sostenibilidad, la durabilidad, etc. (23)

Fase Diseño *Lean*

En esta fase el equipo presenta diferentes propuestas considerando los requisitos del cliente, las restricciones del proyecto y el coste objetivo. Así se obtiene la propuesta que mejor cumple con los requisitos y aporta mayor valor. En esta fase está presente una de las mayores ventajas de LPDS: Al colaborar desde el comienzo todos los intervinientes, se evitan muchos costes de modificaciones y revisiones en el proyecto debido a indefiniciones, y ello se traduce en ahorros económicos muy importantes.

Fase Suministro *Lean*

Consiste en la ingeniería de detalle, la fabricación y entrega. Se proyecta de manera que funcione como un sistema JIT para la entrega de materiales de obra, suministrando lo necesario en el momento requerido. El LPS funciona bien, ya que trabaja como un sistema JIT, disminuyendo la variabilidad y aumentando la estabilidad, lo que permite reducir las pérdidas.

Fase Ejecución *Lean*

Esta fase se inicia con la entrega de información, productos y sistemas y demás recursos para la ejecución de la obra, y termina con la entrega y puesta en servicio de la misma.

En esta fase también se utiliza el LPS, cuya función es la de controlar la producción y mantener el flujo de trabajo.

Fase de Uso y Mantenimiento

Comienza una vez la obra se entrega y se pone en funcionamiento, y finaliza con la explotación y conservación del edificio.

3.3.3.3.- Coste objetivo/Target Costing

Es una práctica de gestión que busca proyectar para entregar el valor al cliente cumpliendo con las restricciones. Se comienza a trabajar con los clientes para comprender sus necesidades y cómo se puede entregar su valor, de manera que los esfuerzos se centren en la mejora de los flujos que lo crean y se disminuya la pérdida, aumentando la productividad.

Desarrollado por Toyota en un inicio, el Coste Objetivo se puede aplicar en cualquiera de las fases de un proyecto *Lean*, siendo recomendable hacerlo en la fase de definición. La tabla 3.9 recoge sus principios:

Tabla 3.9. Principios del Coste Objetivo

Fuente: Maskell, 2012

PRINCIPIOS DEL COSTE OBJETIVO	
Coste dirigido por el precio	Se refiere a cómo el cliente valora los productos, servicios y otros atributos de la empresa.
Focalización en los clientes y mercados	Integración entre el personal de marketing, ventas y procesos, incluso cuando estos procesos no están organizacionalmente alineados al flujo de valor.
Focalizado en el diseño	Integración con el diseño del producto. La mejora manera de llevar productos de alto valor y bajo coste al mercado es diseñarlos de esta manera. Esto requiere una profunda integración entre ventas/marketing, operaciones, y diseño/desarrollo de producto.
Metodología de mejora multifuncional	Amplia integración de la empresa para incrementar el valor al cliente. Incluye: operaciones, marketing, diseño de producto, servicio al cliente, proveedores y otros.
La mejora viene a través del flujo de valor	Las organizaciones <i>Lean</i> focalizan casi todo en torno a los flujos de valor. Lo que conduce a una mejora substancial e integrada es la comprensión del proceso entero de creación de valor para el cliente.
Contrastar costes con valor del cliente	El Coste Objetivo permite comprender dónde y cómo se crea valor para el cliente, y lo contrasta con el dónde y cómo se reduce costes. Esto conduce a focalizar los cambios para incrementar valor y reducir coste.

Para obtener el Coste Objetivo se siguen las siguientes etapas:

- Se conocen las necesidades del cliente, se comprende su valor y se fija un precio que refleje ese valor.
- Se calcula el coste permitido de la empresa, que resulta de restar al coste fijado en el paso anterior el porcentaje de beneficio. De esta forma el beneficio queda fijado en el plan del proyecto, y no supone un coste extra al promotor.
- Se calcula el coste del proceso de ejecución del proyecto y se compara con el coste permitido. En caso de ser superior, se debe ajustar para que sea realizable.

3.3.3.4.- Qué es IPD

La Dirección Integrada de Proyectos/*Integrated Project Delivery* (DIP/IPD) es un enfoque de la ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso colaborativo que aprovecha el talento y los puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentando el valor para el cliente, reduciendo las pérdidas y aumentando la eficiencia en todas las fases de proyectos y ejecución, fabricación y construcción. (36)

La tabla 3.10 recoge las características que diferencian a IPD de la gestión tradicional de proyectos:

Tabla 3.10. Diferencias entre IPD y la gestión tradicional de proyectos.

Fuente: Elaboración propia.

DIFERENCIAS ENTRE IPD Y LA GESTIÓN TRADICIONAL	
CARACTERÍSTICAS IPD (37)	CARACTERÍSTICAS GESTIÓN TRADICIONAL
Los contratos del agentes intervinientes son colaborativos.	Los contratos de los agentes intervinientes son individuales.
Los agentes intervinientes se involucran antes en el proyecto, en las fases iniciales.	Los agentes intervinientes se involucran cuando el proyecto ya ha comenzado.
Se trabaja de forma colaborativa.	Se trabaja de manera individual, y se ve al resto de compañeros del proyecto como adversarios.
Se comparten los riesgos y los beneficios.	Los riesgos y beneficios están limitados por los contratos.
Se desarrollan de manera conjunta los objetivos del proyecto, quedando recogidos los valores que desea el cliente.	Los objetivos del proyecto son desarrollados por el equipo proyectista, pudiendo o no recoger los valores del cliente.

En la tabla siguiente se pueden observar los principios de IPD (Tab.3.11):

Tabla 3.11. Principios IPD (36)

Fuente: Elaboración propia.

PRINCIPIOS IPD
1.- Respeto mutuo y confianza
En un proyecto integrado, el promotor, el equipo de proyectistas, los consultores independientes, el constructor principal, los subcontratistas y los proveedores entienden el valor de la colaboración y se comprometen a trabajar en equipo en beneficio del proyecto.
2.- Beneficio mutuo y recompensa
Todos los participantes o miembros del equipo se benefician del IPD. Debido a que el proceso integrado requiere la participación temprana de más partes interesadas, las estructuras de compensación del IPD reconocen y premian la participación temprana. La compensación se basa en el valor añadido para la organización y premia las formas de pensar basadas en “lo que es mejora para el proyecto”, como por ejemplo a través de incentivos vinculados a la consecución de los objetivos del proyecto. Los proyectos integrados utilizan modelos de negocio innovadores para apoyar la colaboración y la eficiencia.

<p>3.- Innovación colaborativa y toma de decisiones</p> <p>La innovación es estimulada cuando las ideas se intercambian libremente entre todos los participantes. En un proyecto integrado, las ideas son juzgadas por sus méritos, y no en función del rol o estatus de su autor. Las decisiones clave son evaluadas por el equipo del proyecto y, en la mayor medida de lo posible, se adoptan por unanimidad.</p>
<p>4.- Participación temprana de los agentes intervinientes clave</p> <p>En un proyecto integrado, los principales participantes están involucrados desde el momento más temprano y práctico posible. La toma de decisiones mejora mediante la afluencia de conocimientos y experiencia de todos los agentes intervinientes clave. Su conocimiento y experiencia combinado es más potente durante las primeras etapas del proyecto, donde las decisiones informadas tienen el mayor impacto.</p>
<p>5.- Definición temprana de objetivos</p> <p>Los objetivos del proyecto se han desarrollado en una fase temprana y han sido acordados y respetados por todos los participantes. La perspicacia de cada participante se valora en una cultura que promueve e impulsa la innovación y el rendimiento excepcional, manteniendo los resultados del proyecto en el centro por encima de los objetivos y valores individuales de los participantes.</p>
<p>6.- Planificación intensificada</p> <p>El enfoque IPD reconoce que un mayor esfuerzo en la planificación da como resultado una mayor eficiencia y ahorro durante la ejecución del proyecto. Así, la idea clave del enfoque integrado no es reducir el esfuerzo de diseño, sino más bien mejorar en gran medida los resultados del mismo, racionalizando y reduciendo el esfuerzo de construcción, que es mucho más caro.</p>
<p>7.- Comunicación abierta</p> <p>El enfoque del IPD en el rendimiento del equipo se basa en la comunicación abierta, directa y honesta entre todos los participantes. Las responsabilidades están claramente definidas en una cultura de no identificar culpables que lleva a la identificación y solución de los problemas más que a la determinación de los responsables. Los litigios se reconocen cuando ocurren y se resuelven rápidamente.</p>
<p>8.- Tecnología apropiada</p> <p>Los proyectos integrados a menudo confían en las tecnologías de vanguardia. Las tecnologías se especifican al inicio del proyecto para maximizar la funcionalidad, la generalidad y la interoperabilidad. El intercambio de datos de manera abierta e interoperable basada en estructuras de datos disciplinadas y transparentes es esencial para apoyar el IPD. Debido a que los estándares abiertos permiten mejores comunicaciones entre todos los participantes, la tecnología que cumple estos estándares se utiliza siempre que sea posible.</p>
<p>9.- Organización y liderazgo</p> <p>El equipo del proyecto es una organización en sí misma y todos sus miembros están comprometidos con los objetivos y valores del equipo del proyecto. El liderazgo se adopta por el miembro del equipo que está más capacitado en materia de obras y servicios específicos. A menudo, los profesionales de la arquitectura y los contratistas ejercen la dirección en las áreas de su competencia tradicional con el apoyo de todo el equipo, sin embargo, los roles específicos se determinan necesariamente sobre una base de proyecto por proyecto. Los roles están claramente definidos, sin crear barreras artificiales que enfríen la comunicación abierta y la adopción de riesgos.</p>

3.3.3.5.- Cómo formar un equipo IPD

Para que un proyecto realizado con IPD culmine de manera satisfactoria es importante que el equipo de trabajo esté comprometido con la colaboración y sean capaces de trabajar de manera conjunta y eficaz. Para cumplir con esto, los miembros de los equipos de trabajo deben: (36)

- Identificar lo más temprano posible los roles de los agentes intervinientes más importantes para el proyecto.
- Precalificar a los miembros del equipo (personas y empresas).
- Considerar los intereses comunes y buscar la participación de partes adicionales, como funcionarios de la administración, empresas de servicios públicos, aseguradoras y otros intervinientes.
- Definir de manera conjunta y clara los valores, metas y objetivos de los agentes intervinientes.
- Identificar la estructura organizativa y de negocio que mejor se adapte al IPD de manera que sea coherente con las necesidades y limitaciones de los participantes. La elección no debe estar sujeta estrictamente a los métodos tradicionales de entrega de proyectos, sino que debe adaptarse de forma flexible al proyecto.
- Desarrollar acuerdos del proyecto para definir las funciones y responsabilidades de los agentes intervinientes. Los acuerdos del proyecto deben estar sincronizados para asegurar que las funciones y responsabilidades de las partes se definan de forma idéntica en todos los acuerdos y sean compatibles con los modelos organizativos y de negocio acordados. Las principales disposiciones relativas a la indemnización, la obligación y la asignación de riesgos deben estar claramente definidas y debe alentar la comunicación y la colaboración.

La tabla 3.12 muestra los roles de los principales agentes intervinientes en el proceso edificatorio según el modelo IPD: Promotor, Proyectista y Constructor.

Tabla 3.12. Rol de los principales agentes intervinientes en el proceso edificatorio según IPD

Fuente: Elaboración propia basado en Cohen, 2007

ROL DE LOS PRINCIPALES AGENTES INTERVINIENTES
1.- Promotor
<p>En IPD el promotor asume un papel mucho más activo en la evaluación e influencia de las opciones de diseño. Además, se requiere que el promotor participe en el establecimiento de métricas del proyecto en una etapa más temprana que lo habitual en un proyecto tradicional. Se le requiere más a menudo para ayudar a resolver los problemas que se plantean en el proyecto. Como miembro del órgano de decisión, el promotor estará involucrado en más detalles relacionados con el proyecto y la obligación de actuar con rapidez para que el proyecto continúe de manera eficiente.</p>
2.- Proyectista
<p>IPD se basa principalmente en un proceso de redacción del proyecto exhaustivo y minucioso que incorpora la entrada y la participación de otros miembros del equipo, incluyendo constructores, durante la fase del mismo. Por lo tanto, el proceso de redacción adquiere una mayor importancia, ya que los demás miembros del equipo llegan a entender cómo funciona el proyecto integrado y cómo va a ser completado. Como miembro del equipo, el proyectista esta necesariamente implicado en la definición de los procesos de redacción que se aplicarán al proyecto.</p> <p>Los proyectos integrados permiten esfuerzos previos a la construcción más amplios, relacionados con la identificación y solución de conflictos potenciales de diseño que tradicionalmente no se descubren hasta la fase de ejecución. Como resultado, se requiere que los proyectistas lleven a cabo en una etapa anterior, determinados servicios que tradicionalmente se llevan a cambio más adelante en el proyecto. El avance resultante de los servicios de más partes interesadas aumenta potencialmente el volumen de los servicios prestados en la fase de redacción del proyecto.</p> <p>Interacciones frecuentes con otros miembros del equipo durante la fase de redacción requieren que los proyectistas ofrezcan numerosas iteraciones de sus documentos de diseño a otros miembros del equipo para su entrada y evaluación. Estas interacciones derivan en una responsabilidad adicional en relación tanto a los documentos entregados a otros miembros del equipo como a los recibidos.</p>
3.- Constructor
<p>La naturaleza del alcance de los servicios del constructor se ve afectada principalmente en el IPD por su pronta participación en el proyecto y su participación en el equipo integrado. En concreto, aumenta el papel del constructor de una manera significativa durante las primeras etapas de redacción, en el que los constructores ahora prestan servicios estratégicos tales como programación de la producción, estimación del coste, ajuste de las fases, evaluación de los sistemas, revisiones de constructibilidad, y programas tempranos de compras y adquisiciones.</p> <p>Los constructores se introducen en las fases iniciales del proyecto para aportar su experiencia y participar plenamente en la redacción del proyecto. El resultado es un mayor papel a la hora de comentar e influir en su innovación. Este aumento de su función durante la fase de redacción requiere que el constructor proporcione de manera continua estimaciones del coste objetivo del valor del diseño.</p>

3.3.3.6.- Fases de un proyecto integrado

En un proyecto integrado, el flujo de proyecto desde la concepción de una idea hasta su ejecución y cierre difiere de la gestión tradicional de un proyecto. La figura 3.31 muestra estas diferencias, comparando la gestión de un proyecto por el método tradicional frente a la gestión que realiza IPD:

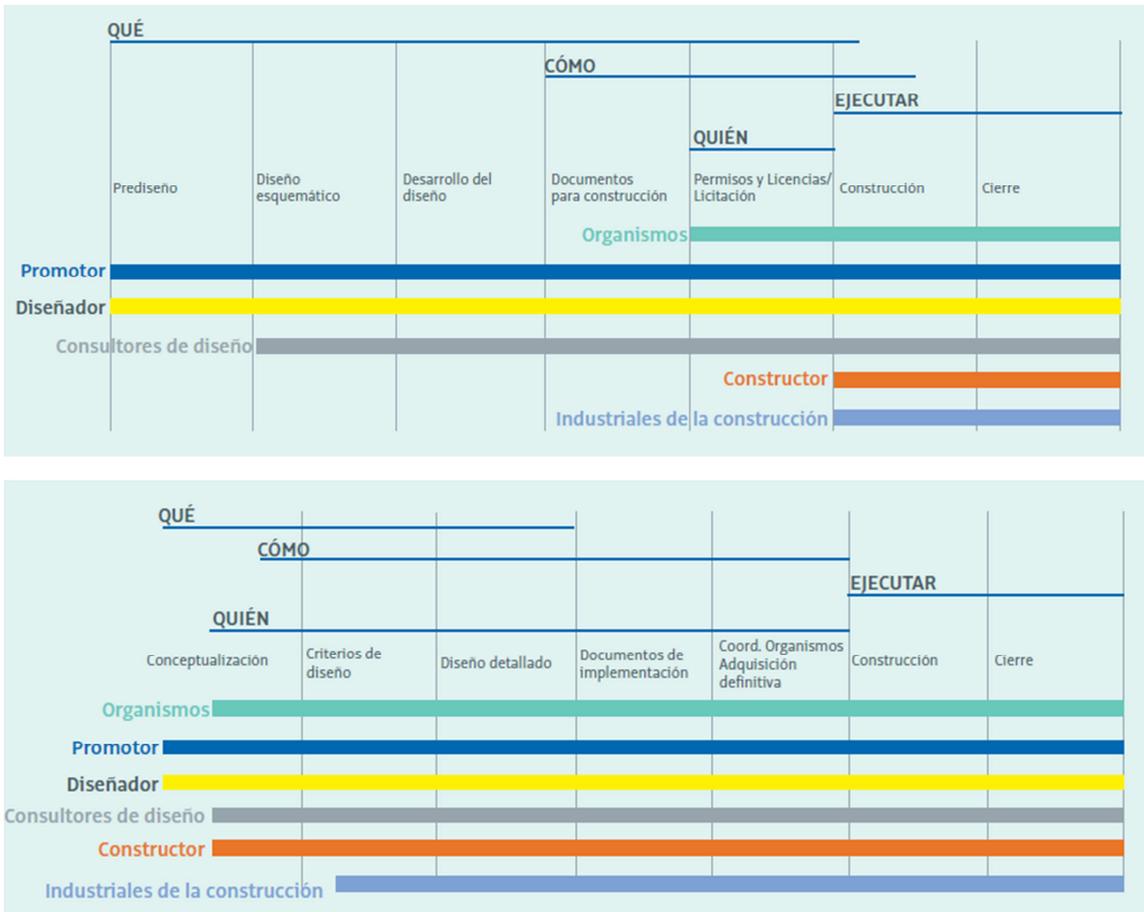


Figura 3.31. Método de desarrollo de proyectos según método tradicional (arriba) frente IPD (abajo)

Fuente: Pons, 2014

3.3.3.7.- Barreras de IPD

Existen 4 barreras que deben superarse durante la implementación de IPD. Son las siguientes: (Tab.3.13) (37)

Tabla 3.13. Barreras a superar por IPD

Fuente: Elaboración propia basado en Ghassemi & Becerik

BARRERAS QUE DEBE SUPERAR IPD	
Barreras culturales	El sector de la Construcción es reacio a cambios. El resto es cambiar esa dinámica y mentalidad anclada en la jerarquía tradicional. Para superarla, Ghassemi y Becerik proponen realizar un entrenamiento IPD o ejercicios de dinámica en grupo, que aumenten la confianza entre los agentes intervinientes.
Barreras financieras	El reto de seleccionar e incentivar estructuras organizativas y de negocio adecuadas a las características del proyecto y sus agentes intervinientes. Para superarla, se propone una estructura compensada de IPD, y compartir los riesgos y beneficios entre todos los participantes.
Barreras legales	Referidas a temas de responsabilidad y seguridad. Para favorecer la colaboración, algunos contratos IPD eliminan o delimitan de manera clara las responsabilidades, actitud que choca con la gestión tradicional donde cada agente participante tiene definida su responsabilidad.
Barreras tecnológicas	Los programas BIM (<i>Building Information Modeling</i>) ofrecen una gran herramienta para el desarrollo de la gestión integrada de proyecto, pero a su vez supone unas barreras, como la propiedad de la base de datos, la responsabilidad de los agentes participantes o la interoperabilidad.

3.3.3.8.- Ventajas y beneficios de IPD

Se analizan las ventajas que presente la utilización del modelo IPD a los 3 principales agentes intervinientes: (Tab.3.14) (36) (38)

Tabla 3.14. Ventajas y beneficios de IPD

Fuente: Elaboración propia

VENTAJAS Y BENEFICIOS DE IPD	
Promotor	<p>Compartir el conocimiento del proyecto entre todos los agentes participantes y permitir al promotor tomar decisiones que permitan obtener sus metas son las principales ventajas. A continuación se enumeran otras de las ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la comunicación con el equipo proyectista • Se potencian sus objetivos y requisitos en el proceso • Se determinan antes los costes del proyecto • Se cumplen el presupuesto inicial • Se mejora la relación del equipo, ya que arquitectos y constructores se ven como compañeros, no como adversarios
Proyectista	<p>Permite al proyectista beneficiarse de la opinión del constructor durante la fase de redacción del proyecto. Se incrementa el esfuerzo durante la fase de redacción del proyecto, detallando muy bien la planificación, pero permite ahorrarse tiempo y dinero en la ejecución, se reduce el tiempo de documentación y se mejora el control del coste y de la planificación.</p> <p>Además, presenta las siguientes ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se comparte el conocimiento • La redacción del proyecto es más eficiente • Se evitan cambios en fases posteriores
Constructor	<p>Permite al constructor que aporte sus conocimientos y experiencia en fases tempranas donde no suele participar, como la redacción del proyecto, pudiendo intervenir y anticiparse a posibles fallos en la redacción del mismo.</p> <p>Otras ventajas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se negocia el precio mejor que en una licitación tradicional • Se mejoran las relaciones con los subcontratistas y los suministradores • Se reduce el número de quejas • No hay mala relación con el resto del equipo, creando un mejor ambiente de trabajo más propicio para entregar el máximo valor al cliente

3.3.3.9.- Conclusión acerca de LPDS e IPD

LPDS e IPD son muy útiles para mejorar el funcionamiento de la gestión de los proyectos. A pesar de tener diferencias pueden complementarse.

Lichtig (35) propuso 3 áreas en la entrega de proyectos: La organización de los proyectos, el sistema de operaciones y los términos de acuerdo. (Fig.3.32)

- La organización consiste en cómo las partes participantes en el proyecto se organizan.
- El sistema de operaciones trata sobre cómo se gestiona el proyecto.
- Los términos de acuerdo son las responsabilidades y beneficios de la colaboración.



Figura 3.32. Tres áreas de la entrega de proyectos

Fuente: Smith, Mossman & Emmitt, 2011

IPD obvia la parte del sistema operativo (LP desarrolla y controla muy bien esta fase). Es un marco legal que considera los intereses del proyecto de los intervinientes con los del propietario. (44) Se centra más en el desarrollo de la organización del proyecto y de los términos de acuerdo, desarrollando varios tipos de contrato diferentes.

LPDS en cambio es un proceso colaborativo que une la organización colaborativa del proyecto con el sistema operativo del mismo, sin hacer referencia alguna a los términos comerciales del acuerdo. Para controlar el sistema se apoya en diversas técnicas como el LPS o el Target Value Design (TVD) entre otras. Al no hacer referencia a tipos de contrato, permite que pueda adaptarse a cualquier tipo de contrato y entorno de trabajo (a unos de manera más sencilla que a otros). (44)

En definitiva, tanto LPDS como IPD se basan en una ética de trabajo de colaboración, y sus diferencias radican en el punto de vista de los autores. IPD, desarrollada más por los arquitectos se focaliza más en crear la idea del proyecto y organizarla, mientras que LPDS, desarrollada por los constructores, se centra en cómo se va a desarrollar el proyecto.

Ambas tienen muchas similitudes, y son complementarias. Destacando sus diferencias se logra identificar las barreras culturales y de comunicación que deben ser superadas para lograr que funcionen bien a la vez.

3.3.4.- Aplicación de otras técnicas

Hasta el momento se han analizado en los tres apartados anteriores técnicas que surgieron para su aplicación en la Construcción sin Pérdidas respetando los principios *Lean*. Sin embargo, las analizadas en el apartado 2.4.- *Técnicas de aplicación* también pueden ser aplicadas.

Las 5 “s”

Las 5 “s” (véase apartado 2.4.1.- *Las 5 “S”*) se pueden aplicar tanto en la fase de redacción del proyecto como en la de ejecución de la obra. El mantener limpio y ordenado el puesto de trabajo es una labor importante que ayuda a mejorar la productividad de los trabajadores, y que es posible realizar en las dos fases mencionadas.

En las imágenes siguientes se muestra un puesto de trabajo de oficina que respeta las directrices de las 5 “s”: (Fig.3.33, Fig.3.34 y Fig.3.35)



Figura 3.33. Cajón de material de oficina ordenador según las 5”s”

Fuente: Internet



Figura 3.34 y 3.35. Oficina antes y después de aplicar las 5”s”

Fuente: Internet

La aplicación en la ejecución de una obra puede resultar más complicada, debido al tradicional desorden que se puede encontrar en el desarrollo de las obras. Sin embargo, con una buena implantación de obra y una correcta organización se pueden colocar los acopios de materiales de forma ordenada, en cualquier momento que se encuentre la fase de ejecución.

Las imágenes siguientes muestran diferentes planos donde se indica la zona donde se realizarán los acopios, y se muestra un caso de aplicación de las 5 “s” en obra: (Fig.3.36, Fig.3.37 y Fig.3.38)



Figura 3.36. Recorte de plano de albañilería donde se respeta un orden y organización según las 5”s”

Fuente: Elaboración propia

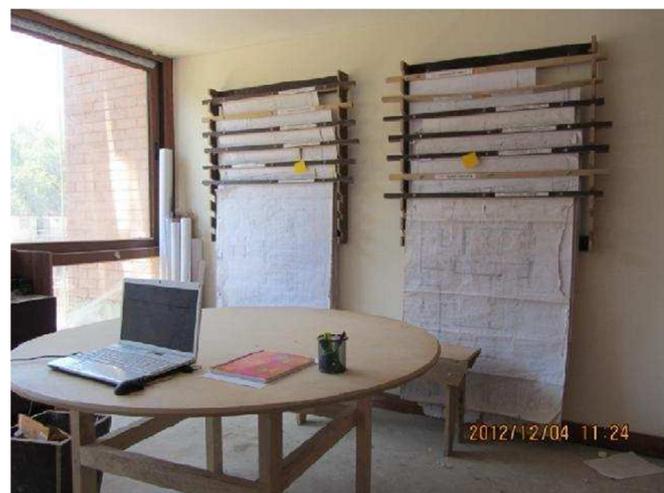


Figura 3.37 y 3.38. Puesto en obra antes y después de aplicar las 5”s”

Fuente: Sanchís Mestre, 2013

Informe A3

El informe A3 (véase el apartado 2.4.3.- *Informe A3*) se aplica de la misma manera ya analizada. Al tratarse de un método cuya función es la solución de problemas permite que su uso pueda realizarse de manera sencilla en cualquier sector.

El esquema y funcionamiento de esta técnica es la misma que se analizó, solo cambian la tipología de los problemas y situaciones analizadas, que serán del sector de la Construcción en vez del industrial.

Poka-Yoke

Al igual que sucede con el informe A3, los poka-yoke (véase el apartado 2.4.6.- *Poka-Yoke*) se utiliza de igual manera en la Construcción. Se pueden encontrar estos dispositivos anti-error tanto en la fase de redacción de proyecto como en la fase de ejecución.

Un ejemplo de poka-yoke en la fase de redacción pueden ser las fotocopiadoras, con su indicación del lado correcto. (Fig.3.39)



Figura 3.39. Tarjeta de crédito indicando el lado por el que se introduce

Fuente: Caja Rural

Durante la fase de ejecución también se utilizan. Por ejemplo los separadores de armaduras es un poka-yoke para asegurarse de que la barra de acero tendrá el recubrimiento mínimo necesario. (Fig.3.40)



Figura 3.40. Separadores de armaduras que aseguran el recubrimiento mínimo de hormigón

Fuente: Internet

VSM

El VSM (véase apartado 2.4.4.- *Mapa de la cadena de valor/Value Stream Mapping (MCV/VSM)*) también se puede aplicar en la Construcción sin Pérdidas. La forma de actuar es la misma, el cambio radica en los problemas, que son del sector de la Construcción en vez del industrial.

Control Visual

El control visual (véase el apartado 2.4.9.6.- Control visual) se puede aplicar al sector de la Construcción gracias a BIM. Esta potente metodología de trabajo permite recrear virtualmente el edificio, tanto su fase final como fases intermedias. De esta manera se puede controlar el estado en el que se encuentran las actividades que se están ejecutando desde un monitor.

El resto de técnicas analizadas en el apartado 2.4.- *Técnicas de aplicación* tienen su aplicación en la Construcción. La mayoría de ellas son técnicas tradicionales de calidad, como el diagrama de Ishikawa o los 5 porqués. Siguiendo los pasos explicados en sus correspondientes apartados se pueden aplicar de la misma manera al sector de la Construcción, ya que lo único que cambia son los problemas analizados.

3.4.- Estudio bibliométrico sobre CsP

Tal y como se ha realizado en el apartado 2.5.- *Estudio bibliométrico*, para concluir con el análisis de CsP se desarrolla el estudio bibliométrico sobre ella. La metodología utilizada para realizarlo es similar a la que se ha seguido en el punto anteriormente mencionado, con algún cambio que se analiza más adelante.

3.4.1.- Obtención de datos

Para obtener las referencias bibliográficas, se utiliza la base de datos Web Of Science (WOS). La búsqueda se realiza en las fechas comprendidas entre el 20 de enero y el 27 del mismo mes. Los criterios que se siguen en la misma se describen a continuación:

- Se introducen como términos a buscar “*Lean*” y “*Construction*”, ambos por separado, ya que la búsqueda de ambos juntos no produce muchos resultados.
- A continuación se aplica el primer filtro: Dentro de los campos que permite buscar la WOS, se seleccionan los de arquitectura, ingeniería y construcción. El número de resultados, tal y como se recoge en la tabla 3.15 se reduce mucho, debido en gran parte a numerosos artículos relacionados con el campo de la medicina, ya que el término “*Lean*” también es muy utilizado en dicho campo.
- Una vez se obtiene los resultados, se analiza uno a uno su título y el abstract, para cerciorarse de que realmente están relacionados con CsP.

La tabla 3.15 recoge la evolución del número de resultados tras aplicar los filtros:

Tabla 3.15. Evolución del número de artículos tras aplicar filtros.

Fuente: Elaboración propia

Filtros	Nº artículos
Búsqueda inicial	789
Arquitectura/Ingeniería/Construcción	359
Revisión de títulos y resumen	166

De cada artículo se extrae la siguiente información:

- Título
- Resumen/Abstract
- Autores
- Año de publicación

3.4.2.- Tratamiento de datos

Para realizar el estudio no se ha podido seguir la misma metodología que en el apartado 2.5.- *Estudio bibliométrico*, ya que el software utilizado (Sitkis) no es compatible con la versión de Windows disponible. Por ello, el análisis de los datos se ha realizado de forma manual.

En primer lugar, una vez obtenida la muestra revisada de artículos (166), se introducen los datos anteriormente mencionados en una hoja Excel. A continuación se busca el artículo, y se obtiene la bibliografía utilizada para su redacción. Dicha bibliografía se introduce en otra pestaña de la misma hoja Excel.

Durante este proceso se debe prestar mucha atención a no introducir mal el nombre de los autores y los artículos, y que las fechas de publicación sean referidas a la primera edición. Se trata de un proceso largo y tedioso, pero necesario para poder obtener un listado fiable de los principales artículos y autores.

La propia WOS permite obtener una clasificación con los artículos más citados, pero tiene un inconveniente; solo vienen recogidos los artículos indexados. Sin embargo, las mayores aportaciones acerca de CsP se realizan en los congresos anuales que se celebran desde hace más de 20 años del International Group of Lean Construction (IGLC) y del Lean Construction Institute (LCI), y no se tratan de artículos indexados.

Por ello se debe realizar todo el análisis de la bibliografía de cada artículo, uno a uno, para obtener un listado real de los autores más prolíficos e importantes sobre CsP.

Al realizar este proceso con los 166 artículos analizados se obtienen un total de 2.823 artículos referenciados, y 5.289 autores citados. Para obtener los autores más importantes se formula la hoja Excel con fórmulas como CONTAR.SI, ÍNDICE o COINCIDIR. Los resultados obtenidos se analizan en el siguiente apartado.

3.4.3.- Resultados

La evolución de CsP es positiva, ya que cada año se generan más artículos y aumentan las citas, tal y como se desprenden de las siguientes gráficas obtenidas de la WOS: (Fig. 3.41)

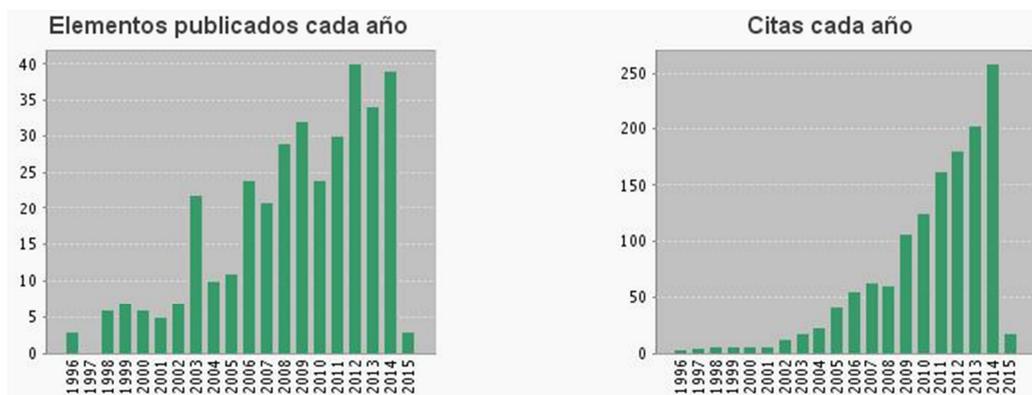


Figura 3.41. Evolución de artículos publicados (izquierda) y de citas anuales (derecha)

Fuente: Web of Science

La tabla 3.16 recoge los autores más importantes en función del número de citas recibidas.

Tabla 3.16. Principales autores de CsP.

Fuente: Elaboración propia

Autores más citados	Nº de citas
G. Ballard	246
L. Koskela	170
G.A. Howell	166
I.D. Tommelein	91
J. Womack	86
D.T. Jones	86
H.R. Thomas	82
M.J. Horman	71
R. Sacks	64
L.F. Alarcon	64
D.R. Riley	35
J.K. Liker	34
T. Ohno	33
D. Roos	24
M.L. Spearman	22

Como se observa, el autor más importante es Glenn Ballard, que recibe 246 citas. Destaca que, como se muestra en la tabla 3.17, tiene solo dos artículos entre los más citados. Es una muestra de la gran cantidad de artículos publicados por este autor y la importancia que tiene, ya que en la mayor parte de los artículos analizados había referencias a este autor.

También destacar la presencia en el quinto y sexto lugar de James Womack y Daniel T. Jones. A pesar de no ser autores de CsP, sus grandes aportaciones a la filosofía *Lean* con los libros *Lean thinking* y *The machine that changed the World* les hacen estar entre los más citados también.

A continuación se adjunta la tabla 3.17 con los artículos más importantes:

Tabla 3.16. Principales trabajos/artículos de CsP.

Fuente: Elaboración propia

Autores	Trabajos más citados	Nº de citas	Año
Lauri Koskela	Application of the new production philosophy to construction	56	1992
James Womack; Daniel T. Jones	Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your corporation	54	1996
Glenn Ballard	The last planner system of production control	42	2000
Lauri Koskela	An exploration towards a production theory and its application to construction	37	2000
Taiichi Ohno	Toyota production system: Beyond large - scale production	32	1988
James Womack; Daniel T. Jones; Daniel Roos	The machine that changed the world	29	1990
Glenn Ballard; Greg Howell	Shielding production: Essential step in production control	29	1998
Wallace Hopp; Mark Spearman	Factory physics: foundations of manufacturing management	23	1996
Greg Howell	What is lean construction	22	1999
Jeffrey Liker	The toyota way: fourteen management principles from the world's greatest manufacturer	21	2003
Iris D. Tommelein	Pull - driven scheduling por pipe - spool installation: Simulation of lean construction technique	20	1998
H. Randolph Thomas; Michael J. Horman; U.E.L. de Souza	Reducing variability to improve performance as a lean construction principle	17	2002
Iris D. Tommelein; David R. Riley; Greg Howell	Parade game: Impact of work flow variability on trade performance	16	1999
H. Randolph Thomas; Michael J. Horman; R.Edward Minchin	Improving labor flow reliability for better productivity as lean construction principle	14	2003
Robert Yin	Case study research: Design and methods (applied social research methods)	12	1994

El trabajo *Application of the new production philosophy to construction* de Lauri Koskela es el más citado. Fue el primer autor en hablar de la CsP. Le siguen *Lean Thinking* de Womack y Jones, una de las obras más importantes sobre *Lean*, y la tesis *The last planner system of production control* de Glenn Ballard.

4.- Building Information Modeling (BIM)

Tras analizar *Lean* y su aplicación al sector de la Construcción mediante la Construcción sin Pérdidas o *Lean Construction*, este apartado va a analizar otra metodología de gestión de proyectos de edificación que se apoya en el desarrollo de modelos virtuales en 3D del edificio, el BIM.

Se va a explicar qué es, su historia, las barreras y los beneficios que representa su implantación en los proyectos, los riesgos que se derivan de su uso, los agentes implicados y su relación con la metodología y, finalmente, los diferentes programas informáticos que permiten el funcionamiento de BIM.

4.1.- Qué es

BIM es un método de transformación de procesos dirigido a superar el reto que supone la complejidad de los proyectos actuales. Es una metodología que permite a la propiedad y los promotores, arquitectos, consultores y otros agentes implicados visualizar y comprender el proyecto y colaborar como nunca antes lo habían hecho. Su potencial de transformar la forma de trabajar entre los agentes intervinientes, mejorando la redacción del proyecto y el proceso de ejecución, se deriva de una temprana identificación de los problemas. Ello repercute en beneficios de coste y tiempo, evitando los costes por retrasos. Además supone una ventaja para la gestión de la edificación incluido una vez se ha ocupado la vivienda. (45)

Precisa del desarrollo de un modelo que simula la edificación, que es una base con múltiples datos, con objetivos orientados y una representación de la edificación, desde el cual se pueden obtener las vistas y datos requeridos para las necesidades de los distintos agentes para generar información que pueda ser utilizada para tomar decisiones y mejorar la el proyecto a entregar. (46)

Eastman&al, en su libro BIM handbook, definen BIM como “un verbo o adjetivo que describe herramientas, procesos y tecnologías en formato digital sobre la documentación de un edificio, su funcionamiento, su programación, su ejecución y su posterior funcionamiento. Facilita las bases de unas nuevas capacidades de construcción y cambios en los roles y relaciones del equipo de proyecto. Bien implantado, BIM facilita la integración de la redacción del proyecto y la ejecución resultando un edificio de mayor calidad, menor coste y menor tiempo de ejecución.” (47)

De estas tres definiciones se extrae que BIM es una nueva metodología de trabajo que permite a todos sus usuarios (promotores, arquitectos, constructores y otros agentes intervinientes) comprender el proyecto de manera muy clara y visual y de forma colaborativa. Es mucho más que un programa informático, es un cambio en la manera de realizar el trabajo, fomentando la colaboración para una detección precoz de los errores que permita una ejecución del proyecto de mayor calidad y con menos contratiempos.

Según Azhar (48), un modelo BIM contiene la siguiente información:

- Datos acerca de la geometría del edificio.
- Relación entre espacios.
- Información geográfica.
- Cantidades y especificaciones de los materiales.
- Estimación de costes.
- Inventario de productos y sistemas.
- Programación de la obra.

4.1.1.- Aplicaciones

BIM permite las siguientes aplicaciones en el sector de la Construcción:

- **Visualización:** Las representaciones 3D se pueden generar fácilmente sin apenas realizar esfuerzo.
- **Generación de planos:** Al contener toda la información del edificio y estar dibujado en 3D, se pueden realizar planos de los diferentes sistemas constructivos de manera rápida y sencilla.
- **Revisión de proyectos:** La administración pública puede utilizar el modelo BIM para supervisar y controlar la concesión de licencias del proyecto.
- **Estimación de costes:** Al contener información de los materiales del edificio, el modelo BIM es capaz de extraer la cantidad que hay en el proyecto. Aplicando el coste unitario, se obtiene una estimación de costes muy precisa.
- **Secuenciación de la ejecución:** Se obtiene información de que pedidos de materiales serán necesarios, cómo será la fabricación y a partir de estos datos extraer la planificación.
- **Detección de conflictos:** Se realiza una asistencia de diseño y una crítica de la constructibilidad del proyecto.
- **Dotación del soporte a las decisiones de inversión,** comparando la funcionalidad, el alcance y los costes de las soluciones.
- **Análisis comparativo de los requisitos energéticos y medioambientales,** para elegir soluciones de proyecto y objetivos para el seguimiento posterior de la explotación del edificio y sus servicios.
- **Mejorar el aseguramiento de la calidad y el intercambio de datos para hacer el proceso de redacción del proyecto más eficaz y eficiente.**

4.1.2.- Cómo funciona

Cada participante se crea su propio modelo BIM. El arquitecto proyectista se genera su modelo BIM, los calculistas de estructuras otro, los constructores otro, etc. En función del tamaño del proyecto, podrán ser necesarios varios modelos de una misma parte.

Durante esta fase, el modelo BIM sirve para coordinar a los participantes en busca de fallos que se puedan corregir. Para ello se crea a partir de todos los modelos previamente generados un único modelo. Al poner todos en común, se comprueba si la información desarrollada por cada participante es coherente con la del resto. En caso de no ser así, se deben solucionar los conflictos generados para evitar problemas durante la fase de ejecución del proyecto.

“Para obtener un modelo satisfactorio para todos los agentes, deben establecerse prioridades y objetivos específicos en el proyecto para el uso del modelo. Estos requisitos específicos de proyectos deberían ser definidos y documentados de acuerdo a las bases generales establecidas en esta serie de publicaciones, y que se suelen concretar en un documento específico del proyecto denominado “Proyecto de Ejecución BIM (BIM Execution Plan) BEP”.” (51)

4.1.3.- Estado de BIM

En la encuesta *McGraw Hill Construction* publicada en 2008 realizada a una población de 82 arquitectos, 101 ingenieros y 39 promotores en Estados Unidos, se obtuvieron las siguientes conclusiones (Tabla 4.1):

Tabla 4.1. Conclusiones encuesta realizada a profesionales de la construcción

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de McGraw Hill Construction, 2008

Conclusiones encuesta McGraw Hill Construction
El mayor número de usuarios se daba en los arquitectos (el 43% lo usaba en más del 60% de sus proyectos), y el menor entre los constructores (el 45% lo usaba en menos del 15% de sus proyectos, y el 23% en más del 60%)
El 82% de los usuarios veían BIM como algo beneficioso
El 79% creía que mejoraba claramente el proyecto
El 66% reconocía que les da más opciones de cara a lograr adjudicaciones
2/3 consideraban que el uso de BIM tiene impacto en sus trabajos
El 62% planificaban utilizarlo en al menos el 30% de sus futuros proyectos.

4.2.- Historia de BIM

Han pasado años hasta que los programas BIM han logrado adquirir el nivel de desarrollo actual. En este apartado se analiza el origen de los primeros programas 3D ha evolucionado hasta la metodología BIM que hoy conocemos.

4.2.1.- Primeros Programas 3D

Cuando se hace referencia a la modelización en 3D, se abarca un gran campo de aplicaciones que va desde las películas, los videojuegos o, lo que se está analizando, el proyecto de edificaciones. Los primeros programas que permitían representar poliedros comenzaron a desarrollarse a finales de la década de los años 60.

En 1973 se desarrolló el primer programa de creación y edición de formas 3D sólidas gracias a tres grupos de trabajo: Ian Braid en *Cambridge*, Bruce Baumgart en *Stamford* y Ari Requiche y Herb Voelcker en *Rochester*.

Se desarrollaron dos programas diferentes que compitieron por dominar el mercado: *Boundary Representation* (B-rep) y *Constructive Solid Geometry* (CSG). (Tabla 4.2)

Tabla 4.2. Descripción B-rep y CSG

Fuente: Elaboración propia

B-rep	CSG
Utilizaba operaciones de unión, intersección y sustracción en varios poliedros y también utilizaba operaciones de redefinición, como cortar, seccionar o mover.	Funcionaba en un esquema de árbol de operaciones y confiaba en otros métodos para lograr la forma final del objeto.

Posteriormente ambos programas se fusionaron, logrando crear y editar los objetos de manera más eficaz.

Los primeros programas de modelo 3D para edificios se desarrollaron a comienzos de los 80, dando lugar a programas como RUCAPS, Tricad o GDS.

4.2.2.- Programas paramétricos actuales

La actual generación de programas BIM (AllPlan, OpenBIM, Revit de Autodesk, Microstation de Bentley Corp., Archicad de Graphisoft o Tekla de Tekla Corp) son el resultado de la evolución de CSG y B-rep. Se basan en el concepto de que las propiedades se pueden definir y controlar según unos parámetros jerarquizados. Algunos parámetros dependen de valores introducidos por los usuarios. Esto hace que, mientras en un programa 3D tradicional los cambios se introducen manualmente, en estos programas los cambios se ajustan de forma automática.

4.3.- Agentes intervinientes

En este apartado se analizan cómo repercute el uso de BIM en los agentes principales: Promotores, Constructores y Arquitectos.

4.3.1.- Promotores

Los promotores utilizan BIM para cualquiera de las siguientes operaciones: (47)

- Incrementar el valor del edificio utilizando como base el modelo BIM para plantear modificaciones y analizar mejoras del funcionamiento.
- Acortar el tiempo planificado de ejecución a través de una coordinación y prefabricación eficaz.
- Obtener de manera fiable y precisa una estimación de costes.
- Asegurar el cumplimiento de sus programas de necesidades.
- La edificación resultante está ejecutada con la última tecnología y tendencias.
- Optimizar la gestión de la edificación y su mantenimiento posterior.

En el modelo tradicional el promotor no participa de manera tan activa, se limita a dar su programa de necesidades y el equipo proyectista redacta el proyecto. En cambio el método de desarrollo de proyecto utilizando de BIM, el promotor puede beneficiarse de su uso. Algunos de los motivos que fomentan su aplicación de BIM son:

- Obtener un presupuesto fiable y realizar una correcta gestión, ya que se obtienen las cantidades y mediciones de manera rápida y sencilla.
- Gestión de la programación. Al ser un modelo paramétrico, se puede actualizar de manera rápida, por lo que ante posibles cambios se reducen tiempos y riesgos.
- En proyectos donde las infraestructuras sean complejas ayuda a una mejor coordinación de los trabajos generando una mayor calidad del trabajo final y previendo problemas.
- Sostenibilidad. BIM permite realizar estudios y análisis energéticos muy detallados, que llevan a tomar medidas que logren reducir el consumo de energía del edificio.

Los promotores pueden clasificarse en dos tipos (Tabla 4.3):

Tabla 4.3. Tipos de promotores

Fuente: Elaboración propia a partir de información de BIM Handbook, 2008

TIPOS DE PROMOTORES		
	Desarrollan y operan	Desarrollan
Qué son	Son aquellos promotores que además de proyectar y ejecutar el edificio, una vez ejecutado lo explotan.	Son promotores que una vez realizado la edificación se encargan de venderlo. Buscan una inversión.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> - Programa de necesidades y planos automáticos - Mayor coordinación - Mayor detección de fallos - Análisis del edificio 	<ul style="list-style-type: none"> - Buenas estimaciones de coste - Mejora de la comunicación - Disminución tiempo ejecución - Mejora del marketing de proyecto

4.3.1.1.- Métodos de desarrollo de proyecto

En cuanto al método de desarrollo de proyecto existen diferentes formas, que se caracterizan por “*el número de contratos que suscribe el promotor con el resto de agentes, la función de éstos y las interrelaciones que se establecen entre los agentes, de las que se deriva su grado de asunción del riesgo, la variabilidad del plazo de finalización del proyecto y el nivel de gestión del proceso requerido*”(69). Se analizan tres métodos: El método tradicional o Proyecto-Adjudicación-Ejecución (PAE), Proyecto-Ejecución (PE) o Design-Build (DB) e IPD.

• **Proyecto-Adjudicación-Ejecución (PAE):** Es el más común. En el año 2006 era utilizado en el 60% de los proyectos en EE.UU. En España, y según datos de la SEOPAN, en 2012 era utilizado en un 75% de los proyectos adjudicados (69). Este método implica que el promotor mantiene una relación contractual con el arquitecto y el constructor. En caso de que éstos tuvieran subcontratas o consultores contratados, son ellos los que gestionan esa relación.

De esta forma el proyecto queda dividido en diferentes secuencias que finalizan con entregables en un tiempo determinado, creando barreras entre las empresas y a veces hasta prohibiendo el intercambio de información. Se inicia con la redacción del proyecto de ejecución, seguidamente se adjudica el contrato de ejecución de obra a un constructor, o a varios si se divide la obra en lotes.

Todo ello implica que sea difícil aplicar en este método BIM, debido a que los agentes intervinientes comienzan su participación de forma secuenciada, y para cuando llegan los documentos al constructor, éstos pueden contener errores que se podían haber evitado de haber colaborado todos en fases tempranas. Aun así se puede utilizar de la siguiente forma:

- Especificando como requisito de contrato su utilización en cada fase.
- Cooperación de cada empresa para promover BIM en cada fase.

• **Proyecto-Ejecución (PE):** Conocido como Design-Build en el mundo anglosajón, comienza a ser utilizado a finales de los años 80 en EE.UU (69). Consiste en relaciones contractuales entre el promotor y una empresa que asume la gestión completa de las fases de redacción del proyecto de ejecución y la construcción del edificio proyectado. Las fases del proyecto no son más cortas, pero al solaparse entre sí se consigue una entrega del proyecto más rápida. Su ventaja es que permite reducir el plazo de ejecución, además de fomentar la colaboración entre proyectistas y constructores desde el principio. Al participar todos los agentes un poco antes, se anticipan errores de proyecto y se puede planificar mejor, mejorando la coordinación y pudiendo reducir el tiempo de ejecución. Estudios realizados han demostrado que este método consigue unos beneficios en términos de tiempo y una planificación más fiable.

Posee distintas variantes, como el Llave en mano (o Turn-Key en inglés) donde el contrato suscrito entre el promotor y la empresa puede abarcar la gestión completa del edificio, desde la compra del solar hasta el equipamiento para el uso previsto del edificio (69).

Al ser un único equipo de trabajo, no existen limitaciones y barreras al compartir información, por lo que BIM puede utilizarse sin ningún tipo de problema.

• **Proyectos colaborativos (IPD):** En el apartado 3.3.3.4.- *Qué es IPD* se ha analizado qué es IPD. Es una variante que parte de la evolución del PE en la que se resaltan los lazos de colaboración entre los diferentes agentes. El promotor no selecciona la oferta económica más baja del constructor en la licitación, sino que selecciona al que más le gusta. Esta forma de desarrollo de proyectos es muy beneficiosa tanto para los promotores como para los constructores. Todos los agentes se involucran en el proyecto lo más pronto posible. La principal diferencia con el PE es que los riesgos, beneficios y la forma de trabajo es compartida por todos los participantes. Es el mejor método para aplicar BIM.

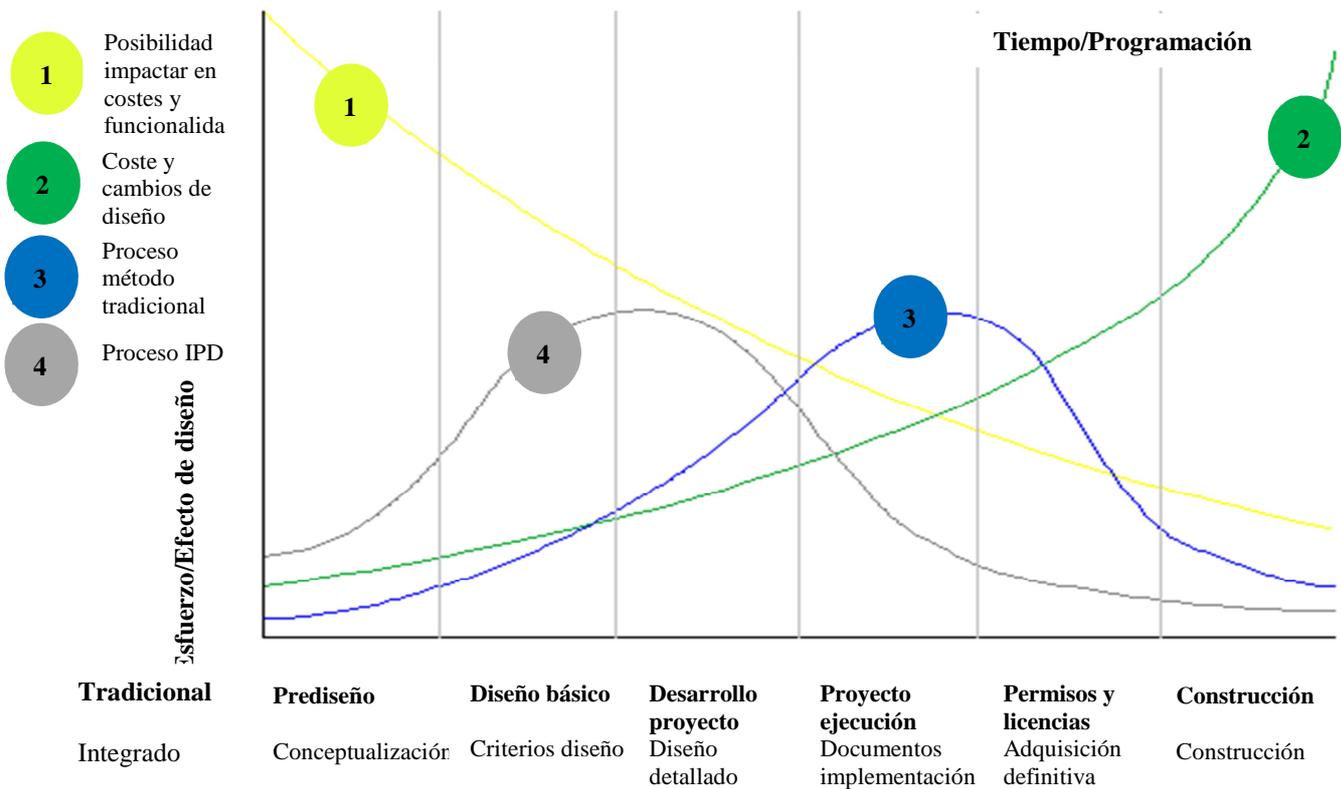


Figura 4.1. Curva de Macleamy

Fuente: Elaboración propia a partir de la guía de la AIA realizada por Cohen, 2007

La figura 4.1. recoge la diferente evolución que siguen los proyectos en función de si se desarrollan según el método tradicional o el método IPD. Además se realiza una gráfica de las posibilidades de impactar en costes y funcionalidades en el proyecto en función de la fase donde se encuentre el proyecto, y el coste de los cambios realizados según las fases.

4.3.1.2.- Barreras

En cuanto a las barreras que se encuentran los promotores en el momento de implantar BIM en sus proyectos se distinguen dos tipos: Barreras de proceso y barreras tecnológicas (Tabla 4.4):

Tabla 4.4. Barreras a BIM

Fuente: Elaboración propia a partir de información de *BIM Handbook*, 2008.

BARRERAS A BIM PARA PROMOTORES	
DE PROCESO	TECNOLÓGICAS
Falta de preparación en el mercado. El uso de BIM está muy limitado aún.	La tecnología está muy preparada para el uso individual del software pero no para un uso integrado en el proyecto
Proyectos ya comenzados, próximos a su ejecución, los agentes intervinientes son reacios a implantar BIM	
El coste de aprendizaje es muy alto	Normas y guías de escaso recorrido para poder valorar si son efectivos.
Se necesita que todos los participantes estén involucrados	
Existen demasiadas barreras legales	

4.3.2.- Arquitectos

Desde el punto de vista de los arquitectos, el uso de BIM tiene impacto en 4 aspectos (Tabla 4.5).

A continuación se enumeran las ventajas que supone para los arquitectos el uso del BIM:

- Calculo de estimaciones de costes del uso del edificio.
- Preparación de los modelos de manera que sirvan para analizar si cumplen con la normativa.
- Creación de un modelo que sirva para el constructor para gestionar la edificación, facilitando la programación de la obra.
- Coordinación de los pedidos de materiales.
- Simulación del funcionamiento del edificio.
- Creación de los planos y detalles finales del edificio, tal y como se haya construido.

Tabla 4.5. Impacto del uso de BIM para los arquitectos.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de BIM Handbook, 2008.

IMPACTO USO DE BIM
Conceptos básicos del proyecto
Aspectos relativos al proyecto básico y ejecución, el emplazamiento, la orientación, cómo se hará, etc. El uso de programas BIM facilita esta labor ya que permite ver simulaciones de cómo será el edificio, ubicarlo en el emplazamiento y realizar análisis en una fase temprana del proyecto, lo que permite realizar los cambios necesarios sin que apenas tengan una repercusión económica.
Diseñar y analizar sistemas constructivos
<p>Durante esta fase se dimensionan y analizan las diferentes partes que componen el edificio. Se simulan las acciones a las que se enfrentará el edificio real para analizar su comportamiento a nivel de estructura, comportamiento energético o el uso de instalaciones, entre otros. Para que el análisis sea eficaz se recomiendan 3 pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asignar los atributos y relaciones de lo que va a ser analizado en BIM • Cada análisis se realizará con unas características propias para que el resultado sea preciso y fiable • En caso de utilizar un formato distinto al del programa BIM, asegurarse que los programas sean compatibles entre sí para el intercambio de datos <p>Además durante esta fase también se realiza la estimación de costes, ya que el programa BIM es capaz de obtener la medición total de materiales, e introduciendo su coste unitario se obtiene una estimación fiable.</p>
Desarrollo de información de proyecto
Los programas BIM contienen formatos normalizados para la generación de documentación de proyecto. Esto agiliza mucho su redacción y, con una correcta supervisión, se obtiene una gran calidad.
Integración de la redacción del proyecto y la ejecución
Como ya se ha analizado en apartados anteriores, de BIM funciona muy bien en un entorno IPD, donde todos los participantes colaboran entre sí en fases tempranas del proyecto. Ello repercute en mayores beneficios como menor coste, menor duración del proyecto, e identificación temprana de errores, o identificación de las secuencias de trabajo.

4.3.3.- Constructores

El tercer agente a analizar es el constructor. Se beneficia mucho de la aplicación de BIM debido a que participa antes en los proyectos, pudiendo aportar su experiencia y garantizarse que los proyectos sean ejecutables. Además detecta errores en la documentación en fases tempranas, donde es sencillo corregirlos.

Los constructores obtienen del modelo BIM los siguientes datos:

- Información de la construcción.
- Componentes temporales para formar el equipo, dar formación y otros similares para realizar la programación.
- Información de cada elemento constructivo.
- Análisis del nivel de funcionamiento y los requisitos de proyecto.
- Estado del proyecto y ejecución de cada componente.

BIM implica un nuevo tipo de contratos que potencian la colaboración y el compartir la información, así como permitan compartir los riesgos y beneficios del proyecto. Son los denominados contratos colaborativos o relacionales.

4.4.- Barreras a superar

El uso de BIM supone un cambio en la forma de trabajar en los proyectos de edificación, y como todo cambio, lleva asociado una serie de obstáculos a superar. Se identifican las siguientes barreras a superar en la implantación de BIM: (Fig.4.2)

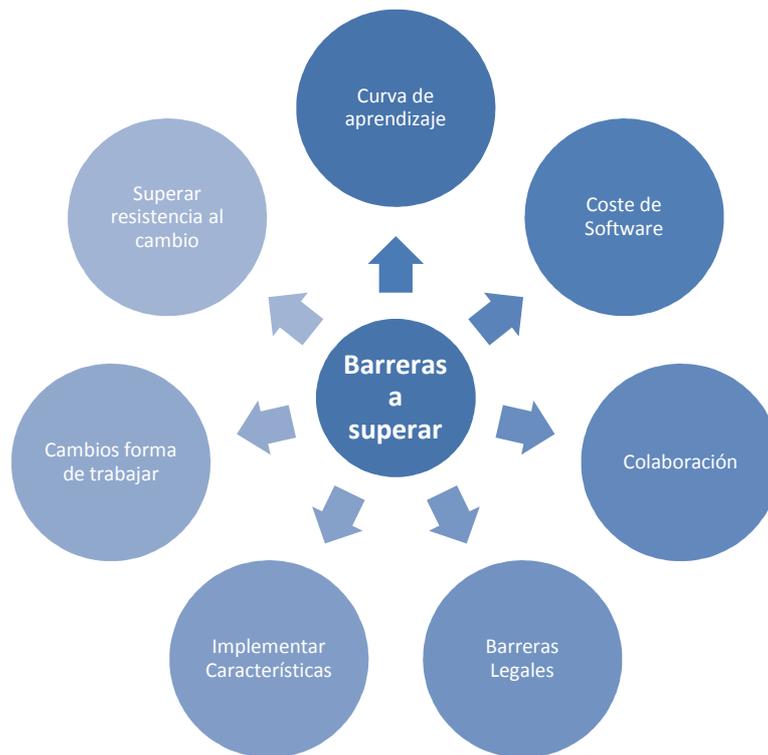


Figura 4.2. Barreras a superar por BIM

Fuente: Elaboración propia

- **Curva de aprendizaje**

Al ser BIM un nuevo enfoque con sus propias reglas, se necesita invertir un tiempo en aprender a utilizar el software. Incluso aquellos familiarizados con el entorno CAD, deben pasar por un periodo de formación. Éste necesita que las personas estudien de manera seria y gasten su tiempo, pero cualquier inversión realizada en este campo será beneficiosa.

- **Coste del software**

El alto coste de los programas informáticos BIM, así como de los equipos necesarios para que funcionen, suponen un problema, sobre todo a aquellas empresas de menor tamaño a las cuales el afrontar este gasto les puede desequilibrar el presupuesto.

- **Colaboración**

Al proponer una nueva metodología de gestión de proyectos, pueden surgir problemas a la hora de trabajar en equipo. Si el equipo proyectista funciona de la forma tradicional, el constructor tendrá que generarse el modelo BIM una vez ya se ha redactado el proyecto, incrementando el coste económico y el tiempo invertido. Pero es un paso imprescindible ya que el modelo BIM es de gran ayuda durante la ejecución de la obra. Lo que habrá que hacer es utilizar algún medio para el intercambio de datos con el equipo proyectista, prestando mucha atención para evitar errores.

- **Barreras legales**

Un problema es saber quién ostenta la propiedad intelectual del modelo BIM con los datos que contiene, quién es el que paga y quién es el responsable de su precisión. Para dar solución a estos problemas, asociaciones americanas como el American Institute of Architects (AIA) o la Association General of Constructors (AGC) han desarrollado guías para realizar contratos que cubran estos tres puntos críticos.

- **Cambios en la forma de trabajar y en el uso de la información**

La mejor forma de trabajar con BIM es con el método IPD, donde todos los agentes intervinientes comienzan a colaborar en fases tempranas del proyecto. Este cambio necesita tiempo y formación para que resulte bien.

- **Implementar características**

Comenzar a utilizar BIM es más que comenzar a utilizar programas 3D en vez de 2D. Para utilizar bien BIM se requieren cambios en casi todas las partes de la empresa constructora o el estudio. Para implementar BIM se recomiendan los pasos recogidos en la tabla 4.6. (47)

- **Superar la resistencia al cambio**

Hay que superar el miedo al cambio en muchos focos de acción. Algunos proyectistas creen que el uso de BIM se restringe a modelos estandarizados de proyectos y no se puede aplicar a otros. Algunos fabricantes se quejan de no tener librerías compatibles con el software BIM. Los constructores recelan de compartir información con competidores. Cuanto más se difunda el uso de BIM, menos problemas se suscitan entre proyectistas y fabricantes. Y generando contratos que reflejen BIM y creen unas restricciones y limitaciones, los constructores se fiarán más a la hora de compartir su información.

Tabla 4.6. Pasos en la implementación de BIM

Fuente: Elaboración propia a partir de información de BIM Handbook, 2008.

Nº Etapa	Implementación de BIM
1	Centrarse en el desarrollo del plan de implantación de BIM y como los cambios generan impactos tanto en los departamentos internos como en los clientes.
2	Crear un equipo de trabajo encargado de la implantación del plan, con un plazo y un coste a cumplir.
3	Empezar a usar BIM en proyectos pequeños utilizando el modelo para general la documentación tradicional. Así se detectan errores.
4	Utilizar estos primeros proyectos y sus redes para educar y enseñar al resto de personal de la empresa.
5	Extender el uso de BIM a nuevos proyectos y comenzar a trabajar con otros equipos externos de forma colaborativa.
6	Continuar implementando BIM en la empresa, en los contratos con nuevos clientes, etc.
7	Mejorar el sistema creado a través de la experiencia, reforzando los beneficios y puliendo los errores.

4.5.- Beneficios derivados del BIM

Son los siguientes: (48) (49)

- La forma de trabajar permite realizar procesos más rápidos, ya que la información se comparte de forma sencilla.
- Se realiza un control de costes de toda la vida del proyecto y de forma más eficaz que el sistema tradicional, ya que se entiende de mejor forma la manera de interactuar con el entorno.
- Se coordina mejor la secuencia de trabajo, ya que se comprende bien el funcionamiento del edificio.
- Es una forma muy visual de entender el edificio y ver el resultado simulado de cómo terminará ejecutado.
- Al ser tan visual, se puede usar el modelo BIM para temas de marketing.
- Se proporciona un mejor servicio al cliente, que comprende mejor las propuestas de los arquitectos.
- Se evitan modificaciones o errores en la fase de ejecución ya que el modelo BIM permite identificar los errores antes.
- Como resultado del punto anterior, la calidad del proyecto mejora sustancialmente.
- El proyecto en global mejora debido al mejor conocimiento del entorno y como interactúa, a los análisis y la detección de errores que permite el uso de BIM.
- Toda la información recopilada durante el desarrollo y ejecución del proyecto están a disposición de los usuarios, lo que permite una mejor gestión de la edificación.

El *BIM Handbook* clasifica los beneficios en tres grupos, en función de si afectan al promotor, a los arquitectos o al constructor: (Tabla 4.7)

Tabla 4.7. Beneficios de BIM para Promotores, Arquitectos y Constructores

Fuente: Elaboración propia a partir de información de BIM Handbook, 2008.

AGENTE	BENEFICIO	DESCRIPCIÓN
PROMOTOR	Concepto y redacción del proyecto	Antes de contratar al equipo proyectista, si el promotor se crea un modelo aproximado con la idea que tiene, facilita el tener claro las dimensiones, la calidad, el presupuesto y el tiempo.
	Mejora del funcionamiento y calidad	Al crear un modelo aproximado antes que el modelo en detalle permite conocer mejor los requerimientos del proyecto, y permite analizar el modelo para proponer diferentes alternativas técnicas que mejoran la calidad.
ARQUITECTOS	Visualización precisa	El modelo 3D se genera directamente, permitiendo su uso para visualizar cada fase y etapa del proceso para su mejor entendimiento.
	Corrección automática de errores	Si se establecen unas reglas paramétricas, el modelo permite asegurar el cumplimiento de la normativa y que sea construible.
	Generación de planos en cualquier momento	Se pueden extraer de forma automática planos y secciones del modelo BIM, ahorrando una gran cantidad de tiempo.
	Colaboración multidisciplinar	BIM facilita la colaboración entre participantes y fomenta su participación en fases tempranas, lo que permite acortar tiempos. Habrá que prestar atención a la coordinación de un único modelo BIM.
	Estimación de costes	El modelo BIM permite extraer en cualquier momento una estimación de costes precisa.
	Mejora de eficiencia energética y sostenibilidad	Al unir el modelo BIM con análisis energéticos permite evaluar el uso de energía del edificio en fases de redacción de proyectos, permitiendo la mejora del proyecto en casos de resultados no satisfactorios.
CONSTRUCTOR	Sincronizar proyecto y ejecución	Con BIM es posible unir la programación de la obra con el modelo, siendo posible conocer el estado de la ejecución en cualquier momento de avance de la misma.
	Anticipar errores	Los fallos en la elaboración de planos se eliminan ya que los planos se generan a partir del modelo 3D, y además permite identificar fallos y conflictos en fases tempranas, lo que genera mayor velocidad y menores costes.
	Colaboración con Construcción sin Pérdidas	La CsP presta atención al funcionamiento del flujo de trabajo, creando una estabilidad. Con BIM se obtiene de forma precisa qué materiales y qué trabajo se va a realizar y en qué momento, siendo un complemento perfecto para la CsP.
	Coordinación del suministro de materiales	El modelo BIM contiene toda la información de materiales y objetos del edificio. Así se puede coordinar el suministro de materiales a obra.

4.6.- Riesgos derivados del BIM

Una vez se ha implantado en el proyecto o empresa el uso de BIM, y el equipo de trabajo aplica las tres “c” (comunicar, colaborar y coordinar) hay que afrontar una serie de riesgos, catalogados en tres grupos: Legales, tecnológicos y de actitud.

4.6.1.- Riesgos Legales

Dentro de esta categoría de riesgos se identifican 4:

- Falta de determinación del propietario del modelo BIM, y la necesidad de protegerlo para que no sea copiado. Se trata de un problema complicado de solucionar, ya que si el promotor está pagando por el proyecto, puede considerar que el modelo BIM es suyo. Pero al mismo tiempo, el equipo de trabajo está introduciendo información propia, y puede sentir que el modelo es en parte suyo y su información debe ser protegida. Para prevenir estos problemas de propiedad, la mejor solución es que el contrato firmado entre las partes contenga como se comparte la responsabilidad y quién es el propietario del modelo BIM.

Otra posible solución consiste en dar respuesta a las siguientes cuestiones que ayudan a comprender quién es el propietario del modelo: (49)

- ¿Quién será el propietario del modelo?
- ¿Se está compartiendo el coste de realizar el modelo?
- ¿Quién es el equipo proyectista y quién organiza el modelo?
- ¿Qué estándar se utiliza para crear el modelo?
- ¿A quién pertenece el copyright del modelo?
- ¿Quién supervisa el modelo?

- Determinación de quién es el responsable del modelo y de sus imprecisiones, en caso de haberlas. Es un aspecto interesante ya que, a pesar de compartir riesgos y beneficios, cada agente interviniente sigue siendo responsable de su trabajo. Debe asignarse un responsable que se encargue de comprobar que los datos de los diferentes intervinientes son coherentes entre sí, y no hay errores de precisión.

- Criterio sobre cómo compartir la responsabilidad. Muchas veces se determina a través del contrato firmado, pero los siguientes aspectos se pueden considerar a la hora de compartir la responsabilidad:

- BIM asume una actitud colaborativa, y para un uso eficiente se requiera de ella.
- ¿Se aplica porque se cree de verdad en ello o por un tema de marketing?
- ¿Se intenta funcionar como BIM o es solo un 3D?

- La confianza. El constructor debe esforzarse al máximo para trabajar y colaborar con el resto del equipo de trabajo. Algunas cuestiones que ayudan a determinar la confianza son:

- ¿Cómo se usará BIM y por quién?
- ¿Quién será el responsable de los errores?
- ¿Hay limitaciones de responsabilidad en el contrato?
- ¿Cómo se resuelven los conflictos entre los diferentes modelos?
- ¿Quién será el responsable de corregir los errores en los intercambios de formato?

4.6.2.- Riesgos Tecnológicos

Se clasifican en tres subgrupos a su vez: Confianza en la precisión del modelo, mantener el modelo actualizado y configurar la propiedad del modelo.

- Precisión del modelo: ¿Hasta qué grado se puede confiar en la precisión del modelo? Si se trata de un modelo solo por cuestión de marketing, el resultado será muy impreciso. En cambio, si se realiza un modelo bien desarrollado y detallado, acorde a los propósitos del proyecto, sí contendrá información precisa y fiable.

- Mantener el modelo actualizado: Es una labor crítica. Se debe establecer un responsable que se encargue de administrar, actualizar, mantener, distribuir y guardar el modelo. Un modelo que no es actualizado se convierte en algo inútil.

- Propiedad del modelo: Ya se ha analizado este problema en los riesgos legales. En este caso se hace referencia a qué información del modelo podrá ser reutilizada en la ejecución de proyectos posteriores.

4.6.3.- Riesgos por la actitud

BIM, para su correcto funcionamiento, requiere una actitud colaborativa para alcanzar su máxima eficiencia y mantenerla en el tiempo. Si algún participante no se compromete y no trabaja de manera colaborativa, tendrá una repercusión no solo en su trabajo, sino en el del resto del equipo.

4.6.4.- Propuesta de solución

A continuación se citan unas recomendaciones para afrontar estos riesgos recogidas en la guía de *The Foundation of the Wall and Ceiling Industry* (49):

- Definir el modelo BIM en un documento contractual, y convertirlo en un entregable.

- Compensar de manera adecuada a quienes crean el modelo, por su elaboración y por compartirlo.

- Asegurarse que los creadores no son responsables de los cambios a realizar o realizados por otros usuarios una vez ya se ha compartido el modelo.

- Crear copias de solo lectura, en especial cuando haya muchos usuarios.

- Determinar el nivel de detalle del modelo.

- Determinar la responsabilidad de cada participante.

- Determinar quién es el responsable de los errores del modelo en cada fase.

- Determinar quién tiene el control de cambios.

- Definir hasta qué grado pueden confiar los constructores en el modelo.

- Establecer quien tiene derechos de uso del modelo.

- Desarrollar protocolos para permitir el uso libre del modelo, respetando los derechos de propiedad intelectual.

- Elegir si se utiliza un único software BIM o se permite emplear más de uno, y como se intercambiarán los datos entre diferentes plataformas.
- Identificar al responsable de gestionar el modelo y dotar de los recursos necesarios para ello, garantizando su seguridad.
- Identificar quién es el responsable que decide la información que está permitida en el modelo.

Como resumen, se adjunta la figura 4.3 que recoge los riesgos analizados en este apartado.

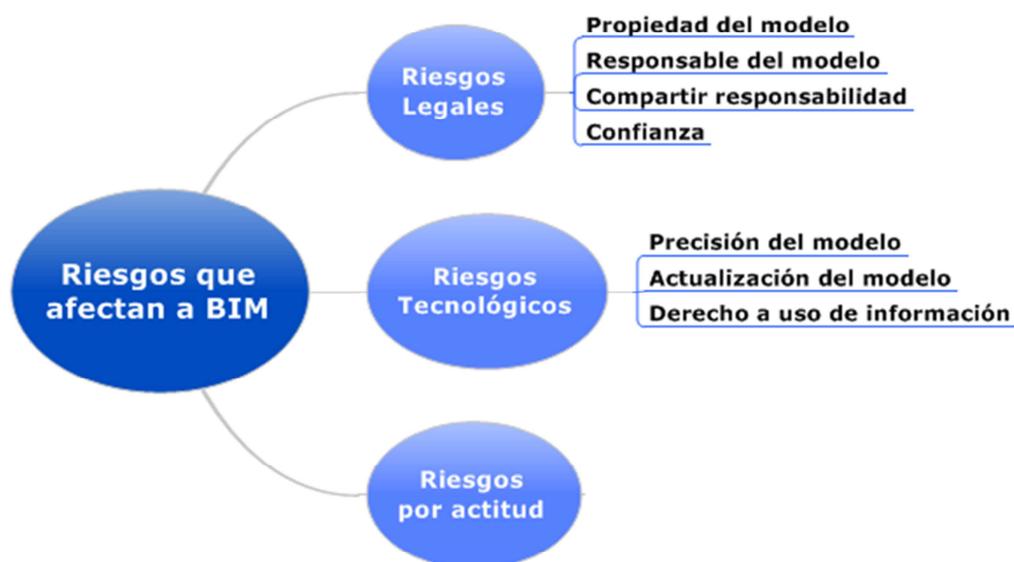


Figura 4.3. Esquema riesgos que afectan a BIM

Fuente: Elaboración propia

4.7.- Programas BIM

En el presente apartado se analizan diferentes programas informáticos que sirven como herramientas para la aplicación de BIM. Se realizará una breve descripción del mismo, analizando sus puntos fuertes y débiles y el requerimiento de software para que puedan funcionar de manera correcta.

No existe un programa mejor o peor, todos ellos cumplen con su función, que es ser una herramienta de aplicación de BIM. Sin embargo, a la hora de trabajar en equipo, resulta más sencillo trabajar antes con unos determinados programas que con otros, debido a que su uso está más extendido y para intercambiar información y datos resulta más sencillo y cómodo. La tabla 4.8 recoge el análisis de los principales programas:

Tabla 4.8. Características de los principales programas BIM

Fuente: Elaboración propia

Nombre del programa	Empresa	Descripción	Puntos Fuertes	Puntos débiles	Requerimientos	Precio
Revit V.15	Autodesk	Introducido en 2002 por Autodesk después de comprar el programa a una start-up, es un programa independiente de Autocad. Formado por una familia de productos que incluye revit Architecture, Revit Structure y Revit MEP.	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil de aprender, la interfaz facilita su uso. - Líder del mercado. - Permite dibujar planos y tienen gran librería de objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lento con proyectos grandes. - Tiene limitaciones paramétricas con los ángulos y las curvas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Windows 7/8 - 4Gb de RAM - Resolución 1280x1024 - 5Gb de memoria libre 	6.000€
Microstation V.8	Bentley	Gran variedad de productos relacionados con la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Introducido en 2004, tiene incluidas extensiones de sistemas eléctricos, de estructuras y de gestión de edificación.	<ul style="list-style-type: none"> - Variedad de herramientas. - Representa superficies curvas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interfaz complicada. - Difícil de aprender. - Débil intercambio de formatos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Windows Vista/XP/7/8 - 512mb de RAM - 900mb memoria libre. 	5.835,75€
Archicad 16	Graphisoft	Producto que lleva más tiempo en el mercado. Graphisoft comenzó a comercializarlo en los años 80. Soporta interfaces de programas de análisis, como Energy+.	<ul style="list-style-type: none"> - Interfaz intuitiva. - Librería objetos amplia. - Disponible para MAC 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitaciones paramétricas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Windows Vista/XP/7 - 3Gb RAM - 5Gb memoria libre - Res. 1280x1024 	4.911,28€
Tekla	Tekla Corp.	Programa finlandés que responde muy bien a la demanda de detalles de estructura de hormigón. En 2004 amplió su capacidad a cualquier tipo de estructuras.	<ul style="list-style-type: none"> - Versatilidad en estructuras. - Capacidad para trabajar varios usuarios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil uso y aprendizaje. - Requiere gran capacidad de software. 	<ul style="list-style-type: none"> - Windows Vista/XP/7/8 - 2 GB RAM (32-bit), 4 GB (64-bit). 	Gratis
AllPlan 2015	Nemetschek	Software BIM de alto rendimiento. Permite una solución integrada única tanto para arquitectura, construcción y cálculo de costes.	<ul style="list-style-type: none"> - Visualizaciones de gran calidad - Muy completo, se define desde cimentación hasta cubiertas, pasando por vigas, escaleras, forjados... 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil uso y aprendizaje. - Requiere gran capacidad de software. 	<ul style="list-style-type: none"> - Windows 7/8 - 4Gb RAM - 5Gb memoria libre 	

Estos programas, a su vez, se apoyan en aplicaciones que realizan análisis de los modelos generados. Energy+, DAYSIM o LifeCycle son ejemplo de estas aplicaciones.

4.8.- Implantación y uso de BIM en fases de proyecto

A continuación se describe cómo se utiliza un modelo BIM en cada fase del proyecto de edificación. Para ello primero se definen primero cuáles son las fases del ciclo de vida del proyecto, y posteriormente se analiza cómo puede afectar de manera beneficiosa BIM sobre ellas.

4.8.1.- Fases de vida de un proyecto de edificación

Las principales fases de un proyecto de edificación, cuyos agentes principales intervinientes son el promotor, el proyectista y el arquitecto, son: (70)

- La fase de Viabilidad del Proyecto.
- La fase de Diseño.
- La fase de Licitación y Adjudicación de la obra.
- La fase de Construcción.
- La fase de Entrega de Obra.
- La fase de explotación del activo inmobiliario.

La tabla 4.9. recoge las principales características de estas fases.

4.8.2.- Viabilidad

Durante esta etapa se evalúan las necesidades y objetivos del promotor y del usuario final. Se valoran diferentes alternativas, analizando la propuesta básica más adecuada. Para ello se utilizan bocetos espaciales.

La realización de esta evaluación de objetivos no implica un modelo geométrico, pero se debe hacer un modelo inicial con los requisitos más importantes a nivel espacial.

Los datos de partida que debe recogerse para el proceso de redacción del proyecto son:

- Presupuesto de proyecto.
- Planificación de objetivos.
- Objetivos generales de alcance.
- Superficie y volumen brutos.
- Áreas para distintos usos.
- Requisitos ligados al emplazamiento del edificio.

La exigencia mínima es un programa de espacios en formato de tabla, que debe contener la siguiente información:

- Superficie útil para cada habitación o espacio.

- El uso de la habitación o espacio.
- Las necesidades de acondicionamiento, aislamiento acústico, iluminación, cargas, durabilidad, seguridad y calidad.
- Los requisitos para sistemas de climatización y ventilación, máquinas, equipos y espacios para mantenimiento y sus estructuras auxiliares.

Además habrá que tener en cuenta la normativa y regulación legal. Si se puede tener en formato digital ligada con el modelo BIM, reportará beneficios ya que será muy sencilla la revisión entre ambos.

Tabla 4.9. Características principales de las fases de un proyecto de edificación.

Fuente: Sánchez, 2014

Fase Viabilidad	Objetivo	Evaluar los riesgos potenciales (técnicos, económicos, temporales y financieros) del proyecto para que el Promotor (Cliente/Inversor) decida si continúa o no con el proyecto
	Responsable principal	El Promotor (Cliente/Inversor)
	Resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del proyecto y de su ubicación e informes • Identificación de los objetivos principales del proyecto • Presupuesto inicial • Requisitos temporales (de plazo) • Compromisos de financiación • Selección del Método de Desarrollo del Proyecto
Fase Diseño	Objetivo	Definir los requerimientos específicos del Proyecto
	Responsable principal	El promotor es responsable de la programación preliminar del proyecto y el arquitecto del diseño
	Resultados	<ul style="list-style-type: none"> • La identificación de los requerimientos del Proyecto • La actualización de la estimación de costes y plazos • Los documentos contractuales que se van a facilitar al constructor para que oferte y construya el Proyecto
Fase Licitación y Adjudicación	Objetivo	Selección de una o varias empresas constructoras para que ejecuten el proyecto técnico (un Contratista General o a varios constructores)
	Responsable principal	El proyectista/ el Project Manager
	Resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Paquetización de la licitación (división de la obra en varios paquetes de ejecución) • Envíos de ofertas por parte de los constructores • Adjudicación del contrato de obra (o contratos de obras si son varias empresas constructoras)
Fase Construcción	Objetivo	Completar el trabajo físico de forma segura y sostenible (medio ambiental), a tiempo, dentro de presupuesto y según los requerimientos de calidad del contrato
	Responsable principal	El constructor (o constructores)
	Resultados	<ul style="list-style-type: none"> • La implantación de la obra (fase previa al comienzo) • La terminación de la obra (del trabajo físico del Proyecto)
Fase entrega de obra	Objetivo	Completar todos los requerimientos del contrato de obra. Entrega de la obra al Promotor/Cliente
	Responsable principal	El constructor (o constructores)
	Resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Terminación de los términos contractuales y pago final del Constructor • Ocupación de la edificación

4.8.3.- Diseño

Se desarrolla la solución básica que se ha elegido para el proyecto, con un nivel de precisión de la información generada muy alto. Las soluciones del proyecto deben permitir licitar presupuestos.

Las tareas del cliente incluyen supervisar y aprobar soluciones de diseño. Al final de esta fase, las soluciones detalladas serán aprobadas, alcanzando un nivel de definición tal que permita su uso para la etapa de licitación.

En esta etapa se crean principalmente tres modelos:

- Modelo de arquitectura: Contiene los elementos constructivos en la forma que van a ejecutarse. Al menos contiene:

- Estructuras de carga: pilares, forjados, losas y muros.
- Muros categorizados de acuerdo a su tipo principal: cerramientos, particiones, etc.

- Ventanas y puertas.

- Modelos de estructura: Los documentos deben corresponderse con los del modelo arquitectónico, siendo posible utilizar este modelo para obtener mediciones.

- Modelos de instalaciones: Debe contener los requisitos dimensionales de los conductos y los cuartos de máquinas. Se deben corresponder con los del modelo arquitectónico.

Los modelos montados se crean a partir de modelos individuales aportados por cada agente interviniente, y pueden ser utilizados para visualizar los diseños y analizar su compatibilidad.

4.8.4.- Licitación- adjudicación

Los modelos BIM y los documentos generados a partir de él se entregarán a los contratistas que participen en el proceso con el fin de facilitar la preparación de ofertas de licitación y planificación.

Con la ayuda de los 3D, los contratistas son capaces de familiarizarse con los planos de diseño y construcción.

4.8.5.- Construcción

El uso principal por parte de los constructores es para organizar los procesos de producción. La gran ayuda visual que aporta el modelo supone un beneficio significativo.

Las mediciones basadas en BIM aceleran los procesos de cálculo y dan un resultado más preciso, si se asume que el modelo está realizado sin errores.

4.8.6.- Explotación (y mantenimiento)

Los manuales de mantenimiento basados en BIM están en fase de desarrollo. En un futuro tendrán gran importancia, ya que permitirán al usuario final de la edificación conocer las actividades de mantenimiento que debe realizar, siendo una herramienta muy visual al complementarse con el modelo “*As Built*”.

4.9.- Futuro de BIM

Como ya se ha comentado en el apartado 4.1.- *Qué es*, BIM es mucho más que un programa informático, está suponiendo un factor de cambio en el modelo productivo del sector de la construcción.

En la actualidad varios promotores ya demandan el uso de BIM y lo incluyen en los términos de acuerdo de contrato. Sin embargo, una encuesta realizada en 2007 (50) mostraba que, si bien el 74% de las firmas de arquitectura usaban BIM para realizar renders y 3D, y únicamente el 34% utilizaba BIM como un modelo inteligente.

Azhar (48) destaca dos razones principales por las cuales la metodología BIM se está implantando de manera lenta: Razones técnicas y de gestión.

- Técnicas: Se clasifican a su vez en tres categorías:

1.- La necesidad de definir bien las operaciones de cambio de modelo para eliminar los problemas de interoperabilidad entre programas.

2.- El requerimiento de que el diseño digital sea compatible.

3.- La necesidad de desarrollar prácticas para el intercambio e integración de información de los componentes del modelo.

- De gestión: Hacen referencia a la implementación y uso de BIM. Hasta hace poco apenas existían guías que ayudasen a la implantación y uso de BIM en la construcción. Existen explicaciones breves de cómo utilizar determinados aspectos, pero no unas guías o manuales de procedimientos.

4.9.1.- Prácticas habituales en el uso de BIM

Eastman&al (47) destacan las siguientes:

Proceso moda

- Promotores demandan BIM y cambian los términos contractuales para permitir su uso.

- Se desarrollan nuevas habilidades.

- El 25% de firmas de arquitectura en EE.UU utiliza ya BIM como un modelo inteligente.

- El éxito de las pruebas piloto hace que más empresas quieran implantar su uso.

- El beneficio de su utilización es cada vez más reconocido.

- Los proyectos de edificios sostenibles lo demandan cada vez más.

- Cada vez es más común hablar de BIM y el 4D CAD.

Moda tecnológica

- Autocomprobación del cumplimiento de normativa.
- Los programas BIM se están extendiendo y cada vez aglutinan más capacidad de trabajo y colaboración con otras plataformas.
- Los fabricantes comienzan a realizar catálogos 3D.
- Las herramientas BIM comienzan a integrar funciones de gestión de la construcción.
- BIM favorece la globalización y la prefabricación.

4.9.2.- Conductores económicos, tecnológicos y sociales del cambio

Existen varios factores que pueden actuar como conductores del cambio: La globalización, la especialización, los métodos de la CsP, aumentar el uso del DB y una mayor información de la gestión de la edificación.

Factores económicos: Al eliminar barreras en el comercio internacional aparece la globalización. Esto crea la oportunidad de traer productos y elementos constructivos desde zonas que resulten más económicas manteniendo los niveles de calidad exigidos. Para que cumplan con los requisitos y queden perfectamente ensamblados en el momento que se instalan en obra, es necesario que la información del diseño de los materiales y sus características sean muy completos.

Otro factor económico es la especialización. Cuanto más se definan y desarrollen las características de los programas, como pueden ser los renders o los análisis del modelo, más capaz será BIM de entregar servicios especializados a los clientes.

Además el método de desarrollo de proyectos DB necesita de una colaboración cercana entre el desarrollo del proyecto de ejecución y la ejecución. El nexo que permite esa colaboración estrecha puede ser BIM.

El conductor económico más importante es toda la información que facilita BIM acerca de la calidad, los materiales, lo visual que resulta su modelo, las estimaciones de costes y los análisis que se pueden realizar. Todo ello da un gran valor al cliente para la toma de decisiones.

Factores tecnológicos: Destaca el importante desarrollo de ordenadores más potentes, sensores de tecnologías y la potenciación del intercambio de información entre diferentes programas que impulsen un mayor uso y más fluido de BIM. Además se debe normalizar la información, definiendo unos tipos de edificios, elementos constructivos y espacios de trabajo que automaticen el proceso.

Factores sociales: Como factor social destaca la utilización de BIM como herramienta de apoyo a la demanda de la sociedad de edificios sostenibles. El modelo BIM permite que se ejecuten diferentes análisis energéticos, consiguiendo desarrollar proyectos que respeten el medioambiente.

La figura 4.4 recoge un esquema de los factores de cambio:

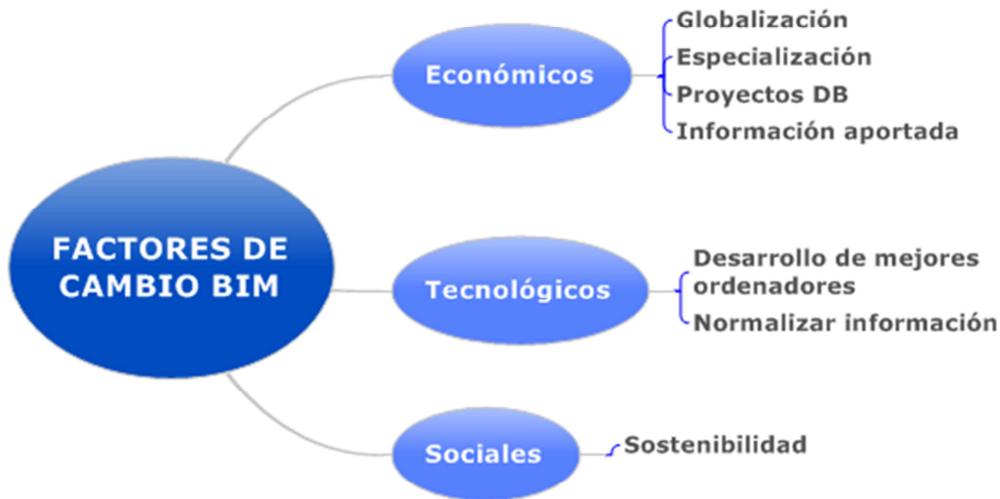


Figura 4.4. Esquema factores de cambio BIM

Fuente: Elaboración propia

4.9.3.- Obstáculos al cambio

Tal y como recogen Eastman&al (47), existen tres tipos de obstáculos: Debido a la responsabilidad, económicos y técnicos: (Tabla 4.10)

Tabla 4.10. Obstáculos al cambio de BIM

Fuente: Elaboración propia a partir de información de BIM Handbook, 2008

TIPOS DE OBSTÁCULOS
<p>RESPONSABILIDAD</p> <p>BIM permite una forma de trabajo colaborativo. Sin embargo, esto requiere que la responsabilidad, los riesgos y los beneficios se compartan entre todos los agentes intervinientes en el proyecto. Las herramientas BIM no están preparadas aún para soportar este cambio y los contratos no reflejan esta responsabilidad compartida.</p>
<p>ECONÓMICOS</p> <p>Los intereses económicos opuestos entre proyectistas y constructores es otra posible barrera. El reparto de los beneficios y el uso de programas BIM deben convencer a los constructores de las ventajas de su utilización.</p>
<p>TÉCNICOS</p> <p>El mayor obstáculo aquí es la necesidad de herramientas que permitan la interoperabilidad entre programas, ya que genera impedimentos a la hora de trabajar en equipo.</p>

4.9.4.- El futuro de BIM en Europa

Los beneficios y ventajas que conlleva la utilización de BIM, unida a la falta de productividad y la necesidad de un cambio en la Construcción, han permitido que BIM se potencie desde la propia administración pública.

Uno de los países pioneros en el fomento de BIM es Reino Unido. Para ello, en 2010 creó una plataforma de trabajo, *BIM Task Group*, con el fin de identificar los principales beneficios que presenta BIM, descubrir qué es el valor para el cliente (el gobierno de Reino Unido) y como BIM puede mejorar ese valor, investigar qué se hace en otros países y cómo se utiliza BIM, y asesorar al gobierno para implantar BIM. (71)

El principal objetivo que se ha marcado el gobierno británico es que para el año 2020, la implantación y utilización de BIM sea total en sus contratos de obras públicas. En 2011 publicó la estrategia a seguir y los retos a superar (72).

El cambio que supone el trabajar de la manera tradicional a un entorno BIM es muy grande, por lo que se ha graduado esa evolución hacia BIM a través del logro de diferentes hitos temporales. Se ha graduado dicha evolución en 4 niveles: Nivel 0, Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3, que se deben ir alcanzando poco a poco.

Cada nivel supone una categoría diferente de colaboración en el trabajo, que permite familiarizarse con los procesos, herramientas y técnicas que son requeridas para trabajar en un entorno BIM.

La figura 4.5. muestra el triángulo BIM, esta evolución gradual en los niveles hasta lograr el dominio de BIM como metodología de desarrollo de proyectos:

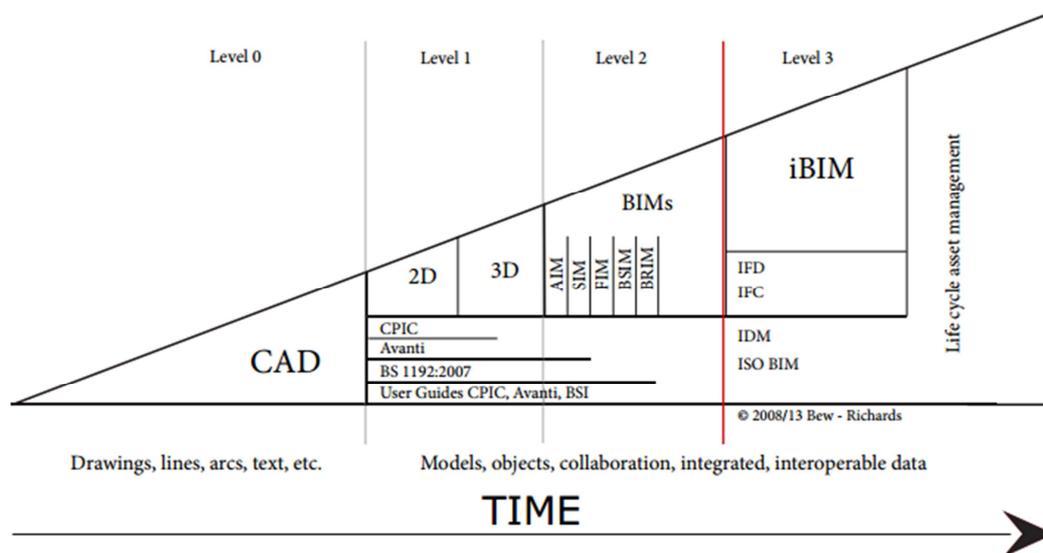


Figura 4.5. Triángulo BIM

Fuente: Saxon, RG, 2013

A continuación se explica en qué consiste cada nivel:

- Nivel 0: Se trabaja con archivos CAD, aunque para colaborar con otros agentes intervinientes en el proyecto el formato de intercambio son planos, ya sean en formato pdf o en papel.

- Nivel 1: Se continua trabajando en formato CAD, ya sea en 2D o 3D. Se apoyan en la norma BS1192:2007⁵. Siguiendo las instrucciones que contiene, se comienza a colaborar un poco más entre agentes.

- Nivel 2: Se trabaja en 3D, bajo una disciplina de trabajo BIM. Se comienza a compartir más información, que se recoge bajo un mismo modelo que es de un propietario. Se comienza a trabajar en 4D (tiempo) e incluso 5D (tiempo y costes).

- Nivel 3: En este nivel cada agente trabaja su parte del proyecto en un único modelo, que está alojado en la web, a la vez que otros agentes pueden realizar su propio trabajo, o visualizar y comprobar el de otros.

Está previsto que para el año 2016 se alcanza el nivel 2 de funcionamiento, y para el año 2020 se alcance el nivel 3. (74)

Pero esto es solo la punta del iceberg. Durante el 2014 el parlamento europeo aprobó una directiva en la que se recomienda la metodología BIM para el desarrollo de proyectos de construcción.

Con este impulso normativo para la ejecución de proyectos de la administración pública, el futuro de BIM se presenta lleno de oportunidades.

4.9.5.- Conclusiones

Para seguir con el desarrollo de BIM y que alcance un grado de desarrollo completo, es necesario que las empresas y los usuarios minimicen la curva de aprendizaje, y la propia industria debe desarrollar procesos y políticas que promuevan el uso de BIM.

Los investigadores deben desarrollar soluciones adecuadas a estos problemas analizados.

La CsP y BIM tiene un futuro desarrollo similar, ya que son complementarios en muchos aspectos. BIM puede jugar un papel muy importante en la reducción de la duración tanto de la redacción del proyecto como de la ejecución de la obra.

Según *The Foundation of the Wall and Ceiling Industry* (49), para el año 2020 BIM habrá alcanzado su máximo desarrollo. Los principios de la CsP estarán en la mayoría de proyectos, y junto con BIM, harán más productivo el sector de la construcción.

⁵ Norma británica que establece la metodología de trabajo para gestionar la producción, la distribución y la calidad de la información de la construcción. (73)

5.- Interacción CsP-BIM

En los puntos anteriores se ha desarrollado en qué consiste la filosofía *Lean*, su aplicación al sector de la Construcción a través de la CsP, y se ha analizado BIM. Se ha plasmado como, ante la difícil situación actual que vive el sector, estas metodologías de gestión, novedosas en España, suponen un cambio beneficioso en la forma de gestionar un proyecto de edificación a lo largo de todo su ciclo de vida.

“Mientras que la CsP es una filosofía de gestión de construcción centrada en crear valor para el cliente (y eliminar todo aquello que no genere valor) utilizando los menores recursos posibles, BIM se centra más en la aplicación de la tecnología para incrementar la colaboración entre los participantes del proyecto en todo su ciclo de vida” (52). Ambas metodologías dan una gran importancia a la colaboración entre todos los agentes participantes del proyecto, tal y como reflejan varios autores (52,53,54 y 55), y éste es un aspecto muy importante, ya que *“en los proyectos PLE entorno a un 80% de las quejas están realizadas por los principales intervinientes, como el promotor, el constructor o los arquitectos y un 87% de las mismas son debidas a reclamar más información y cambios”* (56).

Ambas metodologías se pueden utilizar por separado, siendo este de hecho la forma de trabajo hasta el momento. Las prácticas principales de CsP se pueden adaptar sin implantar BIM, y BIM puede adaptarse sin implantar CsP. Sin embargo, *“la mejora completa en los proyectos de edificación únicamente puede alcanzarse cuando su integración es completa, bajo un enfoque IPD”*. (53) Éste es el primer nexo de unión entre CsP y BIM, el IPD (o LPDS aplicado en CsP). La AIA también se expresa en esta misma línea: *“A pesar de que es posible funcionar con IPD sin BIM, se opina y recomienda que usar BIM es esencial para alcanzar de manera eficiente la colaboración requerida por IPD”*. (57)

El segundo nexo de unión entre ambas metodologías aparece al vincular la técnica LPS con el modelo BIM. El modelo contiene mucha de la información necesaria para poder establecer un correcto flujo de trabajo, ya que permite realizar una correcta secuenciación de los trabajos, y además, corregir errores de proyecto con su detección automática, consiguiendo que no surjan tantos imprevistos y logrando un mayor porcentaje de PAC.

A pesar de ser dos metodologías que llevan tiempo siendo analizadas y estudiadas por separado, no ha sido hasta hace unos pocos años cuando se ha comenzado a analizar la posible interacción beneficiosa de ambas (53, 58). En los últimos años diversos autores como Sacks, Koskela o Dave se han centrado en la investigación de los aspectos en común que existen entre CsP y BIM, y realizando avances interesantes (53, 59, 60, 61).

Lo que se pretende en este punto es lograr determinar puntos básicos de interacción entre CsP y BIM. Para ello se comparan diversos aspectos tales como los principios *Lean* frente a las funciones o aplicaciones de BIM, las barreras a las que se enfrenta cada metodología o los beneficios que conlleven.

En los siguientes apartados se va a analizar la interacción y nexos de unión, y para ello se realiza un breve repaso a la investigación realizada. A continuación se explica la metodología seguida para establecer la interacción y finalmente, se presentan las conclusiones.

5.1.- Análisis de la investigación realizada

Tal y como se ha indicado en la introducción del punto 5.- *Interacción CsP-BIM*, la investigación acerca de las sinergias entre CsP y BIM no se ha desarrollado mucho. Un primer intento de resaltar la interacción existente lo realizó Galsworth (62) en 1997, destacando que *“la utilización de modelos BIM para visualizar y coordinar está disponible para todos, y supone grandes beneficios con una buena implementación de los principios Lean.”*

No se encuentra otra referencia conjunta hasta el 2006, cuando Rischmoller et al (63) analizaron el impacto de lo que denominaron Herramientas Informáticas Avanzadas de Visualización/*Computer Aided Visualization Tools*, (HIAV/CAVT), en un marco basado en los principios *Lean*, destacando que existen sinergias entre CsP y CAVT.

También en 2006, Khanzode et al (64) relacionaron el LPDS con el Diseño Virtual y Construcción (o Virtual Design and Construction, VDC). Al igual que en el estudio anterior, concluyeron que la relación era mutuamente beneficiosa, obteniéndose mejores resultados.

A continuación se explica brevemente en qué consisten CAVT y VDC, para comprender mejor a qué se referían estos autores.

CAVT es un grupo de herramientas que permiten una representación visual de las condiciones recogidas en el proyecto. También da información sobre componentes de edificación, y permite realizar renders, impresión de planos, cuantificar materiales o realizar una representación virtual del entorno del edificio. Todo ello se puede realizar y obtener gracias al soporte informático.

Dave (61) recoge la tabla publicada por Rischmoller (63) donde compara la gestión tradicional con CAVT. Dicha tabla se recoge a continuación (Tabla 5.1):

Tabla 5.1. Comparación proceso de desarrollo de proyecto tradicional vs CAVT

Fuente: Elaboración propia a partir de Rischmoller 2006 citado por Dave, 2013

Tradicional	CAVT
Se trata de un sistema "push". Aspectos como la constructibilidad o el minimizar los desperdicios no son considerados.	Es un sistema "pull". La capacidad de visualizar y analizar la constructibilidad del proyecto ayuda a minimizar los desperdicios.
Las críticas en fases tempranas a la constructibilidad del proyecto se realizan en reuniones, y las decisiones adoptadas se apuntan en notas para más tarde realizar los cambios aprobados	El proyectar en 3D permite realizar mejores críticas a la constructibilidad del proyecto, y los cambios adoptados se realizan de manera instantánea.
Durante la construcción, la identificación de problemas en el diseño de soluciones es reactiva. Esto quiere decir que se repasan los planos en busca de errores, y en caso de haberlos, se deben cambiar y rehacer los planos.	Con CAVT, es más sencillo este proceso. La detección automática de interferencias en el proyecto ayuda a evitar errores antes de realizar los planos y se reducen los retrabajos.
Las deficiencias en proyecto y los problemas de comunicación que generan los planos son altas durante la ejecución del proyecto. Además suponen unos retrabajos y retrasos en la duración de la construcción, que afectan a penalizaciones por retrasos y sobrecostos.	Al colaborar todos los intervinientes en fases tempranas, se detectan errores que reducen los problemas durante la ejecución. Esto permite ser más eficiente durante la ejecución y alcanzar los objetivos de coste y tiempo.

VDC, según explica Dave (61), permite la construcción de un modelo virtual del producto en una fase temprana, antes de comprometerse a un tiempo o presupuesto de proyecto. Algunas de sus herramientas son las siguientes:

- Herramientas de visualización como Revit, que apoyan la creación de un modelo BIM. Estas herramientas pueden ayudar a desarrollar un mejor entendimiento del proyecto y coordinar varios trabajos diferentes.

- Modelizar el producto y el proceso, utilizando herramientas de visualización y simulación como Navisworks. Son sistemas que crean un vínculo entre la programación de la obra con un modelo 4D.

- Se identifican los principales riesgos para la organización.

- La colaboración entre diferentes agentes es sencilla gracias al soporte informático.

Aunque estos autores no se refirieron al BIM como tal, cabe destacar que tanto los principios como la forma de trabajar de CAVT y VDC son similares.

En 2007, Gilligan and Kunz (65) concluyeron que el uso de VDC en fases iniciales del proyecto ayudaba a implantar de CsP. En 2009 Sacks et al (66) destacaron las grandes oportunidades que representaba la utilización de BIM en la visualización de producto y proceso en de un marco de trabajo *Lean*. También en 2009, Khemlani (67) realizó un detallado estudio sobre un proyecto realizado mediante IPD, en el cual se utilizaba BIM y técnicas *Lean*, y que obtuvo resultados positivos maximizando el beneficio final.

En 2010 Sacks et al (53, 67) hicieron grandes contribuciones al estudio de las interacciones entre CsP y BIM. Por un lado, analizaron en profundidad las interacciones generadas entre ambas metodologías, resultando una matriz de 18x24, con 56 interacciones (53) (Tabla 5.2). Y por otro, propusieron el concepto de KanBIM (67), “*cuya principal contribución es aportar visualización no solo del producto si no del proceso constructivo*” (55).

En el 2012, en la 20ª edición del congreso del Grupo Internacional de *Lean Construction* (IGLC, sus siglas en inglés) se hicieron dos aportaciones más, en las que se analizaban las interacciones entre BIM y CsP en un caso de estudio (54) y la integración entre BIM y LPS (52). En el 2013, Dave (61) publicó su tesis, donde desarrolla la interacción entre ambas metodologías y crea un software para combinarlas, *VisiLean*.

Como se puede observar, la relación existente entre CsP y BIM es un tema que en los últimos años, de manera lenta pero progresiva, adquiere mayor relevancia. Las últimas aportaciones realizadas, como *VisiLean* o *KanBIM*, son un ejemplo del potencial en este campo de investigación, y el recorrido que queda por realizar en su desarrollo para lograr una implementación completa y satisfactoria de ambas metodologías, para que resulte en un beneficio para el proyecto, requiere seguir profundizando en la cuestión.

Tabla 5.2. Matriz interrelación CsP y BIM

Fuente: Sacks et al, 2013

Principios CsP	Aplicaciones BIM																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Visualización	1	1,2												3				4		11	5	6	4	
Rápida generación de alternativas	2	1	22									7	7		8									
Análisis del funcionamiento	3	9	9	22			51											1	16		5			
Estimación de coste	4		10	12											8				16		5			
Evaluación requisitos cliente	5	1,2	1	12														1	1	1	5			
Única fuente de información	6	11	11																	11				
Detección automática de errores	7	12	12	22																	12			
Generación automática de planos y documentación	8	11		22	(52)	53										54	54							
Edición por varios usuarios	9			23						36														
Visualización por varios usuarios a la vez	10	2, 13		24				33										43		56	46			49
Generación automática de tareas	11	14		25	(29)		31							(41)										
Simulación proceso constructivo	12		15	25	(29)					37				(41)					44		47			
Visualización 4D	13	2	40	25	(29)					17		40	40		40						47			49
Visualización del estado actual	14		29	26	30	30		34				34				(42)					47	48		
Comunicación online	15	18		26	30	30		34		38		38	34			(42)				45				49
Fabricación controlado por ordenador	16	19		27			32									(42)								
Integración con bases de datos	17		20	28				35								(42)								50
Contexto del estado de la info.	18		21		30	30		34			39					(42)					47	48		

5.2 Metodología

Para determinar la interacción entre la CsP y BIM se ha revisado la bibliografía, recabando toda la información posible sobre el tema. Ésta se ha recogido en el punto 5.1.- *Análisis de la investigación realizada*. Una vez finalizada la búsqueda, y en función de los conocimientos expuestos en el desarrollo de los puntos 2.- *Filosofía Lean*, 3.- *Construcción sin Pérdidas/Lean Construction* y 4.- *Building Information Modeling (BIM)*, se procede a definir los nexos de unión que se consideran que existen entre ambas metodologías.

Se utiliza el modelo de matriz propuesto por Sacks et al (53), ya que permite representar de manera clara y concisa los principales nexos de unión. Al igual que en dicho artículo, se comparan los principios de CsP con las funciones/aplicaciones que tiene BIM. Además, como aportación a lo realizado hasta el momento, se comparan las barreras que surgen en la implantación de ambas metodologías y los beneficios que de ello se derivan.

Por último, se expone la conclusión reflejando los puntos analizados más importantes.

5.3.- Análisis de la interacción

5.3.1.- Principios CsP / Aplicaciones de BIM

Con el fin de determinar las sinergias entre las dos metodologías, se elabora una matriz de afinidad. Cabe destacar que ya existe una matriz de estas características, elaborada por Sacks et al (53). Diversos autores, en artículos posteriores, han basado el desarrollo de sus trabajos en ella, adaptándola tal cual es, sin introducir mejoras (52, 55). Otros en cambio, partiendo de esta matriz, han contribuido con pequeñas aportaciones o introducido matices que afectan a los puntos de interacción (54, 58).

Reconociendo el gran esfuerzo y labor que realizaron Sacks et al (53) en un momento en el que apenas se hablaba sobre la interacción *Lean-BIM*, en opinión del autor las dimensiones de la matriz resultante (de 18 filas por 25 columnas) no facilitan su empleo.

Por ello, para disponer una matriz que refleje la interacción entre ambas metodologías y de un tamaño más cómodo se ha realizado de nuevo.

El primer paso para ello ha sido a partir de los conocimientos adquiridos y de la revisión bibliográfica que se recoge en el apartado *5.1.- Análisis de la investigación realizada*, una recopilación de los principios *Lean* y de las aplicaciones de BIM más aceptadas entre los profesionales e investigadores expertos en la materia. El resultado obtenido se muestra en la tabla 5.3:

Tabla 5.3.Principios de la CsP y aplicaciones de BIM

Fuente: Elaboración propia

Principios CsP		Aplicaciones BIM	
1	Definir el valor	1	Visualización
2	Identificar el flujo de valor	2	Generación de planos
3	Optimizar el flujo	3	Revisión de proyectos
4	Sistema Pull	4	Estimación de costes
5	Mejora continua	5	Secuenciación de la ejecución
6	Reducir actividades sin valor	6	Detección de conflictos
7	Aumentar valor del producto	7	Toma de decisiones
8	Reducir variabilidad	8	Análisis
9	Reducir tiempo de ciclo	9	Mejora de la calidad
10	Reducir pasos para simplificar el proceso	10	Integridad del modelo
11	Aumentar la flexibilidad	11	Colaboración
12	Aumentar la transparencia	12	Generación de variaciones en el diseño
13	Centrarse en el proceso global	13	Visualización
14	Mejora continua	14	Realización de análisis
15	Estandarizar	15	Generación automática de planos
16	Gestión visual	16	Generación de alternativas
17	Ve y mira tú mismo	17	Planificación y control
18	Colaboración	-	-

Se observa que la columna de principios CsP está formada por los 5 principios de Jones y Womack y la mayor parte de los 11 principios de Koskela, analizados en el apartado 2.1.2.- *Principios*. El resto, como gestión visual (o ve y mira tú mismo), son principios recogidos por Sacks et al (53). La columna de aplicaciones BIM está formada por las funciones del apartado 4.1.1.- *Aplicaciones*, y otras que recogen Sacks et al (53) y Clemente&Cachadina (55).

A pesar de que la matriz, al colocar los principios de CsP en columna y las aplicaciones BIM en fila, se reduce a 18 columnas por 17 filas, sigue siendo de un tamaño excesivamente grande para resultar cómoda de utilizar. Además, hay varios conceptos que son similares y podrían estar dentro de una categoría superior que los abarque.

Por ello se decide utilizar LAP, técnica de CsP. Con los conceptos de la tabla 4.1 se generan dos matrices de valores, una para los principios de CsP y otra para las aplicaciones de BIM. (Fig 5.1 y Fig 5.2):



Figura 5.1. Matriz de principios CsP aplicando LAP

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.2. Matriz de aplicaciones BIM aplicando LAP

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se reduce la cantidad de variables de forma considerable, ya que los 18 principios de CsP se agrupan en 8, y las 17 aplicaciones de BIM, en 7. Cuando se relaciona y analiza la interacción entre ambas, la matriz resultante es de 7 filas por 8 columnas, mucho menor y más cómodo de manejar que del original de Sacks et al (53).

Una vez obtenida la matriz, se analizan las posibles interacciones entre los principios de CsP y las aplicaciones BIM. Se adjunta la matriz (Tabla 5.4) y la justificación de los indicios o motivos que justifican la interacción (Tabla 5.5).

Tabla 5.4. Matriz de interrelaciones entre CsP y BIM

Fuente: Elaboración propia

		Principios CsP							
		Valor	Diseño sistema producción (flujo y valor)	Sistema producción pull	Mejora continua	Reducir variabilidad	Reducir tiempo de ciclo	Gestión visual	Colaboración
Aplicaciones BIM	Visualizar	1	6, 7	11		17		25	28
	Rápida generación planos y alternativas	2		10	13		22	26	29
	Realización de análisis	3			14	18	20, 23		
	Planificación		8	11		19	24		30
	Toma de decisiones	4							
	Mejora de la calidad	3			15	20		27	31
	Colaboración	5	9	12	16	21			32

Tabla 5.5. Justificación interacción CsP-BIM

Fuente: Elaboración propia

Nº	Justificación
1	<p>La visualización del modelo en 3D, con toda la información que contiene, ayuda a entender mejor al cliente cómo será su edificio. Esto añade valor, ya que tiene una representación gráfica antes de que se realice la construcción, y en caso de que haya cosas que no le gusten, el equipo de trabajo puede realizar cambios, de manera que el proyecto se ajuste a sus requerimientos.</p> <p>Se involucra todo el equipo de trabajo (propietario, arquitecto, constructor, ingenieros...), que aporta su opinión y se realizan los cambios necesarios para entregar el valor del cliente.</p>
2	<p>Como consecuencia del punto anterior, en caso de ser necesario algún cambio en el diseño del proyecto para entregar el valor del cliente, la rápida generación de alternativas, tanto constructivas como de diseño, aporta un valor al cliente. Antes, con la tecnología CAD, los cambios suponían invertir una gran cantidad de tiempo, debido a que los cambios había que realizarlos uno a uno en los diferentes planos que se vieran afectados. En cambio, con BIM, estos cambios se realizan automáticamente en todos los planos al modificar uno de ellos, lo que supone un ahorro de tiempo considerable, lo que genera valor tanto para el cliente como para el resto de profesionales.</p>
3	<p>El modelo BIM permite realizar análisis (de funcionamiento, energéticos, de mediciones) en fases muy tempranas del proyecto. Esto permite que la calidad de la edificación se vea mejorada, ya que en función de los resultados obtenidos, se podrá mantener el proyecto (en caso de que sean positivos) o realizar cambios (en caso de que sean negativos) para mejorar la calidad del mismo.</p> <p>Una de los principales beneficios de los análisis de funcionamiento, es que el modelo detecta automáticamente cuando hay errores e interferencias constructivas, que hacen que no sea construible el proyecto.</p> <p>Además, si la precisión del modelo es buena, la generación de mediciones del proyecto es muy rápida, lo que ahorra mucho tiempo. Estos aspectos aumentan el valor entregado al cliente, ya que la calidad del proyecto se mejora y el plazo de tiempo se ve disminuido.</p>
4	<p>Gracias a los resultados que se obtienen de los análisis realizados, junto a la rápida generación de alternativas con sus respectivos análisis, el promotor tiene una información muy valiosa que le permite, comparando costes, funcionalidad, y visualizando los diferentes diseños, tomar la decisión de invertir en uno de ellos, o en caso de ver que los costes suponen una inversión que no genera los suficientes beneficios, rechazar los proyectos.</p> <p>Esto aumenta el valor al cliente, ya que para obtener la información de los análisis de cada alternativa de diseño de manera tradicional supone una gran inversión de tiempo, que se ve reducida de manera considerable con la utilización de programas BIM.</p>
5	<p>La colaboración es muy importante tanto en la CsP como en BIM, y se ve reforzada si se trabaja con un método IPD o LPDS. Al colaborar diferentes profesionales del sector (arquitectos, ingenieros, constructores, subcontratas...) en fases tempranas, la aportación que realiza cada uno, con sus conocimientos y experiencia, enriquece el proyecto, generando más valor al cliente, ya que la calidad de las soluciones técnicas y del diseño se ven mejoradas respecto a las obtenidas en proyectos en los que trabajan por separado.</p>
6	<p>En la actualidad, los sistemas constructivos son cada vez más complejos, lo que hace que hasta los profesionales con experiencia tengan dificultad de generarse una imagen mental únicamente con los planos. BIM ayuda a entender de manera más sencilla los sistemas gracias a lo visual que son los programas, lo que ayuda a entender cómo debe ser el flujo de trabajo.(53)</p>

Nº	Justificación
7	Además de generar alternativas rápidas, los programas BIM son capaces de crear animaciones 4D, que consisten en visualizaciones en 3D del modelo en diferentes momentos de tiempo. De esta forma se puede conocer e identificar el flujo de trabajo de las diferentes alternativas generadas, de manera que se optimice al máximo y se reduzcan las actividades que no agregan valor en el proceso.
8	Una de las aplicaciones de los programas BIM es el que sirve para secuenciar la ejecución de tareas. Gracias a ello se obtiene una mejor información acerca del flujo de trabajo. Además, si se apoya esta función junto con la visualización, se comprende de mejor manera el proceso y facilita la labor de optimización del mismo.
9	La colaboración es muy importante en las dos metodologías, y es un fuerte nexo de unión entre ambas. Una vez que se ha identificado el flujo del proceso es conveniente que los participantes en el proyecto trabajen en equipo para optimizar el flujo y eliminar todas aquellas actividades que no aporten un valor al proceso, ya que el conocimiento del equipo será mayor que si lo realiza una única persona.
10	Uno de los principales temores a adoptar un sistema <i>pull</i> para adaptarse a la demanda, es el miedo a no llegar a tiempo. La rapidez con la que permite BIM realizar alternativas de diseño y construcción, así como la automatización de planos, permite superar este miedo en gran parte, ya que con un adecuado manejo del software se realiza el trabajo de manera rápida y eficaz.
11	La CsP, mediante LPS, realiza el cronograma de obra de forma <i>pull</i> , en la <i>pull session</i> . Al comienzo, lo que más cuesta a la gente, es el planificar del final hacia delante. En cambio, gracias a la visual que resulta el modelo, unido a las animaciones que pueden extraerse de él, BIM facilita la comprensión y la realización de la <i>pull session</i> .
12	En este caso la interacción se ve muy clara. Para la correcta ejecución de la <i>pull session</i> se necesita de la participación de los involucrados en el proyecto, y de su mutua colaboración, ya que si no el resultado no será satisfactorio.
13	La mejora continua, concepto íntimamente mejorado a la calidad, es un elemento clave de la CsP. Siguiendo el ciclo PDCA de Deming, cuando se detecta un problema al comprobar (Check) algo, se actúa (Act). En los proyectos de edificación, cuando se comprueba la coherencia entre los diferentes planos, si se detectan errores, hay que introducir los cambios necesarios. En los programas BIM, cuando se introduce un cambio, se actualiza en todas las diferentes vistas que se hayan creado. Además se pueden generar planos, alzados y secciones de manera rápida, por lo que combinar BIM y la CsP refuerza la mejora continua, al permitir solventar los errores de manera rápida. También se puede sumar que el software BIM detecta automáticamente errores de coherencia entre planos, por lo que favorece aún más la mejora continua.
14	La ejecución de los análisis de funcionamiento y energéticos favorece la mejora continua, debido a que en función de los resultados obtenidos, se toman medidas que mejoren el rendimiento del edificio. Además, los análisis de mediciones en modelos bien realizados y con un buen nivel de detalle suponen una mejora frente a la manera tradicional de desarrollar las mediciones, y permite obtener los datos de manera rápida y fiable.
15	La relación entre la mejora de la calidad y la mejora continua es clara. Aplicando la mejora continua y siguiendo el ciclo PDCA de Deming, la calidad del producto ofrecido mejora sustancialmente. En el caso de la calidad del modelo BIM, la detección automática de errores, junto con la integridad del modelo, permite que el proyecto se mejore de manera continua y se alcance un mayor grado de calidad.

Nº	Justificación
16	La colaboración que promueven ambas metodologías favorece la mejora continua, ya que el ambiente de trabajo generado permite que los errores o aspectos conflictivos del proyecto se detecten y solucionen. El ver al equipo de trabajo como compañeros con un mismo objetivo y no como rivales entre sí, permite que se comenten los fallos detectados y se solucionen, en vez de no comentar nada y utilizarlos como manera de ganar más dinero.
17	El visualizar el proyecto ayuda, sobre todo a las personas no técnicas, a entender mejor el proyecto. Esto permite que el cliente pueda matizar los detalles de cómo quiere su proyecto en fases tempranas, evitando así que se realicen cambios posteriores que afecten a la variabilidad del proyecto, resultando más estable, acorde a los principios <i>Lean</i> .
18	La realización de análisis del rendimiento y energéticos del proyecto permite realizar los cambios necesarios en el mismo en fases tempranas, antes de estar en fase de ejecución. Esto supone evitar una gran cantidad de retrabajos debidos a resultados de análisis no satisfactorios en proyectos ya ejecutados, lo que conlleva a una mayor estabilidad del flujo de trabajo y por ende una menor variabilidad.
19	El conocer en fases tempranas como se va a secuenciar la ejecución del proyecto permite planificar con tiempo y de manera estable, a través de LP, las actividades. Esto afecta de manera positiva a la variabilidad, ya que se reduce al estabilizar el flujo de trabajo.
20	La detección automática de interferencias en el proyecto, uno de los grandes beneficios de BIM, permite prever si hay una interferencia entre sistemas constructivos, por ejemplo una bajante que no tiene realizado un patinillo en el forjado. Al detectar estos conflictos, se evita el realizar retrabajos en la fase de ejecución por no haberlos detectado antes, estabilizando el flujo de trabajo y reduciendo la variabilidad. Además también supone un gran ahorro de tiempo al no tener que realizar esos retrabajos. Es de gran ayuda sobre todo en tema de instalaciones de grandes edificios, donde se pueden encontrar puntos con una gran densidad de conductos y se puede cometer errores en el diseño de los patinillos.
21	La colaboración entre los diferentes agentes intervinientes en el modelo BIM es clave, tal y como se está analizando en esta tabla. Al colaborar todos en un mismo modelo, logra detectar situaciones que, aun siendo ejecutables en el software, no son posibles de construir. Por ello cobra mucha importancia la colaboración entre los agentes intervinientes, analizando y aportando la mejor solución constructiva para evitar un retrabajo posterior debido a la falta de constructibilidad del elemento.
22	La generación automática de planos, secciones y alzados que realizan los programas BIM supone un ahorro de tiempo grande comparado frente a los programas CAD, donde se debe generar los planos uno a uno. Esto supone una gran reducción del tiempo en la fase de redacción del proyecto.
23	La realización de análisis estructurales, energéticos, acústicos, la realización de mediciones del proyecto, y el análisis de la conformidad del proyecto con los requisitos del cliente son acciones que se hacen de forma relativamente rápida una vez se ha generado el modelo, y supone una gran disminución del tiempo con respecto a tener que realizarlos uno a uno de manera manual.
24	La planificación y relación de actividades que resulta del modelo BIM resulta en un cronograma optimizado y con pocos conflictos, lo que permite una mayor reducción de tiempo de ciclos (53)
25	El modelo BIM ayuda mucho a visualizar cómo será el resultado final del proyecto, y ayuda a entenderlo para poder planificar con antelación suficiente la ejecución material del mismo y reducir así la interrelación entre tareas que puedan afectar negativamente al flujo de trabajo. Todo esto favorece a la gestión visual de la CsP.

Nº	Justificación
26	BIM permite analizar cómo quedan visualmente las diferentes alternativas generadas, lo que no es posible con los programas tradicionales 2D. Además permite secuenciar la ejecución de las tareas de las alternativas constructivas, permitiendo anticiparse a los posibles problemas que surjan.
27	La mejora de la calidad y la gestión visual están relacionadas a través de la detección de conflictos. Las representaciones 3D de BIM permiten localizar puntos conflictivos, tanto desde el punto de vista del diseño como del constructivo, que no se pueden identificar a través de planos. Por ello, gracias a esta detección previa a la ejecución, la calidad del proyecto mejora y el resultado es mejor.
28	Trabajando en un entorno <i>Lean</i> , se busca un trabajo en equipo entre todos los participantes, incluyendo al cliente ya que el valor que crea y entrega el proyecto es el suyo. La visualización que aporta BIM es muy importante ya que facilita la comprensión del proyecto a los clientes y todas aquellas personas que no tienen una formación técnica y de otra forma no lograrían entenderlo bien. De esta forma se logra definir el valor de forma exacta desde fases tempranas.
29	Al trabajar en equipo, cada miembro puede aportar una solución diferente (tanto de diseño como constructiva) ante un problema que surge en el proyecto. La rápida generación de alternativas de BIM ayuda a recrear las propuestas y analizarlas, de manera que se escoja aquella que resulte mejor.
30	BIM ayuda a secuenciar la ejecución y realizar la planificación. Gracias a la capacidad de simular el avance de la obra, se puede trabajar en equipo para analizar cómo se puede secuenciar o qué medidas adoptar en el momento de realizar la planificación de la ejecución de la obra.
31	Al colaborar todos los integrantes del proyecto, se pueden detectar conflictos debido a soluciones constructivas que el programa considera realizables pero que no se pueden ejecutar. Por ello, al colaborar los diferentes miembros del equipo, se localizan estos errores y la calidad del proyecto aumenta.
32	Como se ha podido analizar en el desarrollo de las interacciones detectadas en la tabla, para ambas metodologías es muy importante la colaboración entre los miembros que conforman el equipo de proyecto. El uso de BIM en técnicas <i>Lean</i> como el LPS o LPDS ayuda a aumentar la colaboración, y el uso de técnicas <i>Lean</i> como el LAP favorecen a la colaboración entre todos los integrantes del equipo para determinar cuál es el valor que se debe entregar.

Si se analiza la tabla, se observa que los principios de la CsP que más relación poseen con las funcionalidades BIM son el valor (6 interacciones), la reducción de variabilidad (5 interacciones) y la colaboración (5 interacciones), y el menos relacionado es la gestión visual (tres interacciones). Por su parte, las funcionalidades BIM más relacionadas con los principios de la CsP son la visualización (7 interacciones), la rápida generación de planos y alternativas (6 interacciones) y la colaboración (6 interacciones), y el menos relacionado es la toma de decisiones (una interacción).

Si se comparan estos principios y funcionalidades que sobresalen con los destacados en la matriz de Sack (53), se obtienen resultados parecidos:

- En la matriz de Sacks, los principios que más destacan son los relacionados con la reducción de la variabilidad (9 y 10 interacciones cada uno, respectivamente) y la reducción del tiempo de ciclo (8 interacciones).

- Respecto a las funciones de BIM, la más destacada es la comunicación (9 interacciones), la visualización 4D y la visualización por varios usuarios a la vez (8 interacciones cada una) y la visualización (7 interacciones).

Comparando ambos resultados, se observa que los principios *Lean* que destacan en ambas matrices son los relacionados con la reducción de la variabilidad. En la nueva matriz también destaca el valor y la colaboración, principios que no tienen tanta importancia en la matriz de Sacks, mientras que en dicha matriz destaca la disminución del tiempo de ciclo, hecho que no sucede en la nueva matriz.

En cuanto a las funcionalidades BIM destacadas, coinciden en ambas matrices, ya que en la matriz de Sacks destacan la visualización y la comunicación, y en la nueva matriz destacan la visualización y la colaboración, concepto estrechamente relacionado con la comunicación.

Por lo tanto, a pesar de diferir en algún aspecto, el resultado que se obtiene en ambas matrices es similar, y se consigue el objetivo de reducir el tamaño de la matriz a uno más manejable.

5.3.2.- Comparación de las barreras a superar en su implementación

Al tratarse de dos nuevas maneras de entender la gestión de un proyecto de edificación, además de las interacciones entre ellas analizadas en el apartado 5.3.1.- *Principios CsP / Aplicaciones de BIM*, poseen más similitudes entre ellas.

En este apartado se comparan las barreras que se presentan en la implementación de cada metodología por separado, con el objetivo de ver cómo varias de las mismas son comunes a ambas. Para ello, en la tabla 5.6. se recogen las barreras que se han analizado en los apartados 3.2.4.- *Obstáculos en la implementación de la CsP* y

4.4.- *Barreras a superar*. A partir de esta tabla, se analizan las barreras de cada metodología, buscando similitudes entre ambas. El resultado de este análisis se plasma en la tabla 5.7.

Tabla 5.6. Barreras a la implantación de la CsP y BIM

Fuente: Elaboración propia

Barreras CsP	Barreras BIM
Oponerse al cambio	Curva de aprendizaje
No unirla a la estrategia	Coste de software
Falta de conocimiento	Colaboración
Falta de información	Barreras legales
Falta de compromiso	Implementar características
Utilizar demasiado tiempo	Cambios de forma de trabajar
Mala comunicación y colaboración	Resistencia al cambio
Dificultad alinear intereses	-
Contratos relacionales	-

La tabla 5.7 funciona de la siguiente forma:

- Las barreras que se encuentran en las primeras celdas, coloreadas de azul intenso, y con misma numeración a ambos lados, son aquellas que son idénticas o sus consecuencias similares.

- Las barreras ubicadas en celdas coloreadas de azul menos intenso, con diferente numeración a cada lado, son aquellas que, siendo analizadas en apartados anteriores como barreras únicamente de una metodología, se pueden aplicar a la otra.

- Las barreras ubicadas en las últimas celdas, coloreadas de un azul tenue y con diferente numeración a ambos lados, son aquellas que no aparecen en la implantación de ambas metodologías.

Tabla 5.7. Comparación barreras de la CsP y BIM

Fuente: Elaboración propia

Barreras CsP		Barreras BIM	
1.-	Oponerse al cambio	1.-	Resistencia al cambio
			Cambios en la forma de trabajar
2.-	Falta de conocimiento	2.-	Curva de aprendizaje
3.-	Falta de compromiso	3.-	Colaboración
	Mala comunicación y colaboración		
4.-	Falta de información	-	
5.-	Utilizar demasiado tiempo	-	
6.-	Contratos relacionales	-	
7.-	No unirla a la estrategia	9.-	Coste software
8.-	Dificultad alinear intereses	10.-	Barreras legales
		11.-	Implementar características

Barreras que aparecen en ambas metodologías:

• **1.- Oponerse al cambio / Resistencia al cambio–Cambios forma de trabajar**

El sector de la Construcción ha sido siempre muy tradicional. Esto provoca que las nuevas tecnologías y metodologías que van surgiendo a lo largo de los años tengan dificultades en su implantación, ya que existe cierta desconfianza a ese cambio.

En este caso, al tratarse ambas de metodologías novedosas, esta barrera está presente durante su implantación.

• **2.- Falta de conocimiento / Curva de aprendizaje**

En apartados anteriores se ha analizado como uno de los motivos del fracaso en la implantación de la CsP es debido a la falta de conocimiento. Al igual que la CsP, para su correcto funcionamiento y que no fracase su implantación, BIM requiere de una formación intensiva en horas para alcanzar el grado de conocimiento necesario para poder llevar a buen puerto los proyectos realizados con estas metodologías.

• **3.- Falta de compromiso-Mala comunicación y colaboración / Colaboración**

Tanto la CsP como BIM requieren de una actitud colaborativa de los componentes de los equipos de trabajo. La forma de trabajar en los proyectos tradicionalmente no ha fomentado esta colaboración en todas sus fases, e incluso ha provocado que diferentes agentes intervinientes se vean como “enemigos” durante algunos momentos de la vida del proyecto.

Esta necesidad de colaboración para poder trabajar de esta manera puede no verse correspondida en el equipo de trabajo, no pudiendo satisfacer los objetivos de proyecto.

Barreras que aparecen en una metodología pero tienen relación con la otra:

• **4.- Falta de información**

La falta de información es una barrera que se ha analizado para la CsP en el apartado 3.2.4.- *Obstáculos en la implementación de la CsP*. Sin embargo, también es una barrera que afecta a BIM, ya que si el modelo generado no contiene buena información, o ésta es insuficiente, los resultados que se extraigan de él (análisis energéticos, mediciones, secuenciación de la producción...) no serán precisos y podrán llevar a error.

• **5.- Utilizar demasiado tiempo**

Esta barrera de la CsP también puede extrapolarse a BIM, sobre todo cuando el usuario tiene poca experiencia manejando el programa. Uno de los motivos por los cuales la gente se opone a la utilización de BIM es por el pensamiento de que la generación del modelo requiere una inversión de muchas horas. Lo cierto es que, aun siendo verdad que la generación del modelo no es sencilla, una vez creado el ahorro de tiempo que facilita en la generación de alternativas, planos y detalles es mucho mayor que la inversión de tiempo que ha supuesto.

Este miedo a destinar demasiado tiempo a BIM se ve acrecentado cuando el usuario es principiante en la metodología y requiere de algo más de tiempo para generar el modelo.

• **6.- Contratos relacionales**

La mejor manera de implementar BIM en las empresas constructoras es a través del método de desarrollo de proyecto IPD, y esta forma de desarrollo utiliza contratos relacionales, que fomentan la colaboración entre los participantes. Este rechazo a este tipo de contratos que sufre la CsP también afecta a BIM.

Barreras sin relación entre ambas metodologías:

Se tratan de los puntos 7 y 8 (barreras a la implantación de la CsP) y los puntos 9,10 y 11 (barreras a la implantación de BIM).

Respecto a los puntos 7 y 8, “*No unirlo a la estrategia*” y “*Dificultad alinear intereses*”, no aparecen como barreras en el uso de BIM. Al tratarse de un software para realizar un modelo virtual del proyecto, cada profesional realiza su parte del trabajo, y en caso de haber alguna interferencia, el programa la detecta automáticamente y la visualización permite identificar claramente el error.

En cuanto a los puntos 9, 10 y 11, “*Coste software*”, “*Barreras legales*” e “*Implementar características*” tampoco son barreras para la CsP. El coste de implantación de la CsP es muy pequeño comparado con la inversión en software que requiere BIM, además de que no necesita de programas especiales para su correcto uso. En cuanto a las barreras legales, este punto está referido a la problemática que surge en torno a la propiedad intelectual del modelo, por lo que no se refleja en la CsP.

Por lo tanto, tras analizar las barreras de ambas metodologías, se observa que existe cierta similitud entre ellas, ya que la CsP, de las 9 barreras analizadas, tiene en común o relación 7 de las mismas, y BIM, de las 7 barreras estudiadas, hasta 4 puntos tienen una relación estrecha con la CsP.

5.3.3.- Comparación de los beneficios que aportan

Siguiendo la misma metodología que el punto anterior, a continuación se van a analizar la relación existente entre los beneficios que aportan la CsP y BIM. En la tabla 5.8. figuran los beneficios que se han analizado en los apartados 3.2.7.- *Beneficios de la CsP (23)* y 4.5.- *Beneficios derivados del BIM*. Tras un análisis de los mismos, en busca de la vinculación entre ambos, la tabla 5.9. recoge el resultado.

Tabla 5.8. Beneficios aportados por la CsP y BIM

Fuente: Elaboración propia

Beneficios CsP	Beneficios BIM
Mayor calidad	Aumento de rapidez
Mayor satisfacción cliente	Aumento control de costes
Mayor productividad	Mejor secuencia de trabajo
Mejora de seguridad	Visualización
Disminución de plazos	Mejora marketing por visualización
Aumento B° y disminución costes	Mejor servicio al cliente
Mejor gestión del riesgo	Disminución de cambios
Aumento de la colaboración	Mayor calidad
Aumento de entrega de valor	Mejor gestión del proyecto
Disminución de accidentes	-
Disminución de demandas	-
Disminución de cambios	-

El funcionamiento de la tabla 5.9. es exactamente el mismo que el explicado para la tabla 5.7. del apartado anterior:

Tabla 5.9. Comparación de los beneficios de la CsP y BIM

Fuente: Elaboración propia

Beneficios CsP		Beneficios BIM	
1.-	Mayor calidad	1.-	Mayor calidad
2.-	Disminución de cambios	2.-	Disminución de cambios
3.-	Aumento B° y disminución costes	3.-	Aumento control de costes
4.-	Disminución de plazos	4.-	Aumento de rapidez
5.-	Mayor satisfacción cliente	5.-	Mejor servicio al cliente
	Aumento de entrega de valor		
6.-	Mejora gestión del riesgo	9.-	Mejora de la secuencia de trabajo
	Mejora de la seguridad		
	Disminución de accidentes		
7.-	Aumento de productividad	10.-	Mejor gestión del proyecto
8.-	Aumento de la colaboración	-	
11.-	Disminución de demandas	12.-	Visualización
-		13.-	Mejora marketing por visualización

Beneficios que figuran en ambas metodologías:

• **1.- Mayor calidad**

La gran visualización que aporta BIM, junto con su detección automática de errores y la colaboración que permite, aumenta en un alto grado la calidad del proyecto. La CsP por su parte, con el cambio de producción que supone la aplicación de LPS y LPDS, y la aportación de valor al cliente que se consigue gracias a LAP, consigue aumentar la calidad del proyecto.

Por lo tanto se trata de un beneficio presente en ambas metodologías.

• **2.- Disminución de cambios**

La programación resultante de la *pull session* es completa y posee un grado de fiabilidad importante, ya que para su realización se ha considerado todas las aportaciones realizadas por las personas que se van a encargar la ejecución de la obra. Además el control de la producción que aporta la WWP permite establecer un guión de trabajo que se cumple en un alto grado, lo que disminuye el número de cambios realizados.

Respecto a BIM, el crear un modelo virtual del proyecto permite analizar desde el principio cómo se ejecutará el proyecto, analizando puntos conflictivos del mismo, logrando así no tener que realizar cambios debidos a imprevistos en obra debidos a fallos de proyecto.

• **3.- Aumento de beneficios y disminución de costes / Aumento control de costes**

El mayor control de la producción que aporta la WWP, unido a la programación más completa resultante de la *pull session*, permite que los proyectos ejecutados con la metodología de la CsP logren incluso acabar antes de tiempo (obteniendo una bonificación por ello), y con un menor coste.

Por su parte, BIM permite realizar una mediciones más exactas, lo que repercute en el presupuesto que es más fiable. Unido a la mejor comprensión del proyecto gracias a lo visual que resulta el programa, y a la secuenciación de tareas de trabajo que se puede realizar, el resultado es un aumento del control de costes de cada fase, que resultará tan detallado como quiera realizarlo cada profesional.

- **4.- Disminución de plazos / Aumento de la rapidez**

Como se ha analizado, el sistema de producción aportado por la CsP permite acortar tiempos sin repercutir de manera negativa en la calidad del producto final. A su vez, la utilización de BIM permite realizar de manera rápida muchas actividades que tradicionalmente en formato CAD resultan pesadas y laboriosas, debido a su facilidad de generación de alternativas constructivas como a su rapidez en la elaboración de planos.

- **5.- Mayor satisfacción cliente – Aumento de entrega de valor / Mejor servicio al cliente**

Una de las grandes aportaciones de la CsP es que uno de sus pilares es la entrega de valor al cliente. Todos los procesos que se realizan durante la vida de un proyecto deben ir encaminados a la generación y entrega de valor al cliente. Esto está relacionado con el mejor servicio al cliente que aporta BIM, cuya visualización ayuda a entender el proyecto desde el inicio y ver si están reflejados sus requerimientos en él.

Beneficios que aparecen en una metodología pero tienen relación con la otra:

- **6.- Mejora gestión del riesgo – Mejora de la seguridad – Disminución de accidentes**

Se trata de un beneficio aportado por la CsP que también existe en BIM. El mayor control de la producción, y la respuesta a las necesidades de los trabajadores, logran una mejor seguridad, lo que repercute en una mejor gestión del riesgo y una disminución de los accidentes. BIM permite un mejor y mayor conocimiento de la ejecución del proyecto antes de ser ejecutado, y un mejor diseño de los dispositivos de seguridad de la obra.

- **7.- Aumento de la productividad**

También se trata de un beneficio aportado por la CsP que se puede aplicar a BIM. Una de las consecuencias de la WWP es el aumento del PAC, que se traduce en un aumento de la productividad. BIM, con un modelo que contenga una información completa y fiable, permite realizar de manera rápida y eficaz análisis energéticos, estructurales, o mediciones, lo que supone un ahorro de tiempo y esfuerzo con respecto a tener que realizar estos mismos análisis o mediciones de manera tradicional.

- **8.- Aumento de la colaboración**

Siendo un beneficio recogido en la lista de la CsP, también puede serlo de BIM. La CsP es una metodología donde la colaboración y opinión de todos los intervinientes en el proyecto es vital. Todas sus técnicas principales requieren de la participación de todos ellos, como LAP, LPDS o LPS. BIM, para ser realmente eficaz, y sacar su máximo partido, tal y como recomienda la AIA (57), necesita un método de desarrollo de proyecto IPD, donde la colaboración es un elemento muy importante.

- **9.- Mejora de la secuenciación de trabajo**

Es un beneficio que figura en la lista de BIM, pero que también puede ser de la CsP. Los software BIM, una vez realizado el modelo, permiten lograr una mayor comprensión del proyecto lo que repercute en una mejor secuenciación de las actividades. La CsP en cambio, a través del sistema de producción que propone, en concreto gracias a LPS, consigue una mejor programación de actividades.

- **10.- Mejor gestión del proyecto**

El mayor conocimiento del entorno, junto con la detección de errores o interferencias automático de los software BIM, y a los análisis que se pueden realizar a partir del modelo, hace que la gestión del proyecto sea mejor. La CsP también logra una mejor gestión del proyecto gracias a sus principales técnicas, el LPS y el LPDS.

Beneficios sin relación entre ambas metodologías:

Son los puntos 11 (beneficios de la CsP) y los puntos 12 y 13 (beneficios BIM).

El punto 11, “*Disminución de demandas*”, está referido a la disminución de los problemas y demandas a lo largo del proyecto, muy ligado al hecho de que los agentes intervinientes no se ven como enemigos sino como colaboradores de un mismo proyecto. Esto hace que el número de demandas y quejas por conflictos internos entre arquitectos, constructores y promotores disminuyan considerablemente.

El punto 12, “*Visualización*”, y 13, “*Mejora del marketing por la visualización*”, no son beneficios que aporten la CsP, ya que son consecuencia de la funcionalidad de BIM. Lo visual que resultan los modelos, ayuda a su mejora comprensión y además pueden ser utilizados para promocionar la venta de los edificios, ya que los renders que se obtienen del modelo son de gran calidad.

Tras analizar la relación entre los beneficios que aportan tanto la CsP como BIM, se concluye nuevamente que están estrechamente relacionados. De los 12 beneficios analizados de la CsP, 11 de ellos tienen reflejo en BIM, mientras que de los 9 beneficios BIM analizados, 7 de ellos se pueden obtener también con la aplicación de la CsP.

6.- Conclusiones, aportaciones realizadas y futuras líneas de investigación

En este apartado se van a realizar las conclusiones finales del trabajo. A continuación se recopilan las aportaciones realizadas en el mismo, y se describen las futuras líneas de investigación abiertas.

6.1.- Conclusiones

Para conocer bien el estado de la gestión de construcción, se ha realizado una encuesta a profesionales del sector. En ella se extraen conclusiones muy interesantes y que dejan muestra clara de la necesidad de un cambio de modelo en la gestión de construcción en España.

El análisis completo y exhaustivo a la encuesta se realiza en el Anexo I del presente documento, pero ahora se destacan algunos de sus principales resultados. La muestra total de la misma ha sido 51 personas. Consta de un total de 20 preguntas, en las que se pregunta acerca de los proyectos, el estado de la colaboración, opinión sobre la gestión de construcción y preguntas sobre CsP y BIM. Los números más destacables son los siguientes:

- De los encuestados, un 24% son arquitectos, frente a un 61% de arquitectos técnicos. El resto son ingenieros industriales o de caminos.
- Un 20% tiene poca o ninguna experiencia, un 29% tiene menos de 5 años de experiencia y un 50% más de 10 años.
- El 74% de los encuestados reconoce que sus proyectos han sufrido algún tipo de desviación.
- Un 88% opina que debe mejorarse la colaboración entre los agentes implicados.
- La gestión de construcción es considerada como mala por un 29%, debe mejorar para un 37%, es buena pero necesita cambios para un 20% y únicamente la consideran buena un 6%.
- El 94% ve necesario formarse en gestión de construcción a corto plazo.
- El 86% está interesado en conocer más sobre CsP y un 78% sobre BIM.
- De los encuestados que conocen CsP y BIM, un 96% ve una combinación de ambas como posible solución a los problemas de gestión de construcción.

A continuación se citan algunas de las opiniones que se extraen de la encuesta:

- *“Respecto a la capacidad de construir y su entramado industrial considero que España está muy preparada técnicamente. No obstante, en épocas difíciles como las actuales se ha evidenciado que el sector requiere ser más eficiente. Los recursos escasean y los Promotores e inversores se aseguran sobremanera las promociones en las que intervenir. Se requiere una gestión integrada de la construcción y ello conlleva profesionalizar con conocimientos de gestión a los arquitectos e ingenieros que España posee.”*

- “Creo que en general la gestión de la construcción en España se puede dividir en dos sectores: Las grandes empresas que sí han tenido una gestión exhaustiva de las obras mediante programas de gestión y de planificación genéricos o incluso programas hechos a medida y las pequeñas y medianas empresas que por el boom de la construcción se han dedicado a construir sin ningún tipo de conocimiento de gestión de obras.”

- “Sería conveniente incorporar procedimientos de otras áreas como la automatización.”

- “Desatendida, donde cada agente del sector hace la guerra a su costa.”

- “Todavía se basa en métodos rudimentarios.”

- “Es insuficiente ya que debería haber más comunicación entre los agentes que intervienen en la obra.”

- “Creo que cada obra es una guerra de intereses donde nadie ayuda a nadie y cada uno mira por su propio bien. Por las experiencias que he conocido, en muchos casos hay gremios dentro de una obra que ni llegan a conocerse. Creo que esto es una de las causas de que sea tan complicado gestionar y coordinar a todas las partes dentro de una obra y que por lo tanto termine habiendo problemas tanto técnicos como económicos.”

- “Nefasta, egoísta y manejada por ciertas esferas.”

En la misma línea los resultados obtenidos, ante estos problemas del sector de la Construcción, en el apartado 3.1.1.- *Estado actual del sector de la Construcción* se han analizado los principales problemas del sector, basándose en otros artículos. Además, en la introducción previa a dicho apartado, se han facilitado unos datos del Ministerio de Fomento sobre el estado de la construcción en España tras el comienzo de la crisis en 2008.

Para encontrar una metodología de gestión de la Construcción que mejore el panorama actual del sector, se ha analizado la filosofía *Lean*. El motivo, los grandes resultados obtenidos por la misma en su aplicación al sector industrial hacen pensar que una extrapolación de las técnicas empleadas al sector de la Construcción puede tener una repercusión similar.

Esta filosofía de trabajo supone un cambio en el sistema de producción, con notables mejoras en la productividad. Para realizar un estudio a fondo de la misma, en el apartado 2.5.- *Estudio bibliométrico* se recopilan los principales autores y libros/artículos sobre la materia.

La filosofía *Lean* puede ser extrapolada a otros campos de actuación, como el *Lean Construction* o Construcción sin Pérdidas o el *Lean Management*. Se ha profundizado en el análisis de las técnicas *Lean* en el punto 2.4.- *Técnicas de aplicación*, destacando las 8 primeras:

- Las 5 “S”
- Hoshin Kanri
- Informe A3
- VSM
- Kanban
- Poka-Yoke
- Jidoka
- Heijunka

A continuación se ha analizado la CsP, una metodología que propone un cambio en la forma de ver y entender la producción en la construcción en España, donde el eje vertebrador sobre el que gira todo es la entrega de valor al cliente.

Al tratarse de una nueva forma de gestionar la construcción en España, debe hacer frente a varios obstáculos y barreras, pero su aplicación produce tales beneficios que debe superarlos sin problemas.

Además las técnicas que ya posee la filosofía *Lean*, la CsP propone algunas propias, como el LPS, LAP o LPDS:

- LPS supone una mejora en el control de la producción en la construcción española. Está apoyado en tres niveles (Pull Session, Lookahead y WWP) mediante los cuales consigue establecer un flujo de trabajo estable, mejorando la productividad y la colaboración y comunicación entre los agentes intervinientes.

- Con LAP se logra identificar el/los valores de los clientes, además de establecer unos indicadores que sirven para analizar la situación y comprobar que las acciones realizadas van encaminadas a la entrega de valor al cliente.

- LPDS&IPD son técnicas que se basan en una ética de trabajo de colaboración. Propone la integración de todos los agentes intervinientes en fases más tempranas, y la búsqueda de un beneficio mutuo de todos ellos. Se potencia la comunicación y se mejora el cumplimiento de los requisitos de plazo y coste.

En cuanto a BIM, se trata de otra metodología novedosa en la gestión de la construcción, que agiliza y mejora la fiabilidad en la redacción de proyectos de ejecución. El potente software empelado permite realizar análisis del modelo en poco tiempo, extrae mediciones del proyecto y detecta interferencias en el mismo. Supone un elemento clave de mejora de la colaboración en el sector, y a pesar de poder utilizarse en el modelo tradicional de desarrollo de proyectos, su uso se ve potenciado y aprovechado al máximo en un entorno IPD o LPDS.

En el apartado 5.- *Interacción CsP-BIM* se ha analizado la interacción existente entre la CsP y BIM. Para ello se ha ejecutado una matriz de afinidad entre ambas metodologías, donde se han detectado hasta 32 puntos de interacción. Además se han comparado los beneficios y las barreras, obteniendo varios puntos en común.

El resultado de los tres análisis indica el mismo resultado: La CsP y BIM son dos metodologías de gestión de proyectos que, pudiendo ser utilizadas de manera individual, su uso se ve potenciado y mejorado cuando se usan de manera combinada.

6.2- Aportaciones realizadas

En este apartado se recogen de manera breve los principales puntos de desarrollo que ha supuesto la ejecución de este trabajo:

- Realización de una recopilación de tres metodologías de gestión diferentes con aspectos en común, explicando de forma detallada en qué consisten, qué barreras deben superarse y qué beneficios supone su utilización, y que siendo muy conocidas a nivel internacional, comienzan ahora a serlo en España.

- Estudio de las principales técnicas de aplicación de la filosofía *Lean*.

- Análisis exhaustivo de la investigación acerca del *Lean Construction* para obtener las principales fuentes de investigación, a partir de las cuales se desarrolla este trabajo.

- Análisis profundo de dos de las principales técnicas de aplicación de la Construcción sin Pérdidas, como son el LPS y el LPDS.

- Comparación e interacción de dos de las metodologías con más futuro en el sector de la Construcción, la CsP y BIM, determinando los principales nexos de unión.

6.3.- Futuras líneas de investigación

El presente trabajo fin de máster sirve como inicio de una futura tesis doctoral acerca de la implantación de la CsP en la construcción en España. A nivel internacional existen varios trabajos acerca del uso y aplicación en proyectos de edificación de la CsP, pero en España es una cuestión poco tratada. Trabajos como el de Cerveró (31) o Sanchís Mestre (26) son de los pocos que se encuentran sobre el tema en España.

Uno de los retos que surge es generar un estándar o procedimiento acerca de cómo implantar la metodología de la CsP, no solo a nivel de producción, aspecto muy investigado y mejorado con LPS, si no a nivel de empresa global; conseguir que el funcionamiento por completo de la empresa constructora sea *lean*, logrando esa colaboración, entrega de valor y mejora continua que lo caracteriza. Los trabajos realizados hasta el momento se han centrado mucho en cómo mejorar la producción en la fase de ejecución, y los últimos esfuerzos están centrándose en el desarrollo del LPDS. Con esto se quiere ir un paso más allá, y lograr que todos los procedimientos que permiten funcionar a una empresa constructora tengan detrás a la filosofía *lean*.

Otro reto importante es cómo combinar la CsP junto con BIM. Tal y como se ha analizado a lo largo de este TFM, la posibilidad de utilizar juntas ambas metodologías es posible, ya que tienen varios aspectos en común, y los beneficios que ofrece esta combinación pueden ser mayores que los que ya dan de por sí utilizándolas por separado. Por ello es interesante investigar cómo se pueden “fusionar” la CsP y BIM para que su funcionamiento sea potenciado y maximizado.

Además surge otra línea de investigación: la problemática que conllevan los contratos colaborativos que utilizan normalmente tanto la CsP y BIM. Son contratos que tradicionalmente no se han realizado en España, y que al ser desconocidos, generan desconfianza por los vacíos legales que puedan existir respecto a la depuración de responsabilidades. Por ello resulta interesante el estudio y la generación de modelos de contratos colaborativos que potencien el uso de LPDS/IPD y BIM, y que limiten las responsabilidades de manera clara para que esa desconfianza generada en torno a ellos desaparezca.

ANEXO I Análisis de la encuesta

Con el fin de obtener un mayor conocimiento acerca del estado de la gestión de construcción en España, se ha realizado una encuesta a una muestra de 51 profesionales del sector de la Construcción. La misma consta de 20 preguntas de múltiples opciones o de redactar, a través de la cual se pueden obtener datos interesantes como porcentajes de desviación de proyectos o la opinión sobre la gestión de construcción.

A continuación se adjuntan las preguntas que dan forma a la encuesta:

1.- Seleccione su profesión:

Grado en Arquitectura Técnica o similar (Edificación, Ingeniería de Edificación...)

Grado en Arquitectura

Otros grados (señalarlos en casilla otro)

Máster en gestión

Otro:

2.- Profesionalmente, se ha dedicado o se dedica a:

Trabajo en un estudio de arquitectura

Trabajo en una constructora

Profesional liberal

No tengo experiencia profesional

Otro:

3.- Seleccione su experiencia en el sector de la construcción:

Soy estudiante o recién graduado, no poseo experiencia

No poseo experiencia

Menos de 5 años

Entre 5 y 10 años

Entre 10 y 15 años

Entre 15 y 20 años

Más de 20 años

4.- Según su experiencia personal, en los proyectos donde ha trabajado:

Han finalizado según los plazos y costes previstos, sin alteraciones de los requisitos técnicos de calidad

Han sufrido desviaciones de plazo

Han sufrido desviaciones de coste

Han sufrido alteraciones de los requisitos técnicos de calidad

Han sufrido desviaciones de plazo y coste

Han sufridos desviaciones de plazo, coste y ha sufrido alteraciones de los requisitos de calidad

Otro:

5.- En caso de haber sufrido desviaciones:

Se han debido a fallos en la redacción del proyecto

Se han debido a cambios introducidos por el promotor

Se han debido a fallos en la planificación y gestión de la ejecución

6.- ¿Puede cuantificar el porcentaje de desviación que han sufrido sus proyectos respecto al presupuesto de ejecución material?

7.- A la hora de planificar la ejecución de un proyecto:

No planifico la ejecución del proyecto

Lo realizo manualmente

Utilizo programas informáticos como MS Project o Primavera

Otro:

8.- Cuando ha tenido que colaborar con otros agentes intervinientes en el proyecto:

La relación ha sido mutuamente beneficiosa, tanto en lo profesional como lo personal

Ha habido problemas debido a que cada uno miraba más por el interés propio que el del proyecto

La colaboración ha sido nula

Otro:

9.- En base a su experiencia, ¿cree que debe mejorarse la colaboración entre los agentes intervinientes?

Si, lo encuentro necesario

No, así funciona bien

No se

10.- ¿Qué opinión tiene de la gestión de la construcción en España?

11.- ¿Le parece interesante y necesario formarse en aspectos relacionados con la gestión para un futuro a medio plazo (3-5 años)?

Si

No

Otro:

12.- ¿Conoce la metodología de la Construcción sin Pérdidas o Lean Construction?

Si

No

13.- ¿Estaría interesado en conocer y saber el funcionamiento de la Construcción sin Pérdidas?

Si

No

Otro

14.- ¿Puede justificar su anterior respuesta?

15.- En caso de conocerla, ¿le parece una buena solución a los problemas de gestión en España?

16.- ¿Conoce la metodología BIM?

Si

No

17.- ¿Estaría interesado en conocer y saber el funcionamiento de BIM?

Si

No

Otro

18.- ¿Puede justificar su anterior respuesta?

19.- En caso de conocerla, ¿le parece una buena solución a los problemas de gestión en España?

Si

No

No la conozco

Otro:

20.- Si conoce las dos metodologías, ¿cree que un uso combinado de ambas puede ser una manera más eficaz de mejorar la gestión de la construcción en España?

Si

No

No las conozco

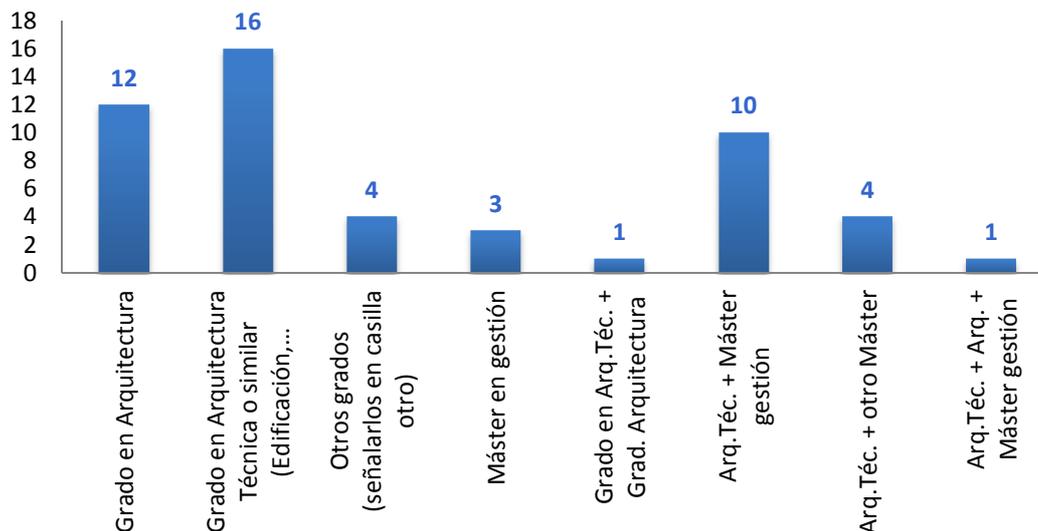
Otro:

A continuación se adjuntan los resultados obtenidos:

1.- Seleccione su profesión:

Profesión:		
Grado en Arquitectura	12	24%
Grado en Arquitectura Técnica o similar (Edificación, Ingeniería de Edificación...)	16	31%
Otros grados (señalarlos en casilla otro)	4	8%
Máster en gestión	3	6%
Grado en Arq.Téc. + Grad. Arquitectura	1	2%
Arq.Téc. + Máster gestión	10	20%
Arq.Téc. + otro Máster	4	8%
Arq.Téc. + Arq. + Máster gestión	1	2%

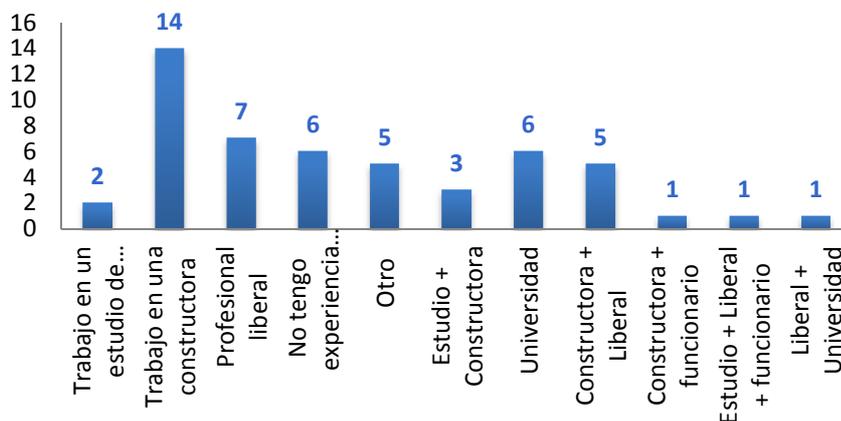
Profesión



2.- Profesionalmente, se ha dedicado o se dedica a:

Experiencia profesional:		
Trabajo en un estudio de arquitectura	2	4%
Trabajo en una constructora	14	27%
Profesional liberal	7	14%
No tengo experiencia profesional	6	12%
Otro	5	10%
Estudio + Constructora	3	6%
Universidad	6	12%
Constructora + Liberal	5	10%
Constructora + funcionario	1	2%
Estudio + Liberal + funcionario	1	2%
Liberal + Universidad	1	2%

Experiencia profesional



3.- Seleccione su experiencia en el sector de la construcción:

Años de experiencia		
Soy estudiante o recién graduado, no poseo experiencia.	6	12%
No poseo experiencia.	3	6%
Menos de 5 años.	15	29%
Entre 5 y 10 años.	3	6%
Entre 10 y 15 años.	10	20%
Entre 15 y 20 años.	6	12%
Más de 20 años.	8	16%



4.- Según su experiencia personal, en los proyectos donde ha trabajado:

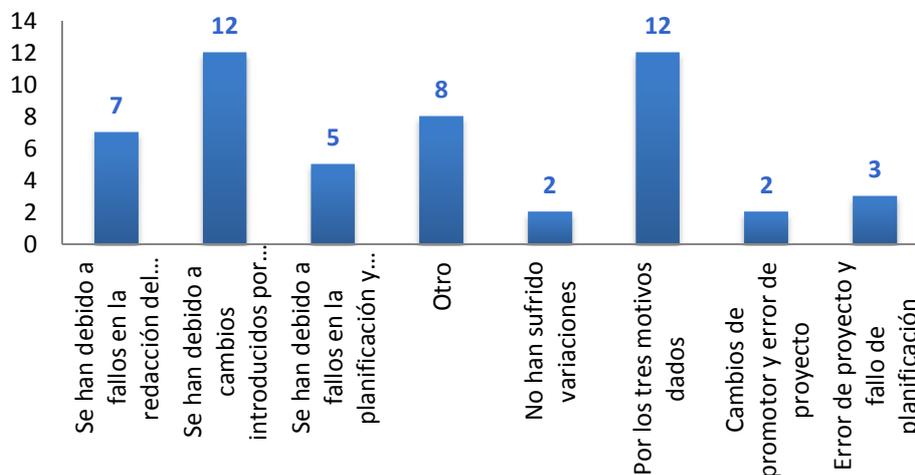
Desviaciones y retrasos en los proyectos		
Han finalizado según los plazos y costes previstos, sin alteraciones de los requisitos técnicos de calidad	6	12%
Han sufrido desviaciones de plazo	2	4%
Han sufrido desviaciones de coste	3	6%
Han sufrido alteraciones de los requisitos técnicos de calidad	0	0%
Han sufrido desviaciones de plazo y coste	16	31%
Han sufrido desviaciones de plazo, coste y ha sufrido alteraciones de los requisitos de calidad	17	33%
Otro	7	14%



5.- En caso de haber sufrido desviaciones:

Motivos de desviaciones		
Se han debido a fallos en la redacción del proyecto	7	14%
Se han debido a cambios introducidos por el promotor	12	24%
Se han debido a fallos en la planificación y gestión de la ejecución.	5	10%
Otro	8	16%
No han sufrido variaciones	2	4%
Por los tres motivos dados	12	24%
Cambios de promotor y error de proyecto	2	4%
Error de proyecto y fallo de planificación	3	6%

Motivos de desviaciones

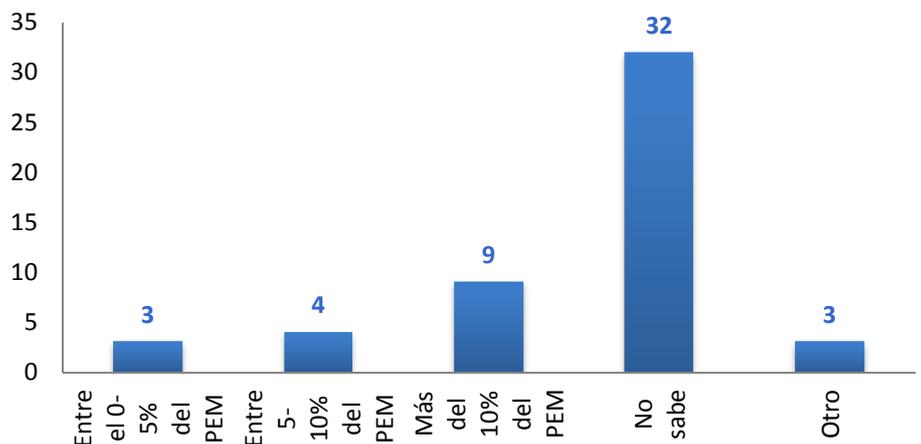


6.- ¿Puede cuantificar el porcentaje de desviación que han sufrido sus proyectos respecto al presupuesto de ejecución material?

Esta pregunta es libre, y los encuestados han cuantificado las desviaciones que han sufrido en su experiencia profesional. Para analizar las respuestas, se han clasificado en cinco grupos.

Cuantificación de la desviación		
Entre el 0-5% del PEM	3	6%
Entre 5-10% del PEM	4	8%
Más del 10% del PEM	9	18%
No sabe	32	63%
Otro	3	6%

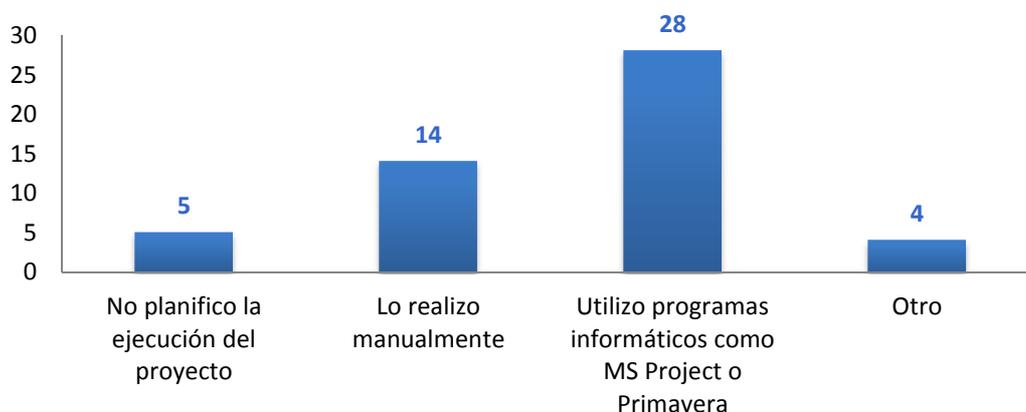
Cuantificación de la desviación



7.- A la hora de planificar la ejecución de un proyecto:

Como se realiza la planificación		
No planifico la ejecución del proyecto	5	10%
Lo realizo manualmente	14	27%
Utilizo programas informáticos como MS Project o Primavera	28	55%
Otro	4	8%

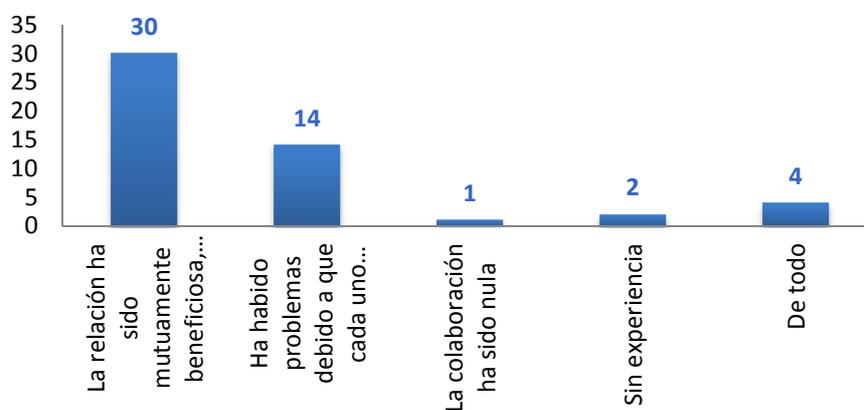
Cómo se realiza la planificación



8.- Cuando ha tenido que colaborar con otros agentes intervinientes en el proyecto:

La colaboración entre agentes		
La relación ha sido mutuamente beneficiosa, tanto en lo profesional como en lo personal	30	59%
Ha habido problemas debido a que cada uno miraba más por el interés propio que el del proyecto	14	27%
La colaboración ha sido nula	1	2%
Sin experiencia	2	4%
De todo	4	8%

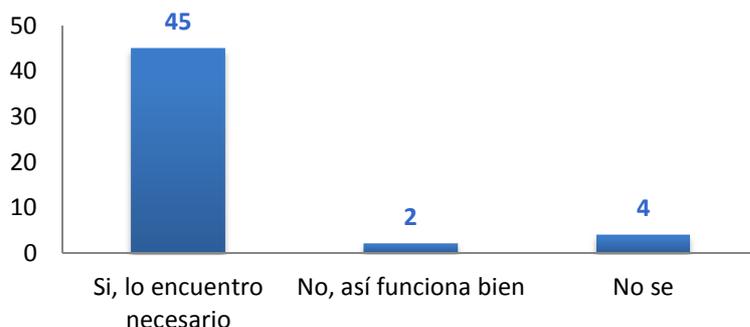
La colaboración entre agentes



9.- En base a su experiencia, ¿cree que debe mejorarse la colaboración entre los agentes intervinientes?

¿Es necesario mejorar la colaboración?		
Si, lo encuentro necesario	45	88%
No, así funciona bien	2	4%
No se	4	8%

¿Es necesario mejorar la colaboración?



10.- ¿Qué opinión tiene de la gestión de la construcción en España?

Opiniones de los encuestados sobre la gestión de construcción en España
Según mi experiencia es relativamente buena, aunque siempre se puede mejorar.
Creo que debería mejorar. La influencia de factores ajenos al propio proyecto (intereses, económicos, evasión de impuestos...) hacen que todo se desvíe y obliga a que el resto de profesionales tengan que bajar la calidad de su trabajo según las exigencias del consumidor.
Sería conveniente incorporar procedimientos de otras áreas como la automatización.
En general estamos a un nivel correcto aunque como siempre ocurre se dan casos en los que es manifiestamente mejorable. En los proyectos de cierta envergadura en los que he participado la gestión ha sido en general más que correcta.
No tengo experiencia en otras empresas y por lo tanto no puedo generalizar mi opinión basándome solo en lo que ocurre en mi empresa. En nuestro caso nos movemos en pequeños proyectos de reforma y por lo tanto parece que a priori no sea necesaria una planificación exhaustiva de los trabajos, pero la experiencia demuestra que no es así y que las desviaciones son una realidad. Es una pena que cegados por el volumen de trabajo no se tomen medidas al respecto porque estoy segura de que beneficiarían a la empresa en muchos aspectos
Todavía se basa en métodos rudimentarios
A mi manera de ver la gestión debería ir de la mano con el beneficio y lapsos planificados del proyecto. En los últimos tiempos es práctica común por parte de los clientes, apurar en exceso el ritmo una vez comenzado el proyecto y la construcción, con la finalidad de obtener mayor beneficio, esto trae como consecuencia muchísimos más problemas que beneficios, ya que se pone en juego la calidad en la ejecución del proyecto, y esto ocurre no solo en España, es a nivel general.
Se improvisa y ahora con la crisis se busca más el ganar que la calidad
Creo que el general en la construcción en España somos "demasiado artesanales" en todos los aspectos. Vaya, que nos cuesta demasiado innovar.
Es insuficiente ya que debería haber más comunicación entre los agentes que intervienen en la obra
Es insuficiente ya que debería haber más comunicación entre los agentes que intervienen en la obra
Nefasta, egoísta y manejada por ciertas esferas.
Es mejorable. Podría copiar sistemas de gestión de otros países europeos.
EN LOS AÑOS BOYANTES EN LOS QUE HEMOS VIVIDO, LAS CONSTRUCCIONES SE

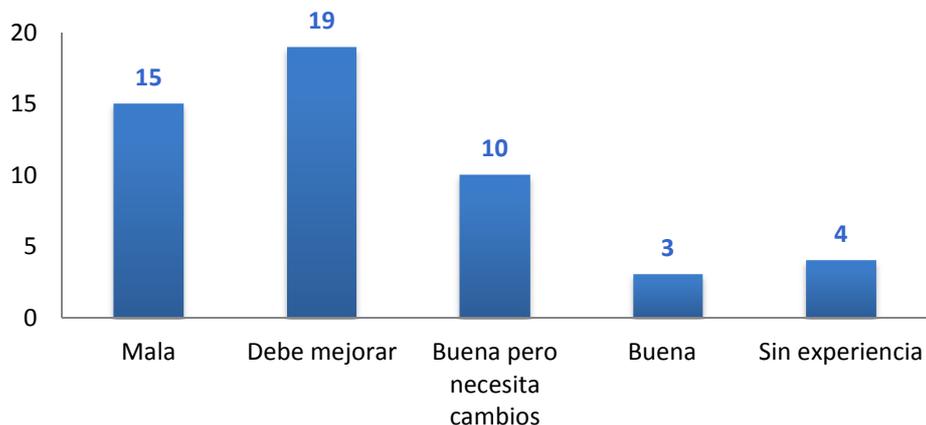
RETRASABAN GRANDES PERIODOS DE TIEMPO O POR MALA GESTION O POR ERRORES EN LA PLANIFICACION Y GESTION DE GREMIOS EN VARIAS OBRAS A LA VEZ.
Buena.
Considero que debe seguir progresando y desarrollándose en base a los sistemas de gestión y planificación de la misma, con el fin de obtener un mayor grado de eficiencia.
Es prácticamente nula
Normal
Creo que España es uno de los países con mejor gestión en la construcción
Mi percepción es que está sistematizada, que se centran más en los aspectos económicos que en otros aspectos importantes como son la calidad, el cliente y las personas que desempeñan los trabajos necesarios para llevar a cabo la ejecución de un proyecto de edificación.
Poca experiencia como para haberme formado una opinión fundamentada.
Creo que cada obra es una guerra de intereses donde nadie ayuda a nadie y cada uno mira por su propio bien. Por las experiencias que he conocido, en muchos casos hay gremios dentro de una obra que ni llegan a conocerse. Creo que esto es una de las causas de que sea tan complicado gestionar y coordinar a todas las partes dentro de una obra y que por lo tanto termine habiendo problemas tanto técnicos como económicos.
En el intento de economizar, se consiguen productos de muy baja calidad.
Mejorable
Mejorable
Mala, muy mala
Creo que no se tiene la mentalidad adecuada para gestionar en el momento de crisis que estamos. Todas las partes se aprovechan de esta crisis siendo perjudicial para el proyecto y la gestión de este.
En mi caso, que mayoritariamente he trabajado en el sector público, el problema principal es el sistema de adjudicación, que impulsa a una baja casi temeraria, y por otro lado, la excesiva influencia del criterio político frente al técnico, a la hora de decidir las inversiones. En cuanto a la gestión del proceso de producción, es bastante ineficiente, debido a las grandes dosis de ineficiencia en la transmisión de información entre fases del proyecto: mucha reingeniería, repetición de trabajos, etc.
Bueno, es importante, y más en nuestro ámbito, saber gestionar todos los agentes intervinientes para luego no producir retrasos o sobrecostes en el producto final.
Respecto a la capacidad de construir y su entramado industrial considero que España está muy preparada técnicamente. No obstante, en épocas difíciles como las actuales se ha evidenciado que el sector requiere ser más eficiente. Los recursos escasean y los Promotores e inversores se aseguran sobremanera las promociones en las que intervenir. Se requiere una gestión integrada de la construcción y ello conlleva profesionalizar con conocimientos de gestión a los arquitectos e ingenieros que España posee.
Que básicamente "funciona" según la experiencia de cada agente más que por aplicar sistemas de gestión.
Creo que en general la gestión de la construcción en España se puede dividir en dos sectores: -Las grandes empresas que sí han tenido una gestión exhaustiva de las obras mediante programas de gestión y de planificación genéricos o incluso programas hechos a medida. - Las pequeñas y medianas empresas que por el boom de la construcción se han dedicado a construir sin ningún tipo de conocimiento de gestión de obras.
No tengo experiencia ni criterio para opinar.
Mejorable, es un aspecto que comienza a valorarse y a tenerse en cuenta pero que aún queda mucho camino por recorrer para que sea un aspecto fundamental a la hora de desarrollar un proyecto
Hace falta un cambio cultural
Opino que no ha avanzado demasiado respecto a años anteriores. La mayoría de gestiones se realizan de forma verbal sin disponer de un registro escrito de las decisiones alcanzadas.
Tiene un nivel técnico muy alto, aunque falla en plazos a causa de cambios durante la ejecución generalmente originados por el promotor. No se toman en serio las decisiones realizadas durante la redacción del proyecto ejecutivo
Aún queda mucho que aprender, desarrollar y enseñar.

Bajo nivel
Escasa. La planificación es nula y los proyectos se desarrollan durante la ejecución material provocando desviaciones en los objetivos. Finalmente el perjudicado suele ser el que paga, el promotor.
Que tiene mucho que mejorar
Cada vez se tiene más conciencia de trabajar como equipo para desarrollar una promoción y ejecutar una obra. Considerando la construcción un proceso constructivo único para cada caso, los múltiples agentes que intervienen reconocen que el éxito dependerá de lo coordinados que estén todos y como se trabaje por el proyecto
Realmente creo que la gestión del sector ha de introducir mejora, tanto en el procedimiento como en las herramientas empleadas para tal fin. Se siguen empleando metodologías ancladas en el pasado.
Se desvían tanto los presupuestos que la realización de la construcción en muchas ocasiones queda muy lejos de lo proyectado inicialmente por una arquitectura o ingeniería.
Desatendida, donde cada agente del sector hace la guerra a su costa
Mentalidad anticuada y cerrada a nuevas metodologías de trabajo
Tiene gente altamente especializada en ejecución pero no en planificación,
No se gestiona mucha, simplemente se construye y cuando llegan los problemas se para pensar
Es bastante deficiente y no hay apenas voluntad de mejora.

Se han eliminado dos opiniones ya que se han limitado a poner puntos suspensivos. Al igual que con la pregunta 6, para analizar las respuestas, se han clasificado en diferentes grupos las opiniones de los encuestados:

Opinión sobre la gestión de la Construcción en España

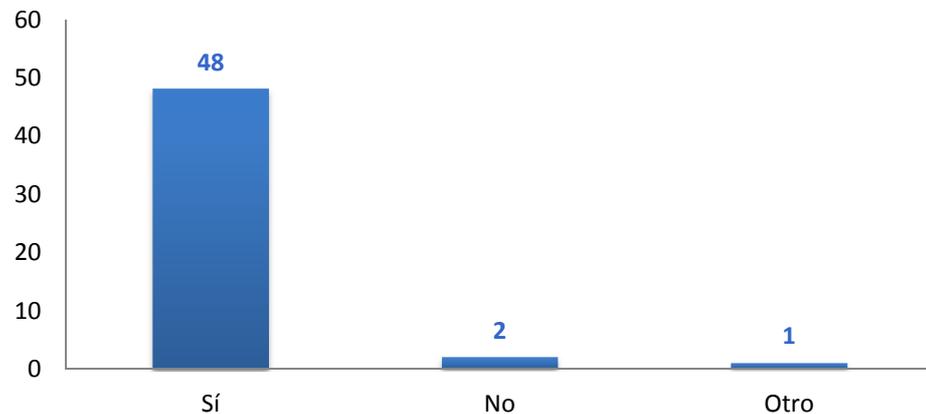
Opinión sobre la gestión de la construcción en España		
Mala	15	29%
Debe mejorar	19	37%
Buena pero necesita cambios	10	20%
Buena	3	6%
Sin experiencia	4	8%



11.- ¿Le parece interesante y necesario formarse en aspectos relacionados con la gestión para un futuro a medio plazo (3-5 años)?

¿Le parece necesario formarse a corto plazo en gestión?

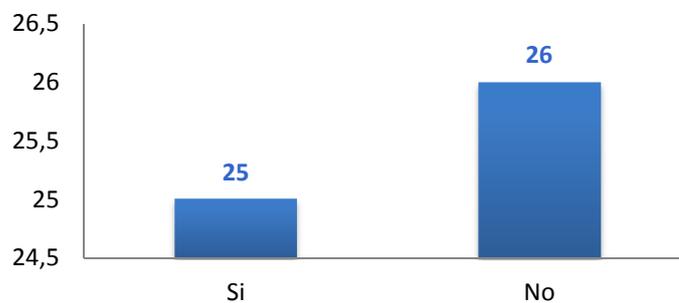
¿Se formaría en aspectos de gestión de construcción?		
Sí	48	94%
No	2	4%
Otro	1	2%



12.- ¿Conoce la metodología de la Construcción sin Pérdidas o Lean Construction?

¿Conoce la CsP?

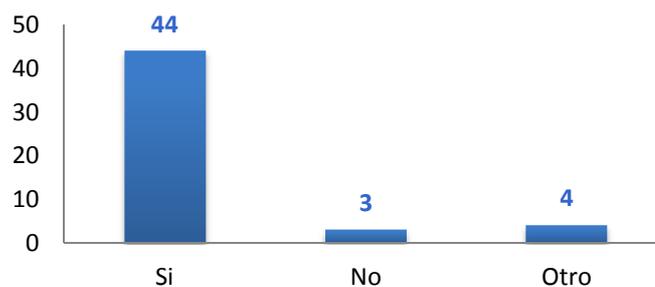
¿Conoce la CsP?		
Si	25	49%
No	26	51%



13.- ¿Estaría interesado en conocer y saber el funcionamiento de la Construcción sin Pérdidas?

¿Le interesa formarse en CsP?

¿Le interesa formarse en CsP?		
Sí	48	94%
No	2	4%
Otro	1	2%



14.- ¿Puede justificar su anterior respuesta?

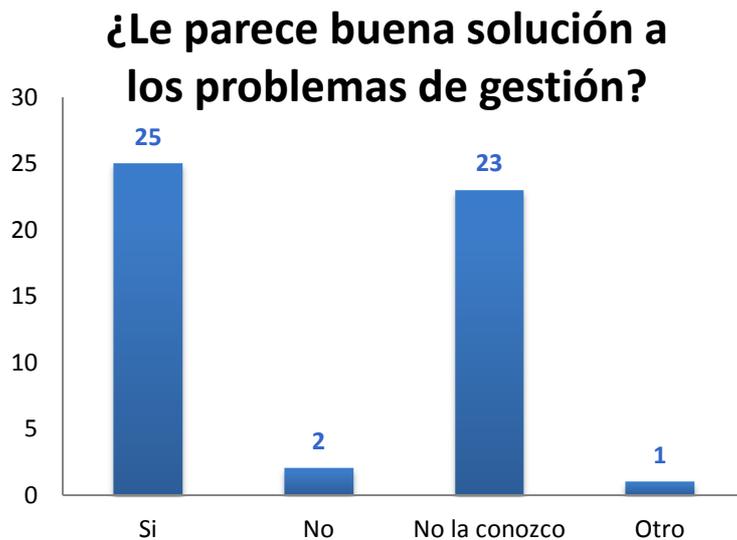
Justificación pregunta 13		
Ya lo conozco	7	14%
No me interesa	2	4%
Me parece interesante	35	69%
Otro	7	14%



Para valorar las respuestas facilitadas en la pregunta 14, se ha seguido la misma metodología empleada en las preguntas 6 y 10.

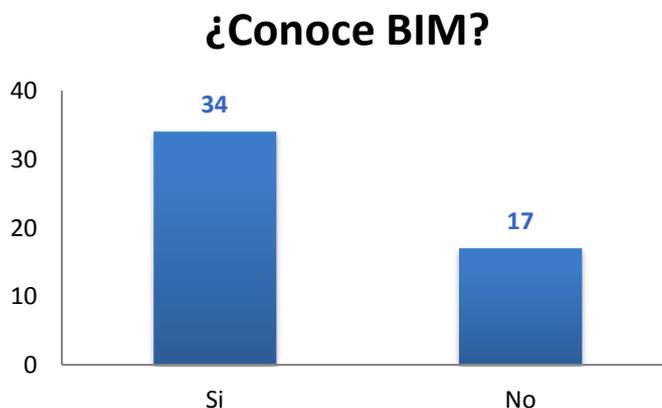
15.- En caso de conocerla, ¿le parece una buena solución a los problemas de gestión en España?

¿Le parece buena solución?		
Si	25	49%
No	2	4%
No la conozco	23	45%
Otro	1	2%



16.- ¿Conoce la metodología BIM?

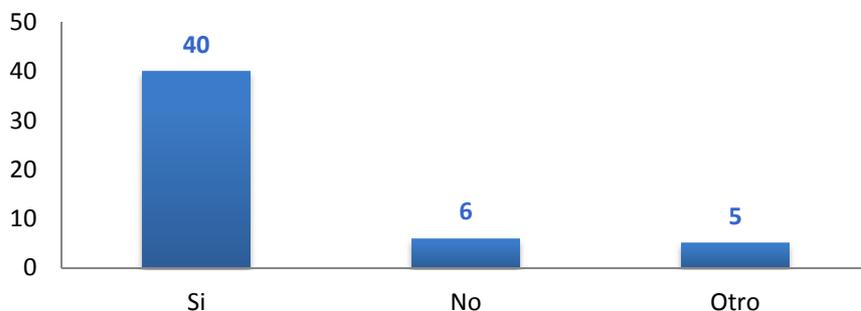
¿Conoce BIM?		
Si	34	67%
No	17	33%



17.- ¿Estaría interesado en conocer y saber el funcionamiento de BIM?

¿Le interesa formarse en BIM?		
Sí	40	78%
No	6	12%
Otro	5	10%

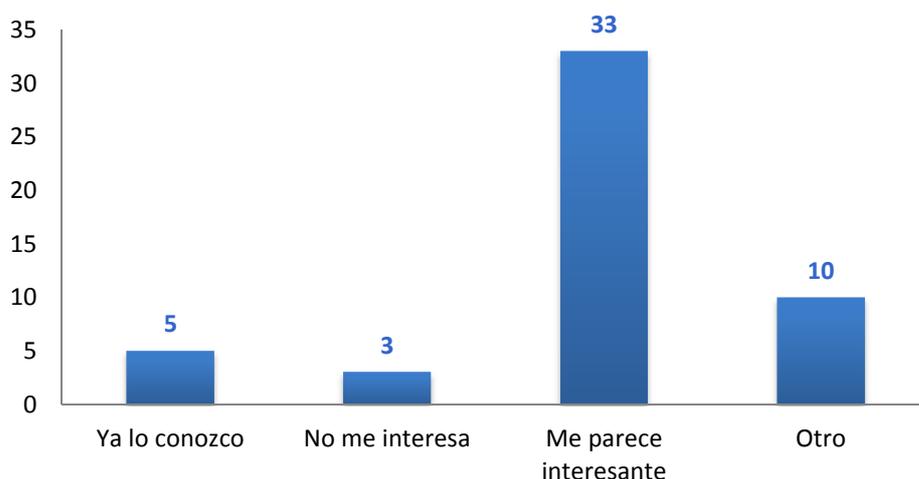
¿Está interesado en conocer más sobre BIM?



18.- ¿Puede justificar su anterior respuesta?

Justificación pregunta 17		
Ya lo conozco	5	10%
No me interesa	3	6%
Me parece interesante	33	65%
Otro	10	20%

Justificación pregunta 17

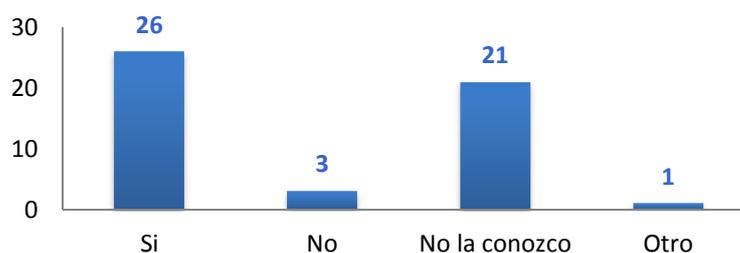


Para valorar las respuestas facilitadas en la pregunta 18, se ha seguido la misma metodología empleada en las preguntas 6 y 10.

19.- En caso de conocerla, ¿le parece una buena solución a los problemas de gestión en España?

¿Le parece buena solución?		
Si	26	51%
No	3	6%
No la conozco	21	41%
Otro	1	2%

¿Le parece una buena solución a los problemas de gestión?



20.- Si conoce las dos metodologías, ¿cree que un uso combinado de ambas puede ser una manera más eficaz de mejorar la gestión de la construcción en España?

¿Le parece buena solución combinar CsP y BIM para los problemas de gestión?

Combinadas, ¿le parecen buena solución?		
Si	26	51%
No	1	2%
No la conozco	23	45%
Otro	1	2%

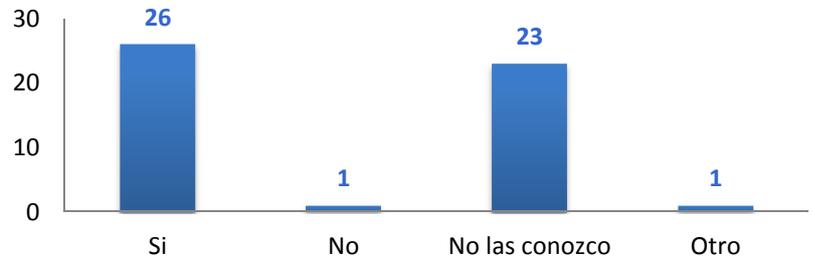


Tabla de abreviaturas

AIA	American Institute of Architects
AV	Añade valor
AGC	Association General of Constructors
B-rep	Boundary representations
BIM	Building information modeling
CsP	Construcción sin Pérdidas
CSG	Constructive solid geometry
DB	Design - Build
GCTC	Gestión del control total de la calidad
IPD	Integrated project delivery
JIT	Just in time
LP	Last planner
LPS	Last planner system
LAP	Lean approach process
LC	Lean construction
LM	Lean manufacturing
LPDS	Lean project delivery system
LPM	Lean project management
MCV	Mapa de la cadena de valor
MS	Master Schedule
MO	Meta - organization
NAV	No añade valor
PM	Programa maestro
PAE	Proyecto - Adjudicación - Ejecución
PE	Proyecto - Ejecución
SMED	Single minute exchange of die
SUP	Sistema del último planificador
TT	Takt time
TVD	Target value design
tc	Tiempo de ciclo
TQM	Total Quality Management
TPS	Toyota production System
UP	Último planificador
VSM	Value Stream Mapping

Lista de términos no españoles más utilizados en *Lean*

5 "s"	Es el acrónimo de Seiri (Organizar), Seiton (Ordenar), Seiso (Limpiar), Seiketsu (Control Visual) y Shitsuke (Disciplina): una técnica de ayuda visual para organizar el espacio de trabajo y minimizar la pérdida de tiempo debida al desorden.
Andon	Dispositivo de control visual que notifica al gestor, personal de mantenimiento y trabajadores de problemas de calidad o del proceso.
Heijunka	Producción nivelada de lo que está planificado.
Hoshin Kanri	Planificación que sirve de orientación, de guía para gestionar cambios.
Jidoka	Capacidad de maquinaria y operarios de detener la producción en cuanto se detecta una anomalía en el proceso productivo.
Kaizen	Mejora continua.
Kanban	Señal, a menudo en forma de tarjeta, que contiene la información necesaria para la transformación del producto durante el proceso productivo.
Muda	Desperdicios o actividades que no añaden valor.
Muri	Sobrecarga de trabajo.
Mura	Falta de uniformidad en el trabajo.
Poka - Yoke	Dispositivos visuales anti-error, que previenen de fallos en la producción.
Takt - time	Término alemán referido a la unidad de tiempo que tarda el cliente en consumir una unidad de producto o servicio.

Bibliografía

2aCAD. (2014). La directiva del parlamento europeo estimula la adopción de BIM en 28 países de la UE. Recuperado el 19 de enero, 2015, de 2aCAD Sitio web: http://www.2acad.net/index.php?option=com_content&view=article&id=865:la-directiva-del-parlamento-europeo-estimula-la-adopcion-de-bim-en-28-paises-de-la-ue&catid=37:aec&Itemid=499

Abbasian-Hosseini, S. A., Nikakhtar, A., & Ghoddousi, P. (2014). Verification of lean construction benefits through simulation modeling: A case study of bricklaying process. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1248-1260.

Abdelhamid, T. (2007). "Lean Construction Overview." Website, CMP831 Lean Construction Principles and Methods, Michigan State University. , Accessed October 3, 2014

Ahuja, R., Sawhney, A., & Arif, M., (2014). BIM based conceptual framework for lean and green integration. IGLC-22. Oslo

Al Hattab, M., & Hamzeh, F. (2013, July). INFORMATION FLOW COMPARISON BETWEEN TRADITIONAL AND BIM-BASED PROJECTS IN THE DESIGN PHASE. In International Group for Lean Construction.

Alsehami, AO, Tzortzopoulos Fazenda, P and Koskela, LJ 2014, 'Improving construction management practice with the Last Planner System: A case study' , *Engineering, Construction and Architectural Management*, 21 (1) , pp. 51-64.

Andrade, M., & Arrieta, B. (2011). Last planner en subcontrato de empresa constructora. *Revista de la construcción*, 10(1), 36-52.

Arquitecton. (2014). Directiva del parlamento europeo para estimular la adopción del BIM en los 28 países de la UE. Recuperado el 19 de enero, 2015, de Arquitecton Sitio web: <http://www.arquitecton.es/directiva-del-parlamento-europeo-para-estimular-la-adopcion-del-bim-en-los-28-paises-de-la-ue/>

Autodesk. (2007). BIM and project planning. Recuperado el 11 de diciembre, 2014, de Autodesk Sitio web: Building information modeling and project planning autodesk

AWCI. (2009). Building information modeling: Understanding and operating in a new paradigm. Mayo 2014, de AWCI Sitio web: <http://www.awci.org/pdf/bim.pdf>

Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.

Ballard, G. (1993). Lean construction and EPC performance improvement. *Lean construction*.

Ballard, G. (2008). Target Costing. Recuperado el 27 de Octubre, 2014, de Lean Construction Institute Sitio web: <http://www.leanconstruction.org/media/docs/wpapers/intro200809/Target%20Value%20Design%20-%20Glenn%20Ballard%20and%20Patrick%20Vasicek/Target%20Costing%20-%20Glenn%20Ballard.pdf>

Ballard, G. (2008). The lean project delivery system: An update. *Lean Construction Journal*, 2008, 1-19.

Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: stabilizing work flow. *Lean construction*, 101-110.

Ballard, G., & Howell, G. (1995). Toward construction JIT. *Lean construction*, 291-300.

Ballard, G., & Howell, G. (1997). Implementing lean construction: improving downstream performance. *Lean construction*, 111-125.

Ballard, G., & Howell, G. (1998). Shielding production: essential step in production control. *Journal of Construction Engineering and management*, 124(1), 11-17.

Ballard, G., & Howell, G. (1998, August). What kind of production is construction. In *Proc. 6 th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Construction* (pp. 13-15).

Ballard, H. G. (2000). The last planner system of production control (Doctoral dissertation, The University of Birmingham).

Barría Norambuena, C.F. (2009). Implementación del sistema Last Planner en la construcción de viviendas. (Tesis para optar al título Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile)

Becerik-Gerber, B., & Kensek, K. (2009). Building information modeling in architecture, engineering, and construction: Emerging research directions and trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136(3), 139-147.

Bhatla, A., & Leite, F. (2012). INTEGRATION FRAMEWORK OF BIM WITH THE LAST PLANNER SYSTEM TM.

BIM Industry Working Group. (2011). A Report for the Government Construction Client Group Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper.

BIM National Standards

Boscá, N.A. (2012). Lean project management: Assessment of project risk processes. Master of Science Thesis KTH Industrial Engineering and Management

Botero, L. F. B., & Villa, M. E. Á. (2003). Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 39(130), 65-78.

Botero, L. F. B., & Villa, M. E. Á. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento). *Revista Universidad EAFIT*, 40(136), 50-64.

Botero, L. F. B., & Villa, M. E. Á. (2005). Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: Estudio del caso de la ciudad de Medellín. *Ingeniería y desarrollo: revista de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte*, (17), 148-159.

Burneo, L. (2013). Mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario de una carretera aplicando filosofía Lean Construction. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Cabinet Office. (2011). Government Construction Strategy. Recuperado el 19 de enero, 2015, de BIM Task Group Sitio web: <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/Government-Construction-Strategy.pdf>

Campbell, D. A. (2007, April). Building information modeling: the Web3D application for AEC. In Proceedings of the twelfth international conference on 3D web technology (pp. 173-176). ACM.

Cárdenas, L. F. A., & Armiñana, E. P. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, (3496), 45-52.

Cerveró-Romero, F. (2010). Lean Construction. Nueva filosofía de gestión en la construcción española. (Trabajo fin de máster, Escuela Técnica Superior de la Universitat Politècnica de València.)

Cerveró-Romero, F., & Napolitano, P., & Reyes, E., & Teran, L. (2013). Last Planner system and Lean Approach process: Experiences from implementation in Mexico. Proceedings of the 21th Annual conference International Group of Lean Construction (p. 709-718). Fortaleza: IGLC 21

CIOB construction manager. (2014). EU votes yes to BIM - Friendly procurement shake-up. Recuperado el 19 de enero, 2015, de CIOB construction manager Sitio web: <http://www.construction-manager.co.uk/news/eu-votes-embed-bim-europe-wide-procurement-rules/>

Clemente, J., & Cachadinha, N. (2013). BIM-lean synergies in the management on MEP works in public facilities of intensive use—a case study.

Cohen, J. (2007) 'Integrated Project Delivery: A guide, Version 1'. IPD guide. AIA National/AIA California. Available gratis download at the AIA's website: www.aia.org. Accessed May 2014

Dassault Systemes. (2014). end to end collaboration enabled by BIM level 3.

Datos estadísticos extraídos del Ministerio de Fomento, el 2 de Octubre, 2014

Dave, B., Boddy, S., & Koskela, L. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN IMPLEMENTING LEAN AND BIM ON AN INFRASTRUCTURE PROJECT.

Dave, BA 2013, Developing a construction management system based on lean construction and building information modelling , PhD thesis, University of Salford

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.

Friedlander, M.C. Advantages of Integrated Project Delivery. Recuperado el 22 de octubre, 2014, de AIA Sitio web: <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab090527.pdf>

Ghassemi, R., & Becerik-Gerber, B. (2011). Transitioning to integrated project delivery: Potential barriers and lessons learned. Lean construction journal,2011, 32-52.

Goedert, J. D., & Meadati, P. (2008). Integrating construction process documentation into building information modeling. Journal of construction engineering and management, 134(7), 509-516.

- Goldratt, E.M. (1984). *The goal*. Estados Unidos: North River Press.
- Hamdi, O., & Leite, F. (2012). BIM and Lean Interactions from the BIM Capability Maturity Model Perspective: A Case Study. In 20th Annual Conf. of the Intl Group for Lean Construction (IGLC-20).
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of operations management*, 25(2), 420-437.
- Howell, G. A. (1999, July). What is lean construction-1999. In Proceedings IGLC (Vol. 7, p. 1).
- Howell, G., & Ballard, G. (1998, August). Implementing lean construction: understanding and action. In Proc. 6 th Ann. Conf. Intl. Group for Lean Constr.
- Ibarra Gómez, L.I. (2011). *Lean Construction*. Tesis para título especialista Universidad Nacional Autónoma de México
- Informe económico del año 2012 de SEOPAN
- Informe Lean construction: Levering collaboration and advanced practices to increase project efficiency, McGraw Hill Construcion (2013)
- Jim Jacobi. (2009). *Building Information Modeling*. APPA
- Kassem, M., Iqbal, N., Kelly, G., Lockley, S., & Dawood, N. (2014). Building information modelling: protocols for collaborative design processes. *Journal of Information Technology in Construction*.
- Khan, S. & Tzortzopoulos, P. (2014). Effects of the interactions between LPS and BIM on workflow in two building design projects. IGLC-22. Oslo
- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction(No. 72). Stanford, CA: Stanford university.
- Koskela, L. (1997). Lean production in construction. *Lean construction*, 1-9.
- Leanroots. (2010). Guía básica online básica sobre lean manufacturing. Recuperado el 16 de diciembre, 2014, de Leanroots Sitio web: <http://www.leanroots.com/>
- Lymath, A.. (2014). The 20 Key BIM terms you need to know. Recuperado el 8 de diciembre, 2014, de NBS Sitio web: <http://www.thenbs.com/topics/bim/articles/the-20-key-bim-terms-you-need-to-know.asp>
- McFarland, J. E. (2007). *Building information modeling for MEP* (Doctoral dissertation, Kansas State University).
- Mestre, I. S. (2013). *Last Planner System: Un caso de estudio*. Proyecto Final de Grado Escuela Técnica Superior de la Universitat Politècnica de València.
- Napolitano, P.D.T.S. & Cerveró-Romero, F. (2012), 'Meta-Organization: the Future for the Lean Organization'.20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. San Diego, USA, 18-20 Jul 2012.
- Neto, J. D. P. B., & Alves, T. (2007). Strategic issues in lean construction implementation. IGLC-15, Michigan.
- O'Connor, P. (2009). Integrated project delivery: Collaboration through new contract forms. *Faegre & Benson*, 23.

Padilla, L. (2010). Lean Manufacturing Manufactura Esbelta/Ágil. Revista Electrónica Ingeniería Primero ISSN, 2076, 3166.

Pérez Velázquez, R. (2011). Desarrollo de un simulador conductual para la formación en gestión empresarial basada en LEAN. Universidad Politécnica de Cataluña

Pons, J.F., (2014). Introducción al Lean Construction. Madrid: Fundación laboral de la construcción.

Proceedings of the 7th Annual conference International Group of Lean Construction. Berkeley, USA, 26-28 Jul 1999

Rajendran, S., & Clarke, B. (2011). Building Information Modeling: Safety Benefits & Opportunities. Professional Safety, 56(10), 44-51.

Ruiz, L. S., Rojo, B. B., & Labajos, C. A. P. (2013). Lean Management: Un estudio bibliométrico. Tiempo de Gestión, 9(15), 9-28.

Sacks, R., Barak, R., Belaciano, B., Gurevich, U., & Pikas, E. (2011). Field Tests of the KanbimLean Production Management System

Sacks, R., Barak, R., Belaciano, B., Gurevich, U., & Pikas, E. (2013). KanBIM workflow management system: Prototype implementation and field testing. Lean Constr. J, 9(1), 19-34.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of lean and building information modeling in construction. Journal of construction engineering and management, 136(9), 968-980.

Sayer, N. J., & Williams, B. (2012). Lean for dummies. John Wiley & Sons.

SEOPAN, Observatorio de la construcción. Informe de la construcción año 2013

Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. Journal of operations management, 25(4), 785-805.

Singer, D. J., Doerry, N., & Buckley, M. E. (2009). What Is Set-Based Design?. Naval Engineers Journal, 121(4), 31-43.

Singleton, M. S. (2010). Implementing integrated project delivery on department of the navy construction projects. COLORADO STATE UNIV FORT COLLINS.

Smith, R. E., Mossman, A., & Emmitt, S. (2011). Lean and integrated project delivery. Lean Construction Journal, 1-16.

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in construction, 18(3), 357-375.

Taboada, J.A. & Lecca, A.G. (2014). Case Study on the use of BIM at the bidding stage of a building project. IGLC-22. Oslo

Taiichi, O. (1988). Toyota production system: beyond large scale production.

The contractors' guide to BIM. Associated General Contractors of America, 2006.

Thomsen, C., Darrington, J., Dunne, D., & Lichtig, W. (2009). Managing integrated project delivery. Construction Management Association of America (CMAA), McLean, VA.

Toro, P. B. (2014). Un proyecto en Marcha con Last Planner System.

UBIM (2014). Recuperado el 21 de noviembre, 2014. Sitio web: <http://www.buildingsmart.es/index.php/ubim/documentos-ubim>

Una nueva filosofía de producción (2008)

Vanegas, S. P. V. (2013). La filosofía LEAN aplicada en la Gerencia de proyectos. Universidad Nacional de Colombia

Vasicek, Patrick. (2008). Target value design - Case study. Recuperado el 27 de Octubre, 2014, de Lean Construction Institute Sitio web: <http://www.leanconstruction.org/media/docs/wpapers/intro200809/Target%20Value%20Design%20-%20Glenn%20Ballard%20and%20Patrick%20Vasicek/Target%20Value%20Design%20-%20Case%20Study%20-%20Patrick%20Vasicek.pdf>

Verkstadsforum. (2014). Applauds to the european parliament's call to modernise EU public works projects with BIM technology. Recuperado el 19 de enero, 2015, de Verkstadsforum Sitio web: http://verkstadsforum.se/nyheter_e.asp?n=90

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your organisation. Simon and Shuster, New York, NY, 397.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2008). The machine that changed the world.

Índice de citación

Nº	Cita
1	Koskela, 1992
2	Womack & Jones, 1994
3	Shah & Ward, 2007
4	Sánchez&Blanco&Pérez, 2012
5	Lledó P. & Rivarola, G. & Mecaru, R. & Cucchi, D., 2006 citado por Valencia S., 2013
6	Schemenerr, 1988 citado por Koskela, 1992
7	Hopp & al, 1990 y Stalk&Mart 1990, citado por Koskela 1992
8	Camp, 1989 citado por Koskela 1992
9	Valencia S, 2013
10	Ohno, 1988 citado por Holweg, 2006
11	Villaseñor Contreras &al, 2009, citado por Valencia S, 2013
12	Manotas Duque & Riviera Cadavid, 2007, citado por Valencia S, 2013
13	Pritchard, citado por Sánchez Ruiz&al, 2012
14	Sánchez Ruiz &et al, 2012
15	Ballard&Howell, 1994
16	Howell, 1999
17	Koskela 1992 citado por Howell 1999
18	Botero&Álvarez, 2004
19	Serpell citado por Botero&Álvarez, 2004
20	Koskela, 1993
21	Napolitano&Cerveró, 2011
22	Botero&Álvarez, 2003
23	Pons, 2014
24	Ballard & Howell, 1998
25	de Paula & de C.L. Alves,2007
26	Sanchís Mestre, 2013
27	AlSehaimi&al, 2014
28	Ballard, 2000
29	Ballard & Howell, 1997
30	Botero Toro, 2014
31	Cerveró, 2011
32	Botero & Álvarez, 2005
33	Napolitano P, 2011
34	Ballard, 2000
35	Lichtig, 2006
36	Cohen J, 2007
37	Ghassemi & Becarih-Gerber, 2011
38	Friedlander, 2011
39	Cusumano, 1994 citado por Valencia S, 2013
40	Richards, 1996
41	Soriano Meier, 2002 citado por Valencia S, 2013
42	Holweg, 2006

- 43 Web Toyota
- 44 Smith , Mossman, Emmitt, 2011
- 45 Jacobi, 2009
- 46 AGC, 2010
- 47 Eastman & al, 2008
- 48 Azhar, 2011
- 49 Foundation of the Wall and Ceiling Industry, 2009
- 50 Encuesta recogida en BIM Handbook
- 51 UBIM
- 52 Bathla&Leite, 2012
- 53 Sacks, Koskela, Dave and Owen, 2010
- 54 Hamdi&Leite, 2012
- 55 Clemente&Cachadinha, 2013
- 56 Salmon, 2009
- 57 Eckblad et al, 2007 citado por 53
- 58 Khan&Tzortzopoulos, 2014
- 59 Dave et al, 2008
- 60 Sacks et al, 2009
- 61 Dave, 2013
- 62 Galsworth, 1997
- 63 Rischmoller et al, 2006
- 64 Khanzode et al, 2006
- 65 Gilligan & Kunz, 2007
- 66 Sacks et al, 2009
- 67 Sacks et al, 2010
- 68 Rajendran&Clarke, 2011
- 69 Sanz&Sánchez, 2015
- 70 Sánchez, 2014
- 71 BIM Working Party Strategy Paper, 2011
- 72 Government Construction Strategy, 2011
- 73 BIMTalk
- 74 Saxon, RG, 2013