



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

# Análisis de la gestión a pie de obra mediante la digitalización del Sistema Last Planner

Trabajo realizado por:

**Ana Velasco Ruiz**

Dirigido por:

**Francisco Javier Mora Serrano**

**Ignacio Valero López**

Máster en:

**Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos**

Barcelona, **Junio 2018**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

**TREBAJO FINAL DE MÁSTER**



## RESUMEN

El sector de la construcción se encuentra en una época de cambio donde la digitalización se está convirtiendo en su motor de innovación. Principalmente se busca una mejora del mismo mediante la colaboración y la comunicación entre equipos y el uso de información en tiempo real para la reducción de costes y un aumento de calidad. Una de las filosofías que persigue este objetivo es la filosofía *Lean*, ya asentada en la industria. A lo largo del desarrollo del presente trabajo se ha definido esta filosofía y su adaptación a la construcción, *Lean Construction*. Entre las herramientas que más se destacan se encuentra el Sistema Last Planner, el cual se centra en la gestión de proyectos, sobre todo en fase de ejecución. Bajo esta premisa se ha analizado la implementación de esta herramienta en un caso de estudio mediante el uso de aplicaciones colaborativas de gestión de tareas y personas. Se puede concluir que el uso de estas aplicaciones incrementa el valor de la herramienta *Lean* al permitir la actualización automática del plan con la ayuda de los trabajadores implicados en obra. No obstante, estas aplicaciones no cuentan con un repositorio de datos del cual desarrollar la mejora continua de los procesos. Se podría decir que el uso de este tipo de aplicaciones es un buen punto de partida para aquellas organizaciones que deseen introducirse en la filosofía *Lean*. Sin embargo, *Lean* es una filosofía de trabajo, donde el Sistema Last Planner no es la única herramienta que permite reducir ineficiencia. Por lo tanto, su uso expulsivo no es garantía de mejora, y menos a corto plazo. A futuro, la integración *Lean* y BIM puede incrementar el valor de la construcción, siendo *Lean* la metodología de mejora y BIM el gestor de datos.

**Palabras Clave:** Lean Construction, Gestión de proyectos, Fase de Ejecución, Last Planner, Colaboración, Digitalización.



**ABSTRACT**

The construction sector is in a changing process where digitization is becoming the innovation engine. Collaboration and communication between teams and the use of real time information are the main aspects to reduce costs and increase quality. One of the methodologies that share these objectives with is Lean philosophy, well known in the manufacturing industries. Throughout the development of this project, it has been defined this philosophy and its use in construction, called as Lean Construction. Among the Lean tools, Last Planner System are the most known. This tool is used for execution project management. With this in mind, the implementation of this tool has been analyzed in a case study using collaborative applications. It can be concluded that the use of this apps increases the value of the Lean tool by updating automatically the plan with the collaboration of the workers in the field. However, these applications do not have yet the capacity to host all data to develop an improvement continuous process. It can be said that the use of this type of applications is a good point to start for those organizations that want to introduce the Lean philosophy. However, Lean is a work philosophy, where the Last Planner System is not the only tool. Hence, its expulsive use is no guarantee of improvement, and less in a short term. In the future, Lean and BIM integration will increase the value of the construction sector, being Lean the improvement methodology and BIM the data manager.

**Key words:** Lean Construction, Project Management, Execution phase, Last Planner System, Teamwork, Digitalization.



## MOTIVACIÓN

Al inicio de mis estudios universitarios, la palabra *Project Management* era muy sonada, así que cuando tuve la oportunidad de cursar, a finales del máster, una asignatura con dicho nombre no lo dudé. En ella aprendí que la gestión de proyectos tiene una gran base matemática con muchas variables y una gran incertidumbre, y que la gestión es fundamental para el desarrollo de proyectos que buscan sobre todo un objetivo concreto, la optimización de tiempo, dinero y recursos. No sé si fue por el temario o la pasión del profesor lo que me llevó a pensar que realmente la gestión de proyectos tiene un futuro muy prometedor en el sector de la construcción, el cual, a pesar de los avances que ha tenido con respecto a la prevención de riesgos laborales, controles de calidad, materiales, prefabricación... no parece tener el impacto deseado a pie de obra.

Mi familia forma parte de este sector, más concretamente del movimiento de tierras, y muchos días puedo ver la frustración que sienten, a pesar de los esfuerzos en oficina por cuadrar tiempos, material y predecir riesgos, por no haber podido realizar una tarea en las condiciones óptimas, ya sea por interferencias entre trabajadores, retrasos por falta de documentación, esperas o desplazamientos que se podrían evitar.

El sector de la construcción es una de las industrias más antiguas del mundo y a su vez una de las de menor productividad. Durante un tiempo, esta industria no invirtió ni empleó recursos en innovación como si hicieron otros países a escala mundial como Chile o Reino Unido. Este hecho se debió a dos factores que devastaron al sector de la construcción y a la economía Española. El primero de ellos fue el boom inmobiliario que se vivió entre 1998 y 2007, época de alta financiación y elevados precios de venta, y el segundo, la gran crisis financiera de 2008, la cual arrasó con grandes empresas constructoras y promotoras.

Durante el periodo del boom la innovación no era prioritaria y durante la crisis, no fue viable. Sin embargo, los profesionales más inquietos salieron al mundo a buscar soluciones y vieron que la mejora del sector era posible.

En 2017 se ha podido apreciar una recuperación, donde la digitalización está a la orden del día. A los de mi generación y a mí nos ha tocado una época de transición donde todo lo que conocemos pasa por un proceso de cambio y adaptación. Esta digitalización, en una industria con modificaciones constantes y con un tiempo de reacción breve, va a permitir una colaboración e intercambio de datos entre agentes, para su consulta y gestión, en tiempo real. De hecho, el objetivo de dicha digitalización es la optimización de recursos, la reducción de costes, la mejora de la calidad y el aumento del nivel de satisfacción del cliente.

Una metodología que encaja con estos objetivos es la filosofía *Lean*, asentada en el mundo de la industria manufacturera de manera exitosa desde los años 50. Así pues, un punto clave sería analizar cómo esta filosofía se podría integrar en el proceso de digitalización que está experimentando el sector, sobre todo en lo referente a la fase de ejecución, ya que es la fase con menor acceso a herramientas digitales.



Tras un largo camino de aprendizaje y descubrimiento, que me ha llenado de herramientas para culminar este trabajo, quiero dar gracias.

Me gustaría empezar por dar las gracias a mis tutores, Javier Mora e Ignacio Valero, por la confianza depositada en mí y su entera disposición semana tras semana. Gracias a Anna Bullich y Alfredo Bernad por arrojar un pedazo de su experiencia a este trabajo.

También quisiera expresar mi gratitud a todos los profesionales que trabajan apasionadamente día a día por sacar la mejor versión de sí mismos y apostar por la innovación y el bien hacer de las cosas.

Por último, gracias a mi familia y amigos por estar siempre. En especial a mis padres y a mi hermana por el apoyo diario y la paciencia. Por hacerme creer en mí. Sin ellos hoy este trabajo no hubiera sido posible.

**GRACIAS.**



# CONTENIDO

<b>MOTIVACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO</b> .....	<b>1</b>
1.1 EVOLUCIÓN RECIENTE DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.3 METODOLOGÍA.....	7
1.4 CONTENIDO .....	9
<b>CAPÍTULO 2: LEAN. TEORÍA Y ACTUALIDAD</b> .....	<b>11</b>
2.1 FILOSOFÍA LEAN.....	11
2.2 PROBLEMÁTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL .....	16
2.3 FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION .....	22
2.4 CHARLA CON PROFESIONALES <i>LEAN</i> .....	31
2.5 ESTADO ACTUAL.....	37
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DEL LAST PLANNER SYSTEM</b> .....	<b>39</b>
3.1 HERRAMIENTA LAST PLANNER SYSTEM (LPS) .....	41
3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL LPS .....	42
3.3 MÉTODO TRADICIONAL ( <i>DYNAMIC SCHEDULING</i> ) .....	52
3.4 MODELO DE GESTIÓN TRADICIONAL VS LPS .....	54
3.5 VENTAJAS Y BARRERAS DE IMPLEMENTAR LPS .....	56
<b>CAPÍTULO 4: DIGITALIZACIÓN Y USO DEL LPS</b> .....	<b>59</b>
4.1 SOFTWARE GESTIÓN DE PROYECTOS .....	59
4.2 DIGITALIZACIÓN DEL LPS .....	61
4.3 FLUJO DE TRABAJO A RAÍZ DE UN CASO DE ESTUDIO .....	64
4.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA DIGITALIZACIÓN .....	85
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES</b> .....	<b>87</b>
5.1 CONCLUSIONES GENERALES.....	87
5.2 APORTACIÓN PERSONAL.....	90
5.3 LIMITACIONES.....	90
5.4 LÍNEAS DE FUTURO .....	91
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>93</b>
<b>ANEJOS</b> .....	<b>I</b>



## LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. DIFERENCIAS ENTRE LA COSTRUCCIÓN CONVENCIONAL Y EL LC. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	24
TABLA 2. LISTA DE PONENCIAS DE LA CONFERENCIA LEAN CONSTRUCTION BARCELONA 2018. ....	36
TABLA 3. HERRAMIENTAS LEAN SEGÚN EL TIPO DE DESPERDICIO Y EJEMPLOS DE CASOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	39
TABLA 4. APLICACIONES DE GESTIÓN COLABORATIVA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	63
TABLA 5. ACTIVIDADES DE LA FASE 5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	66
TABLA 6. ACTIVIDADES DE LA FASE 5 DESGLOSADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	71
TABLA 7. RESTRICCIONES DE ALGUNAS TAREAS DEL PLAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	73
TABLA 8. DEFINICIÓN DE LOS CAMPOS EXPORTADOS DE LA APLICACIÓN INSTAGANTT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	76



## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. PRODUCTIVIDAD POR HORA TRABAJADA EN ESPAÑA EN 2007 (€). FUENTE: INE (2).....	1
FIGURA 2. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA ECONOMIA. VALOR AÑADIDO 1997-2007 (%). FUENTE: INE (2) .....	1
FIGURA 3. LOS CINCO PAISES QUE MÁS APORTAN A LA UE-27. AÑO 2007. FUENTE: INE (3).....	1
FIGURA 4. HISTÓRICO DE PRECIO MEDIO DEL METRO CUADRADO EN ESPAÑA [€/M <sup>2</sup> ]. FUENTE: (4) .....	2
FIGURA 5. COMPONENTES DEL PIB EN 2016. FUENTE: INE (7) .....	2
FIGURA 6. LICITACIÓN OFICIAL POR TIPO DE OBRA Y AGENTE CONTRATANTE. ADMINISTRACIONES PÚBLICAS 2006-2016. FUENTE: FOMENTO (6) .....	2
FIGURA 7. NIVEL DE EMPLEO POR GRANDES RAMAS DESDE 2008 HASTA 2017. FUENTE: (9) .....	3
FIGURA 8. PERSPECTIVA DE UN PROYECTO SEGÚN EL PUNTO DE VISTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (11) .....	4
FIGURA 9. DIAGRAMA DE OPORTUNIDAD DE CAMBIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	5
FIGURA 10. DIAGRAMA CALIDAD-COSTE-SEGURIDAD-PLANIFICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	6
FIGURA 11. CRONOLOGIA DEL CONCEPTO <i>LEAN</i> . FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	11
FIGURA 12. CASA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOYOTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (TPS HOUSE) .....	12
FIGURA 13. MODELO DE COLABORACIÓN TRADICIONAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17).....	17
FIGURA 14. MODELO DE COLABORACIÓN INTEGRADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17) .....	19
FIGURA 15. PÉRDIDAS EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN. FUENTE: (20) .....	20
FIGURA 16. CLAVES LEAN: MUDA, MURA Y MURI. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES .....	20
FIGURA 17. CRONOLOGIA DEL CONCEPTO <i>LEAN CONSTRUCTION</i> . FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	22
FIGURA 18. OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE LA FILOSOFIA LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	23
FIGURA 19. MODELO DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17).....	23
FIGURA 20. MODELO DE PRODUCCIÓN LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17).....	24
FIGURA 21. HERRAMIENTAS DEL LEAN CONSTRUCTION. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	27
FIGURA 22. CASA DEL LEAN CONSTRUCTION. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	28
FIGURA 23. BENEFICIOS ALCANZADOS AL IMPLEMENTAR PRÁCTICAS LEAN. FUENTE: (22) .....	29
FIGURA 24. RETOS QUE AFRONTAR EN LA IMPEMENTACIÓN LEAN. FUENTE: (22).....	29
FIGURA 25. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLANTACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION. FUENTE: (8).....	30
FIGURA 26. EVOLUCIÓN DE LOS EVENTOS LEAN EN ESPAÑA. FUENTE: (23) .....	37
FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE LOS EVENTOS SEGÚN EL AÑO. FUENTE: (23).....	37
FIGURA 28. TIPO DE ACTUACIÓN POR CLIENTE. FUENTE: (23) .....	37
FIGURA 29. TIPO DE ACTUACIÓN POR COMUNIDAD. FUENTE: (23).....	37
FIGURA 30. FILOSOFIA DE PLANIFICACIÓN LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (16).....	41
FIGURA 31. DIAGRAMA DEL FLUJO DE TRABAJO DE LA APLICACIÓN DEL LPS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	43
FIGURA 32. SISTEMA PULL Y PUSH. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	44
FIGURA 33. EJEMPLO MATERIAL NECESARIO PARA LA PULL SESSION. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES + ELABORACIÓN PROPIA.....	45
FIGURA 34. POST-IT CON LA DEFINICIÓN DE UNA ACTIVIDAD DE OBRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	45
FIGURA 35. NOTAS ADHESIVAS CON LA DEFINICIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y LOS AGENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	46
FIGURA 36. EJEMPLO PLAN MAESTRO JUNTO A LA LISTA DE RESTRICCIONES. FUENTE: (28) .....	47
FIGURA 37. EJEMPLO LISTA PLUS-DELTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	47
FIGURA 38. EJEMPLO REUNIÓN PLANIFICACIÓN SEMANA 6 ENTRE EL COORDINADOR Y EL ENCARGADO DE OBRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (28) .....	48
FIGURA 39. EJEMPLO PLAN SEMANAL. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES .....	50
FIGURA 40. BASE DE LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA. FUENTE: (34) .....	52
FIGURA 41. TIPOS DE MÉTODOS SEGÚN LA COMPLEJIDAD E INCERTIDUMBRE DEL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	53
FIGURA 42. DIFERENCIAS ENTRE LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL RESPECTO A LA PLANIFICACIÓN LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (14) .....	55

FIGURA 43. USO DE UN SOFTWARE ERP SEGÚN EL NIVEL LEAN EMPLEMENTADO EN UNA ORGANIZACIÓN. DATOS DE 2013. FUENTE: (36) .....	60
FIGURA 44. ALZADO DE LA NAVE INDUSTRIAL DEL CASO DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	64
FIGURA 45. PLANTA DE LA NAVE INDUSTRIAL DEL CASO DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	65
FIGURA 46. DIAGRAMA DE RED DE LAS ACTIVIDADES DE LA FASE 5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	66
FIGURA 47. DIAGRAMA DEL FLUJO DE TRABAJO DE LA APLICAIÓN DE LA HERRAMIENTA LPS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	67
FIGURA 48. PRIMERA ESTIMACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DESDE MICROSOFT PROJECT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ....	68
FIGURA 49. CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO EN ASANA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	68
FIGURA 50. PROYECTO COMPARTIDO ENTRE DISTINTOS MIEMBROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	68
FIGURA 51. PARTICIPANTES EN EL CASO DE USO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	69
FIGURA 52. ACTIVIDADES ASIGNADAS A LOS DISTINTOS AGENTES Y LA FECHA DE ENTREGA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA..	69
FIGURA 53. DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE LA CUBIERTA. VISTA EN PLANTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	70
FIGURA 54. DIAGRAMA DE RED DE LAS ACTIVIDADES DE LA FASE 5 DESGLOSADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	71
FIGURA 55. CRONOGRAMA DISPONIBLE EN LA VERSIÓN PREMIUM DE ASANA. FUENTE: APLICACIÓN WEB ASANA.....	71
FIGURA 56. RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN DEL PLAN MAESTRO. DIAGRAMA DE GANTT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	72
FIGURA 57. RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN DEL PLAN MAESTRO SEGÚN EL TIPO DE AGENTE ENCARGADO DE LA TAREA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	72
FIGURA 58. IDENTIFICACIÓN DE LA VENTANA DE TIEMPO PARA LA PROGRMACIÓN DEL PLAN INTERMEDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	74
FIGURA 59. DETERMINACIÓ DE LAS RESTRICCIONES DE LAS ACTIVIDADES DENTRO DE LAS PRÓXIMAS 6 SEMANAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	74
FIGURA 60. REUNIÓN SEMANAL CON VISTAS A LA SIGUIENTE VENTANA DE SEIS SEMANAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ...	75
FIGURA 61. FINALIZACIÓN DE TAREAS DESDE LA APLICACIÓN MÓVIL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	75
FIGURA 62. ARCHIVO EXTRAIDO DESDE LA APLICACIÓN INSTAGANTT. FUENTE: ELBORACIÓN PROPIA.....	76
FIGURA 63. RELACIÓN DE CAMPOS ENTRE NAVISWORKS E INSTAGANTT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	77
FIGURA 64. ACTIVIDAD COMPLETADA DESDE ASANA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	79
FIGURA 65. VISUALIZACIÓN DE LA APLICACIÓN POR UNO DE LOS AGENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	79
FIGURA 66. MODIFICACIÓN DE LA FECHA FINAL DE EJECUCIÓN DE UNA TAREA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	80
FIGURA 67. ACTUALIZACIÓN DE LA FECHA FINAL AL MODIFICAR UNA ACTIVIDAD PREVIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	80
FIGURA 68. AVANCE Y SEGUIMIENTO DE LA PLANIFICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	81
FIGURA 69. RETRASO DE UNA TAREA Y COMPARACIÓN CON EL PLAN INICIAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82
FIGURA 70. FLUJO DE TRABAJO DEL PLAN SEMANAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	83
FIGURA 71. EJEMPLO DE PROYECCIÓN DE LA PLANIFICACIÓ EN OBRA. FUENTE: (37) .....	84
FIGURA 72. EJEMPLO DEL POTENCIAL DE LA SINERGIA LEAN-BIM (VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION VDC) SEGUIMIENTO SEMANAL MEDIANTE EL SISTEMA LAST PLANNER. FUENTE: (38) .....	86
FIGURA 73. CIRCULO DEMING PDCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	VI
FIGURA 74. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM. FUENTE: (17) .....	VIII

## GLOSARIO

<b>BIM</b>	<i>Building Information Modelling</i>
<b>CAD</b>	Diseño Asistido por Ordenador ( <i>Computer Aided Design</i> )
<b>ERP</b>	Software de planificación de recursos empresariales ( <i>Enterprise Resource Planning</i> )
<b>IFC</b>	Intercambio abierto y libre de información ( <i>Industry Foundation Class</i> )
<b>IGLC</b>	Grupo Internacional de <i>Lean Construction</i> ( <i>Internacional Group for Lean Construction</i> )
<b>IPD</b>	Gestión Integral de Proyectos ( <i>Integrated Project Delivey</i> )
<b>JIT</b>	Justo a tiempo ( <i>Just in time</i> )
<b>LC</b>	Construcción sin pérdidas ( <i>Lean Construction</i> )
<b>LCI</b>	Instituto del <i>Lean Construction</i> ( <i>Lean Construction Institute</i> )
<b>LEED</b>	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
<b>LPDS</b>	Gestión Integral de Proyectos Lean ( <i>Lean Project Delivery System</i> )
<b>LPS</b>	Sistema del Último Planificador ( <i>Last Planner System</i> )
<b>LT</b>	Pensamiento Lean ( <i>Lean Thinking</i> )
<b>PM</b>	Gestión de proyectos ( <i>Project Management</i> )
<b>PPC</b>	Porcentaje de Plan Completado o Porcentaje de Promesas Cumplidas.
<b>TFV</b>	Transformación, Flujo y Valor
<b>TPS</b>	Sistema de Producción Toyota ( <i>Toyota Production Sytem</i> )
<b>TQM</b>	Gestión de la Calidad Total ( <i>Total Quality Management</i> )
<b>VSM</b>	Mapa de la Cadena de Valor ( <i>Value Stream Map</i> )



# CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO

## 1.1 EVOLUCIÓN RECIENTE DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

### SITUACIÓN

El sector de la construcción es una de las industrias más antiguas del mundo y, a su vez, es considerada como la más conservadora, resistente a los cambios y tardía en adoptar los avances tecnológicos (1). En contraposición se encuentra la industria manufacturera, la cual ha ido renovándose con el paso de los años.

Tal y como puede verse en la Figura 1, extraída de una publicación del Instituto Nacional de Estadística (INE), la construcción es una de las industrias de menor productividad. La productividad por hora trabajada, representada en dicha figura, indica el rendimiento necesario para la elaboración de un producto en función del tiempo empleado, y como puede observarse, el sector de la construcción está muy alejado del sector industria e incluso por debajo de la media nacional.

Por otro lado, en la Figura 2 también se puede ver como el valor añadido de este sector, es decir, la diferencia entre los precios de mercado y los costes de producción, está también por debajo de la industria y los servicios.

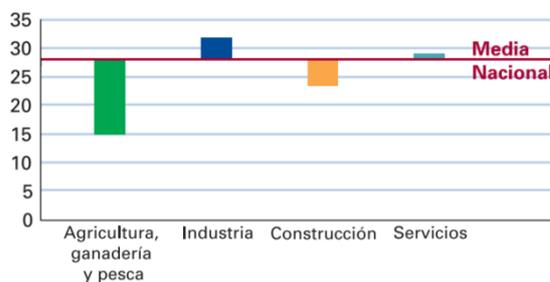


FIGURA 1. PRODUCTIVIDAD POR HORA TRABAJADA EN ESPAÑA EN 2007 (€). FUENTE: INE (2)

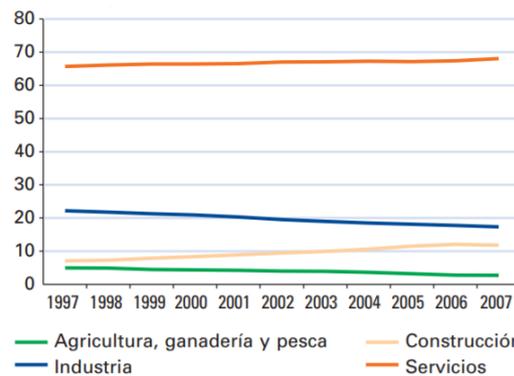


FIGURA 2. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA ECONOMÍA. VALOR AÑADIDO 1997-2007 (%). FUENTE: INE (2)

Sin embargo, a nivel Europeo, entre los cinco países con más potencial económico, las mayores aportaciones en la construcción, durante el año 2007, provinieron de Reino Unido y España, como se observa en la Figura 3. Incluso, se puede ver como en España este sector fue el que aportó mayor beneficio.

(Porcentaje de cada país sobre el total de la UE)

País	Agricultura	Industria	Construcción	Servicios
Alemania	10	26	13	19
Reino Unido	7	14	17	18
Italia	14	13	12	12
Francia	19	11	15	17
<b>España</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>8</b>

FIGURA 3. LOS CINCO PAISES QUE MÁS APORTAN A LA UE-27. AÑO 2007. FUENTE: INE (3)



Los datos anteriormente mostrados son una representación del sector de hace más de 10 años. Entre 1998 y 2007 se vivió en España un boom inmobiliario. Durante esta época la obtención de financiación para la construcción era fácil y barata, tanto para promotoras como para compradores. Los sobrecostes de los proyectos, debidos a la improductividad, problemas y mala gestión, se podían absorber fácilmente con más financiación y/o subidas de precio.

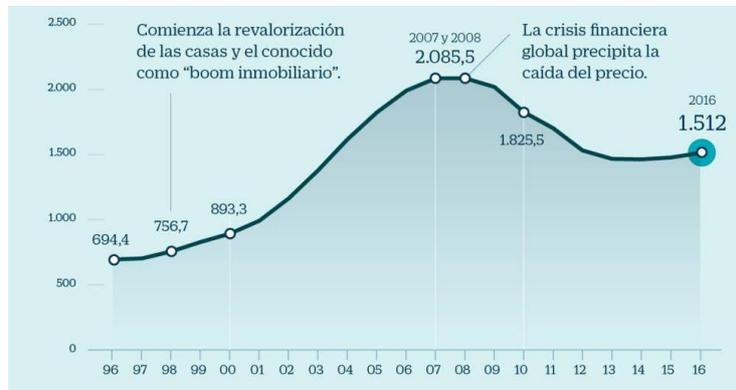


FIGURA 4. HISTÓRICO DE PRECIO MEDIO DEL METRO CUADRADO EN ESPAÑA [€/M<sup>2</sup>]. FUENTE: (4)

Se puede observar en la Figura 4 como el precio de la vivienda aumentó fuertemente hasta 2008, momento en el que la crisis financiera global hizo precipitar la caída de precios. Con ello se redujo la producción en más de la mitad, tal y como muestra la Figura 5, teniendo como referencia el PIB de 2005, el cual fue de un 10,4 % (5).

Esta disminución también se puede observar en el último anuario estadístico sobre los indicadores económicos de la construcción, Figura 6, elaborado por el Ministerio de Fomento (6), donde la inversión en construcciones tanto de obra civil como edificación ha ido disminuyendo desde 2006 hasta la actualidad.

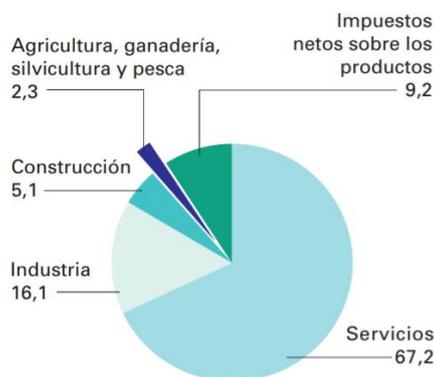


FIGURA 5. COMPONENTES DEL PIB EN 2016. FUENTE: INE (7)

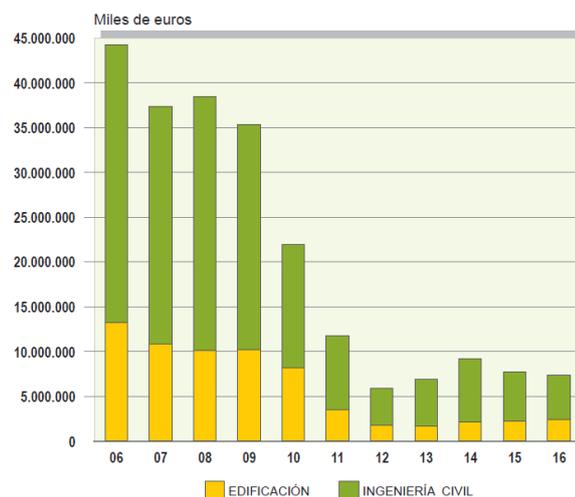


FIGURA 6. LICITACIÓN OFICIAL POR TIPO DE OBRA Y AGENTE CONTRATANTE. ADMINISTRACIONES PÚBLICAS 2006-2016. FUENTE: FOMENTO (6)

Así pues, la época del boom inmobiliario no facilitó la innovación ni la aplicación de nuevos modelos productivos, ya que no resultaba una necesidad para el crecimiento del sector (8).

De hecho, en esta industria, el generador del producto en última instancia son personas trabajando en entornos muy variables, y es por ello que incluso hoy en día es muy complicado medir su productividad. Se entiende productividad como la relación entre el producto y los recursos y/o el tiempo utilizado para obtenerlo. Simplemente un proyecto se define como exitoso cuando el coste está dentro de presupuesto, se entrega a tiempo, no hay accidentes en obra y se cumplen las especificaciones de calidad.

Por otro lado, la imposibilidad y falta de recursos económicos a partir de esta crisis tampoco propició la intrusión de nuevos métodos ni innovación en el mercado. Se está hablando de que durante el periodo de crisis, la construcción sufrió grandes pérdidas. En la Figura 7 se puede ver la alarmante pérdida de empleo.



FIGURA 7. NIVEL DE EMPLEO POR GRANDES RAMAS DESDE 2008 HASTA 2017. FUENTE: (9)

En 2017 la licitación pública creció un 38% y la contratación pública, por su parte, un 32% con respecto al 2016. Sin embargo, en ambos casos estas cifras representan la tercera parte del volumen de 2007 y continúan en niveles próximos a los mínimos históricos, según ha informado recientemente Seopan, Asociación de Empresas Constructoras y Concesionarias e Infraestructuras (10).

## NECESIDAD

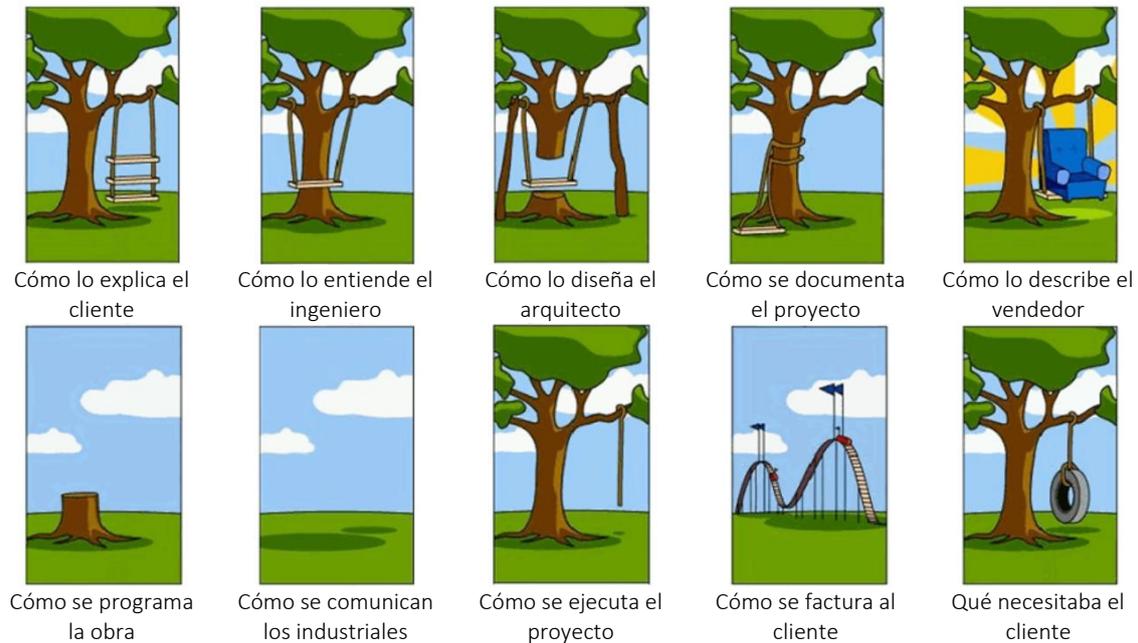
Ahora que el sector se encuentra en una clara recuperación, es el momento de analizar qué opciones existen actualmente, tanto para disminuir costes como para aumentar la productividad, tal y como ha logrado la industria manufacturera. Es cierto que actualmente se construye a un ritmo veloz y en tiempos asombrosos pero los problemas en obra son constantes.

A medida que aumenta la competitividad global, también lo hace la expectativa de mayores niveles de productividad a la hora de la entrega de proyectos. Cada vez más, los clientes esperan que sus proveedores sean flexibles, comunicativos y receptivos a sus necesidades. De modo que en el mundo acelerado en el que nos encontramos, aquellas organizaciones que no consigan adaptarse a los nuevos enfoques se encontrarán en una clara desventaja.

Además, se están sumando nuevos objetivos, como son el ahorro energético, la reducción del impacto ambiental, el aumento de la industrialización y la viabilidad económica.



La construcción se caracteriza entre otras cosas, por las modificaciones constantes y los tiempos de reacción breve, que sumado a la dependencia del papel y los equipos de trabajo multidisciplinares se generan muchos problemas de comunicación. De hecho, en la Figura 8, ilustración bien conocida en el ámbito de la programación, se representa este problema de interacción entre los distintos participantes de un proyecto.



**FIGURA 8. PERSPECTIVA DE UN PROYECTO SEGÚN EL PUNTO DE VISTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (11)**

Se pueden encontrar múltiples diagnósticos, según unas cifras de *McKinsey & Company*, que indican que las principales carencias en obra son: la falta de planificación y gestión de proyectos, la falta de estandarización de procesos productivos, menor estandarización de medidas que en la industria, el poco uso de materiales prefabricados y la falta de conocimientos y capacidades de los empleados (12).

Otros investigadores indican que las altas pérdidas tanto de recursos humanos como material se deben a errores, retrasos y mala comunicación. Fue en un artículo publicado en *The Economist*, 'Construction and the Internet' (13), donde se afirmaba que muchos de los problemas en la construcción se debían a una mala comunicación y a pérdidas en el intercambio de información entre los distintos operadores en la cadena de trabajo.

Desde este punto de vista, se podría afirmar que la pérdida de productividad ocurre mayormente en interacciones entre agentes ya que todas las partes se centran en sus propios intereses dejando de lado el proyecto como conjunto.

Añadir también que el día a día de las empresas impide una reflexión sobre el pasado (lecciones aprendidas) y sobre el futuro (planificación e innovación). Además, el temor a la divulgación de buenas prácticas y a su imitación por parte de la competencia (lo denominado como *Benchmarking*) tampoco facilita la comunicación (14).

## OPORTUNIDAD

Se puede decir que el sector de la construcción se encuentra en un periodo de cambio debido a que en este momento se está abordando una digitalización profunda del mismo. Es ahora, con la mejora de la red de telecomunicaciones, la extensión de la conexión a internet y la fibra óptica, la facilidad de compartir información mediante la nube, la evolución de hardwares más económicos y de alta potencia, y la concienciación social de optimizar los recursos, lo que está permitiendo que conceptos basados en la colaboración e intercambio de datos entre las distintas entidades de un proyecto puedan asentarse en este sector. Sector donde las modificaciones son constantes y con un tiempo de reacción breve.

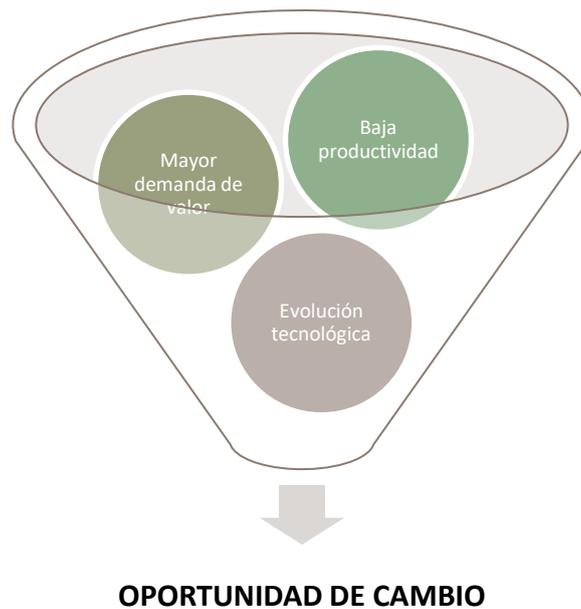


FIGURA 9. DIAGRAMA DE OPORTUNIDAD DE CAMBIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Un claro ejemplo es la aparición de la metodología BIM (*Building Information Modeling*) la cual ha sido capaz de revolucionar el sector de la construcción, cosa que no sucedía desde la aparición del CAD, desde el punto de vista digital. Por ello, se abre una ventana de oportunidades para analizar nuevos conceptos que nacieron hace unos años y que aún no han evolucionado en territorio español.

Uno de estos conceptos es la filosofía *Lean Construction* la cual permite mejorar la cadena de trabajo de diseño y construcción, optimizando la utilización de los recursos, reduciendo el desperdicio y los costes generales. Esto permite a los profesionales mejorar la calidad de la construcción, asegurar un mayor nivel de satisfacción del cliente y al mismo tiempo mejorar su rentabilidad. El objetivo de *Lean* es aplicar el beneficio a todas las partes interesadas, ya que la construcción es mejor cuando todas las partes, especialmente contratistas, gerentes, subcontratistas y proveedores, están comprometidos con el concepto de optimizar el flujo de actividades de manera integral (15). Gracias a plataformas digitales y bases de datos, toda la información del proyecto está actualizada en tiempo real para poder ser consultada y gestionada por todos estos agentes. Por lo tanto, hay una oportunidad de recuperar tanto el tiempo perdido en la falta de inversión en innovación como la confianza de los clientes y propietarios.

## 1.2 OBJETIVOS

En todo proyecto hay cuatro aspectos básicos a tener en cuenta para que se desarrolle de la mejor manera posible y este trabajo se va a centrar en la planificación, siendo esta la base para el cumplimiento de los otros tres factores.

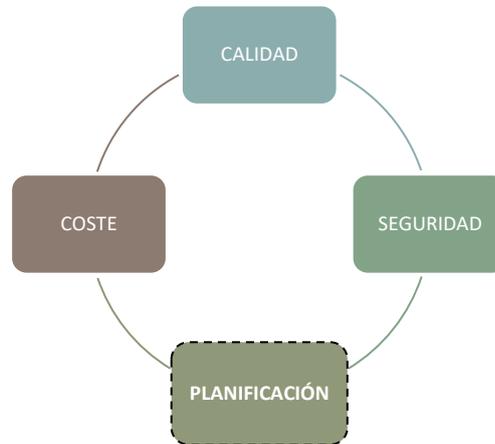


FIGURA 10. DIAGRAMA CALIDAD-COSTE-SEGURIDAD-PLANIFICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- **Coste:** Trabajo realizado a un precio justo para el propietario y con beneficios razonables para el contratista.
- **Planificación:** Entrega a tiempo dentro de la programación.
- **Seguridad:** Proyectos sin accidentes.
- **Calidad:** Conformidad con las especificaciones y necesidades del propietario.

No hay duda de que la planificación es una de las funciones más importantes en la administración de una obra. La planificación está presente en cada una de las etapas de un proyecto, desde la definición del mismo hasta su entrega, y posteriormente en su operación y mantenimiento. No obstante, aunque la planificación del proceso constructivo es sólo una parte del trabajo, la optimización y cumplimiento de los cronogramas establecidos es clave.

De hecho, la raíz de muchos de los problemas en obra radica en el esquema tradicional de planificación (16). Ya en los años 80 se revelaron deficiencias en la planificación y una aceptación lenta de métodos de gestión modernos. Estas deficiencias resultan en una ejecución de obras fuera de plazo, sobrecostes, reclamaciones derivadas de la escasa calidad, excesivo número de accidentes laborales y, en general, incertidumbre y variabilidad con respecto a las condiciones iniciales del contrato (8).

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Por esta razón, en este trabajo de final de máster se pretende revisar el concepto *Lean*, el cual revolucionó el sector industrial, y analizar si su implementación digital a pie de obra puede favorecer la gestión de proyectos, logrando una construcción más económica y de mayor calidad.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Por consiguiente, los objetivos que se van a desarrollar a lo largo del presente trabajo se puede dividir en los siguientes puntos:

- Análisis de la problemática existente en la fase de ejecución.
- Análisis de la metodología tradicional de gestión y sus flaquezas.
- Revisión de la metodología *Lean*.
- Exploración de herramientas y métodos de gestión *Lean*.
- Evaluación de las ventajas e inconvenientes de la aplicación *Lean* en obra.
- Adaptación de las herramientas a la digitalización.
- Investigación sobre el flujo de información de obra a oficina, y viceversa, mediante herramientas digitales.

### 1.3 METODOLOGÍA

El camino para la realización de este trabajo pasa por tres bloques principales:



Primeramente la metodología empleada se basa en una búsqueda bibliográfica sobre la situación actual del sector de la construcción, donde a raíz de estudios, artículos y publicaciones se hallan las razones de su baja productividad y eficiencia.

A partir de este punto, teniendo en cuenta el aumento de productividad del sector industrial, se estudia el concepto *Lean*, estableciendo las bases de su metodología y comprendiendo el uso de sus herramientas. La información referente a este tema es muy amplia y se actualiza constantemente, ya que es un campo en continua evolución. Por ello, se realiza un análisis de publicaciones periódicas, tanto diarias como especializadas, y blogs en línea para conocer en qué estado se encuentra esta filosofía y como se aplica al sector de la construcción.

Sabiendo que uno de los principales problemas del sector es la gestión en fase de ejecución, a continuación se analiza en profundidad el uso de una de las herramientas Lean más conocidas, el *Sistema Last Planner* (LPS). En un primer acercamiento se ha observado que guarda similitud con los conocimientos sobre gestión de proyectos adquiridos durante el máster por tanto, se realiza una comparación entre ambas metodologías.

Para la definición de la aplicación de la herramienta LPS se realiza una recopilación de información tanto a nivel de fundamentos en libros y monografías, como a nivel de estudios en publicaciones científicas y otras tesis y trabajos. Conocido su funcionamiento se plantea su uso mediante una herramienta digital en un caso práctico de estudio.

Concretamente, este caso se centra en analizar como la digitalización puede favorecer la implantación de esta herramienta *Lean* y hallar que software y aplicaciones existen en el mercado para su aplicación directa. Se analizan estas aplicaciones y se pone en práctica una de ellas.

En el caso práctico se hace uso de un modelo de una nave industrial, desarrollada durante un curso online sobre metodología y tecnología BIM generado a partir del software *Autodesk Revit*, junto a la digitalización del método *Last Planner System* dentro de la filosofía Lean Construction para gestionar las actividades del proyecto.

En cuanto a ventajas e inconvenientes, sobre cómo esto puede afectar al sector de la construcción que está en proceso de desarrollo, se han extraído ideas tanto de los profesionales del sector que han compartido su experiencia, como razonamientos personales a partir del caso de estudio.

Por otro lado, también se cuenta con la opinión de profesionales que emplean esta filosofía. Por ello, este trabajo también se sustenta en la colaboración de dos profesionales que de una forma u otra emplean la filosofía *Lean*, objeto de este estudio. Ambos participantes, en sus inicios adquirieron formación y han incorporado esta filosofía a su puesto de trabajo.

Así pues, para llevar a cabo este proyecto se ha realizado una recopilación de información a partir de:

- Publicaciones periódicas tanto diaria como especializada
- Documentación procedentes de empresas
- Libros
- Artículos científicos
- Blogs en línea
- Datos estadísticos
- Observación directa
- Publicaciones científicas
- Otras tesis y trabajos
- Opinión de profesionales del sector

## 1.4 CONTENIDO

El presente trabajo se divide en cinco capítulos:

**1. PLANTEAMIENTO:** En este primer capítulo se ha presentado el tema que se va a desarrollar, emplazándolo en un contexto sobre la reciente evolución del sector y la oportunidad de cambio que se presenta. Además, se han especificado los objetivos planteados y se ha descrito la metodología a seguir.

**2. LEAN. TEORÍA Y ACTUALIDAD:** El segundo capítulo se puede dividir en cuatro bloques. En el primero se expone la base teórica de la filosofía *Lean*, denominada también como la producción sin pérdidas. El segundo se centra en los problemas más habituales del sector de la construcción y se proponen algunas soluciones. En el tercer bloque se describe la adaptación de la filosofía *Lean* a la construcción, denominada *Lean Construction* y se especifican algunas herramientas útiles para su implementación. Por último, se muestra la situación actual de esta filosofía en el ámbito español en fecha 2017 y las conclusiones extraídas a raíz de dos charlas realizadas con dos profesionales del sector de la construcción involucrados en el ámbito *Lean*.

**3. ANÁLISIS DEL LAST PLANNER SYSTEM:** Una vez entendido el concepto *Lean*, en el tercer capítulo se incluye el desarrollo de una de las herramientas *Lean* más empleadas, el *Last Planner System*, objeto de este trabajo. Se analizan las diferencias con otra metodología de gestión dentro del concepto *Project Management*, y se comentan algunas ventajas y barreras a la hora de su implementación a pie de obra.

**4. DIGITALIZACIÓN Y USO DEL LPS:** En este capítulo se presentan los software de gestión de proyectos disponibles, y se incluye una propuesta práctica de planificación en la que se emplea una aplicación móvil para la implementación del LPS. El caso trata sobre la planificación de la última fase de ejecución de una nave industrial, diseñada mediante un software BIM. A partir de este caso se presentan las ventajas e inconvenientes de la digitalización de dicha herramienta.

**5. CONCLUSIONES:** El último bloque se destina a las conclusiones obtenidas a lo largo del presente estudio. De esta manera se presenta un análisis global de lo aprendido a lo largo de su desarrollo, además de propuestas de futuras líneas de investigación que podrían resultar de gran interés.



## CAPÍTULO 2: LEAN. TEORÍA Y ACTUALIDAD

Este capítulo se divide en cuatro bloques.

- Definición del concepto *Lean*.
- Identificación y análisis de los principales problemas del sector de la construcción.
- Definición del concepto *Lean* aplicado a la construcción, *Lean Construction*, y como este puede solventar las problemáticas comentadas en el punto anterior.
- Estudio de la situación actual de aplicación de esta filosofía y entrevistas con profesionales involucrados en el ámbito *Lean*.

### LEAN, LA PRODUCCIÓN SIN PÉRDIDAS

*“Lean es un sistema de negocio para organizar y gestionar el desarrollo de un producto, las operaciones y las relaciones con clientes y proveedores, que requiere menos esfuerzo humano, menos espacio, menos capital y menos tiempo para fabricar productos con menos defectos, según los deseos precisos del cliente.” Lean Lexicon. (Libro publicado por el Instituto Lean de Estados Unidos - Lean Enterprise Institute)*

## 2.1 FILOSOFÍA LEAN

### 2.1.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

La primera persona que integró realmente todo un proceso de producción fue *Henry Ford* en 1913. *Ford* alineó los pasos de fabricación en secuencia empleando máquinas especiales y medidores para fabricar y ensamblar las piezas de sus vehículos. Esta fue una ruptura verdaderamente revolucionaria de las prácticas comerciales del sistema estadounidense. El problema con el sistema de *Ford* no era el flujo sino su incapacidad para proporcionar variedad. Otros fabricantes de automóviles se adaptaron a la demanda de los usuarios y crearon variedad de modelos, aunque aumentando los tiempos de producción y los inventarios.

*Kiichiro Toyoda*, *Taiichi Ohno* y otros ingenieros de *Toyota* observaron esta situación en la década de 1930, y se les ocurrió que una serie de innovaciones simples podrían proporcionar continuidad al proceso y ampliar la oferta de productos. Así, revisaron el pensamiento original de *Ford* e inventaron el Sistema de Producción *Toyota*, el cual evolucionaría hacia la filosofía *Lean*.

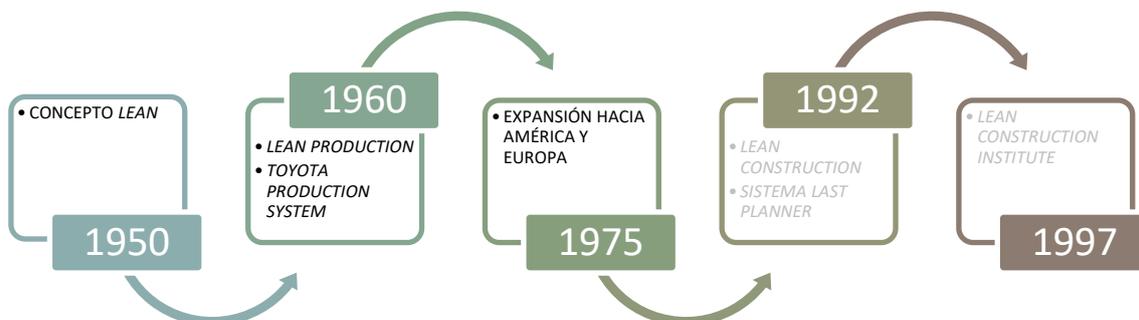


FIGURA 11. CRONOLOGIA DEL CONCEPTO LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El término *Lean*, procedente de Japón, se originó a finales de los años 50, principios de los 60, a raíz de las investigaciones de ingenieros de la empresa automovilística *Toyota Motor* para la mejora de sus líneas de producción. Entre ellos, destacó el ingeniero *Taiichi Ohno*, encargado de producción, el cual buscaba eliminar los residuos y mejorar los tiempos de entrega de los automóviles, sustituyendo la tradicional producción en masa por la producción a pedido del cliente y evitar, además, la acumulación de mercancía (17).

Un estudio realizado por el *Massachusetts Institute of Technology* subrayó que la productividad de ciertas fábricas japonesas era un 50% superior al de las fabricas norteamericanas (14), demostrando así que el método elaborado por la compañía *Toyota* proporcionaba resultados muy favorables.

Con el desarrollo de esta idea se creó el proceso de manufactura *Toyota Production System* (TPS), el cual consiste en minimizar las existencias y defectos en todas las operaciones para mejorar la producción. Como consecuencia, más tarde, se desarrolló lo que se conoce como *Producción Lean*, un sistema de producción basado en la minimización de pérdidas (17).

En 1975 llegó el *Lean* a las empresas automovilísticas americanas y europeas, ya desarrollado, refinado y emplazado en un conveniente marco teórico. Así, al comenzar la década de los 90, este concepto ya era conocido en otras latitudes y de diferentes maneras, entre ellas "Producción sin Pérdidas", y fue implementada en otros campos como la administración y el desarrollo de productos (17).

### 2.1.2 CONCEPTO LEAN

El objetivo de la filosofía *Lean* es conseguir un producto con la máxima calidad en el mínimo tiempo y al mínimo coste. Para poder entender el concepto es necesario remontarse al Sistema de Producción Toyota TPS del cual surgió esta metodología (18).

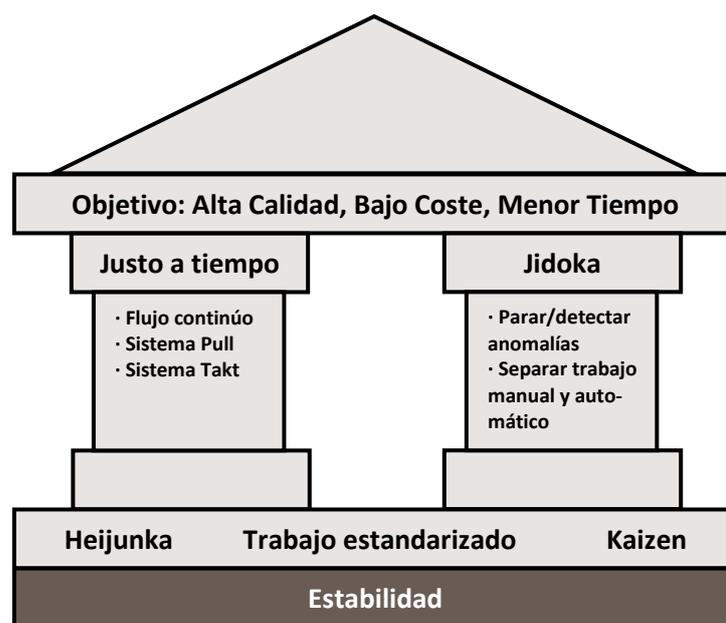


FIGURA 12. CASA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOYOTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (TPS HOUSE)

*Toyota* tenía una visión: *Que todo ciudadano japonés tuviera un coche*. Eso implicaba mucha variedad de modelos y pocas unidades de cada uno. Por ello, esta compañía cambió su estructura de trabajo y definió sus métodos como la estructura de una casa, la casa *Toyota* representada en la Figura 12. La casa debe construirse desde sus cimientos hasta el tejado, para alcanzar así los objetivos deseados, albergando en su interior a las personas y los equipos.

### CIMIENTOS

Los cimientos corresponden a la estabilidad de la empresa, ya que para adentrarse en el mundo *Lean* primeramente debe existir estabilidad tanto en los procesos como en los clientes y trabajadores. Además, debe existir una cultura orientada al largo plazo, una gestión que permita que todos los implicados cuenten con la información adecuada, unos procesos capaces y realizados según el mejor estándar conocido, y una carga de trabajo nivelada.

Así pues, las herramientas principales para llevar a cabo tal estabilidad son el *Heijunka*, el trabajo estandarizado y el *Kaizen*. El concepto *Heijunka* se refiere a la nivelación de la producción, el trabajo estandarizado se refiere a la definición de un método que funcione y sea la base en la que se puedan aplicar las mejoras y por último, el método *Kaizen* se centra en la implicación personal para la mejora continua.

Otras herramientas son las 5S's, TPM, SMED o el mapa de la cadena de valor. Todas ellas se describen con más detalle en el apartado Anejos.

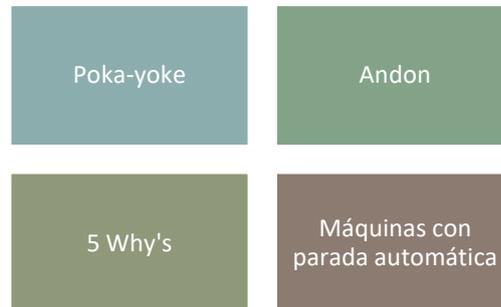
### PILARES

En los pilares se encuentran la mayoría de las herramientas más conocidas del *Lean*. La literatura se centra casi siempre en el pilar denominado Justo a tiempo (JIT) ya que el otro pilar, denominado *Jidoka*, se trata de un concepto más confuso, sin embargo ambos son esenciales. Sin uno de ellos el tejado no se podría sostener y por lo tanto no se cumplirían los objetivos establecidos.

Justo a tiempo, útil en los procesos de producción en cadena, se basa en la fabricación de los productos que se necesitan en cada momento, creándolos justo en el momento que se necesitan y con la máxima calidad posible. Para llevarlo a cabo hay que eliminar cualquier tipo de ineficiencia o tarea que no sea necesaria, es decir, que no añada valor. Con esta metodología se reducen los costes de producción y se ahorra en el espacio de almacenamiento. JIT se fundamenta en la mejora continua de los procesos productivos y para lograr un pilar estable se debe conseguir: cero defectos, cero averías, cero inventarios, cero desviaciones de plazos y cero papel. Algunas de las herramientas que se emplean son:



Por otro lado, *Jidoka* se basa en la automatización con implicación humana. El objetivo es no dejar pasar ningún defecto a la siguiente fase de producción. Para ello, se separa el trabajo desempeñado por personas del de las máquinas, parando y analizando cada uno de los procesos para detectar anomalías. Algunas de sus herramientas son:



### TEJADO

El tejado son los resultados: calidad, costes y plazo de entrega. A través de la analogía con la casa, se puede ver por qué hay empresas que no son capaces de construirla. Sin entender el concepto global de esta filosofía se van a ir implementando herramientas sin saber cuál es realmente su función, gastando recursos y generando frustración al no obtener los resultados esperados. La casa se empieza por los cimientos y si estos no son sólidos el sistema fracasará.

Por esta razón, el error más frecuente es identificar el TPS con la implantación de herramientas olvidando que el TPS es más que un kit de herramientas, es una filosofía, una cultura, un modelo de empresa que se caracteriza por un proyecto a largo plazo y por una ética compartida entre todos y cada uno de sus agentes.

### 2.1.3 PRINCIPIOS LEAN

En el apartado anterior se ha definido la estructura del TPS y algunas herramientas pero la base del concepto *Lean* se encuentra en sus 5 principios en los cuales se sustenta.

- **VALOR:** Crear valor.  
 El punto de partida del pensamiento *Lean* es cumplir con las necesidades del cliente en un tiempo y a un coste adecuado. Para crear valor desde el punto de vista del cliente lo primordial es entender qué es lo que quiere obtener.
- **FLUJO DE VALOR:** Dibujar el mapa de flujo de valor.  
 Se deben identificar las actividades necesarias para la elaboración de un producto, desde la concepción del diseño hasta la entrega al cliente, añadan o no valor a dicho producto final. Una vez determinadas todas las actividades se deben hallar aquellas que no aportan valor. Es primordial encontrar las ineficiencias porque una vez encontradas se pueden tomar medidas para eliminarlas.

- **FLUJO:** Crear flujo.  
A continuación, se debe generar un proceso de producción con flujo continuo. Por lo tanto, en este punto se deben eliminar aquellas actividades que no generan valor. Así pues, una vez identificado el valor para el cliente y mapeados los flujos de valor se eliminan las ineficiencias para que las operaciones generadoras de valor fluyan.
- **PULL:** Utilizar planteamientos *pull*.  
En todo proceso se debe tener en cuenta la demanda real del cliente y desarrollar las actividades conforme sean necesarias, de tal manera que se evite la generación de stock innecesario y la sobreproducción.
- **MEJORA CONTINUA:** Buscar la perfección.  
Se debe trabajar constantemente para lograr un proceso que proporcione puro valor, tal y como ha sido definido por el cliente, sin desperdicios de ningún tipo.

Para que una empresa sea *Lean* hay muchos caminos posibles pero lo que está claro es que debe ser una decisión irreversible. *Lean* solo tiene sentido a largo plazo ya que su aplicación se basa fundamentalmente en el aprendizaje continuo y la retroalimentación.

## EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

### 2.2 PROBLEMÁTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

La filosofía *Lean* está centrada en el sector de la industria manufacturera. La principal diferencia entre esta industria y el sector de la construcción es que los proyectos de construcción son únicos y no repetitivos, dependientes de personas con su toma de decisiones variables e impredecibles. De esta manera, la industria ha podido aumentar su rendimiento gracias a la automatización de sus procesos, el empleo de elementos prefabricados y la reducción de costes mientras que en la construcción no, ya que:

- El lugar de producción es a pie de obra, por lo que está expuesto a condiciones climáticas.
- No todo son prefabricados, aún existe mucha construcción in situ.
- El proceso de construcción es más incierto e imprevisible. Los proyectos cuentan con múltiples etapas: cortas, secuenciales y simultaneas; con lo que una mala gestión supone retrasos y sobrecostes.
- El proceso de control de calidad en construcción no se estandariza porque los trabajos son únicos y heterogéneos.

Además se han sumado nuevos requisitos como el aumento de normativas y controles, la concienciación con respecto al medio ambiente, los efectos climáticos y el coste de la energía, entre otros, que ralentizan el avance. La industria en este caso ha tenido la capacidad de absorber estas exigencias porque ya contaba con procesos estables donde incorporarlo. Así que la construcción debe hacer un esfuerzo aún mayor para ello.

Las principales problemáticas del sector de la construcción son por un lado, el tipo de modelo de contratación y las pérdidas por ineficiencias en obra. Por esta razón en los siguientes puntos se van a analizar estas dos problemáticas y se plantea una solución.

#### 2.2.1 MODELO DE CONTRATACIÓN TRADICIONAL

Los modelos de contratación de proyectos son diversos y se emplean para facilitar la construcción de proyectos. La elección del modelo depende del propietario del proyecto y los agentes. Los modelos tradicionales y más conocidos son:

- **Diseño-Construcción:** Un proyecto de Diseño-Construcción se compone de dos o más equipos que colaboran, de manera que un equipo se centra en el diseño y el otro en el proceso constructivo. Los equipos a la hora de licitar tienen que pujar juntos por un proyecto. Por lo tanto, el equipo cuenta con un único punto de contacto con el propietario.

Un proyecto estará dirigido por un constructor, si es él quien contrata a una empresa de arquitectura para que se haga cargo del diseño. En cambio, estará dirigido por un arquitecto si el cliente es el que se encarga de la contratación.

- **Diseño-Licitación-Construcción:** Un proyecto de Diseño-Licitación-Construcción se compone también de un equipo de diseño y otro de construcción, pero estos al licitar una oferta para un proyecto lo hacen por separado. El diseño se presenta a varios contratistas generales que revisan el proyecto y presentan una oferta para realizar el trabajo. Por lo tanto, el propietario tiene que encontrar entidades independientes para el diseño y la construcción.

Estos contratos colocan a las partes involucradas en las obras en roles contradictorios, con falta de estrategia unificada y pocos incentivos para el cambio. Por lo que los objetivos de tiempo, coste, calidad y seguridad no siempre son compatibles entre sí. Los principales agentes que participan en todo proyecto son:

- **Propietarios:** Originan la necesidad del proyecto y determinan la ubicación y propósito de la construcción. Organizan el diseño, la financiación y la construcción.
- **Diseñadores:** Arquitectos o ingenieros que interpretan los deseos del propietario y lo plasman en dibujos y especificaciones que pueden usarse como guía para la construcción.
- **Constructores:** Contratistas y subcontratistas que aportan personal, material, equipos y herramientas, y gestionan la construcción según los dibujos y especificaciones de los diseñadores.
- **Mano de obra:** Capataces, artesanos o jornaleros, y aprendices o ayudantes cualificados o semiespecializados, que realizan los trabajos a pie de obra. Pueden ser albañiles, carpinteros, electricistas...
- **Proveedores:** Fabricantes de equipos, materiales y transportistas.

En estos modelos, las distintas fases del proyecto no se solapan, es decir, es necesario que la anterior esté definida y validada para que pueda iniciarse la siguiente. Además, no siempre existe una figura central que se encargue de coordinar todas las fases. En algunos proyectos se encuentra la figura del *Project Manager*. El promotor encarga a este profesional la gestión del proyecto con el objetivo de equilibrar plazo, coste y calidad. A su vez, éste debe contar con experiencia en el sistema tradicional y los sistemas alternativos. Sin embargo, este actor se centra en velar por los intereses del promotor y no del conjunto de agentes.

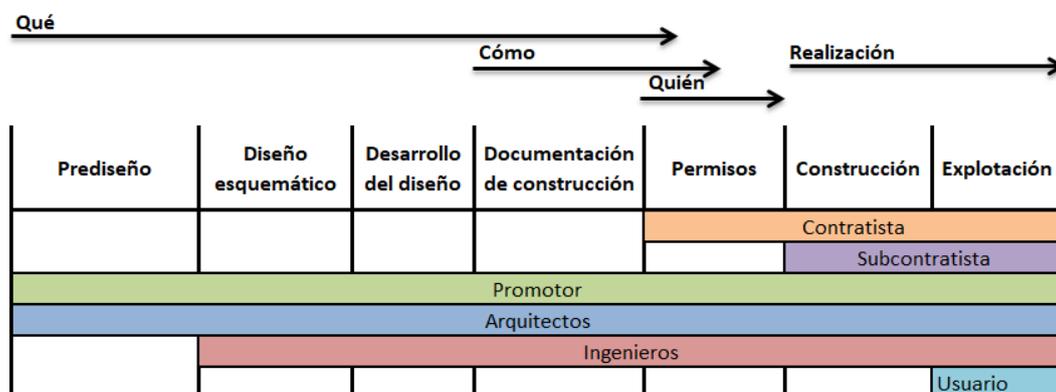


FIGURA 13. MODELO DE COLABORACIÓN TRADICIONAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17)

Por consiguiente, no hay una conexión directa entre los distintos implicados. Esta multiplicidad de participantes con intereses en conflicto, una cultura de organización incompatible entre los miembros del equipo y el acceso limitado a la información genera:

- Ejecución de obras fuera de plazo.
- Sobrecostes.
- Reclamaciones derivadas de la escasa calidad.
- Excesivo número de accidentes laborales.
- Incertidumbre y variabilidad con respecto a las condiciones iniciales del contrato.

En cuanto a aspectos económicos, según el sistema tradicional, primero el promotor encarga un pre-diseño; en segundo lugar, una empresa constructora, en base a su experiencia, calcula el coste de construcción sin tener todavía el proyecto completamente definido, y por último, se suman los gastos generales y los costes indirectos.

La suma total proporciona un coste estimado de producción (C) al cual se le añade un beneficio (B). La suma del coste de producción más el beneficio da un precio de venta al público (Z):



Cuando aplicamos el principio de costes, según el cual  $Z = (B) + (C)$  y se produce un incremento inesperado de los costes de producción, pueden plantearse dos escenarios:

- Si se decide aumentar el precio de venta, se responsabiliza al cliente de los costes improductivos que surgen durante la fase de ejecución.
- Si se mantiene el precio, baja el margen de beneficio y peligra la estabilidad del negocio de la constructora.

Con lo que bajo esta situación, los objetivos en toda obra siempre están focalizados en el cumplimiento del coste, bajando calidades y aumentando los riesgos de accidentes por ajustar tiempos en la planificación.

## SOLUCIÓN

En 1990, surgió el modelo Integrated Project Delivery (IPD), Ejecución Integrada de Proyecto, el cual define la forma en la que los participantes de un proyecto interactúan, también junto al cliente, pasando por todas las fases: el diseño, la fabricación y la construcción. Al participar en este tipo de acuerdo contractual, los equipos pueden aprovechar en conjunto el talento y las ideas de todos los participantes y, de este modo, optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor al propietario y reducir las ineficiencias en todas las fases.

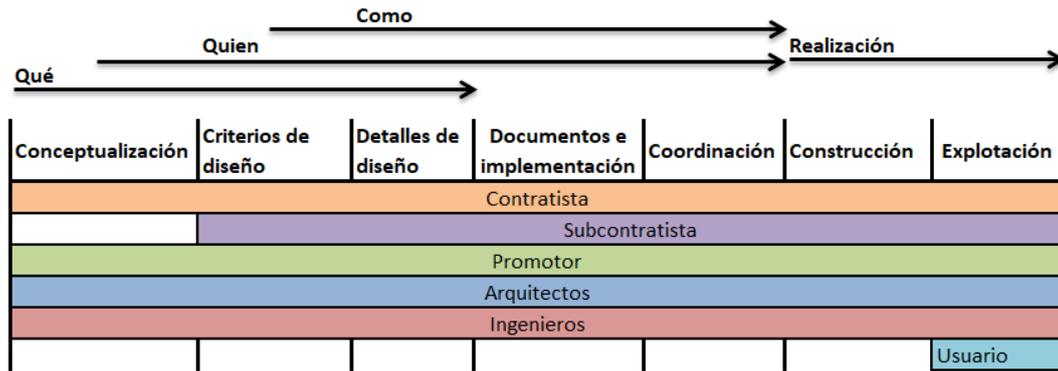


FIGURA 14. MODELO DE COLABORACIÓN INTEGRADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17)

Con este modelo se pretende solucionar la falta de cooperación entre las partes que intervienen en el proyecto y cambiar las actitudes de individualismo que generan ineficiencias y pérdidas, y constituyen un obstáculo para la creación de valor (17).

En el modelo tradicional los constructores no entran en el proyecto hasta que el diseño se ha completado (Figura 13) en cambio, mediante el modelo IPD se mejoran los resultados del proyecto al suponer un cambio en la forma en que se toman las decisiones, se cumplen los objetivos y se comparten las responsabilidades (Figura 14).

El objetivo de todos los actores en la industria de la construcción debería ser una mejor, más rápida y más eficaz gestión integral del proyecto, desde el diseño hasta el uso del edificio o infraestructura, creada por equipos totalmente integrados y colaborativos.

En resumen, se necesita desarrollar un modelo de contratación que permita la colaboración entre los distintos agentes. Ya que se ha demostrado que la construcción es mejor cuando todas las partes interesadas, especialmente contratistas, subcontratistas y proveedores están comprometidos con el concepto de optimizar el flujo de actividades de manera integral (15).

## 2.2.2 PÉRDIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN

Otro de los problemas del ámbito de la construcción son las ineficiencias que se producen mayormente durante la ejecución en obra, las cuales en última instancia se traducen en pérdidas económicas. Algunas de ellas se numeran a continuación (19):

- Tiempos de espera debido a actividades anteriores inacabadas o mal realizadas.
- Retrasos por incumplimiento de las especificaciones y cambios en el diseño.
- Falta de organización ejecutando obra innecesaria.
- Tiempos de espera por insuficientes equipos, herramientas o materiales.
- Tiempos de espera por falta de una correcta instrucción para la realización de trabajos.
- Tiempo de inactividad debido al exceso número de trabajadores en un área concreta.
- Costes innecesarios en material de obra que no se utiliza.
- Acumulación de materiales.
- Desplazamientos innecesarios provocados por recursos insuficientes.

## SOLUCIÓN

La filosofía *Lean* define las pérdidas como *mudas*. **Muda** es una palabra japonesa que significa desperdicio, en el sentido de toda aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor tal y como lo percibe el cliente. Estas pérdidas se pueden dividir en 8 categorías como se muestra en la siguiente figura.



FIGURA 15. PÉRDIDAS EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN. FUENTE: (20)

Además de eliminar estas mudas o ineficiencias, *Lean* también pretende erradicar el desnivel (**Mura**) y la sobrecarga de trabajo (**Muri**). Así pues la situación ideal sería no Muda, no Mura y no Muri.



FIGURA 16. CLAVES LEAN: MUDA, MURA Y MURI. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES

Algunos ejemplos de acciones para la eliminación de pérdidas que propone la filosofía *Lean* serian:

- DEFECTOS – Colaborar conjuntamente en fase de diseño con el constructor evita:  
*b. Retrasos por incumplimiento de las especificaciones y cambios en el diseño.*
- SOBREPDUCCIÓN – Mantener una comunicación fluida con los trabajadores evita:  
*c. Falta de organización ejecutando obra innecesaria.*
- ESPERA – Planificar la gestión de los equipos y recursos mediante una planificación con previsión a un futuro cercano evita:  
*a. Tiempos de espera debido a actividades anteriores inacabadas o mal realizadas.*  
*d. Tiempos de espera por insuficientes equipos, herramientas o materiales.*
- TALENTO NO UTILIZADO – Dedicar tiempo a formar a los trabajadores evita:  
*e. Tiempos de espera por falta de una correcta instrucción para la realización de trabajos.*
- INVENTARIO – Planificar la entrega de materiales y ajustar los pedidos a la capacidad de producción evita:  
*g. Costes innecesarios en material de obra que no se utiliza.*  
*h. Acumulación de materiales.*
- MOVIMIENTOS – Organizar los espacios de la obra y tenerlos en cuenta en la planificación evita:  
*f. Tiempo de inactividad debido al exceso número de trabajadores en un área concreta.*  
*i. Desplazamientos innecesarios provocados por recursos insuficientes.*

En resumen, desarrollar mecanismos formales de planificación y control que integren la coordinación de las distintas etapas y procesos.

Bajo este contexto, los modelos de contratación son un cambio necesario pero que depende de factores legales y políticos que no están al alcance de los propios profesionales del sector. En cambio, las pérdidas ocasionadas a nivel de ejecución si se pueden solventar. La filosofía *Lean* es una metodología de mejora continua de procesos que se basa en la eliminación de las ineficiencias, así que en el siguiente punto se analiza la aplicación *Lean* en el sector de la construcción.

## LEAN CONSTRUCTION, LA CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS

### 2.3 FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

El *Toyota Production System* está orientado a la industria pero su aparición y buen funcionamiento hizo que otros sectores se plantearan que es lo que se estaba haciendo mal y como mejorar. Así, éste sistema evolucionó hacia el concepto *Lean Thinking* o Pensamiento *Lean* (LT) el cual se puede aplicar en distintos ámbitos. *Lean production* o *Lean manufacturing* se refiere a la aplicación de este pensamiento en la industria, el método *Agile* se aplica en el sector de la informática y *Lean Construction* a la construcción, pero también se puede hablar de sanidad *Lean*, banca *Lean*, logística *Lean*...

En 1992 Lauri Koskela, a raíz de su trabajo 'Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción', empezó a implementar esta filosofía también en el sector de la construcción.

Glenn Ballard y Koskela conformaron el *Grupo Internacional de Lean Construction* en 1993 en Helsinki, Finlandia, donde se decidió usar por primera vez la expresión *Lean Construction* para referirse a la implementación de la nueva filosofía de producción en la construcción. En 1997 Glenn Ballard y Greg Howell crearon el *Lean Construction Institute* con el objetivo de desarrollar y difundir nuevos conocimientos en la gestión de proyectos.

Actualmente, *Lean Construction* es la adaptación y aplicación de los principios de producción de la fabricación japonesa a la construcción reformulada por Lauri Koskela en el 2000, después de diez años de investigación, y mejorada en el 2001 por Glenn Ballard.

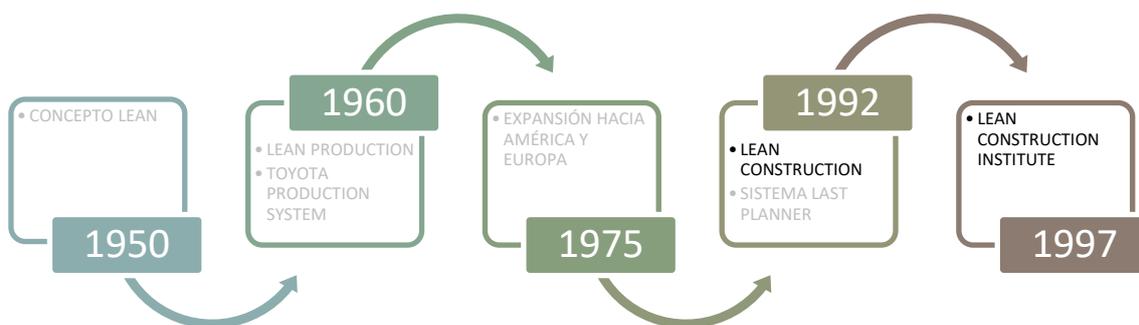


FIGURA 17. CRONOLOGIA DEL CONCEPTO *LEAN CONSTRUCTION*. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 2.3.1 QUÉ ES LEAN CONSTRUCTION?

La filosofía *Lean Construction* o Construcción sin pérdidas (LC) es un método dirigido a la gestión de proyectos de construcción para su desarrollo y entrega. Tiene como objetivo la mejora continua, minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final (19).

El principio básico de *Lean Construction* es reducir al máximo posible el tiempo invertido en actividades que no agregan valor al producto final, es decir, eliminar todo aquello que produzca pérdidas en la ejecución de actividades, fases y etapas. El significado de pérdidas es muy sencillo, es simplemente el tiempo dedicado por un individuo a actividades que el cliente no está dispuesto a pagar (21).

La disminución de las pérdidas, y a su vez el incremento de productividad de los procesos de construcción, se puede obtener si:

- El proceso de construcción se diseña conjuntamente para satisfacer las necesidades del cliente.
- El proyecto se estructura sobre los procesos, con el objetivo de maximizar el valor y reducir las pérdidas en el desarrollo de las actividades de construcción.
- El desarrollo de la planificación y el sistema de control se mide y se mejora.

Como resultado se obtiene una disminución de costes, una reducción de los plazos de entrega y un aumento de calidad.

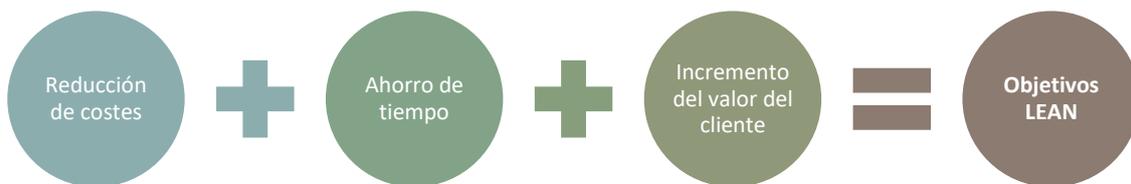


FIGURA 18. OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE LA FILOSOFIA LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 2.3.2 DIFERENCIAS ENTRE EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL Y EL LC

La propuesta del concepto de producción de la filosofía *Lean* es verla como una transformación de materiales, un flujo de recursos y una generación de valor.

El error del pensamiento tradicional en la construcción es centrarse en las actividades de conversión y no tener en cuenta el flujo de los recursos para lograr la generación de más valor, Figura 19. Por ejemplo, centrarse únicamente en el desarrollo de la actividad en vez de coordinar a los trabajadores para que no haya esperas entre las distintas etapas.



FIGURA 19. MODELO DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17)

La filosofía *Lean* propone un modelo diferente donde se prevén fases intermedias antes de la transformación. Hay muchas actividades que agregan valor al cliente pero hay muchas otras que no lo agregan. Se tratar de minimizar las tareas que generan valor al cliente, minimizar aquellos trabajos que solo contribuyen y eliminar aquellos que no contribuyen y que son

pérdidas netas. De esta manera, Lean propone el modelo TFV, Transformación Flujo Valor, Figura 20.

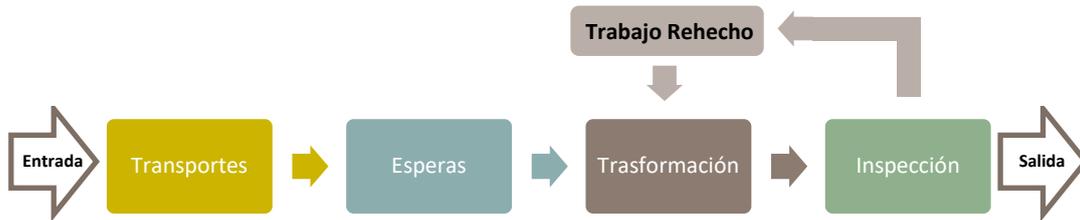


FIGURA 20. MODELO DE PRODUCCIÓN LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (17)

- El trabajo productivo (TP): Transformación.  
 Aquel tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción.
- El trabajo contributivo (TC): Transporte e inspección.  
 Aquel tiempo que emplea el trabajador realizando labores de apoyo necesarias para que se ejecuten las actividades productivas.
- Trabajo no contributivo o no productivo (TNC): Esperas y trabajo rehecho.  
 Aquel tiempo que no agrega ningún tipo de valor al producto final.

Las principales diferencias entre la construcción convencional y la construcción *Lean* son:

TABLA 1. DIFERENCIAS ENTRE LA COSTRUCCIÓN CONVENCIONAL Y EL LC. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

	CONSTRUCCIÓN CONVENCIONAL	CONSTRUCCIÓN LEAN
SISTEMA OPERATIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gestión del camino crítico</li> <li>▪ Sistema Push</li> <li>▪ Basado en la transformación de procesos e información</li> <li>▪ Las actividades se llevan a cabo tan pronto como sea posible</li> <li>▪ Los búferes están dimensionados y localizados para la optimización local</li> <li>▪ Focalizado en las transacciones y contratos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Last Planner System</li> <li>▪ Sistema Pull</li> <li>▪ Basado en la transformación, flujo de valor y generación de valor</li> <li>▪ Las actividades se llevan a cabo en el último momento</li> <li>▪ Los búferes están dimensionados y localizados para absorber la variabilidad del sistema</li> <li>▪ Focalizado en el sistema de producción</li> </ul>
APRENDIZAJE	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El aprendizaje se produce de forma esporádica.</li> <li>▪ Conocimientos adquiridos solo los necesarios; información retenida, silos de conocimiento y habilidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El aprendizaje se incorpora al proyecto, la empresa y la cadena de suministro</li> <li>▪ Aportación de conocimiento; información abiertamente compartida; confianza mutua y respeto entre las partes interesadas</li> </ul>
DISEÑO Y PROCESOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No todas las etapas del ciclo de vida del proyecto se tienen en cuenta en la fase de diseño</li> <li>▪ Una vez el proyecto está diseñado, entonces empieza el diseño de los procesos</li> <li>▪ Lineal y segregado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Todas las etapas del ciclo de vida del proyecto se tienen en cuenta en la fase de diseño</li> <li>▪ El proyecto y los procesos se diseñan de manera conjunta</li> <li>▪ Cíclico y multinivel</li> </ul>

	<b>CONSTRUCCIÓN CONVENCIONAL</b>	<b>CONSTRUCCIÓN LEAN</b>
<b>RELACIÓN ENTRE LOS AGENTES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizaciones distintas se unen a través del mercado y toman lo que el mercado ofrece</li> <li>• Los intereses de las partes interesadas no están alineados</li> <li>• Jerarquizado / Mando y control</li> <li>• Un especialista toma las decisiones y las lanza para que estas se ejecuten</li> <li>• Equipos fragmentados, montado sobre la base de “justo lo necesario” o “lo mínimo necesario”, fuertemente jerarquizados y controlados</li> <li>• Se persigue el individualismo; el mínimo esfuerzo para el máximo beneficio; por lo general, basado primero en el coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se hacen esfuerzos de manera sistemática para reducir los plazos de entrega de la cadena de suministro</li> <li>• Los intereses de las partes interesadas están alineados</li> <li>• Colaborativo / Autoridad distribuida</li> <li>• Las partes interesadas aguas abajo participan de las decisiones que se toman aguas arriba</li> <li>• Un equipo integrado compuesto por las partes interesadas claves del proyecto, montado al inicio del proceso, abierto y colaborativo</li> <li>• Éxito del equipo vinculado al éxito del proyecto, basado en la entrega de valor al cliente</li> </ul>
<b>TECNOLOGÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basada en papel, 2 dimensiones, analógica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medios digitales, virtuales, Building Information Modeling BIM</li> </ul>
<b>ACUERDOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transaccional. Fomenta el esfuerzo unilateral, asigna y transfiere el riesgo, no lo comparte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anima, fomenta, promueve y apoya el intercambio abierto de información e ideas y la colaboración entre múltiples partes</li> </ul>
<b>RIESGO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión individual. Transferido a otros en la mayor medida posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionado de forma colectiva, compartido</li> </ul>

Así pues, se plantea la metodología Lean Construction como una alternativa a los métodos habituales en el sector de la construcción. Sobre todo en el ámbito de la gestión de proyectos.

### 2.3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL LC

En cualquier organización se deben cumplir previamente una serie de requisitos para implementar de manera exitosa esta filosofía:

- **Predisposición al cambio.** La metodología *Lean* está muy alejada de los métodos tradicionales y el cambio de actitud de las personas involucradas es esencial para su adaptación, ya que es imposible forzar a alguien a seguir un método basado en responsabilidad, confianza y interés en los que no se siente cómodo.



- **Compromiso de entrenar y aprender.** Todos los agentes, de cualquier nivel, deben entrenarse en técnicas *Lean* para tener éxito en los proyectos en los que participen. Además, la implementación *Lean* requiere un continuo análisis de los resultados en cada fase para futuras mejoras por lo que el aprendizaje es diario.
- **Una cultura orientada a la calidad.** Las herramientas *Lean* no funcionan en un entorno de desconfianza, competición o duda.
- **Visión compartida.** Se basa en tener una visión común hacia un resultado beneficioso para todos, en el que todos los agentes son reticentes a los cambios necesarios para llegar a ese resultado común.
- **Compromiso de reducir o eliminar desperdicios.** La reducción de desperdicios es una de las bases de la filosofía *Lean*.
- **Compromiso con las medidas de coste y planificación.** Estas medidas son unos indicadores importantes para conocer el impacto de *Lean* en los proyectos. *Benchmarking* se base en comparar el rendimiento de otras organizaciones.
- **Predisposición a implementar *Lean* durante las etapas de diseño.** Se ha identificado como el impacto de técnicas *Lean* es mayor cuanto antes se introduce en las fases de diseño.
- **Relación colaborativa.** *Lean* requiere de colaboración entre todas las partes. Los contratos estándar no funcionan ya que la relación contractual debe aportar responsabilidad y benéfico de manera justa y transparente basada en la confianza y la asociación. Permite una entrega de proyecto más efectiva y eficiente.
- **Tecnologías de la información.** Las nuevas tecnologías permiten gestionar de manera efectiva los procesos constructivos. La integración mejora compartiendo la información mediante toda las partes. BIM es una tecnología que representa fiablemente la construcción. Ofrece una representación digital fiable de la infraestructura para la toma de decisiones de diseño, la producción de documentación, la planificación y la predicción del rendimiento, y las estimaciones de costos. Tener la capacidad de mantener la información actualizada y accesible en un entorno digital integrado brinda a los arquitectos, ingenieros, constructores y propietarios una visión clara y general de todos sus proyectos, así como la capacidad de tomar decisiones rápidamente.

Su implementación es un proceso que inicia con un diagnóstico detallado de la situación del proyecto (21) y corresponde a los cinco principios comentados anteriormente.

- **PASO 1: CREAR VALOR.** Existe conocimiento pleno de que una parte de las actividades van a ser improductivas y no van a aportar valor desde la perspectiva del cliente. Por ello es importante hacer un diagnóstico de la productividad de dichas actividades de obra. En este paso se cuantifica el tiempo que agrega valor a la actividad de construcción y el tiempo dedicado a pérdidas.

- **PASO 2: FLUJO DE VALOR.** La información obtenida en el paso anterior se debe registrar y tabular. A partir de esta tabulación se obtienen estadísticas sobre las pérdidas en cada una de los procesos constructivos.
- **PASO 3: FLUJO.** Identificar la magnitud de las pérdidas.
- **PASO 4: PULL.** Analizar la información y estadísticas obtenidas. En esta paso se reúne el equipo de planificación de la obra y se determinan las estrategias para reducir las pérdidas en las actividades de construcción.
- **PASO 5: MEJORA CONTINUA.** Las estrategias que se determinaron en el paso anterior se aplican directamente en la obra. Una vez aplicadas las mejoras se deben realizar de nuevo mediciones para establecer la efectividad de las estrategias. A continuación se debe iniciar de nuevo el paso 1 hasta obtener un eliminación total de las pérdidas. De esta manera se continúa con la mejora continua y el control de costes mejorando el diseño y los procesos. Reduciendo aún más el desperdicio y alcanzando el beneficio esperado.

### 2.3.4 HERRAMIENTAS DEL LC

A pesar de que *Lean* es mucho más que un concepto y una serie de herramientas, estas facilitan la conceptualización del mismo. Para la implementación de esta filosofía se debe tener una visión clara y sencilla de la misma, y las herramientas son muy útiles para ello.

Existen numerosas herramientas y técnicas. Si bien es cierto que el Lean Construction no se basa en las mismas que el Sistema Toyota o del *Lean manufacturing*, algunas de ellas son directamente aplicables. En cambio otras se han tenido que crear para resolver aspectos más específicos. Estas herramientas se presentan en la Figura 21.

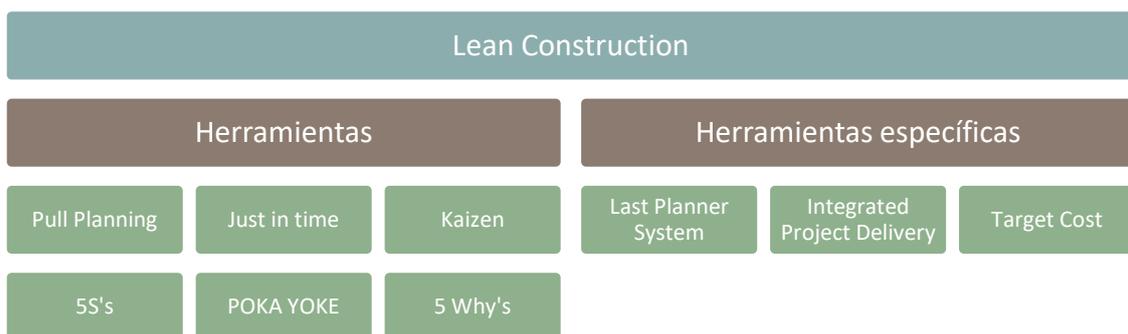


FIGURA 21. HERRAMIENTAS DEL LEAN CONSTRUCTION. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como ya se ha comentado anteriormente, *Lean* no se trata de herramientas sin embargo tener las adecuadas puede facilitar el trabajo. Así que primeramente se deben definir los objetivos, y como en el caso de la casa *Toyota*, definir los cimientos y los pilares con las herramientas más adecuadas.

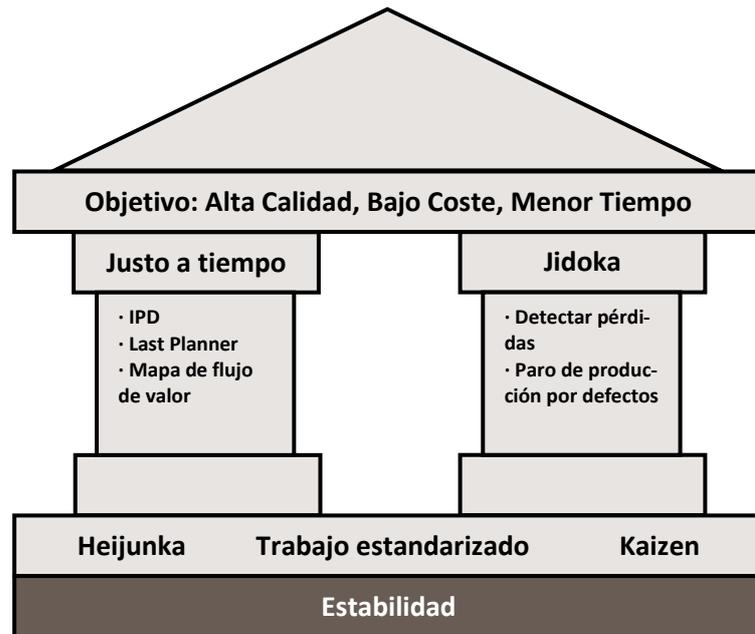


FIGURA 22. CASA DEL LEAN CONSTRUCTION. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Al aplicar nuevas herramientas *Lean* a cualquier operación, no solo es importante entenderlas, sino ponerlas en práctica. En el apartado Anejos se definen algunas de ellas y en el siguiente capítulo se analizará una de las más conocidas: El *Last Planner System*.

### 2.3.5 VENTAJAS, BARRERAS Y RECOMENDACIONES PARA APLICACIÓN DEL LC

#### VENTAJAS

La filosofía *Lean* es una buena oportunidad de cambio ya que cuenta con numerosas ventajas. A continuación, se destacan algunos de los beneficios alcanzados a raíz de la implementación de esta filosofía (Ver Figura 23).

- Mejora de la seguridad (menor número de accidentes).
- Mayor satisfacción y entrega de valor al cliente.
- Mayor calidad en la construcción
- Reducción de plazos de entrega y rendimiento más alto de entregas a tiempo.
- Mayor productividad.
- Mayor beneficio y reducción de costes.
- Mayor grado de colaboración.
- Mejor gestión del riesgo.
- Mejora de la sostenibilidad y menor malgasto.
- Mayor fiabilidad en el intercambio de datos.
- Menor número de cambio de órdenes y pedidos.
- Menor número de demandas y reclamaciones.

■ High Level of Achievement ■ Medium Level of Achievement



FIGURA 23. BENEFICIOS ALCANZADOS AL IMPLEMENTAR PRÁCTICAS LEAN. FUENTE: (22)

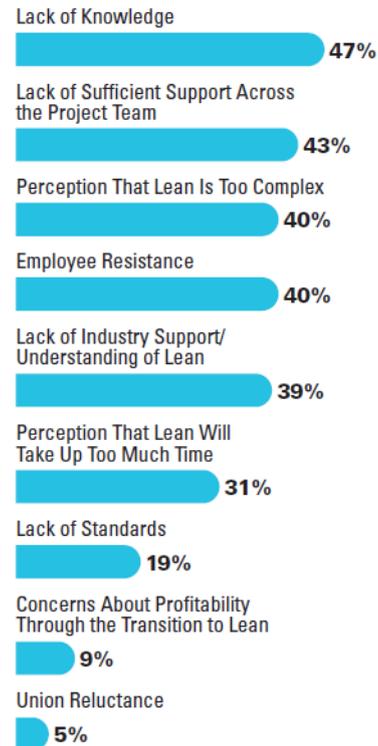


FIGURA 24. RETOS QUE AFRONTAR EN LA IMPEMENTACIÓN LEAN. FUENTE: (22)

## BARRERAS

Sin embargo, las personas tenemos diferentes actitudes frente al cambio, ya sea incertidumbre, miedo, ilusión, indiferencia... Por eso tratamos instintivamente de evitarlo, pero el cambio ocurre y en muchos casos es inevitable. En la aplicación de la filosofía *Lean* el factor humano es esencial para su evolución y a su vez, es una de las barreras más grande a superar para su implementación (Ver Figura 24). Estas barreras se traducen en:

- Falta de conocimiento del significado *Lean* y sus beneficios.
- Falta de compromiso y apoyo por parte de los miembros del equipo
- Percepción de que la implementación *Lean* es demasiado compleja.
- Cambios de pensamiento y de comportamiento que no todos aceptan.
- Creencias de que *Lean* absorberá tiempo.
- Falta de estándares.
- Preocupación sobre el rendimiento en el proceso de cambio hacia el *Lean*.
- Dificultad para alinear los intereses de las diferentes partes y falta de comunicación.
- Los contratos integrados de colaboración se ven como algo no aprobado legalmente.

**RECOMENDACIONES**

Saber adaptarse a los cambios rápidamente y ser flexible es uno de los aspectos que marcan la diferencia entre aquellas empresas que sobreviven y crecen, y aquellas que desaparecen (8). Frente a nuevos cambios siempre se generan unas expectativas. Para evitar caer en la desilusión se proporcionan una serie de recomendaciones para una implementación de Lean más fluida.

**Recomendaciones generales**

Proporcionar educación sobre la necesidad de una mayor eficiencia.  
 Las asociaciones del sector tienen que ofrecer más información sobre *Lean Construction*, patrocinar la investigación y promocionar la filosofía de la mejora continua.

Crear un *software* que apoya la necesidad de la colaboración interna y externa.  
 Las empresas de *software* tienen la oportunidad de crear mejores herramientas para apoyar la tendencia de *Lean* hacia una forma de trabajar más colaborativa.

**Recomendaciones para el constructor**

Adoptar un enfoque de colaboración hacia *Lean* para maximizar las ganancias.  
 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*.

Promover y planificar el cambio cultural necesario para una adopción plena de *Lean*.  
 Las empresas que quieran implantar *Lean Construction* necesitan tener en cuenta cómo atraer el interés de sus empleados, como parte de su estrategia.

Seguir y compartir datos hasta el nivel más bajo posible de la organización.  
 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.

**FIGURA 25. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLANTACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION. FUENTE: (8)**

Fomentar el hábito de la mejora continua en las empresas no es garantía de supervivencia ni de éxitos a largo plazo. Las empresas de éxito actuales son muy *Lean*: cooperación, rapidez, proactivas, creando valor al cliente y servicio a bajo coste. Este concepto no es nada nuevo, y ya se está utilizando con éxito en la construcción.

## LEAN CONSTRUCTION, ACTUALIDAD Y USOS

### 2.4 CHARLA CON PROFESIONALES LEAN

Tuve la oportunidad de mantener dos charlas muy interesantes con dos profesionales del sector implicados en el ámbito *Lean*:

- Alfredo Bernad Ripoll, Arquitecto y Urbanista por la Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona, UPC 1992. Socio Fundador y director de BAC ARQUITECTURA e INGENIERIA con 22 años de experiencia prestando servicios de consultoría, gestión inmobiliaria, planificación urbanística, *Facility Management*, proyectos, dirección de obra y *Project Management*.
- Anna Bullich Torras, Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), trabajando actualmente en la sección d'Estudis de la DG d'Infraestructures de Mobilitat de la Generalitat de Catalunya en colaboración con el Servei de Programació i Modernització.

Alfredo Bernad pudo arrojar luz sobre la situación actual de la construcción y la integración Lean en el mismo y Anna Bullich presentó la inclusión de esta filosofía en la Administración y los resultados positivos obtenidos.

#### 2.4.1 CHARLA CON ALFREDO BERNAD

La charla mantenida con Alfredo se puede dividir en 8 puntos, de los cuales se concluye lo siguiente:

##### LA INDUSTRIA Y LA CONSTRUCCIÓN

En el mundo del automóvil se ha podido observar como la relación calidad precio ha ido aumentando ya que se ha fabricado más y mejor con menos coste, eliminando ineficiencias.

La industria no es tan distinta de la construcción ya que ambos están basados en procesos. La única diferencia es que la industria lleva aplicando el concepto Lean muchos años y ha visto que robotizando sus procesos se reducen los errores que pueden cometer los humanos y además estos son detectables. Los errores humanos son aleatorios y no es porque la persona sea ineficiente, sino que sus condiciones de entorno son distintas. La construcción no es más que un proceso donde cada vez más se utilizan elementos prefabricados como tochos o Pladur y la mano de obra especializada es más puntual.

##### COSTE Y BENEFICIO

En el sector de la construcción, todo presupuesto está formado por unos costes, una previsión por errores y un beneficio. En la actualidad, el cliente no conoce cuál es el coste real ni cuál es el beneficio del constructor y en muchas ocasiones, debido a imprevistos y errores, el beneficio del constructor se ve afectado.

Lean lo que pretende es mantener el beneficio reduciendo los costes de producción, mostrando al cliente en todo momento los datos de los que dispone. De esta manera se retribuye a



las personas conforme a su trabajo de manera justa. Así pues, *Lean* es capaz de analizar el proceso, detectar fallos y de esta manera, reducir costes permitiendo a la empresa ser más competitiva en el mercado sin reducir sus beneficios.

Por otro lado, y teniendo en cuenta que el promotor está dispuesto a pagar una cantidad por el proyecto, si se reducen los costes gracias a la colaboración de todos los agentes, los beneficios obtenidos se pueden repartir según un acuerdo previo. Así, tanto el promotor como los contratistas salen beneficiados. En estos casos el papel del promotor es crucial ya que muchas veces se debe modificar el proyecto para mejorar el proceso y la decisión recae en él.

Actualmente toda la obra se destina a hacer cumplir el precio. La lucha del jefe de obra es conseguir cumplir con el precio, incluso incrementar el beneficio por ejemplo, detectando zonas sin definir o errores en las partidas. Un proceso ineficiente para todos.

Es esencial trabajar con un equipo coordinado así pues, es clave crear un equipo permanente de gente que trabaje conjuntamente. Relación de hermandad, trabajando con números abiertos.

### **LAST PLANNER SYSTEM**

*Lean* propone la herramienta *Last Planner* como sistema de sistematización de cualquier proceso productivo. Consiste en que básicamente al recibir el proyecto se reúnen todos los industriales, incluso antes de saber si son los elegidos para la realización de los trabajos. De esta manera, el contratista puede decidir entre uno u otro dependiendo de los intereses de la obra. Por lo tanto, el proceso debe ser remunerado.

La clave del sistema es dividir todas las tareas de inicio a final y a partir de ahí se definen las interacciones entre los distintos agentes, indicando los tiempos y recursos necesarios.

Al contar con una planificación compartida todo el mundo visualiza cual es su posición en el desarrollo del proyecto y se crea consciencia. Además, en obra se tiene un seguimiento real de cuanta gente debe haber en la obra y cuanto material hace falta. Por lo tanto, en la obra se cuenta con la cantidad de material y personal justa y necesaria.

La comunicación fluye, por lo tanto si hay retrasos se conoce. Se realizan reuniones cada día a pie de obra de unos 15 min donde se explica lo que se va a hacer. Cada operario debe firmar un documento conforme ha sido informado sobre los trabajos que debe realizar. Si no es así, el operario debe asistir a una reunión donde se le explica el funcionamiento de la obra (Ej. por donde puede pasar y por donde no).

Si en la planificación hay algún fallo porque el contratista no ha cumplido con lo propuesto, esto se penaliza.

### **GESTIÓN**

En la metodología tradicional el director de producción con el jefe de obra, el ayudante y el encargado gestionan la obra controlando el coste de la obra según la facturación y el avance de la misma. Es una información que no se comparte y no se puede conocer donde hay retras-

os ni donde se está fallando porque se controlan las partidas de certificación, en vez de las unidades de ejecución como propone el sistema *Last Planner*.

### APLICACIÓN

Una empresa que desee aplicar la herramienta *Last Planner* debe incorporar la metodología Lean en sus procesos para que realmente sea útil. Así que se puede considerar que Lean se aplica o no se aplica ya que, sino no se podría apreciar el potencial del método. Normalmente la gestión de la obra la realiza el jefe de obra y su equipo con formación Lean. Por lo tanto, si la dinámica es la adecuada, cualquier empresa que quiera incorporarse al grupo de trabajo siga o no una filosofía Lean se podrá adaptar y percibir los beneficios. Es decir, una empresa no Lean puede acoplarse a un proceso Lean siempre y cuando la empresa principal sea Lean y este bien estructurada.

Si únicamente se emplea la herramienta *Last Planner* los beneficios serán limitados. Siempre es beneficioso aplicar algún método. El potencial que tiene el *Lean* tiene tal potencial que aplicarlo a medias no se aprecia. Tampoco se puede aplicar en una obra ya empezada y se debe considerar que la aplicación de la primera vez es la que más cuesta.

Si es cierto que esta metodología invierte mucho tiempo en dar explicaciones pero de esta manera todos los operarios saben y entienden lo que tienen que hacer y lo que se espera de ellos. De esta manera, su trabajo se ve valorado, la relación con los compañeros es más fluida y se reconocen errores y se mejora. Así pues, psicológicamente es muy positivo y existe una motivación diaria.

### HERRAMIENTA 5S'S

Otra herramienta útil a pie de obra es la denominada 5S. El objetivo de esta herramienta es mantener el espacio de trabajo ordenado. Así pues, la superficie de la obra se grafía en el suelo de tal manera que se definen las aéreas de trabajo. Por ejemplo, se indican las zonas acopio de materiales, la zona de herramientas, zonas de paso de personal, zonas de trabajo de maquinaria... de esta manera también se reducen los accidentes porque las personas y las máquinas tienen claro cuál es su lugar. Por otro lado, las herramientas se numeran y se ordenan en espacios donde cada cosa tiene su sitio.

Cada vez más, todo aquello que es prefabricable se construye con elementos prefabricados. Normalmente se cuenta con una nave cercana a la obra donde se montan los elementos para no montarlo en la propia obra. Además se acopian los materiales más caros para evitar hurtos. De esta manera las condiciones de trabajo son más adecuadas ya que se elaboran en un taller. Se prueban las cosas antes de instalarlo y se controla el inventario.

### DIGITALIZACIÓN

En cuanto a la digitalización, el problema es que hay un concepto equivocado. En la actualidad BIM está de moda. Se trata de una herramienta de trabajo, una base de datos que engloba todo el proyecto. Sin embargo, la única diferencia entre CAD y BIM es que la información en BIM incluye medición y texto. De esta manera, BIM permite cruzar la información y por lo tanto es más fácil controlar los proyectos.

Lean es un procedimiento que analiza y elimina errores, aporta valor al proceso, y BIM es una herramienta para ello. Así pues se podría decir que BIM es una herramienta Lean para la modernización del sector.

BIM está en definición ya que se debe seguir un estándar, pero además el estándar debe estar definido para que los industriales hagan un modelo que sea de utilidad.

Al igual que el concepto *Smart city*, el cual no es más que una derivación del Lean. Una ciudad es un organismo en el que se producen una serie de procesos.

En cuanto a la digitalización del método LPS existen muchas herramientas. La parte de la digitalización en obra no es 100% útil. Por tamaño es más fácil y útil tener la programación en papel y siempre a la vista de tal manera que fácilmente se pueda ver que se tiene que hacer.

La digitalización siempre es útil a la hora de generar estadísticas de las actividades cumplidas pero para el día a día del Lean interesa saber donde se está y el papel es suficiente. La subcontrata tiene que saber que tiene que hacer, cómo y cuándo y ya lo sabe a raíz de las reuniones. Cuando llegue su periodo de trabajo tendrá cada mañana la reunión donde le indicaran donde tiene que ir y que tiene que hacer. Casi todas las reuniones tienden a hacerse en obra ya que ahora las casetas de obra están mejor equipadas.

#### **OTROS ASPECTOS LEAN**

En cambio, Lean asociado a las certificaciones medioambientales (BREEAM, LEED, GREEN, VERDE) y el *Cradle to Cradle* (C2C) da un salto cuantitativo muy grande.

Las certificaciones medioambientales miden la sostenibilidad de los desarrollos o proyectos. Se mide el grado de cumplimiento de la ley según unos manuales y si se cumple se otorga una certificación que da más calidad. Estas certificaciones las otorgan entidades sin ánimo de lucro. El objetivo es identificar disfunciones que haciéndolas de otra manera serían mejor.

*Cradle to Cradle* (C2C) se trata de la economía circular. Fabricar cosas que en el momento que dejen de ser útiles se pueda reciclar.

Las construcciones que están hechos con estos tres métodos tienen mayor calidad al mismo coste. Tres procesos que hay modernos hoy en día. Lean ahorra fallos por lo tanto se reduce el coste.

Por último, Alfredo recomienda asistir a un curso introductorio de Lean, actualmente hay un abanico muy amplio de opciones, y leer el libro *'The Toyota way. 14 management principles from the world's greatest manufacturer'* de Jeffrey K. Liker para acabar de comprender esta filosofía.

## 2.4.2 CHARLA CON ANNA BULLICH

Anna Bullich está implementando técnicas *Lean* en diversas pruebas piloto en la Administración. La administración necesita optimizar los procesos para ofrecer un servicio más eficiente, seguro y económico. Las exigencias de implantación *Lean* a consultores y contratistas pasa por revisar los procesos internos previamente. Además, el uso de herramientas *Lean* es una oportunidad de mejora de la eficiencia del sector de la construcción (calidad, plazos y evitar despilfarro) y una opción de integrar las actuaciones con un enfoque de vida incorporado al concepto *Plan-Do-Check-Act*.

Algunos de los primeros pasos de la administración están enfocados en mejorar la transparencia, la implantación de expedientes electrónicos, participación activa y colaborativa, el empleo de herramientas *lean* y transformación digital. Las pruebas piloto que se están llevando a cabo en este ámbito son las siguientes:

- Prueba piloto C-55, C-58, C-16 ITS LPS (2016)
- Prueba piloto *Lean* para la mejora de los procesos asociados al impulso, redacción, dirección y aprobación de un estudio informativo i de impacto ambiental de infraestructuras de transporte terrestre. (Prueba piloto C-63 *Lean* EIA en curso)
- Proyecto piloto e implantación BIM en obra ejecutada de carreteras (Proyecto piloto C-17 BIM OE)

### PROYECTO PILOTO C-17 BIM OE

Este proyecto consiste en la ejecución de obra “Reparació del tram de la C-17 entre el PK 43+050 i el PK 43+550. Centelles-Seva” usando algunos principios de la metodología *Lean*, partiendo de la oferta del contratista, un modelo BIM a nivel de obra ejecutada que ha proporcionado un primer paso del análisis de la viabilidad de la implantación del BIM en las obras públicas.

El plazo fueron 2 meses (14 febrero 2018 – 25 abril 2018) y se involucraron 48 personas de los cuales había 8 coordinadores (1 coordinador ejecutivo, 1 Project manager) 16 participantes, 16 oyentes y 8 oyentes puntuales tanto del Departament de Territori i Sostenibilitat como de Infraestructures.Cat, la empresa Contratista SORIGUÉ i la Consultora-direcció de obra TYPSA.

Las horas dedicadas en sesiones de trabajo fueron 476h de trabajo colaborativo (8 sesiones) y 55h de coordinación (7 sesiones). El seguimiento se realizó mediante la aplicación *Asana* introduciendo 53 tareas con 14 gestores, 39 conversaciones y 76 documentos.

Como conclusión se extrajo que la estructura de las sesiones de trabajo fue buena a pesar de ser largas, la aplicación *Asana* tiene limitaciones en su versión gratuita (límite de integrantes), la incorporación de rol del *Project Manager* se valora positivamente y se considera una figura necesaria y por último, la necesidad de replantear las reuniones respecto la coordinación para establecer los roles correctamente. Al final la valoración global de la experiencia fue positiva por parte de todos los participantes.

## LEAN

*Lean* es una filosofía para la mejora de procesos y cuenta con varias metodologías, entre ellas el *Lean Six Sigma* (*Lean Construction* elimina el trabajo innecesario y *Six Sigma* reduce la variabilidad). *Lean* no se centra en el qué sino en el cómo, teniendo en mente siempre como objetivo el valor al cliente. Algunas de las herramientas *Lean* son: *5Why's*, *5S LPS DMAIC* y *Delta/Plus*.

Después de poner estas herramientas en práctica se observa que *Lean* es un método que pone nombre a cosas que algunas personas hacen de forma intuitiva. Toda actividad que se pretenda mejorar, se debe parametrizar y medir para identificar las ineficiencias de los procesos. Además, se necesita a gente con ganas de innovar e invertir tiempo en aportar ideas de mejora. El proceso *Lean* no se ve, no se expone, y por eso es más difícil de implantar y darle valor.

## DIGITALIZACIÓN

Existen muchas aplicaciones para compartir información y gestionar tareas, algunas de ellas son: *Asana*, *Trello*, *Instagantt*, *TeamGantt* y *Slack*.

*Instagantt* y *Teamgantt* permiten visualizar las tareas en forma de diagrama de Gantt y por otro lado, *Trello* y *Asana* son aplicaciones basadas en el muro *Kanban*. *Asana* se interrelaciona con *Instagantt* y *Trello*, con *TeamGantt*. Como software para aplicar LPS (*Last Planner System*) una opción es *Cocoplan*.

## CONFERENCIA LEAN 2018

Anna proporcionó las presentaciones de las ponencias que se llevaron a cabo en el "*Lean Construction Barcelona 2018 – Experiencias de aplicación Lean en Iberoamérica*" realizado en Barcelona en fecha 8 de mayo de 2018 y organizado por ITeC, en el cual ella misma participó como ponente.

TABLA 2. LISTA DE PONENCIAS DE LA CONFERENCIA LEAN CONSTRUCTION BARCELONA 2018.

Anna Bullich	¿Por qué implementar Lean en la Administración?
Enrique M. Cobreros	El Lean es para valientes
Juan Pablo Romero	Implementación Lean y VDC en la Universidad de los Andes
José Luis Ponz	
Bruno Badano	Gestión general de la construcción. Plann 3
Miguel Álvarez	Gestión de un proceso. Producción estandarizada de viviendas en Santiago de Chile
José Manuel Murillo	Reforma Unidad Quirúrgica planta 3 Hospital General de Sevilla.
Sergio Augusto	LPS en obras de retail: 7 Oficinas Store Caixa Bank en 7 semanas.
Eugenio Pellicer	Reflexiones sobre la relación entre Lean Construction y la Universidad.

## 2.5 ESTADO ACTUAL

En España, en 2010 se creó el *Spanish Group for Lean Construction*, que funciona, sobre todo a nivel académico, desde la Universidad Politécnica de Valencia. Desde 2014 la Fundación Laboral de la Construcción de Navarra, la Confederación de Empresarios de Navarra, el Instituto Tecnológico de la Construcción de Catalunya o Asociación de Promotores Inmobiliarios de Madrid han impulsado diversas iniciativas que han contribuido a la difusión de LC (1).

IteC ha desarrollado un inventario *Lean* donde usuarios puedan compartir actuaciones de proyectos y/o obras, talleres, cursos, másteres, conferencias, jornadas o publicaciones de divulgación... que apliquen métodos o principios entorno a esta filosofía *Lean* en el ámbito Español.

Según la recogida de datos del año 2017, se puede concluir, tal como se observa en la Figura 26, que la filosofía *Lean* empezó a tener un crecimiento significativo a partir de 2015. Este crecimiento se dio mayormente por el aumento de volumen en talleres de formación, sobre todo en 2016. La mayoría corresponden a actos de formación (49%), tanto tipo taller como cursos, seguidos de eventos de divulgación (39%) y alrededor del 80% de las actuaciones tienen su origen en iniciativas de tipo privado (76%), promovidas tanto por organizaciones sectoriales como empresas.

En cuanto a la distribución territorial de los eventos existen dos polos muy marcados en los que se está promoviendo *Lean*, y corresponden a Valencia y Barcelona, destacando también Madrid y Navarra.



FIGURA 26. EVOLUCIÓN DE LOS EVENTOS LEAN EN ESPAÑA. FUENTE: (23)



FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE LOS EVENTOS SEGÚN EL AÑO. FUENTE: (23)

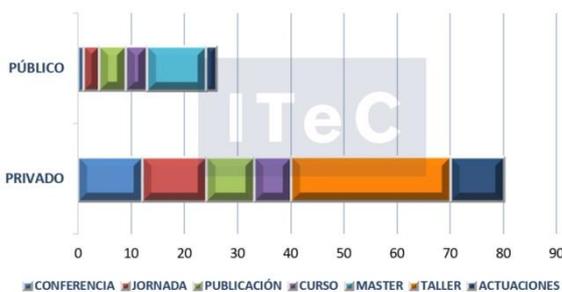


FIGURA 28. TIPO DE ACTUACIÓN POR CLIENTE. FUENTE: (23)

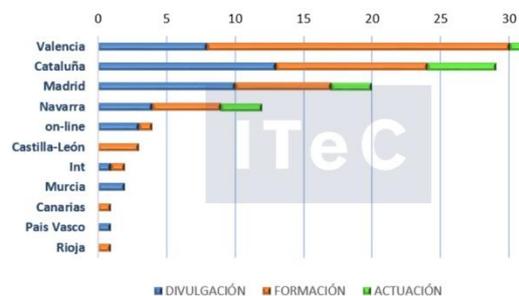


FIGURA 29. TIPO DE ACTUACIÓN POR COMUNIDAD. FUENTE: (23)

Así pues, se puede decir que está creciendo el número de instituciones y empresas que apuestan por esta filosofía de trabajo, y aunque todavía se encuentra en una primera etapa de concienciación se puede decir que LC está ganando impulso en España. Están siendo algunas administraciones públicas y organismos representativos o empresas privadas del sector de la construcción los que están creando una comunidad que trabaja en la difusión y enseñanza de Lean. Algunos de los profesionales más implicados en este movimiento *Lean* y los cuales han aportado publicaciones y experiencia profesional tanto a nivel nacional como extranjero son:

<i>Carlos Bosch</i>	<i>Greg Howell</i>	<i>Pedro Judez</i>
<i>Carlos Formoso</i>	<i>Jose Ignacio Ortiz</i>	<i>Ramiro Cedeira</i>
<i>Cristina Ayats</i>	<i>Jose Luis Ponz</i>	<i>Victor Roig</i>
<i>Eugenio Pellicer</i>	<i>Juan Felipe Pons Achell</i>	<i>Xavier Pallás</i>
<i>Fernando Cerveró</i>	<i>Lauri Koskela</i>	<i>Entre otros...</i>
<i>Glenn Ballard</i>	<i>Luis Fernández Alarcón Cardenas</i>	

En el ámbito académico, la Universitat Politècnica de València, pionera en España, ofrece asignaturas dentro de éste ámbito (24). Concretamente, se puede cursar la asignatura optativa "Construcción sin Pérdidas (*Lean Construction*)" en el Máster Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil y en el Máster Universitario en Edificación. En ella, se introduce la filosofía *Lean*, se aplican los principio básicos, se entiende el mapeo de la cadena de valor, se profundiza en la técnica de programación en cascada del *Last Planner* y se explica el enfoque *Integrated Project Delivery*.

Además, dentro de la asignatura optativa Gestión Integrada de Proyectos y Obras del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos se dedican 10-12 horas a sistemas alternativos de contratación, especialmente el *Integrated Project Delivery (IPD)* utilizando docencia inversa y un trabajo de curso, y en Dirección y Organización de Obras, optativa del Grado en Ingeniería Civil, se dedican 6-8 horas al *Sistema Last Planner* simulando una *Pull Session*.

El propósito es que los alumnos aprendan a como realizar compromisos con las otras partes, de modo que produzcan promesas con el fin de mejorar la coordinación y, por lo tanto, el desempeño del proyecto. Se utiliza la simulación de una reunión de colaboración entre subcontratistas (*Pull Session del Sistema Last Planner*) como vía para que los estudiantes adquieran competencias en negociación y compromiso.

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DEL LAST PLANNER SYSTEM

Una vez definido el concepto *Lean*, su evolución y alguna de sus herramientas más conocidas, se puede concluir que *Lean* se trata de un método para la mejora continua de procesos y desarrollo continuo de personas. Se trata fundamentalmente de crear valor y reducir todo aquellos que no lo aporta, teniendo en cuenta el ciclo de vida completo del producto.

Muchos empresarios de la industria de la construcción han manifestado su preocupación y desconocimiento sobre la dificultad y el coste de implantar esta metodología (8). Sin embargo, cualquier empresa, sea del sector que sea, ya cuenta con sus propios métodos de organización, gestión de tiempo y recursos, resolución de problema... Las herramientas que propone *Lean* simplemente ponen nombre a esos procesos que algunas personas ya hacen de forma intuitiva. Estas etiquetas permiten crear conciencia sobre qué es lo que se está haciendo y que es lo que se puede hacer para mejorar. De esta manera, se genera una estructura clara de los pasos a seguir para una mejor comprensión de las herramientas y fácil aplicación.

Así pues, se puede decir que el profesor Lauri Koskela, aunque fue el que acuñó el concepto *Lean Construction* en 1992, no lo descubrió. La búsqueda de pensar en cómo hacer tareas con menos esfuerzo no es algo nuevo.

En la siguiente figura se ha realizado un análisis de las posibles herramientas *Lean* a emplear según el tipo de ineficiencia y algunos ejemplos en obra de cada una de ellas. Se recuerda que la definición de estas herramientas se encuentra en los Anejos de este documento.

TABLA 3. HERRAMIENTAS LEAN SEGÚN EL TIPO DE DESPERDICIO Y EJEMPLOS DE CASOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

	DESPERDICIO	CASOS	HERRAMIENTAS LEAN
DEFECTOS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Errores en el diseño, mediciones y planos.</li> <li>- Métodos de trabajo incorrectos.</li> <li>- Falta de control previa entrega de la obra.</li> <li>- Falta de mantenimiento.</li> </ul>	JIDOKA
SOBREPRODUCCIÓN		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de viviendas por encima de la demanda (viviendas en stock)</li> <li>- Construcción o fabricación de material antes de lo planificado.</li> <li>- Construcción con más calidad de la indicada.</li> <li>- Uso de un equipamiento sofisticado cuando uno simple sería suficiente.</li> </ul>	KANBAN
ESPERAS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esperas por falta de aprobación del control de calidad o resultados de laboratorio.</li> <li>- Esperas debido a falta de material.</li> <li>- Esperas por falta de datos o información.</li> <li>- Escasez de equipos.</li> </ul>	Last Planner System
TALENTO NO UTILIZADO		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mano de obra poco cualificada, poco formada o mal informada.</li> <li>- Falta de motivación y estímulos.</li> <li>- Falta de escucha hacia los empleados, los cuales cuentan con mucha experiencia.</li> </ul>	KAIZEN



	DESPERDICIO	CASOS	HERRAMIENTAS LEAN
TRANSPORTE		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimiento de material innecesario.</li> <li>- Mala ubicación de los almacenes o zonas de acopio que obligan a una manipulación incorrecta de los materiales.</li> </ul>	<b>5S</b>
INVENTARIO		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventarios excesivos, innecesarios o antes de tiempo que conducen a pérdidas de material por deterioro, obsolescencia o vandalismo.</li> <li>- Reducción de espacio disponible por sobrestock de producto que además hay que devolver al proveedor.</li> <li>- Maquinaria o mano de obra parada.</li> </ul>	<b>JIT</b>
MOVIMIENTO		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movilizar a los trabajadores a lugares donde no son necesarios.</li> <li>- Utilización de equipo inadecuado.</li> <li>- Métodos de trabajo ineficaces.</li> <li>- Bajas laborales por movimientos inadecuados del trabajador.</li> </ul>	<b>Estandarización</b>
SOBREPROCESAMIENTO		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso excesivo de materia prima, equipos, energía, etc. Ej: Emplear hormigón con acabado visto en la cara inferior de losas que van a quedar tapadas.</li> <li>- Monitorización y control adicional (inspecciones excesivas o inspecciones duplicadas).</li> </ul>	<b>KANBAN</b>

Las esperas o tiempo de inactividad son las ineficiencias más recurrentes y fáciles de solventar si existe una planificación y gestión adecuada del proyecto. Estas se traducen en:

- Esperas mientras termina la actividad precedente.
- Falta de datos, información, especificaciones u órdenes de trabajo.
- Esperas por falta de aprobaciones, resultados de laboratorio o financiación.
- Esperas por área de trabajo inaccesible, iteraciones entre varios especialistas o contradicciones en los documentos de diseño.
- Esperas debido a retrasos en el transporte o instalación de equipos, falta de coordinación, revisiones, errores o accidentes por falta de seguridad.
- Esperas oculta en forma de sobreproducción. En lugar de esperar, el operario A inicia la siguiente tarea, de forma que la espera queda oculta. Si esta situación se repite, el stock empieza a acumularse y debe trasladarse o apilarse. Si estas actividades se consideran trabajo, será más difícil identificarla como ineficiencia.

En el siguiente apartado se analiza la herramienta *Last Planner System*, profundizando en los pasos necesarios para su implementación. Además, se comentan las diferencias que existen con la metodología tradicional así como sus ventajas y barreras de aplicación.

### 3.1 HERRAMIENTA LAST PLANNER SYSTEM (LPS)

*Glenn Ballard* en 1992 fue pionero en el desarrollo de una de las herramientas *Lean* más conocidas, el *Sistema Last Planner* (LPS) o Sistema del Último Planificador, basado en la optimización del proceso de asignación de recursos disponibles en la planeación semanal, programación y ejecución de los trabajos (17). Se trata de una técnica de planificación y control de producción que mejora sustancialmente el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos. Se puede decir que se ha estado usado desde entonces en diversos países y proyectos, obteniendo buenos resultados (25).

En los proyectos de construcción en la etapa de planificación se determinan los plazos y recursos de las actividades, es decir, lo que “debería hacerse”. Sin embargo, a medida que avanza el proyecto es más difícil cumplir el plan inicial, y lo planeado se modifica. En ese punto la situación cambia hacia lo que “se hará” realmente en el proyecto. Finalmente, el plan inicial se ha modificado de tal forma que solo “se puede” ejecutar la obra de una forma distinta a lo planteado inicialmente.



FIGURA 30. FILOSOFIA DE PLANIFICACIÓN LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (16)

El principio básico del LPS es aumentar el cumplimiento de las actividades de construcción, identificando qué actividades son las que realmente se pueden ejecutar y cuáles no. Así, se disminuye la incertidumbre asociada a la planificación, otorgando fiabilidad y confianza a los flujos de producción y reduciendo la variabilidad (16).

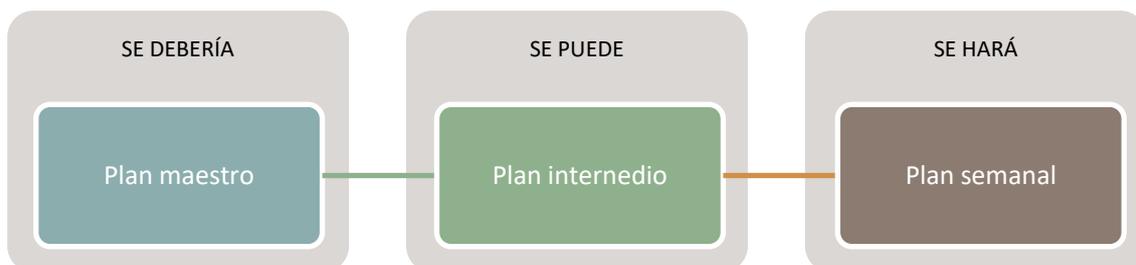
Para ello, el sistema se centra en destapar restricciones para aumentar el flujo de trabajo, sin interrupciones, creando un ambiente estable de trabajo. Es decir, identifica y controla que necesidades tiene una tarea para ser ejecutada y suprime aquellos impedimentos que evitan la ejecución de la misma. De esta manera la probabilidad que dicha actividad no se lleve a cabo es muy pequeña, la incertidumbre de no poderlas hacer disminuye y se evitan retrasos.

Por consiguiente, mediante la implementación del Sistema *Last Planner* es posible que los plazos de ejecución y los recursos empleados sean tal y como establece el plan inicial, independientemente de que los proyectos sean complejos, inciertos y rápidos (26).

## 3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL LPS

El Sistema *Last Planner (Last Planner System)* plantea la división de la programación de obra en cascada con el objetivo de analizar las tareas de manera más precisa según un intervalo de tiempo, analizando las restricciones que impiden el normal desarrollo de las actividades en cada uno de ellos. Los tres niveles del sistema de planificación son:

- El **PLAN MAESTRO (PULL PLAN)** es el primer nivel de planificación. Se trata de una planificación que ofrece una visión general de todo el proyecto. Todos los subcontratistas que participarán en el proyecto también participan en la planificación (*Pull Session*), de tal manera que el último, quien ejecuta la tarea, es quien la planifica. De esta forma, de manera colaborativa se reduce la variabilidad. Se dice que en este punto se establece el compromiso general.
- El **PLAN INTERMEDIO (6 WEEK LOOK AHEAD PLAN)** forma el segundo nivel de planificación y se centra en un marco de seis semanas del Plan Maestro. En este punto se identifican las actividades que se van a llevar a cabo en un futuro cercano de manera más detallada y se determinan las restricciones para su cumplimiento. De esta manera, se analizan y listan estas restricciones (*Constraint Log*) para que llegado el momento de su ejecución estén liberadas y puedan realizarse. En este nivel se genera un flujo continuo por todo el equipo.
- El **PLAN SEMANAL (WEEKLY WORK PLAN)**, tercer y último nivel, se trata de la planificación a una semana vista de las actividades que se van a ejecutar, siempre y cuando estén liberadas de las restricciones analizadas en el plan intermedio. Así pues, este nivel consiste en la gestión de las promesas previamente realizadas.



En la creación de los planes debe participar el equipo de trabajo del proyecto y cada uno de ellos debe contribuir a que los planes sean congruentes entre sí. Además, estos planes deben exponerse de forma pública para que todos los integrantes del proyecto lo puedan consultar, especialmente, los contratistas y permitir modificaciones en el caso de encontrar alguna restricción que no se había contemplado.

Los resultados del método LPS son fruto del trabajo en equipo, a través de conversaciones, donde se diseña la red de compromisos indispensables, tanto para identificar las necesidades como para asegurar el trabajo realizado aprendiendo de la propia experiencia.

El diagrama del flujo para la aplicación del LPS a lo largo de las tres fases de planificación sería el representado en la Figura 31. La herramienta empleada para realizar los flujos de trabajo y diagramas se denomina *Lucidchart*.

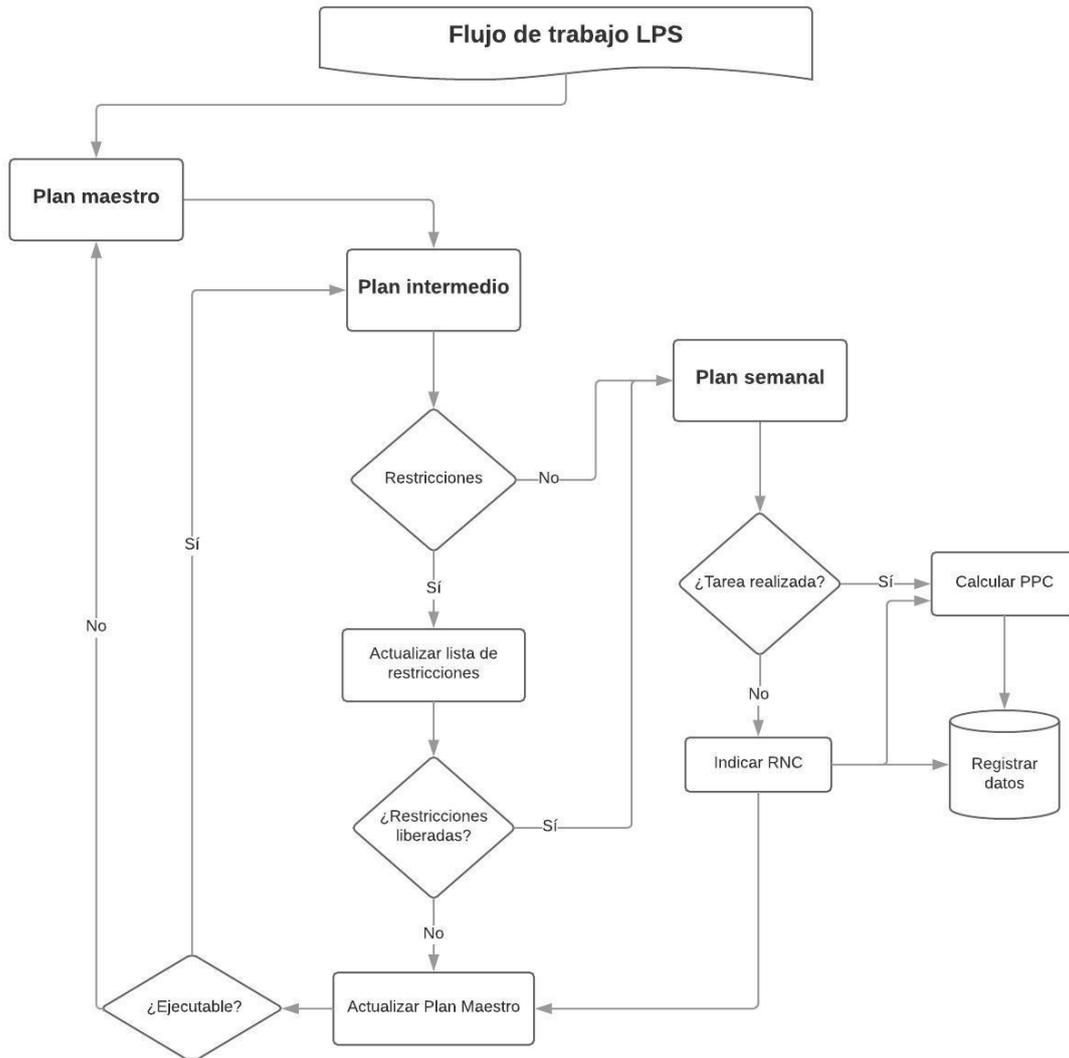


FIGURA 31. DIAGRAMA DEL FLUJO DE TRABAJO DE LA APLICACIÓN DEL LPS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

A continuación se describe detalladamente el proceso para la elaboración de cada uno de los planes con algunos ejemplos a modo de ilustración.

### 3.2.1 PLAN MAESTRO

El Plan maestro, también conocido como *Pull Planning*, es la primera herramienta a utilizar dentro del Sistema del Último Planificador. El principal objetivo es reunir a todas las personas que participan en el proyecto para elaborar la planificación conjuntamente (27).

Esta planificación, a diferencia de los métodos más tradicionales, se basa en programar las actividades lo más tarde posible. De esta manera frente a cambios de diseño, el contratista cuenta con más tiempo para recoger dichas modificaciones. Por lo tanto, a la hora de realizar la programación se debe empezar por la última actividad del cronograma, y avanzar hacia atrás (PULL). De tal manera que se trabaja el plan desde el final hacia el principio. Con esta metodología, la idea es eliminar todos los desperdicios de estos cronogramas típicos mediante la colaboración de todas las partes involucradas, de modo que el cronograma que salga de la reunión sea el más adecuado para todo el equipo. No significa que haya que seguirlo rigurosamente ni que no se pueda cambiar, sino que agrega más detalle y, por lo tanto, genera menos incertidumbres.

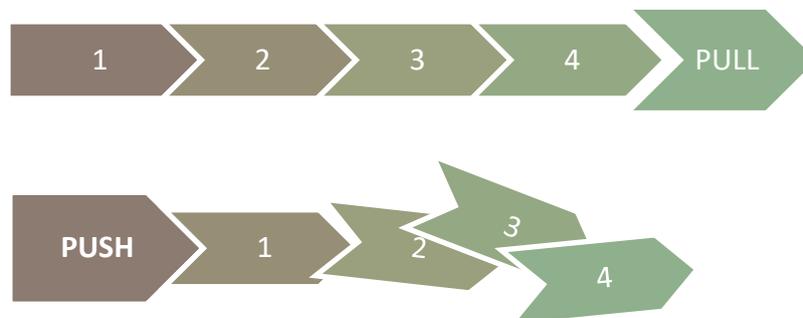


FIGURA 32. SISTEMA PULL Y PUSH. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### ORGANIZACIÓN DE LA REUNIÓN

Previo a la reunión es importante contactar con dichos agentes para indicarles de que va a tratar la reunión y que se espera de ellos. Sobre todo es importante que tener bien definidos los tiempos de las actividades que se van a ejecutar y los recursos necesarios. Además, deben tener asimilado en qué consiste el LPS y la filosofía *Lean Construction* para que la dinámica sea más ágil. Los materiales necesarios para el desarrollo de la planificación son:

- La documentación del proyecto de referencia.
- Una hoja o panel donde desarrollar la planificación.
- Notas adhesivas de varios colores donde representar las actividades a ejecutar por los distintos agentes.
- Una hoja para anotar las restricciones. Es bueno llevar un registro de todas las restricciones que vayan apareciendo durante la reunión. Restricciones es todo aquello que impide la realización de una de las actividades. Anotándolo permite tenerlo en cuenta para solventarlo llegado el momento.
- Tener suficiente espacio en la sala.

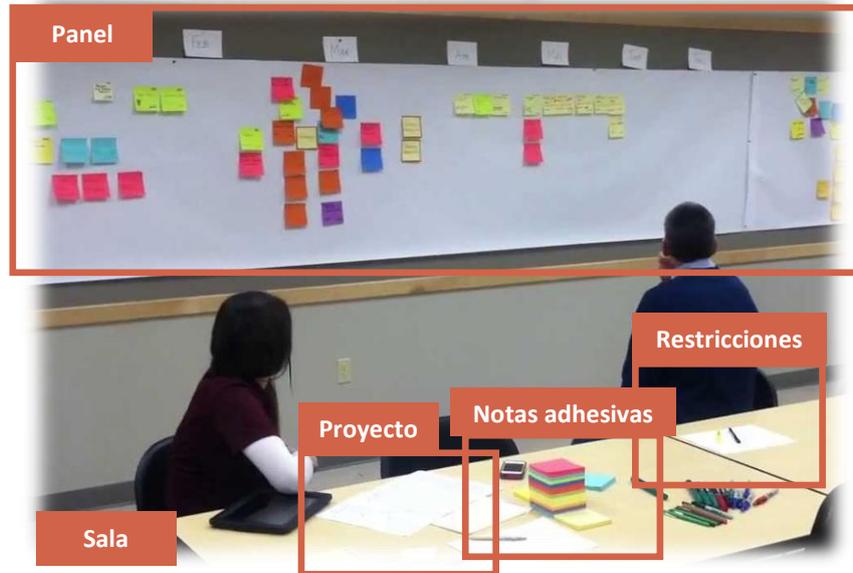


FIGURA 33. EJEMPLO MATERIAL NECESARIO PARA LA PULL SESSION. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES + ELABORACIÓN PROPIA

Esta planificación se realiza en períodos de 12 a 16 semanas, por lo que el proyecto se debe dividir en hitos para permitir un seguimiento más claro y preciso. Además, como mínimo la reunión debe realizarse 6 semanas antes del inicio de la primera actividad programada.

Se debe prever que estas primeras reuniones pueden durar hasta 3 horas. Sin embargo, la duración se va reduciendo a medida que se adquiere experiencia en la metodología. Por eso, se debe remarcar que los agentes se preparen las reuniones convenientemente para que estas tengan una menor duración.

### DEFINICIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Las tareas se pueden anotar de distintas maneras. Una metodología típica es dividir un *Post-it* en tres partes como se indica en la Figura 34. En la sección superior se indicaría el nombre de la tarea, en la inferior derecha, la duración y en la izquierda, la tarea previa necesaria para su realización.



FIGURA 34. POST-IT CON LA DEFINICIÓN DE UNA ACTIVIDAD DE OBRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De esta manera, cada contratista de manera individual indica cual cree que es la actividad predecesora y la duración que precisa para la elaboración de sus tareas, Figura 35. También se pueden anotar los recursos y las restricciones para el cumplimiento de cada actividad.



FIGURA 35. NOTAS ADHESIVAS CON LA DEFINICIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y LOS AGENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## PROGRAMACIÓN

Una vez definidas las tareas se coloca la última de ellas al final de la línea de tiempo establecida, y mediante un dialogo abierto se debate sobre la ordenación de cada una de ellas. Esto ayuda a determinar el flujo de lo que se necesita en cada caso y cuestiona la duración, y todo lo que sea necesario, para que cuando esta tarea vaya a empezar este todo listo para su inicio.

Una vez decidido el programa se analizan los flujos de trabajo, los métodos de trabajo y las duraciones de cada actividad individualmente. Es importante que el contratista valore honestamente cuánto va a tardar para que la programación sea lo más optima posible.

### Ejemplo

- La empresa de excavaciones indica que la actividad a realizar le va a tomar 7 días.
- El facilitador/coordinador sugiere reducir tiempos, así que pregunta a los asistentes de que recursos disponen para reducir sus duraciones.
- La empresa de excavaciones comenta que ha delimitado su tiempo no por la falta de recursos, sino por falta de conocimiento respecto al tipo de terreno a excavar.

Así pues, con la colaboración del geólogo se acuerda realizar una cata en un punto de mutuo acuerdo y la empresa se compromete a ajustar su tiempo de acuerdo con los resultados de dicha cata. De esta manera, se genera una restricción para la tarea 'Excavación', 'Resultados cata', ajustando tiempo y reduciendo la incertidumbre.

La ventaja fundamental es que con un golpe de vista del cronograma se puede tener un marco de referencia de cada tarea y el peso de cada contratista o subcontratista.

Se trata de una herramienta visual para aprender y ver cómo serán las cosas. Si hay alguna restricción que salga a la vista durante la reunión, por ejemplo, que los materiales no se han comprado o que la tipología de roca indicada en proyecto no está disponible, la idea es anotar

esta restricción para empezar a hacer un seguimiento y ver si se puede liberar antes de la llegada de la fecha planeada.



FIGURA 36. EJEMPLO PLAN MAESTRO JUNTO A LA LISTA DE RESTRICCIONES. FUENTE: (28)

Definiendo así el plan maestro, todos los involucrados saben dónde están, cuál es su papel y cómo influye su trabajo en el conjunto. Pero sobre todo es una programación donde hay un acuerdo mutuo y con libertad de aplicar modificaciones. Ya sea por días festivos o cambios de clima, se puede reprogramar y tenerlo siempre presente en las reuniones de seguimiento.

### LISTA PLUS-DELTA

Al final de toda reunión se debe hacer una lista denominada plus-delta, donde hacer un seguimiento de las propias reuniones, indicando lo que se ha hecho bien (+) y lo que se puede hacer mejor para la próxima vez ( $\Delta$ ). Los miembros al acabar la reunión indican los puntos positivos y negativos de la misma. A continuación se ilustra un ejemplo en el que se puede ver:

- Puntos negativos a mejorar ( $\Delta$ ): Los asistentes consideran que la sala era pequeña y la reunión larga, con lo que se ha generado incomodidad y falta de concentración.
- Puntos positivos (+): Se ha valorado la presencia del arquitecto a la hora de solventar dudas de proyecto y los trabajadores se han sentido involucrados al acordar la localización de las catas, importantes para el desarrollo de sus tareas.



FIGURA 37. EJEMPLO LISTA PLUS-DELTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De esta manera se concluye que para la siguiente reunión sería positivo volver a contar con la presencia del arquitecto, buscar una sala más grande, realizar pausas de descanso cada 50 minutos y interactuar con los trabajadores para que aporten ideas.

### 3.2.2 PLAN INTERMEDIO

Un paso de estricto cumplimiento en el desarrollo de cada uno de los planes es la revisión de las restricciones. Cada tarea debe estudiarse cuidadosamente con el fin de determinar si existe restricción para su cumplimiento.

El plan intermedio se considera el motor del sistema ya que es donde se destapan las restricciones que van a dar flujo a la obra. Solo programando un futuro cercano los subcontratistas identifican de manera más precisa sus necesidades, con lo que el plan intermedio les insta a prepararse para el momento de la ejecución.

Una forma para guiar el planteamiento es preguntar ¿por qué no se podría hacer esta tarea mañana mismo? Si el contratista dice que no tiene ninguna restricción para hacer el trabajo dentro de dicho plazo, entonces la siguiente pregunta sería ¿por qué no puede empezar mañana? El objetivo es que salgan a flote tantas restricciones como sean posibles.

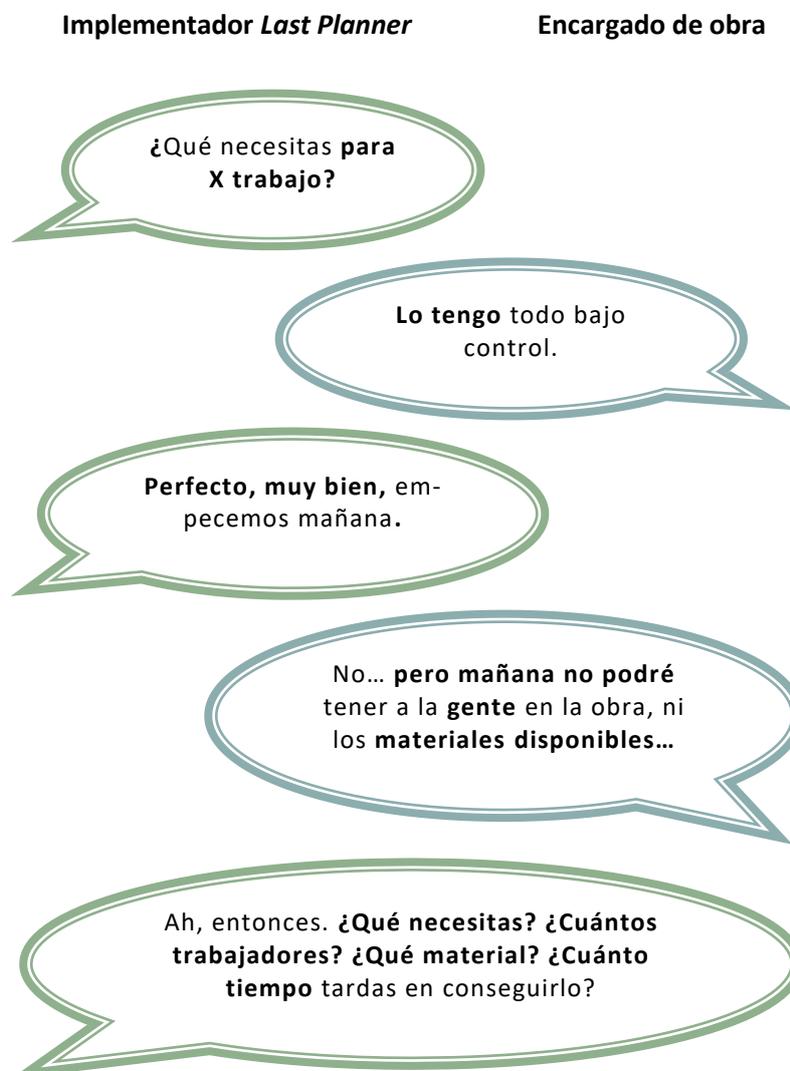
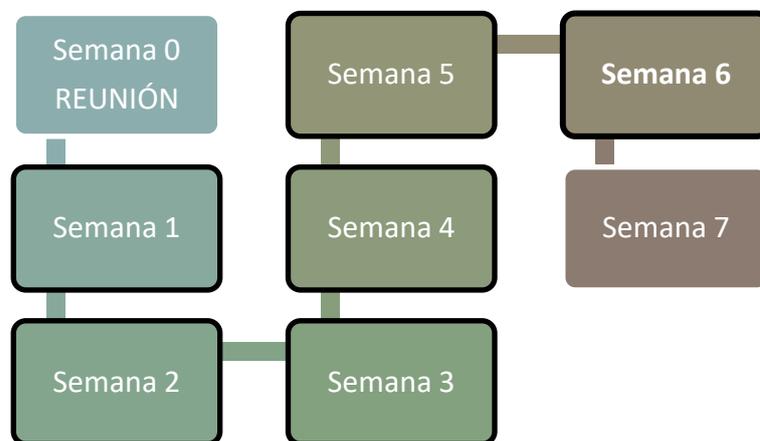


FIGURA 38. EJEMPLO REUNIÓN PLANIFICACIÓN SEMANA 6 ENTRE EL COORDINADOR Y EL ENCARGADO DE OBRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (28)

Una actividad no debe ser planeada si existe una restricción para realizarla. Para ello, también se puede ir a obrar y analizar in situ con más detalle las necesidades de cada grupo de trabajo. La Teoría de las Restricciones acelera el proceso más lento al ritmo del resto. Cada proyecto tiene sus restricciones particulares, no obstante, las principales son (26):

- Falta de diseños.
- Materiales.
- Mano de obra.
- Equipos.

Así pues, cada semana (*Weekly Meetings*) se analiza el Plan Maestro (*Pull Schedule Review*) para una ventana de tiempo de seis semanas. Se escogen seis semanas (29) porque, aunque no siempre sea acertado, muchos problemas se pueden solventar en ese intervalo de tiempo. Así, llegado el día en el que hay que ejecutar la tarea, no existen impedimentos y la tarea queda liberada.



El análisis de las seis semanas tiene dos propósitos:

- Asegurarse que los agentes revisen y determinen lo que necesitan para poder realizar las actividades en seis semanas.
- Ayuda a introducir a los agentes que entran más tarde en la ejecución en el ritmo de la reunión del plan semanal, plan intermedio y reuniones de revisión para que se adapten al equipo.

Una vez se identifican las restricciones, se debe asignar fecha y responsable para su liberación, estableciendo las bases del compromiso. Por lo tanto, se tendrán compromisos tanto para liberar restricciones, como para ejecutar actividades. Es importante hacer un listado de actividades afectadas por alguna restricción para que una vez liberadas se puedan indicar como trabajo disponible, es decir, trabajo que puede incluirse en la planificación semanal.

De esta manera, únicamente se realiza la programación de aquellas actividades que se pueden realizar disminuyendo así la incertidumbre (Inventario de Trabajo Ejecutable).

### 3.2.3 PLAN SEMANAL

La programación a una semana vista se denomina Plan semanal. El objetivo de este plan es dividir las tareas del plan maestro para cada día de la semana y programar detalladamente cada uno de ellos. Esto permite determinar dónde exactamente se va a estar trabajando, facilitando tanto la organización de los trabajadores como el seguimiento de las tareas (30).

Esta metodología aumenta la fiabilidad del plan, incrementando el rendimiento, no sólo de la unidad de producción que ejecuta el plan semanal, sino también de las que ejecutan trabajos posteriores. Los planes de trabajo semanal son efectivos cuando las asignaciones cumplen cinco criterios de calidad, los cuales se aplican para seleccionar, secuenciar y dimensionar el trabajo que se incluirá en el plan de trabajo semanal (14):

- Adecuada definición
- Consistencia o legitimidad
- Secuencia adecuada
- Tamaño óptimo (Mura y Muri)
- Retroalimentación o aprendizaje

#### PROCEDIMIENTO

Para su planificación es necesario dividir un tablero en suficientes filas para todos los contratistas y diferentes columnas con los días laborables de la semana, más una columna extra para indicar el Porcentaje del Plan Completado (PPC).

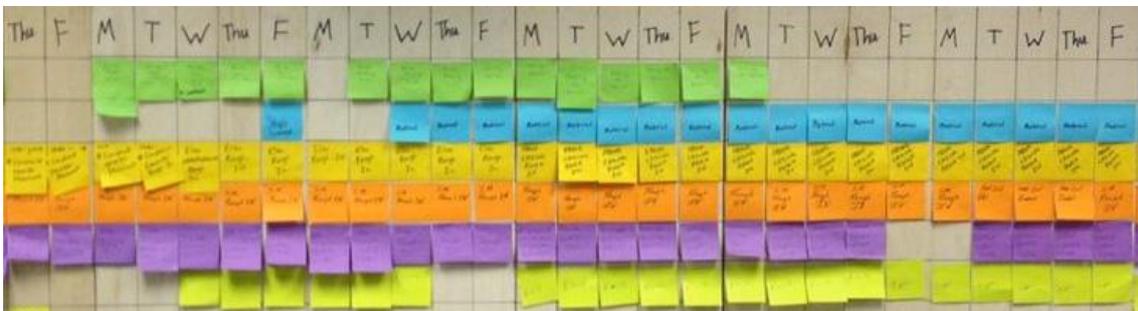


FIGURA 39. EJEMPLO PLAN SEMANAL. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES

En cada nota adhesiva se debe indicar el cuadrante de la obra en el que se va a realizar la actividad de manera que en todo momento los trabajadores identifiquen cuál es su lugar y si hay problemas de colisión entre ellos. Por ello, en el plano de obra se debe indicar con distintos colores estas zonas de trabajo según cada contratista (método denominado como 5S's).

Cada día, antes de iniciar los trabajos, se realizan reuniones breves de 10-15 minutos (*Stand-up Meetings*) con cada contratista y subcontratista donde se detallan los requisitos de seguridad y repasan las actividades programadas, y se verifica que se pueden acometer sin restricciones de última hora. Así, cada trabajador tiene una agenda donde consultar el lugar de trabajo diario y la tarea a realizar.

Si un día hay algún fenómeno paraliza los trabajos, se pueden reprogramar las tareas con la colaboración de los propios trabajadores ya que tienen una imagen global de lo que se está haciendo y de qué es lo que tiene prioridad para el desarrollo de la construcción.

### 3.2.4 PORCENTAJE DEL PLAN COMPLETADO PPC

Una vez creado el plan maestro se debe crear un plan semanal y hacer su seguimiento mediante el Porcentaje del Plan Completado (*Percent Plan Complete* o PPC)

Un paso clave en la implementación del LPS es llevar un registro detallado de los problemas que se presentan para cumplir las actividades planeadas. Para esto, se construye semanalmente el indicador PPC. El PPC se puede calcular tanto para el total de actividades de una semana o para periodos más largos. Este indicador es muy útil para llevar un control de la evolución de la implementación del sistema, y junto con la información de las causas de no cumplimiento, constituye una herramienta útil para la planificación de actividades intermedias y semanales (26).

El PPC es una forma de hacer seguimiento y determinar si se está haciendo lo que los contratistas predijeron que iban a hacer. Se trata de una herramienta basada en la experiencia, ya que cuanto más avanza la obra más se conoce el entorno y más acertada puede ser la predicción.

#### PROCEDIMIENTO

Cuando un contratista ha terminado una tarea debe tachar con una línea diagonal dicha actividad finalizada [/]. Es importante hacerlo diariamente para tener más tiempo de reacción en caso de errores. Sin embargo, que esté marcado no significa que esté finalizado. Para estar completamente seguros de que una tarea está realmente completada, la persona que realiza la siguiente actividad debe verificar que la anterior está finalizada correctamente. Si es así, ya se puede proceder a tachar la actividad con una línea diagonal en el otro sentido [X], y es entonces cuando se considera realmente finalizada (31).

El seguimiento con el PPC consiste en, una vez finalizada la semana, dividir el número de tareas finalizadas [X] entre el número total de tareas. Así, se puede analizar qué es lo que se ha hecho y ver automáticamente quién acertó en su predicción y quién no.

$$\text{PPC} = \frac{\text{Número de actividades cumplidas}}{\text{Número de actividades programadas}} \times 100\%$$

No se trata de una herramienta para buscar culpables, sino detectar los puntos fuertes y débiles. De esta manera, los contratistas pueden apoyarse y buscar consejo respecto a cuáles son las metodologías para cumplir con los tiempos previstos (*Benchmarking*).

Por otro lado, es necesario destacar que una actividad que se realiza antes de lo planificado no tiene valor, por lo tanto cuenta como cero (*Sobreproducción*). El objetivo de este sistema es que todos los contratistas sean tan predecibles como sea posible ya que, el trabajo que se hace antes de lo planeado puede generar tanta inestabilidad como una tarea que se retrasa. El cronograma no es un elemento estático. Ante cambios y variaciones se puede modificar diariamente pero es importante comunicarlo para que todo el mundo esté al corriente.

Para concluir, el PPC evalúa hasta donde el Sistema Last Planner es capaz de anticiparse al trabajo que se hará, es decir, compara lo que se hará según el plan de trabajo con lo que realmente se hizo, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación (14).

### RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO DEL PLAN

Según un estudio sobre la evolución e impacto mundial de la implementación del LPS (32), el cual analiza múltiples bases de datos internacionales con estudios académicos y aplicación del método, se concluye que los motivos de obtener un PPC bajo se pueden dividir en tres bloques:

#### Aspectos organizacionales

- Percances con el abastecimiento de materiales (disponibilidad, suministro deficiente, distancia de la obra al sitio de provisión, aumento de precios, equivocaciones o retrasos en el proceso de compra o entrega).
- Conflicto con prerrequisitos no completados.
- Falta de recursos.
- Percances con equipos y herramientas de trabajo.
- Tiempo insuficiente para completar las asignaciones.
- Estimación imprecisa de la duración de las actividades.
- Definición inapropiada del tamaño de las cuadrillas.
- Reprocesos.
- Contratiempos y falta de coordinación con proveedores.

#### Factores humanos

- Contratiempos con la mano de obra como ausentismo y accidentes laborales.

#### Agentes externos

- Mal clima.
- Retrasos de terceros.
- Cambios en el proyecto por variaciones en diseño o decisión del cliente.

### 3.3 MÉTODO TRADICIONAL (DYNAMIC SCHEDULING)

Una metodología empleada en Project Management que aprendí durante mis estudios de máster fue el *Dynamic Sheduling* o programación dinámica. Se trata de un método de gestión de proyectos para planificar, supervisar y controlar los proyectos en curso con el fin de entregarlos a tiempo y dentro de presupuesto a su cliente (33). Su enfoque principal radica en la integración de tres aspectos cruciales:

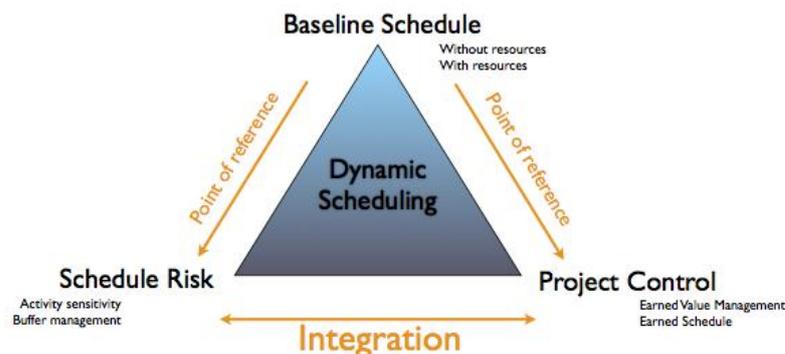


FIGURA 40. BASE DE LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA. FUENTE: (34)



- **Baseline Sheduling (Programación base):** Planificar las actividades de un proyecto para crear un cronograma con restricciones de tiempo y presupuesto. La elaboración de la programación base es esencial para tener un punto de referencia a la hora de analizar el riesgo y realizar el control de proyecto. Esta programación se puede realizar fácilmente con un ordenador empleado las técnicas del camino crítico y la nivelación de recursos.
- **Risk Analysis (Análisis de riesgos):** Analizar el riesgo de la programación y su impacto en el tiempo y presupuesto. La importancia de analizar el riesgo viene de la necesidad de todo *Project Manager* de centrar sus esfuerzos en aquellas actividades con más influencia y que pueden generar un mayor impacto respecto a lo planeado inicialmente. Además de centrarse en dichas actividades, este análisis permite tener una respuesta más precisa frente a circunstancias imprevistas. El análisis de riesgo se puede realizar mediante la simulación estándar de Monte-Carlo.
- **Project Control (Control de proyecto):** Medir y analizar los datos de rendimiento del proyecto y tomar medidas para llevar el proyecto a cabo. *Project control* es la acción de monitorizar las desviaciones respecto al plan esperado y controlar las actuaciones, de tal manera que se facilite la toma de decisión en caso de necesitar medidas correctivas para regresar al plan inicial. El control de proyecto se puede hacer fácilmente mediante el cálculo del *Earned Value Management* es decir, el cumplimiento de costes.

En esta metodología el éxito del proyecto depende del cumplimiento del objetivo final y esto requiere una integración de técnicas y herramientas dependiendo de la complejidad y la incertidumbre del proyecto, como se puede ver en la siguiente figura.

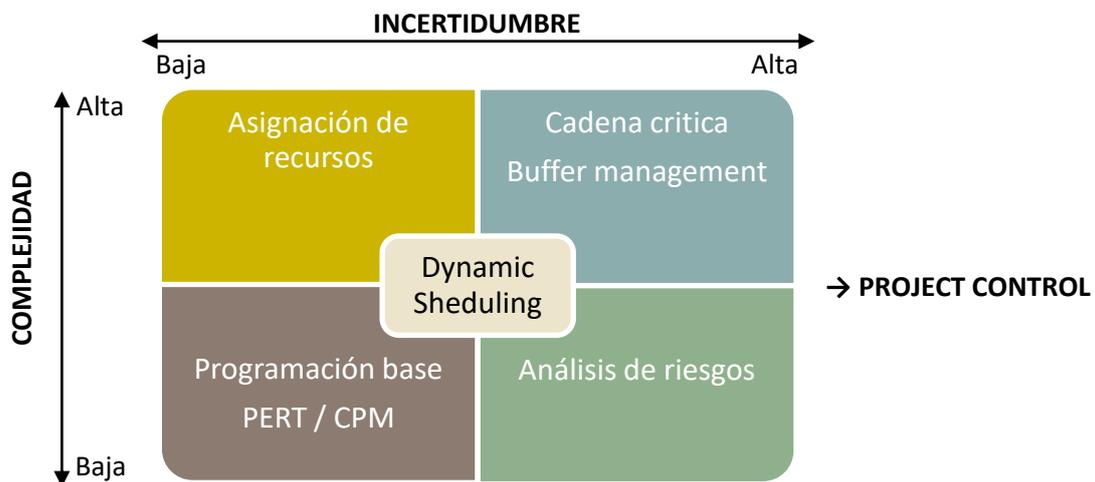


FIGURA 41. TIPOS DE MÉTODOS SEGÚN LA COMPLEJIDAD E INCERTIDUMBRE DEL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Las fases para la elaboración de la programación consiste en PLANear, definiendo:

- **PERSONAS:** Las actividades, el coste, los recursos necesarios y predicción de riesgos.  
 La estimación de la duración, el coste y los recursos se basan en la experiencia, analogía, datos históricos, comité de expertos, unidad por tiempo, estimación PERT (Optimista, realista, pesimista)...

En el análisis de riesgos se determinan posibles situaciones que producirían retrasos en el plan así pues se insertan tiempos de holgura (*buffer*) en las actividades. Para ello se realizan estimaciones agresivas de las actividades, se elabora el plan tan tarde como sea posible y se determinan las posiciones de las holguras y su tamaño.

- **LINK:** La secuencia de actividades. En la definición de las actividades es esencial identificar las precedencias y uniones de cada una de ellas para asegurar que cada actividad se realiza en el momento adecuado. Para ello dichas actividades se representan en una red donde se indica, además del tiempo y los recursos, la relación y tiempos necesarios entre la actividad antecesora y predecesora.

Este tipo de planificación se centra en el camino crítico, ya que es el proceso de actividades encadenadas más largo y con cero holguras. Así pues una vez definidos los enlaces se debe determinar el camino crítico ya que un retraso de una de estas actividades conlleva el retraso de todo el proyecto.

Si se incluyen recursos pasamos a hablar de camino crítico a cadena crítica. En el camino crítico el objetivo es reducir tiempo, en cambio en la cadena crítica hay un abanico más amplio de objetivos dependiendo de las necesidades del cliente. Estos pueden ser el tiempo, nivelar los recursos, maximizar el valor neto, maximizar la continuidad de los recursos o disminuir tiempos inactivos de recursos.

- **ACTIVIDADES:** La lista de actividades y prioridades. Un factor importante es el desglose de las tareas, ya que esto permitirá interrelacionar aquellas actividades que se puede realizar simultáneamente. Además una vez definida la red se deben establecer prioridades para su orden como puede ser actividades más tempranas, actividades de menor duración, actividades de menor holgura...
- **NET (RED):** Actividades + Link. Típicamente la visualización de las actividades se realiza mediante un diagrama de Gantt. Las actividades se representan gráficamente en forma de barras y se distribuyen de manera cronológica en una línea de tiempo. De esta manera se representa la duración de las tareas en el eje horizontal y las actividades en los que se divide el proyecto en el eje vertical, pudiendo observar de una manera más sencilla y clara el avance del proyecto. Esta representación gráfica se puede hacer tanto a mano como empleando un software, ya sea especializado (Ej. *Microsoft Project*) o no (Ej. *Microsoft Excel*).

### 3.4 MODELO DE GESTIÓN TRADICIONAL VS LPS

El Sistema *Last Planner* no es una metodología que reemplace o compita con los métodos de redes y camino crítico, sino que los complementa y enriquece (14). *Project Management* se define como planear, gestionar y controlar un proyecto para sus éxitos entrega en tiempo, presupuesto y especificaciones, no muy alejado de la filosofía *Lean*.

El proceso de análisis es muy similar. Primero se establece una programación base que sería el plan maestro, luego se analizan los riesgos que sería la programación a seis semanas y

por último se realiza un control del proyecto que se podría definir como el plan semanal y el PPC extraído.



Sin embargo, las diferencias no radica en la planificación en cascada ni en el proceso, sino en el hecho de interaccionar con los agentes implicados en la planificación de manera directa, gestionar equipos en vez de tareas.

*Lean* se centra más en las personas y la interacción humana. El método PM se basa en un análisis individualizado y de aproximaciones según criterio y experiencia del planificador. En cambio, con la colaboración propuesta en el LPS, la experiencia de todas las actividades del proyecto está sobre la mesa, así que la probabilidad de predecir la duración erróneamente se reduce. Los riesgos los asume y predice el propio trabajador en vez de el gestor. Por otro lado, el gestor de proyectos que emplea metodologías tradicionales no se acaba de centrar en la seguridad, y aunque entre sus objetivos se encuentre el cumplir con especificaciones de calidad, al final cumplir con el presupuesto es el punto central.

Así pues, las diferencias entre el Sistema *Last Planner* y una metodología tradicional de gestión de proyectos son:



FIGURA 42. DIFERENCIAS ENTRE LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL RESPECTO A LA PLANIFICACIÓN LEAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN (14)

- Mientras que los métodos de redes manejan el camino crítico, el LPS se preocupa de manejar la variabilidad
- Mientras los métodos de redes manejan fechas, el LPS maneja flujos de trabajo.
- La planificación con los métodos de redes generalmente se usa para gestionar contratos, mientras que el LPS se preocupa de gestionar interdependencias.

Además, realizar reuniones semanales con todo el equipo permite que estos tengan una visión general del proyecto y no simplemente de sus tareas individuales (26).

Así pues, el buen funcionamiento de un sistema de planificación y control como el descrito depende no solo del sistema en sí, sino del compromiso. Este aspecto humano es probablemente el responsable de más del 50% de las mejoras que puedan obtenerse por el uso del sistema (14).

### 3.5 VENTAJAS Y BARRERAS DE IMPLEMENTAR LPS

#### VENTAJAS

Este sistema ha demostrado una alta efectividad, con multitud de aplicaciones exitosas en el continente americano, mejorando el desempeño de las obras y logrando progresos significativos en el cumplimiento de plazos y la productividad (16). Para las grandes empresas constructoras la adaptación del sistema de planificación con enfoque *Lean* no supondría un esfuerzo excesivo, dado que la mayoría de ellas ya disponen de sistemas de planificación internos. La implementación del último planificador supondría una mayor sistematización de las operaciones a todos los niveles, así como la implicación de toda la cadena de mando en la planificación continua (14).



- El sistema no sustituye al sistema tradicional, sino que lo enriquece agregando la estabilidad de un proceso que se repite cada semana.
- Aporta agilidad a la hora de resolver imprevistos, ya que el sistema anticipa casi todos los eventos que puedan darse.
- Mayor implicación de los mandos medios gracias a un papel más activo en la gestión del proyecto y mayor compromiso con la planificación. El compromiso de la gente con el proyecto aumenta cada semana. Además, al ver resultados, aumentan la motivación y la productividad.
- Se eliminan las urgencias y se aumenta el control sobre los trabajos que se hacen, y los que están previstos. Mejora en la gestión y control del proyecto. Los gestores aprecian el orden y la sistematización del proceso de administración del proyecto que les proporciona una sensación de mejor control del proyecto.
- Si la producción no sufre de urgencias, la obra será mucho más segura.

- La calidad aumentará, ya que cuando se preparan trabajos con tiempo, siempre salen mejor.
- Si la promotora solicita cambios, es muy posible que se puedan amortiguar y que no afecten al final de la obra, terminando a tiempo incluso con los cambios solicitados.
- Percepción, por parte de los administradores, de una mayor productividad de los procesos aunque en algunos casos ésta no pueda ser medida directamente.
- Menores plazos de ejecución de las obras.
- Por otro lado, es una herramienta que se puede implementar en una obra sin que afecte a los procedimientos internos de la empresa, impactando únicamente en ese único proyecto.

### **BARRERAS**

Las barreras que entorpecen la implementación del sistema giran en su mayoría entorno a factores humanos, culturales y organizacionales (32).

#### *Factores humanos y culturales*

- Resistencia al cambio por miedo, evitar asumir compromisos o por el deber de incluir a los subcontratistas en las reuniones de planificación.
- Poca familiaridad con el sistema.
- Escepticismo frente a los beneficios de su implementación.
- Bajo compromiso por la falta de confianza entre los miembros del equipo.
- Compromiso y actitud frente a la puntualidad.
- Inconvenientes con el idioma y la cultura en los casos en que los trabajadores provengan de varias regiones o agrupaciones étnicas diferentes.
- Dificultad para decir “no” por miedo a violar el protocolo tradicional basado en el modelo de mando de directivos a subordinados.
- Pasar de dar órdenes a los contratistas a motivarlos a asumir su propio compromiso.
- Dificultad para mantener a todos anotando sus retrasos, pues la revisión del trabajo ejecutado no es una práctica común.

#### *Organizacionales*

- Falta de integración de la cadena de producción: cliente, proveedores de materiales, subcontratistas.
- Falta de vinculación entre los niveles de planificación del sistema, lo cual disminuye el enfoque proactivo y ocasiona que el PPC pierda relación con el progreso general del proyecto.
- Falta de comunicación.
- Extrema dificultad para liberar actividades ejecutables.
- Insuficiente preparación de las reuniones de planeación.
- Bajo entendimiento de los elementos del LPS, el por qué debe ser usado y los beneficios que trae consigo.
- Falta de incentivos para los subcontratistas.
- Forma de contratación, pues es común que el diseño se contrate independiente a la construcción, lo cual obstaculiza la integración del conocimiento e incide en la recurrencia de cambios futuros.



## CAPÍTULO 4: DIGITALIZACIÓN Y USO DEL LPS

Uno de los primeros proyectos *Lean* conocidos y reconocidos por muchos fue el *Empire States Building* iniciado en 1930. Se puede decir que este fue el primer proyecto con planteamientos *Just In Time*, ya que el edificio se hizo en tiempo récord y con una planificación por áreas hecha con lápiz y papel, y sobre todo sin ordenadores (35).

Sin embargo, en los últimos tiempos se está abordando una era digital, también conocida como la construcción 4.0, la cual busca:

- Interoperabilidad de los medios humanos y materiales.
- Virtualización de los procesos para la mejora de los mismos con herramientas como *Building Information Modelling* (BIM), realidad aumentada (AR), realidad virtual (VR)...
- Descentralización de la toma de decisiones con equipos de trabajo cada vez más multidisciplinares trabajando a distancia.
- Información en tiempo real para la toma de decisiones; introduciendo tecnologías 4.0, como la simulación, tratamiento masivo de datos o el internet de las cosas.
- Orientación de servicio al cliente, dando un servicio cada vez más adaptado, en servicio real y con la utilización de experiencias para visualizar el producto final.
- Relacionado con todo ello, aplicación de las metodologías *Lean Construction*.

*Lean* también forma parte de la nueva revolución de la construcción y, si bien es cierto que para la aplicación *Lean* se suelen emplear recursos propios (como un bloc de notas o una hoja Excel), esta filosofía también abraza las nuevas tecnología y más si estas propician un entorno colaborativo y de comunicación fluida.

De esta manera, el uso del potencial digital actual para la aplicación *Lean* puede suponer un punto clave para su inmersión en el sector. Por ello, se propone el uso de aplicaciones informáticas para sustentar herramientas *Lean*. En los siguientes puntos se analiza:

- Uso de los software de gestión en el ámbito *Lean*.
- Los software de gestión destinada a la herramienta *Last Planner*.
- Análisis de aplicaciones de bajo coste para su uso a pie de obra.
- Aplicación de la herramienta escogida en un caso de estudio.
- Análisis de las ventajas e inconvenientes de la digitalización.

### 4.1 SOFTWARE GESTIÓN DE PROYECTOS

Las nuevas tecnologías evolucionan e invaden la sociedad a ritmos trepidantes. La competencia en el sector informático es enorme y, por ello, hoy en día existen infinidad de programas y aplicaciones destinadas a la gestión de proyectos y a la gestión de personas. Cada vez más la gente demanda herramientas potentes que permitan enlazar datos de manera directa y automática.

Según el estudio de *McGraw Hill Construction* de 2013 (36), más del 51% de las empresas que emplean un software ERP aplican la filosofía *Lean* en sus procesos.



Los sistemas *Enterprise Resource Planning* (ERP) son software de planificación de recursos empresariales. Su finalidad es gestionar de forma integrada y en tiempo real todas las áreas de negocio de una organización como finanzas, gestión de proyectos, producción, marketing, recursos humanos.... De esta manera, la comunicación entre los empleados es más fluida, se facilita la toma de decisiones sustentadas en datos reales, y no en predicciones, y se optimizan procesos, reduciendo costes y aumentando la rentabilidad. Las empresas que buscan una mayor eficiencia emplean un ERP para vincular los datos de sus negocios y proyectos. Algunos de estos software son:



En la Figura 43 se puede ver un salto cualitativo en el que las compañías que tienen nociones de *Lean* no acaban de invertir en este tipo de software, mientras que los que si emplean esta filosofía si apuestan por ello. El tamaño de las empresas es muy significativo ya que, las grandes empresas son las que cuentan con mayores recursos económicos para adaptarse a las nuevas tecnologías y mayor número de personal que se pueda dedicar enteramente a la gestión y análisis de datos.

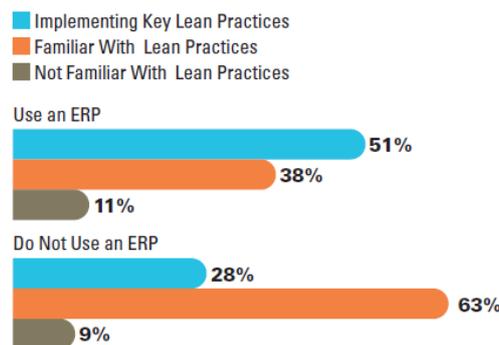


FIGURA 43. USO DE UN SOFTWARE ERP SEGÚN EL NIVEL LEAN EMPLEMENTADO EN UNA ORGANIZACIÓN. DATOS DE 2013.  
 FUENTE: (36)

La digitalización del sector de la construcción se produce sobre todo en fase de diseño. A nivel de oficina es más sencillo el empleo de este tipo de programas ya que el entorno de trabajo es estable, y propicia la organización y la mejora. Sin embargo, la obra aún es muy dependiente del papel, debido sobre todo a la falta de permanencia y compromiso de trabajo in situ por parte de los profesionales, los cuales prefieren trabajar en oficina.

Entre las herramientas del *Lean Construction*, la implementación del Sistema *Last Planner* es de las que tiene una mayor aplicación directa a la obra y por ello en el siguiente apartado se analizará la influencia de su digitalización. Los objetivos de la digitalización por tanto son:

- Sincronización y actualizaciones instantáneas.
- Aprendizaje continuo mediante estadísticas de evolución (Porcentaje de Promesas Cumplidas del equipo (PPC) y de las razones de no cumplimiento de las tareas (RNC))
- Plataforma de comunicación entre agentes. Mayor transparencia en el proceso.
- Información en tiempo real para facilitar la toma de decisiones a corto plazo.

- Modelos de simulación computacional para analizar estrategias de producción futura. Compatibilidad con BIM 4D.
- Control de los recursos humanos, por cada actividad y empresa, que deben estar cada día en la obra.
- Rendimientos reales de cada actividad.
- Detección de las restricciones liberadas.

## 4.2 DIGITALIZACIÓN DEL LPS

Las primeras herramientas de soporte del LPS se dieron a finales de la década de los noventa, con publicaciones de desarrollo de software como respuesta a las limitaciones de las herramientas disponibles hasta entonces. Hasta esa fecha, muchos de los planes de trabajo semanales se preparaban a mano, con lápiz y papel, y se descartaban una vez habían cumplido su propósito (32). Además, guardaban poca relación con la ruta crítica del proyecto y no se utilizaban con el fin de registrar las horas de trabajo o finalización de las tareas.

La aparición de estos nuevos software proponían un almacenamiento sistemático de la información, planes de trabajo, identificación de restricciones, registro del progreso de las actividades y la localización de los recursos que permitieran ejecutarlas.

En el mercado actual hay variabilidad de software de gestión y planificación que se pueden adaptar a técnicas *Lean*. Algunos de estos se destinan o no al sector de la construcción.



Sin embargo, hay otros que se diseñaron para la implementación del Sistema *Last Planner*, como pueden ser los siguientes:



Es cierto que las herramientas digitales de gestión de proyectos han ido evolucionando y refinando sus procesos y aplicaciones con el paso del tiempo sin embargo, nunca se ha llevado la información hasta manos del trabajador de manera abierta y común para todos. Este nuevo concepto de digitalizar permitirá que los trabajadores tengan en sus manos el calendario con lo que se espera de ellos durante la semana, teniendo claro en todo momento que es lo que se precisa de ellos y controlar automáticamente que las predicciones por parte de lo contratista son las correctas.

El objetivo del Sistema *Last Planner* en obra es integrar a los trabajadores en el proceso de planificación de tal manera que sean conscientes del valor de su trabajo y de la pieza que forman en el conjunto de la obra.

Hoy en día, aunque se cuente con ordenadores portátiles muy potentes, la herramienta más común es el teléfono móvil. Cabe destacar que aunque todas las aplicaciones son programas, no todos los programas son aplicaciones. Así pues, este estudio se ha centrado más concretamente en aquellos programas que si disponen de aplicación móvil.

Se ha realizado una búsqueda intensa acerca de las aplicaciones relacionadas con la gestión. Para poder escoger la herramienta más adecuada se han tenido en cuenta una serie de requisitos:

- Asignación de distintas personas a cada tarea
- Idioma de la aplicación
- Fácil uso
- Interfaz intuitiva
- Disponibilidad móvil (*IOS y Android*)
- Visualización en forma de barras
- Tanto por ciento completado de cada actividad
- Conectividad e Integración con otras aplicaciones
- Opciones de exportación
- Opciones de importación
- Coste



De las aplicaciones analizadas, Tabla 4, la finalmente escogida ha sido *Asana* con su correspondiente aplicación de visualización *Instagantt*. *Asana* en su versión gratuita permite incorporar tareas, proyectos y conversaciones ilimitados con hasta 15 miembros. En su versión *Premium*, entre otros, permite:

- Ilimitado número de miembros
- Campos personalizados
- Cronograma
- Fechas de inicio
- Dependencias entre tareas
- Controles del administrador

Además, cuenta con el formato APP y web, lo que hace su uso más cómodo. Respecto al resto de aplicaciones, estas se han descartado por los siguientes motivos:

- TRELLO: Las opciones de importación y exportación son muy limitadas.
- BASECAMP: Aplicación con una interfaz compleja e íntegramente en inglés.
- TEAMGANTT: Aunque la aplicación es muy útil al indicar el % de actividad completada, en su versión gratuita solo permite la implantación de un proyecto y no tiene conectividad con *Asana*.
- WRIKE: Imposibilidad por crear una cuenta de usuario.
- MICROSOFT PLANNER: Acceso gratuito a estudiantes pero es una aplicación de pago. Además, esta es similar a *Asana* con menos funciones.

TABLA 4. APLICACIONES DE GESTIÓN COLABORATIVA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

APLICACIONES DE GESTIÓN COLABORATIVA (MOVIL + WEB)									
LOGO	APP	COSTE		FORMATOS		DIAGRAMAS	IDIOMA	INTERFAZ	CONECTIVIDAD
		GRATUITO	PAGO	IMPORTACIÓN	EXPORTACIÓN				
	TRELLO	SI	~ 5€/mes 1 usuario	-	CSV JSON	NO	ESPAÑOL/INGLÉS	3/5	
	ASANA	SI	5.75€/mes 1 usuario	CSV	CSV JSON	NO	ESPAÑOL	5/5	
	BASECAMP	PRUEBA 30 DIAS	~ 99€/mes ilimitado	-	ENLACE PÚBLICO	NO	INGLÉS	2/5	
	TEAMGANTT	PRUEBA 14 DIAS	~ 40€/mes Hasta 5u	CSV	CSV	SI	INGLÉS	4/5	
	WRIKE	SI	~ 9.8€/mes Hasta 15u	Sin datos	Sin datos	SI	ESPAÑOL	4/5	
	MICROSOFT PLANNER	SI ESTUDIANTES	8.8€/mes 1 usuario	-	CALENDARIO	NO	ESPAÑOL	4/5	

APLICACIONES DE GESTIÓN COLABORATIVA (WEB)									
LOGO	APP	COSTE		FORMATOS		DIAGRAMAS	IDIOMA	INTERFAZ	CONECTIVIDAD
		GRATUITO	PAGO	IMPORTACIÓN	EXPORTACIÓN				
 <b>Instagantt</b>	INSTAGANTT	SI	~7€/mes 1 usuario	ASANA	XLSX	SI	INGLÉS	3/5	

### 4.3 FLUJO DE TRABAJO A RAÍZ DE UN CASO DE ESTUDIO

Una vez analizado el potencial del método LPS, en este apartado se ha optado por poner en práctica la digitalización en un caso de estudio.

La obra objeto se trata de un modelo digital académico de una nave industrial. Cabe destacar que se ha empleado un modelo digital para analizar el beneficio del uso de LPS en un entorno enteramente virtual sin embargo, este método se puede emplear en proyectos tradicionales y emplear herramientas de colaboración para el desarrollo de la gestión de proyectos.

Este modelo, puramente académico, ha sido conformado a partir del curso online en BIM: Metodología y Tecnología, dirigido a alumnos de la Universitat Politècnica de Catalunya del 19 de marzo al 17 de junio de 2018.

#### 4.3.1 DESCRIPCIÓN DEL CASO

El caso a analizar se trata de una nave formada por pilares metálicos y cerchas. Las cerchas tienen los cordones superiores inclinados y sobre ellos se apoyan unas viguetas y la cubierta principal. Además, la nave cuenta con un módulo lateral de sótano más planta baja. El sótano está conformado por cuatro muros y pilares de hormigón que sustentan la losa maciza de la planta baja. En esta planta hay pilares metálicos y sobre ellos un entramado de vigas y viguetas y un forjado de chapa colaborante.

La cubierta principal mide 20 metros de ancho, 30 metros de largo y una altura libre de 6.5 metros. Está formada por 6 zapatas superficiales, 12 pilares metálicos y 6 cerchas celosía. La cubierta a dos aguas, de 12.5 centímetros de grosor, cuenta con 80 viguetas y 20 vigas.

La planta baja y el sótano miden 3 metros de altura cada uno. La planta sótano cuenta con 3 zapatas, 3 pilares y una viga de apeo de hormigón, además de los cuatro muros y la soleira. La planta baja se apoya en una losa maciza y 12 pilares de hormigón. Sobre estos, se apoya un forjado de chapa colaborante con 20 vigas y 20 viguetas.

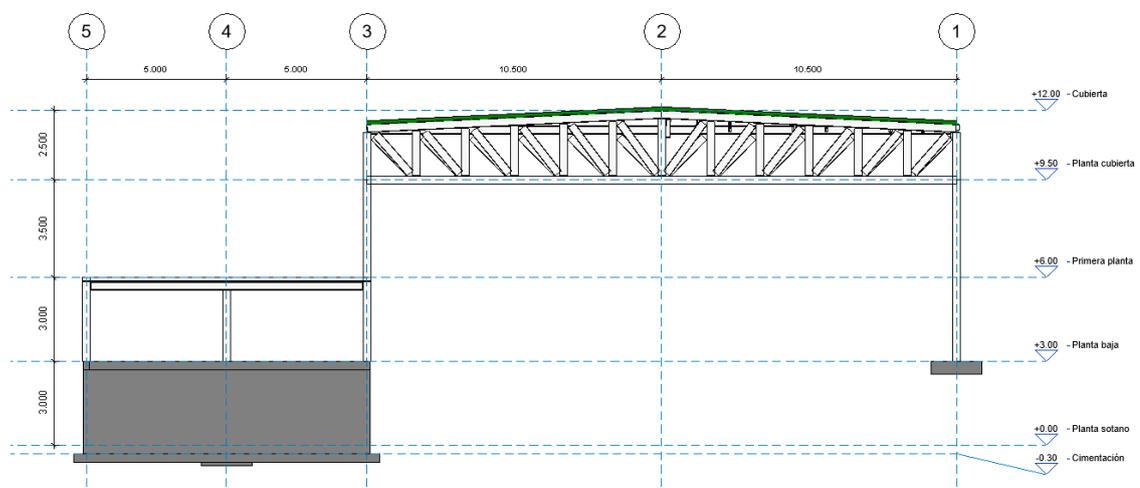


FIGURA 44. ALZADO DE LA NAVE INDUSTRIAL DEL CASO DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

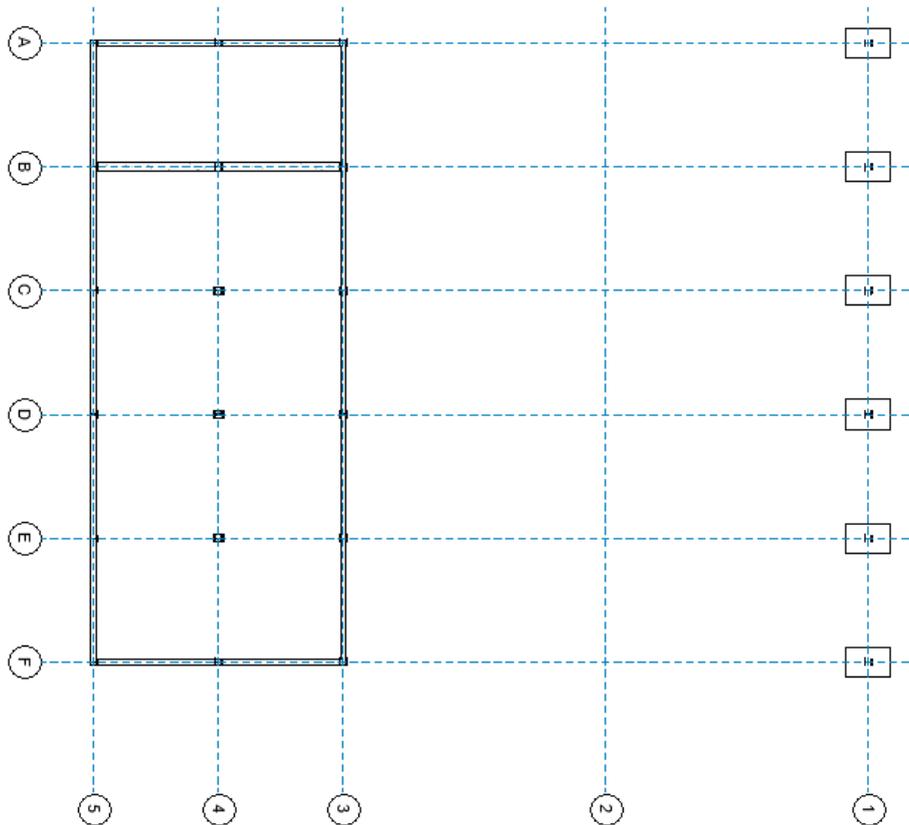


FIGURA 45. PLANTA DE LA NAVE INDUSTRIAL DEL CASO DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para la programación de la fase constructiva se ha optado por programar una pequeña parte de la estructura, en concreto la cubierta principal.

El modelo empleado no estaba destinado a representar el proceso constructivo, por esta razón, se ha tenido que adaptar su geometría para asignar las actividades de obra adecuadamente.

#### 4.3.2 FASES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Para la elaboración de este caso de uso se ha optado por dividir el proceso constructivo en cinco fases. De tal manera que únicamente se analizará la última de ellas, la construcción de la cubierta principal.

FASE 1: Construcción de cimentaciones y muros

- Excavación.
- Construcción de zapatas.
- Construcción de muros pantalla.
- Petición de estructura metálica.

FASE2: Construcción de la planta sótano

- Construcción de la solera.

- Construcción de los pilares de hormigón.
- Construcción del forjado.

FASE 3: Construcción de la planta baja

- Construcción de los pilares metálicos de la planta baja.
- Construcción de las viguetas de la planta baja.
- Construcción del forjado.

FASE 4: Construcción de los pilares y cerchas de la nave central

- Izado de pilares.
- Colocación de cerchas.

FASE 5: Construcción de las viguetas y la cubierta

- Construcción de correas y vigas.
- Colocación de la cubierta.
- Impermeabilización.
- Acabados.
- Entrega de la obra al promotor.

En una primera estimación las actividades y duraciones de esta fase de obra se presentan en la Figura 46, junto con el diagrama de red.

TABLA 5. ACTIVIDADES DE LA FASE 5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

	ACTIVIDAD	DURACIÓN	PREDECESORA
1	Protecciones colectivas	15 días	
2	Colocación de correas	25 días	2
3	Colocación de forro interior	10 días	3
4	Colocación de forro superior	20 días	4
5	Impermeabilización	21 días	5
6	Retirada de protecciones	5 días	6
7	Acabados	10 días	7

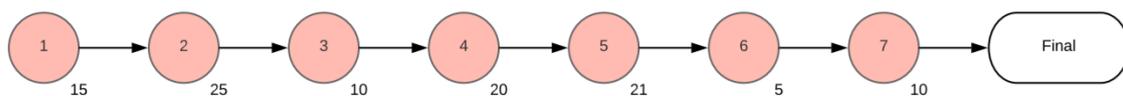


FIGURA 46. DIAGRAMA DE RED DE LAS ACTIVIDADES DE LA FASE 5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Es muy importante tener el diagrama de red presente para futuras modificaciones en el plan y verificar el cumplimiento de las actividades predecesoras. Señalar también que en este caso de estudio no se han tenido en cuenta recursos para simplificar el procedimiento.

### 4.3.3 FLUJO DE TRABAJO

El flujo de trabajo de la herramienta *Last Planner* es el que se representa en la Figura 47. En este caso de estudio se ha pretendido emplear herramientas de gestión intuitivas, de fácil uso y con acceso directo a los subcontratistas.

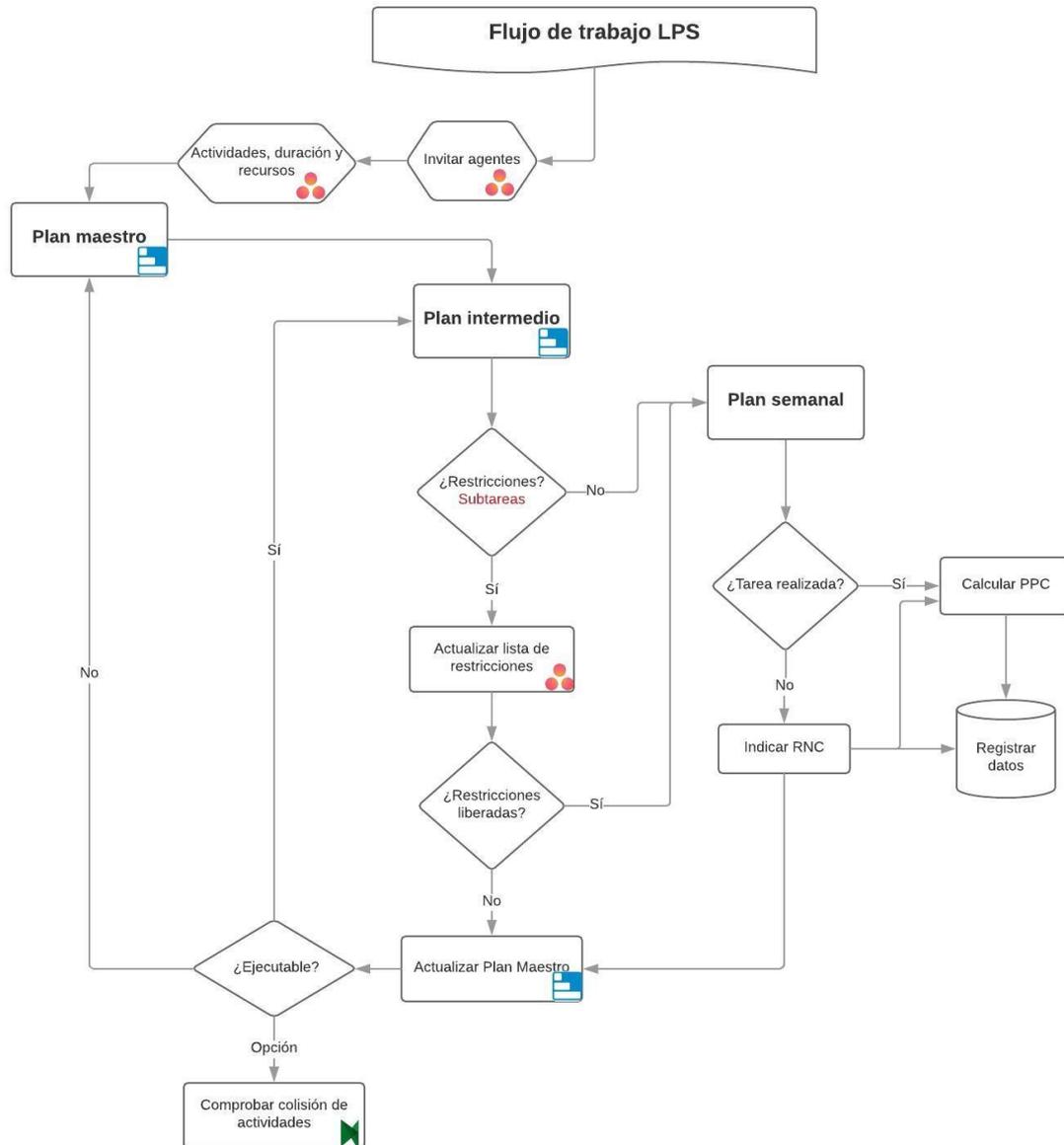


FIGURA 47. DIAGRAMA DEL FLUJO DE TRABAJO DE LA APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA LPS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como se puede ver, el flujo de trabajo es muy similar al convencional. La diferencia radica en que la preparación de las tareas y su asignación se recomienda hacer antes de la reunión del Plan Maestro. Así, la reunión puede empezar de manera más dinámica. En cambio con el método papel, es en la misma reunión donde se preparan las notas adhesivas, con el objetivo de seguir un mismo formato. Por otro lado, ante la planificación del plan maestro se puede verificar si este es ejecutable mediante una herramienta de visualización 3D donde comprobar si su ejecución es viable. A continuación se describen los pasos adoptados y los resultados obtenidos.

Las fases de preparación se deben realizar mediante la aplicación web ya que cuenta con más funciones y su manejo es más sencillo. En cambio, para la fase de seguimiento, se puede emplear la aplicación móvil para marcar la actividad como finalizada, modificar la fecha final o enviar comentarios a otros agentes que participen en el proyecto.

▪ **PASO 00:** Exportar planificación.

En caso de tener una primera aproximación de las actividades del proyecto y su duración en un software de gestión tipo *Microsoft Project*, se deberá exportar dicha planificación a un formato .csv para realizar la importación a *Asana*. Será importante que el archivo .csv esté delimitado por comas para que la aplicación pueda identificar las distintas columnas. Los principales datos a exportar son: Nombre de la tarea, Duración, Comienzo, Fin y Predecesores.

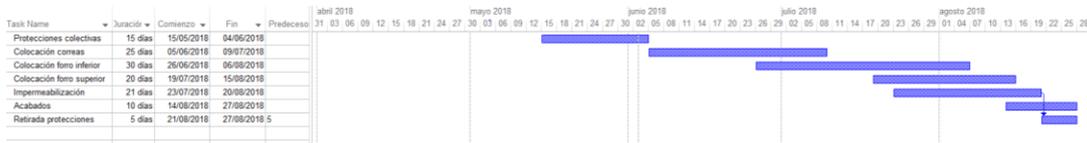
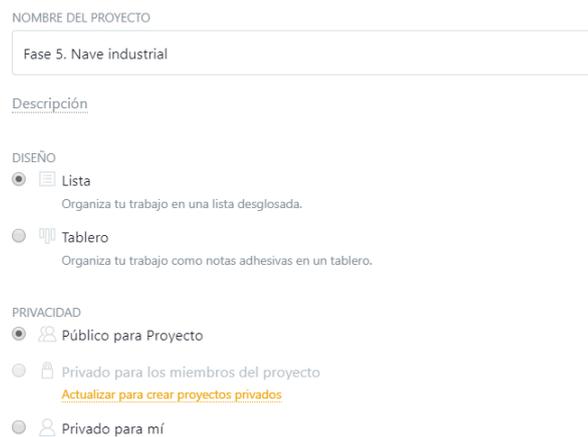


FIGURA 48. PRIMERA ESTIMACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DESDE MICROSOFT PROJECT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

▪ **PASO 01:** Crear el proyecto en la aplicación *Asana*.

Se pueden crear dos tipos de proyectos, diseño por lista o por tablero y este puede ser de carácter público o privado. En este caso se ha optado por crear un nuevo proyecto por lista y público denominado 'Fase 5: Nave industrial'



NOMBRE DEL PROYECTO  
 Fase 5. Nave industrial

Descripción

DISEÑO  
 Lista  
 Organiza tu trabajo en una lista desglosada.  
 Tablero  
 Organiza tu trabajo como notas adhesivas en un tablero.

PRIVACIDAD  
 Público para Proyecto  
 Privado para los miembros del proyecto  
[Actualizar para crear proyectos privados](#)  
 Privado para mí

FIGURA 49. CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO EN ASANA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La diferencia entre lista o tablero reside en la visualización de las tareas. En el modo lista, las tareas aparecen en forma de listado y se pueden visualizar por tareas finalizadas, tareas sin finalizar o toda las tareas. En cambio, con el formato tablero, se pueden personalizar las clasificaciones de las tareas y se generan en forma de tarjetas (Ejemplo: Tareas Fase 1, Tareas Fase 2...).

▪ **PASO 02:** Invitar a los participantes al proyecto.

Para enviar una invitación de unión a un proyecto se debe insertar una dirección de correo electrónico. Al aceptar la invitación es necesario crear una cuenta. Si no se crea cuenta no se podrá acceder a la información del proyecto pero sí se recibirán actualizaciones de los cambios realizados por otros participantes en el mismo.



FIGURA 50. PROYECTO COMPARTIDO ENTRE DISTINTOS MIEMBROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Es importante que el encargado del proyecto limite el acceso a los subcontratistas para que no puedan visualizar todos los proyectos que está gestionando. Si el acceso es ilimitado, se pueden ver todos los proyectos, y si el acceso es limitado solo se pueden ver las tareas asignadas a uno mismo. Por ello, además de invitar a los participantes, se debe compartir el proyecto para que puedan acceder a toda la información relacionado con él y o solo a las actividades que se les han sido asignadas. Con la versión Premium se pueden restringir los permisos de edición. Los contratistas incluidos en esta fase son los siguientes:

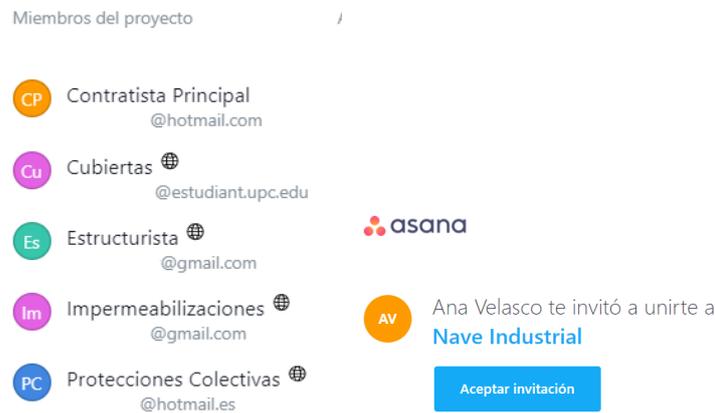


FIGURA 51. PARTICIPANTES EN EL CASO DE USO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Por otro lado, es recomendable desactivar las notificaciones de correo al menos durante el proceso de elaboración ya que cada cambio supone un aviso y el email queda saturado.

- **PASO 03:** Carga de las actividades o tareas generales en la plataforma.
  - En caso de importar las actividades desde un archivo .csv se debe tener en cuenta que *Asana* solo lee el nombre de la actividad.
    - No detecta el formato de fecha de Project
    - No acepta la introducción de fecha de inicio (Función Premium)
    - No detecta predecesores (Función Premium)

Así pues, la opción más rápida es crear las actividades directamente en la aplicación. Aunque una vez importadas las actividades no se detecten correctamente todos los datos, estos quedan especificados en el campo de descripción de cada actividad.

- **PASO 04:** Asignación de actividades a los distintos agentes.

✓ Entrega cliente	28 ago	CP
✓ Protecciones colectivas	Mañana	PC >
✓ Colocación correas	9 jul	Es >
✓ Colocación forro inferior	6 ago	Cu >
✓ Colocación forro superior	15 ago	Cu >
✓ Impermeabilización	20 ago	Im >
✓ Acabados	27 ago	CP >
✓ Retirada protecciones	27 ago	PC >

FIGURA 52. ACTIVIDADES ASIGNADAS A LOS DISTINTOS AGENTES Y LA FECHA DE ENTREGA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La asignación de las taras es muy intuitiva ya que en cada actividad aparece un campo donde especificar el responsable de la misma. Además se pueden añadir etiquetas para tener una clasificación más rigurosa (Ejemplo: #zona1, #zona2...).

- **PASO 05:** Indicar la duración estimada y los recursos necesarios en la descripción de cada tarea.
- **PASO 06:** Realizar la programación del Plan Maestro.

Para la realización del plan se debe acceder desde el navegador a la aplicación *Instagantt* y el facilitador debe sincronizarlo con *Asana*. Es un proceso sencillo y directo que no genera ninguna traba. Una vez definidas las actividades y determinado la fecha final se empieza a construir el plan en la *Pull Session*.

En este caso la programación no se ha elaborado colaborativamente al tratarse de un caso hipotético. Sin embargo, se ha tratado de optimizar al máximo el plan. Por ello, después de una primera aproximación y teniendo en cuenta que el diagrama de flujo es lineal, se ha optado por dividir la cubierta en zonas y realizar actividades de manera simultánea reduciendo así la duración de la Fase.

La estructura está formada por 5 vanos así que se propone dividir la cubierta en tres secciones, dos de dos vanos y una de un vano. Realizando las combinaciones '1-2-2', '2-2-1' y '2-1-2' se ha optado por construir la cubierta con la secuencia '1-2-2', ya que el resto tenían una duración mayor y habían más periodos de inactividad por esperas.

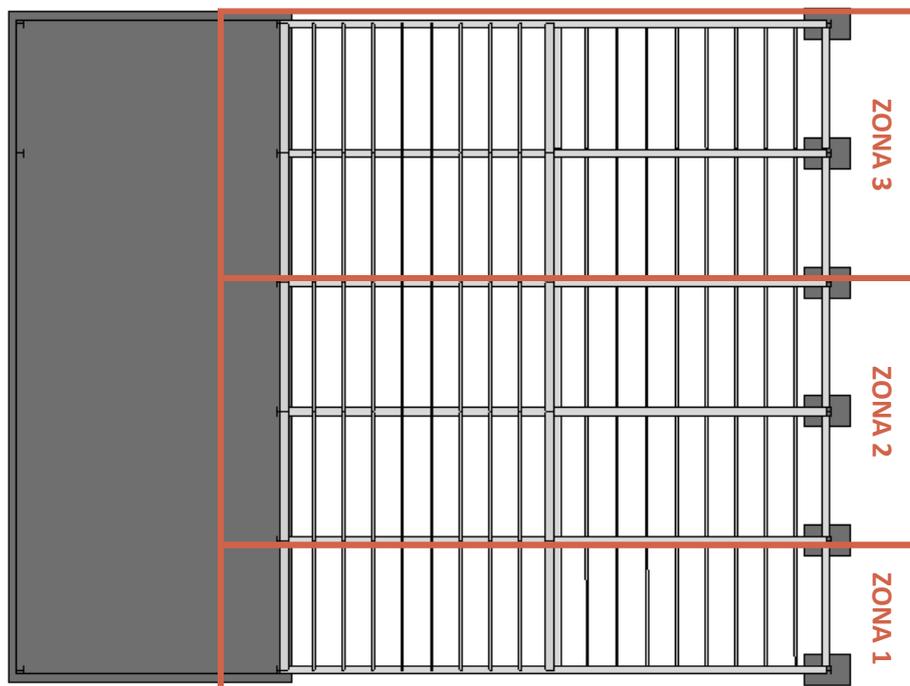


FIGURA 53. DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE LA CUBIERTA. VISTA EN PLANTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 6. ACTIVIDADES DE LA FASE 5 DESGLOSADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ACTIVIDAD	NOMBRE ASANA	DURACIÓN	PREDECESORA
1	Protecciones colectivas	15 días	
2	Colocación de correas Zona 1	5 días	1
3	Colocación de correas Zona 2	10 días	2
4	Colocación de correas Zona 3	10 días	3
5	Colocación cubierta Zona 1	6 días	2
6	Colocación cubierta Zona 2	12 días	3; 5
7	Colocación cubierta Zona 3	12 días	4; 6
8	Impermeabilización Zona 1 y Zona 2	12 días	5
9	Impermeabilización Zona 3	8 días	7; 8
10	Retirada de protecciones	5 días	9
11	Acabados	10 días	10

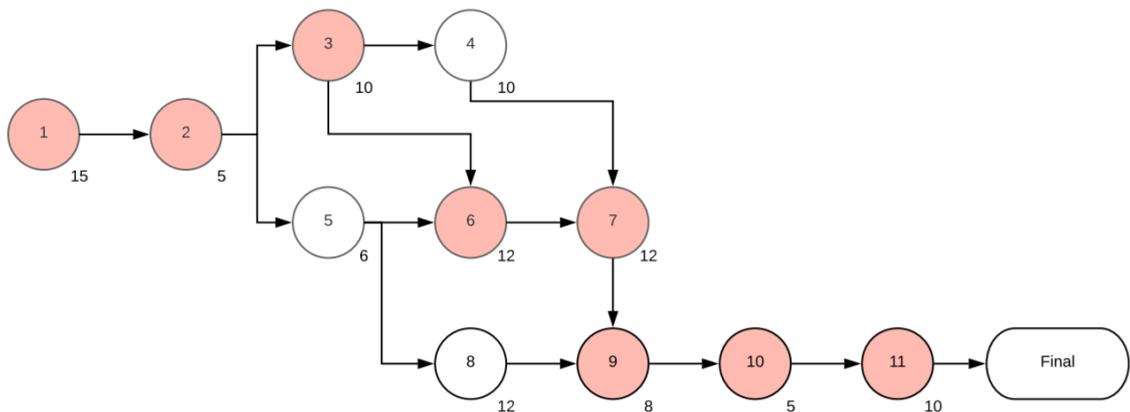


FIGURA 54. DIAGRAMA DE RED DE LAS ACTIVIDADES DE LA FASE 5 DESGLOSADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Así, desde *Instagantt* se pueden generar y asignar directamente las nuevas actividades. Una vez asignadas se puede proceder a iniciar la planificación de nuevo ya que estas se actualizan automáticamente en *Asana*. Comentar que en la versión Premium de *Asana* también hay disponible un cronograma con la estructura que se muestra a continuación.

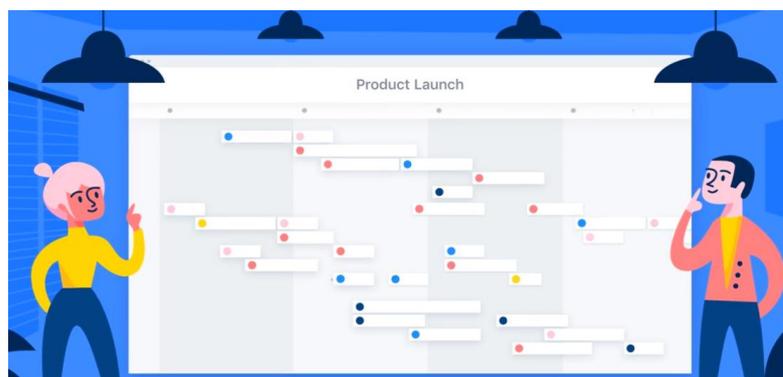


FIGURA 55. CRONOGRAMA DISPONIBLE EN LA VERSIÓN PREMIUM DE ASANA. FUENTE: APLICACIÓN WEB ASANA

En la Figura 56 se representa la programación obtenida y el camino crítico, el cual se debe verificar mediante el diagrama de red antes planteado. En la Figura 57 se observan las tareas divididas por contratista. En este punto se debe verificar que hay continuidad en un mismo bloque de tareas para no generar intervalos de trabajo en un mismo agente.

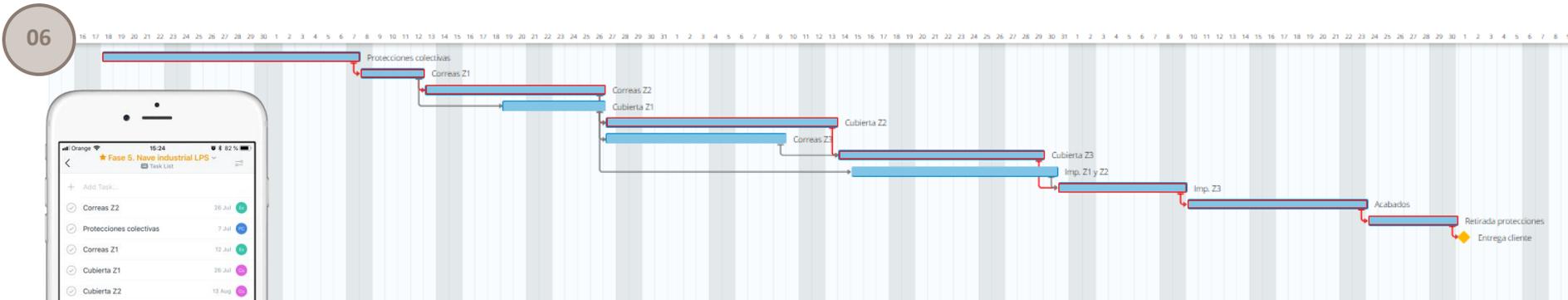


FIGURA 56. RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN DEL PLAN MAESTRO. DIAGRAMA DE GANTT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

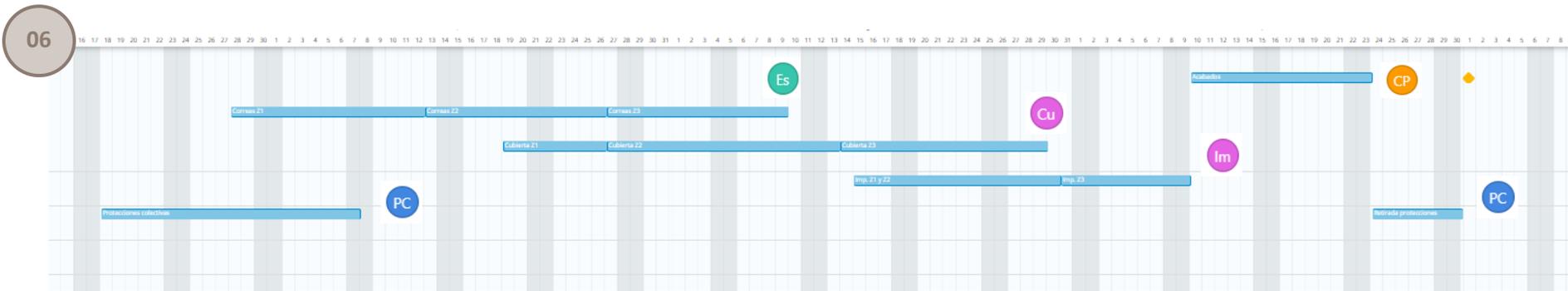


FIGURA 57. RESULTADO DE LA PLANIFICACIÓN DEL PLAN MAESTRO SEGÚN EL TIPO DE AGENTE ENCARGADO DE LA TAREA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- **PASO 07:** Definir el Plan Intermedio.  
 Llegados a este punto, donde el Plan Maestro está definido, se debe identificar la ventana de tiempo de seis semanas, Figura 58, a analizar.
- **PASO 08:** Detectar Restricciones.  
 Para la inclusión de las restricciones en el plan se ha optado por introducirlas como sub-tareas y asignar un responsable para cada una de ellas, el cual no tiene que ser el mismo que el ejecutor de la tarea principal. En la siguiente tabla se indican las restricciones que se han detectado en este caso de uso.

TABLA 7. RESTRICCIONES DE ALGUNAS TAREAS DEL PLAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TAREA	RESTRICCIÓN	RESPONSABLE
2	Pedido de material	Estructurista
2	Transporte de material	Estructurista
2	Zona de acopio cubierta	C. Principal
5	Certificado cubierta	Cubierta
5	Acopio material	Cubierta
6	Reposición de material	Cubierta
6	Limpieza zona de trabajo	C. Principal

Como se puede ver en la Figura 59, la actividad 'Cubiertas Z1' cuenta con una duración mayor que la prevista en el Plan Maestro. Esta duración se debe a que la actividad absorbe las restricciones que se deben solventar para su ejecución, de tal manera que estas restricciones también forman parte de la propia actividad. Cuando las restricciones están liberadas la barra cambia de color azul a un azul más intenso, de manera que visualmente es más sencillo de identificar si la actividad es ejecutable o no.

Una vez definidas las restricciones se puede avanzar hacia la siguiente ventana de tiempo para analizar las nuevas restricciones que se pueden presentar, Figura 60. A su vez, se van completando las anteriores a medida que el plan se pone en marcha, Figura 61. Esta programación solo es visible desde *Instagannt* desde *Asana* solo se ven las tareas a realizar.

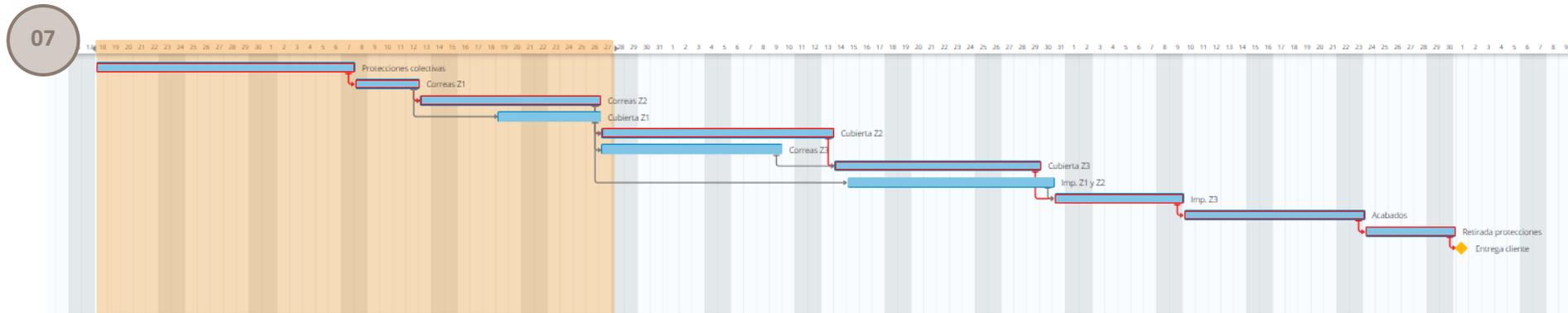


FIGURA 58. IDENTIFICACIÓN DE LA VENTANA DE TIEMPO PARA LA PROGRAMACIÓN DEL PLAN INTERMEDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

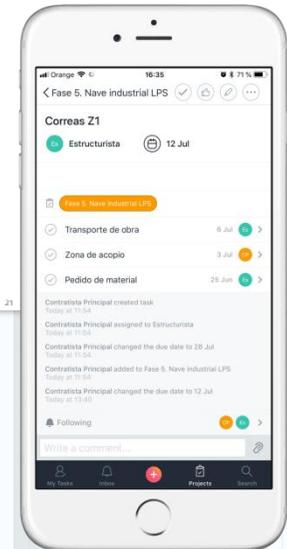
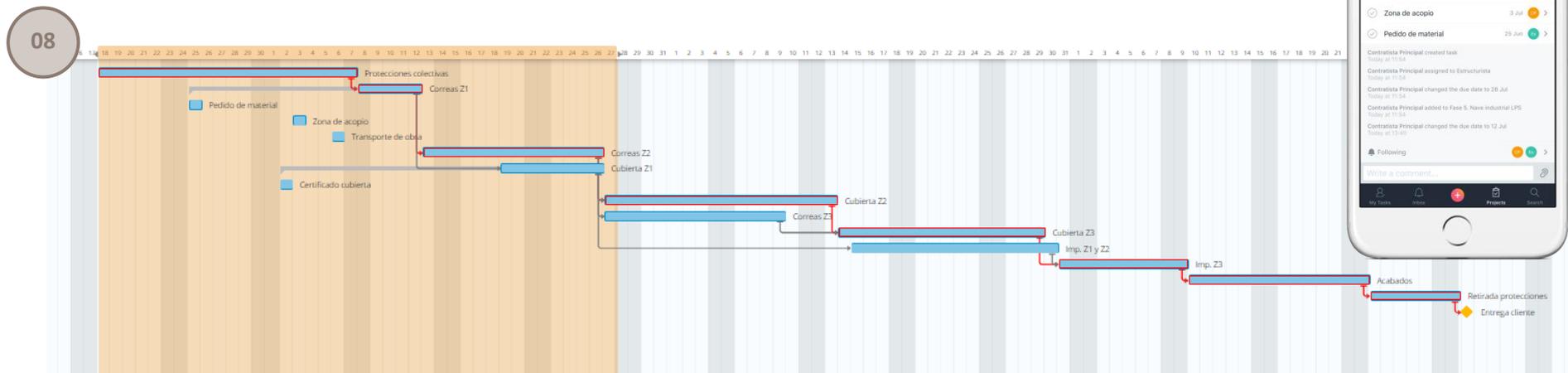
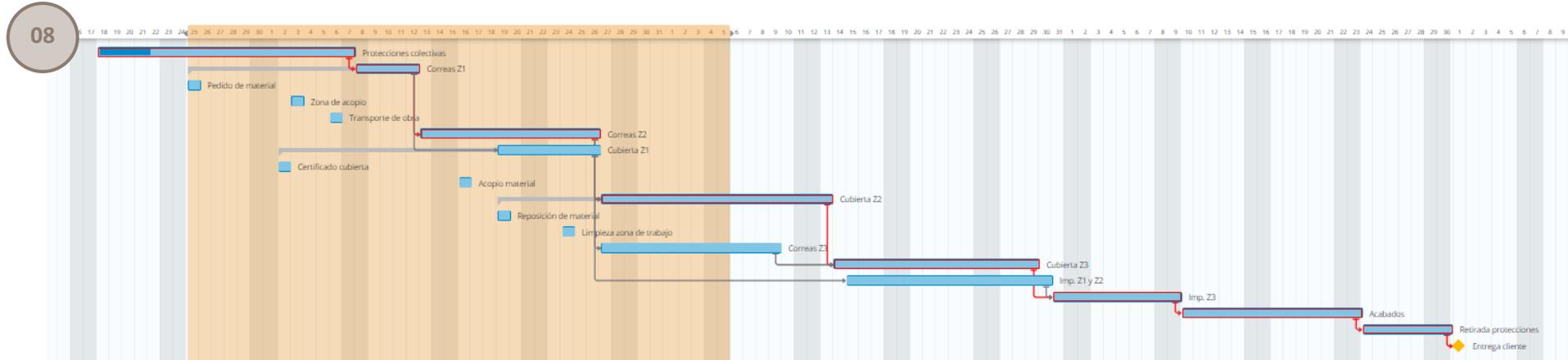
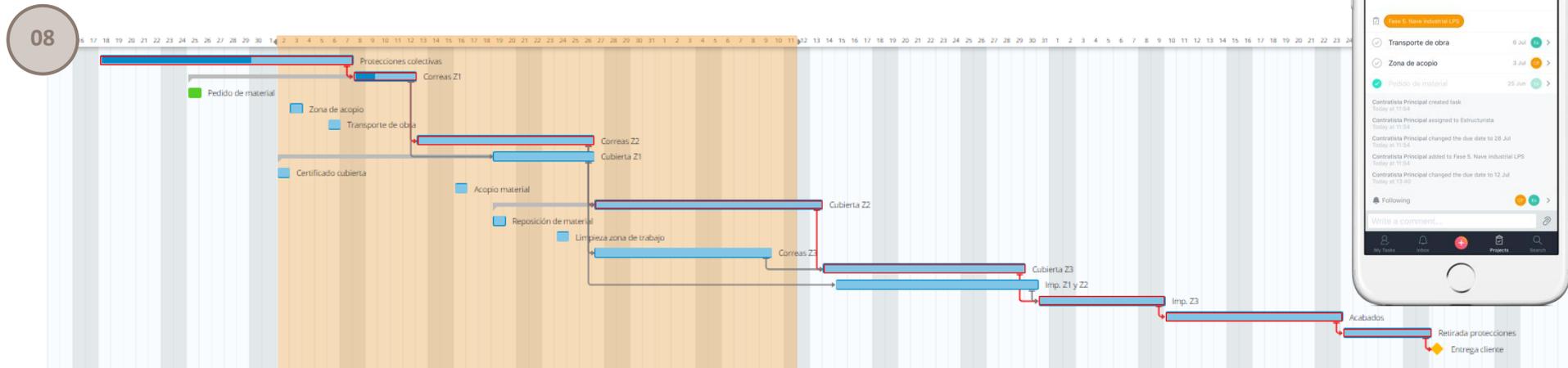


FIGURA 59. DETERMINACIÓN DE LAS RESTRICCIONES DE LAS ACTIVIDADES DENTRO DE LAS PRÓXIMAS 6 SEMANAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**FIGURA 60. REUNIÓN SEMANAL CON VISTAS A LA SIGUIENTE VENTANA DE SEIS SEMANAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**



**FIGURA 61. FINALIZACIÓN DE TAREAS DESDE LA APLICACIÓN MÓVIL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

▪ **PASO 09:** Comprobar la efectividad del plan.

En caso de contar con un modelo desarrollado en un software BIM se puede realizar una comprobación de la planificación. En este caso, se cuenta con un modelo diseñado en *Autodesk Revit* y por lo tanto, se emplea el programa *Autodesk Navisworks* para su representación gráfica. El diseño virtual y la gestión enlazados puede ofrecer grandes beneficios al poder testear la planificación para comprobar que la programación de las actividades es compatible.

Como se ha comentado anteriormente, *Asana* en su versión gratuita no permite introducir una fecha de inicio por lo tanto no se puede acotar la actividad. Así pues, se debe exportar la planificación desde *Instagantt*. Esta aplicación solo exporta en formato .xlsm por lo tanto se debe convertir a un archivo con extensión .csv previamente. Para ello, es muy importante eliminar la primera fila del archivo .xlsm.

Project Tasks											
Id	Level	Name	Progress	Start	Due	User	Completion Date	Estimated Hours	Baseline: Start Date	Baseline: Due Date	
7.1E+14	1	Protecciones colectivas	100%	18/06/2018	07/07/2018	Protecciones Colectivas	11/06/2018		18/06/2018	07/07/2018	
7.1E+14	1	Correas Z1	100%	08/07/2018	12/07/2018	Estructurista			08/07/2018	12/07/2018	
7.1E+14	2	Pedido de material	100%	25/06/2018	25/06/2018	Estructurista	12/06/2018		25/06/2018	25/06/2018	
7.1E+14	2	Zona de acopio	100%	03/07/2018	03/07/2018	Contratista Principal	11/06/2018		03/07/2018	03/07/2018	
7.1E+14	2	Transporte de obra	100%	06/07/2018	06/07/2018	Estructurista	12/06/2018		06/07/2018	06/07/2018	
7.1E+14	1	Correas Z2		13/07/2018	26/07/2018	Estructurista			13/07/2018	26/07/2018	
7.1E+14	1	Cubierta Z1	0%	19/07/2018	26/07/2018	Cubiertas			19/07/2018	26/07/2018	
7.1E+14	2	Certificado cubierta	0%	02/07/2018	02/07/2018	Cubiertas			02/07/2018	02/07/2018	
7.1E+14	2	Acopio material	0%	16/07/2018	16/07/2018	Cubiertas			16/07/2018	16/07/2018	
7.1E+14	1	Cubierta Z2	0%	27/07/2018	13/08/2018	Cubiertas			27/07/2018	13/08/2018	
7.1E+14	2	Reposición de material	0%	19/07/2018	19/07/2018	Cubiertas			19/07/2018	19/07/2018	
7.1E+14	2	Limpieza zona de trabajo	0%	24/07/2018	24/07/2018	Contratista Principal			24/07/2018	24/07/2018	
7.1E+14	1	Correas Z3		27/07/2018	09/08/2018	Estructurista			27/07/2018	09/08/2018	
7.1E+14	1	Cubierta Z3		14/08/2018	29/08/2018	Cubiertas			14/08/2018	29/08/2018	
7.1E+14	1	Imp. Z1 y Z2		15/08/2018	30/08/2018	Impermeabilizaciones			15/08/2018	30/08/2018	
7.1E+14	1	Imp. Z3		31/08/2018	09/09/2018	Impermeabilizaciones			31/08/2018	09/09/2018	
7.1E+14	1	Acabados		10/09/2018	23/09/2018	Contratista Principal			10/09/2018	23/09/2018	
7.1E+14	1	Retirada protecciones		24/09/2018	30/09/2018	Protecciones Colectivas			24/09/2018	30/09/2018	
7.1E+14	1	Entrega cliente		01/10/2018	01/10/2018	Contratista Principal			01/10/2018	01/10/2018	

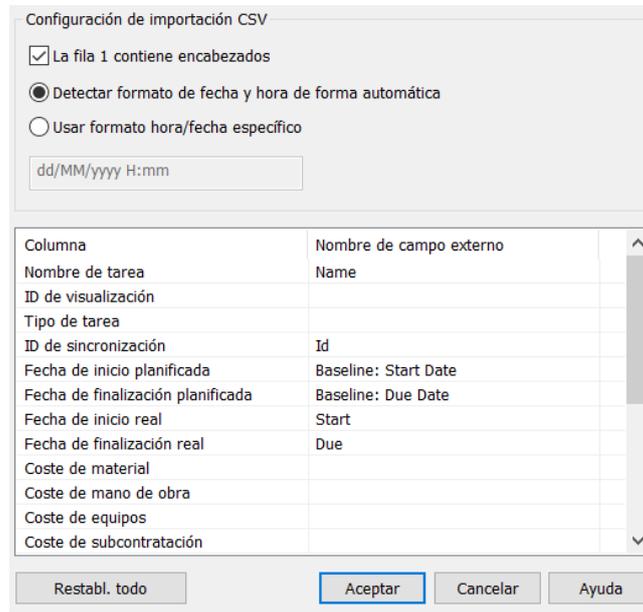
FIGURA 62. ARCHIVO EXTRAIDO DESDE LA APLICACIÓN INSTAGANTT. FUENTE: ELBORACIÓN PROPIA

A continuación se convierte el archivo a .csv (con comas). La importación a *Navisworks* no genera ningún problema, se deben relacionar los campos de ambos programas. Para ello, en la siguiente figura se describe el significado de cada una de las columnas de *Instagantt*.

TABLA 8. DEFINICIÓN DE LOS CAMPOS EXPORTADOS DE LA APLICACIÓN INSTAGANTT. FUENTE: ELBORACIÓN PROPIA

INSTAGANTT	
Name	Nombre de la actividad
Id	Número de identificación de cada tarea
Baseline: Start Date	Fecha estimada inicial programada
Baseline: Due date	Fecha estimada final programada
Start	Inicio estimado de la tarea según el avance de las tareas predecesoras
Due	Final estimado de la tarea
User	Usuario identificado asociado a la tarea
Level	Nivel de la tarea. Indica si la tarea se trata de una subtarea o de una tarea principal
Progress	Tanto por ciento de tarea completada
Completion date	Fecha en la que se indica que se ha finalizado la actividad
Estimated hours	Tiempo estimado en horas

Ahora sí, para coordinar los datos con *Navisworks*, al importar el archivo se deben indicar los campos de las columnas de la siguiente manera:



Configuración de importación CSV

La fila 1 contiene encabezados

Detectar formato de fecha y hora de forma automática

Usar formato hora/fecha específico

dd/MM/yyyy H:mm

Columna	Nombre de campo externo
Nombre de tarea	Name
ID de visualización	
Tipo de tarea	
ID de sincronización	Id
Fecha de inicio planificada	Baseline: Start Date
Fecha de finalización planificada	Baseline: Due Date
Fecha de inicio real	Start
Fecha de finalización real	Due
Coste de material	
Coste de mano de obra	
Coste de equipos	
Coste de subcontratación	

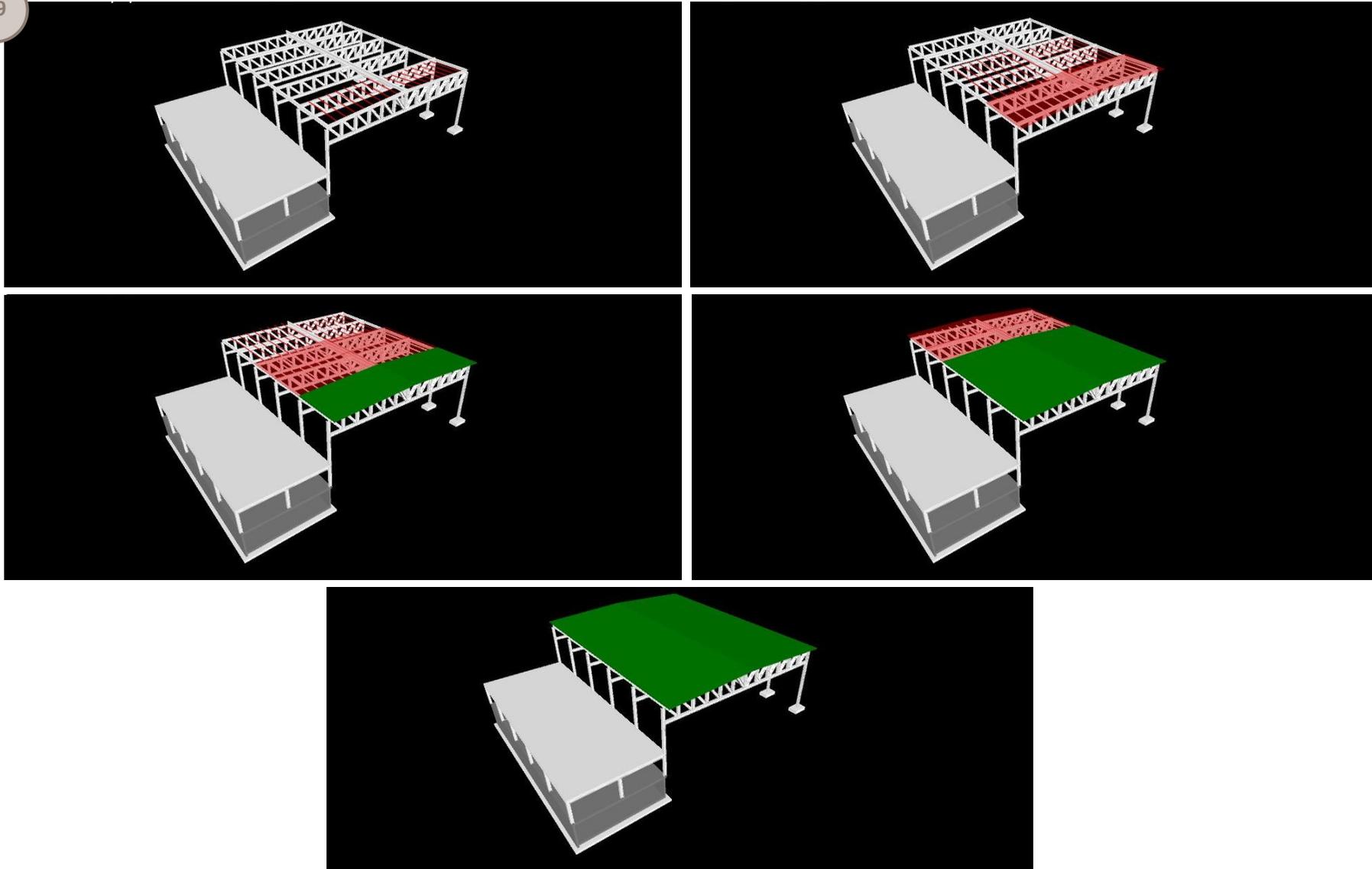
Restabl. todo    **Aceptar**    Cancelar    Ayuda

**FIGURA 63. RELACIÓN DE CAMPOS ENTRE NAVISWORKS E INSTAGANTT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

Por último, desde *Naviswork* se debe asignar a cada tarea los elementos del modelo e indicar si se trata de demolición, temporal o construcción. Es primordial relacionar el ID de sincronización con el Id de *Instagantt* para mantener la asignación de los elementos del modelo en caso de modificaciones en el plan desde el archivo externo.

A continuación, se muestra el avance de la Fase 5 según la planificación obtenida en el Plan Intermedio.

09



▪ **PASO 10:** Seguimiento y control de la planificación.

Antes de avanzar en la planificación es muy útil guardarla como planificación base (*Baseline*) para poder tener un punto de referencia con respecto a las modificaciones que se vayan ir produciendo. En este punto, para simular un avance, se ha tomado el día 24 de la planificación.

Desde la aplicación móvil se puede indicar la finalización de una tarea marcando el tic, como se puede ver en la Figura 64. De esta manera, en la Figura 68 se puede ver como en la planificación, esta actividad se indica como completada al cambiar de azul a verde. Lo mismo sucede si se van completando las restricciones de las tareas, representados como pequeños hitos. Como se ha comentado, cuando la actividad pasa de azul claro a azul oscuro es señal de que esa tarea se ha liberado ya que las restricciones se han solventado.



FIGURA 64. ACTIVIDAD COMPLETADA DESDE ASANA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La Figura 65 se trata de la visualización de la aplicación *Asana* desde el punto de vista de los agentes del proyecto, en este caso el Estructurista. Este, desde *Mis tareas*, puede visualizar todas las actividades que tiene asignadas, tanto las principales como las restricciones que debe cumplir. Además puede seguir un control de las actualizaciones y cambios del proyecto ya que, se reciben notificaciones de ello en la misma aplicación.

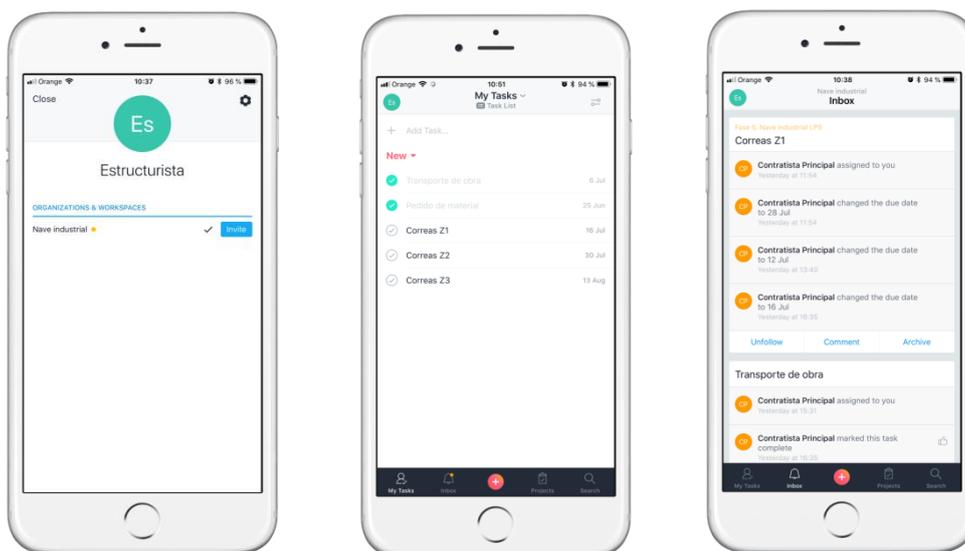


FIGURA 65. VISUALIZACIÓN DE LA APLICACIÓN POR UNO DE LOS AGENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En caso de que este agente prevea un retraso en la finalización de una de sus tareas, por ejemplo, un retraso del 12 de julio al 16, este puede modificar la fecha desde la aplicación. De esta manera, en la planificación de *Instagantt*, Figura 69, se modifica la duración de esta tarea.

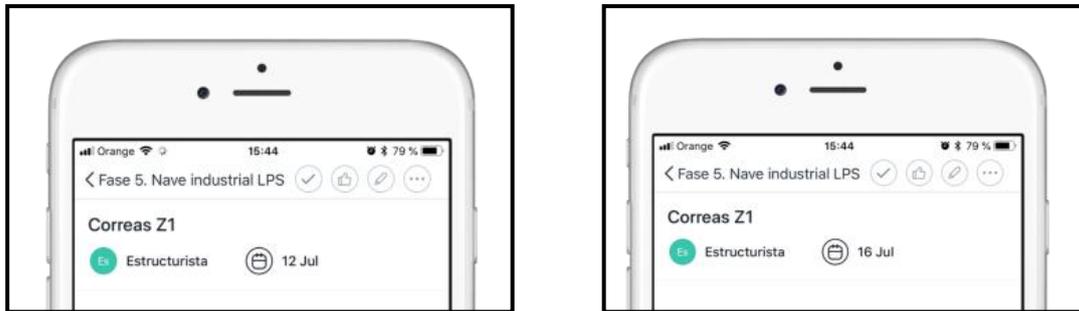


FIGURA 66. MODIFICACIÓN DE LA FECHA FINAL DE EJECUCIÓN DE UNA TAREA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Además, *Instagantt* detecta que ha habido una modificación en el plan y pregunta si se desea reprogramar las tareas dependientes automáticamente o revisarlo manualmente. Así, en el caso reprogramar la planificación como sugiera *Instagantt*, en *Asana* se modifican las fechas de finalización de acuerdo con el plan, Figura 67. De este modo, todos los agentes pueden estar al corriente de las modificaciones realizadas.

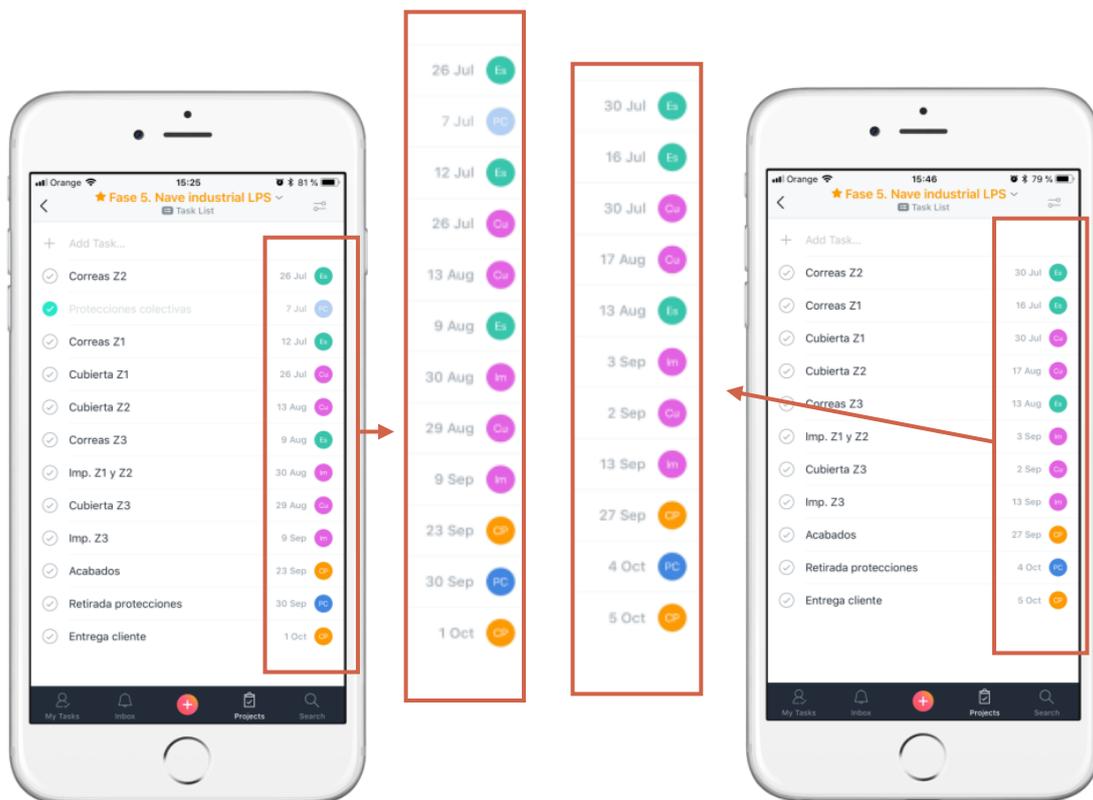
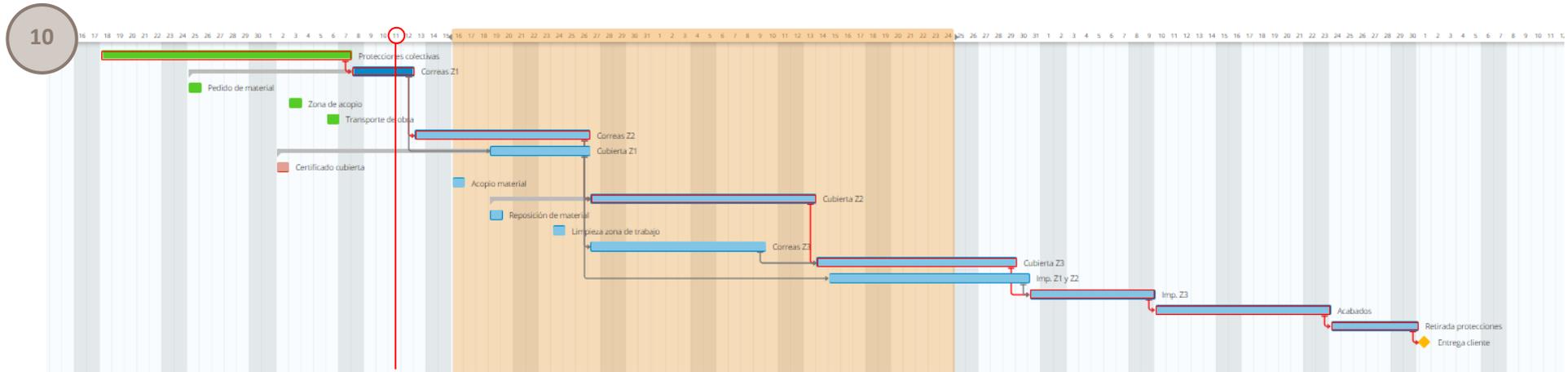
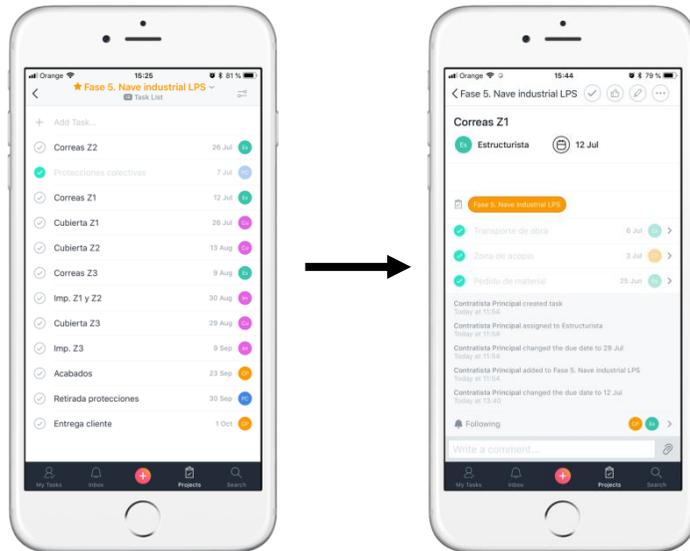


FIGURA 67. ACTUALIZACIÓN DE LA FECHA FINAL AL MODIFICAR UNA ACTIVIDAD PREVIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**FIGURA 68. AVANCE Y SEGUIMIENTO DE LA PLANIFICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**



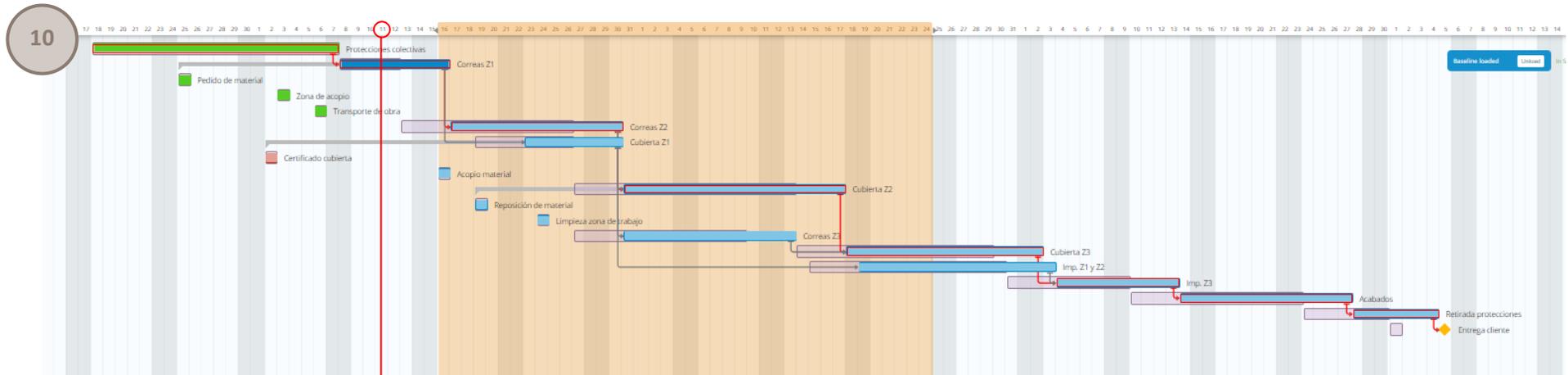
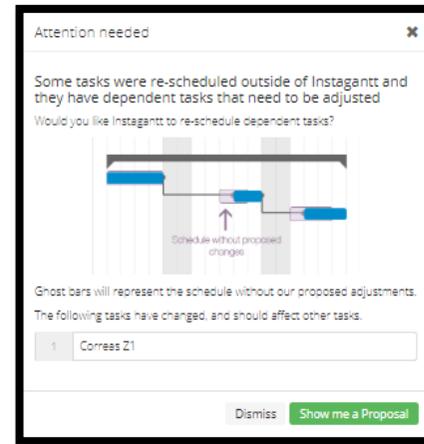
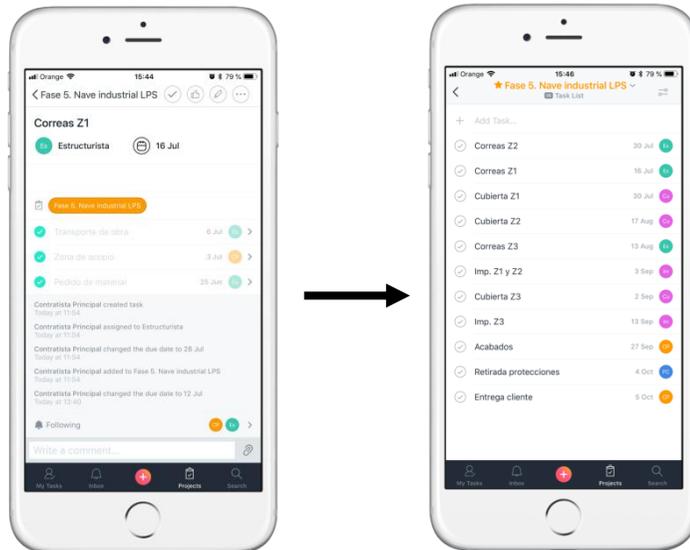


FIGURA 69. RETRASO DE UNA TAREA Y COMPARACIÓN CON EL PLAN INICIAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**Atención**

*Algunas tareas se han reprogramado fuera de Instagantt y tienen una relación de dependencia que necesita ser ajustada.*

*Te gustaría que Instagantt reprogramase las tareas dependientes?*



#### 4.3.4 RESULTADOS

A partir de este caso de estudio se ha podido comprobar el potencial de las aplicaciones móviles y web a pequeña escala. Si bien es cierto que existen software con una gran capacidad de análisis y control, mediante estas aplicaciones se pueden controlar las tareas de manera más cercana y con una mayor comunicación con contratista y subcontratista, como se ha dicho en el marco teórico, los últimos planificadores.

Sin embargo, estas aplicaciones, aunque permitan descargar la última versión de la planificación del proceso constructivo final respecto a la predicha en un inicio, no almacena ni recoge las razones de no cumplimiento ni el porcentaje de plan completado.

No se ha encontrado una opción para representar el Plan semanal, punto clave en el desarrollo de la metodología. Con lo que el potencial de las aplicaciones con respecto a la interacción directa con los agentes, pierde fuerza al no poder participar de la mejora continua. Así pues, es recomendable emplear un software más especializado, como los comentados (*Cocoplan*, *Impera* o *vPlanner*) para sacar el máximo rendimiento al Sistema Last Planner.

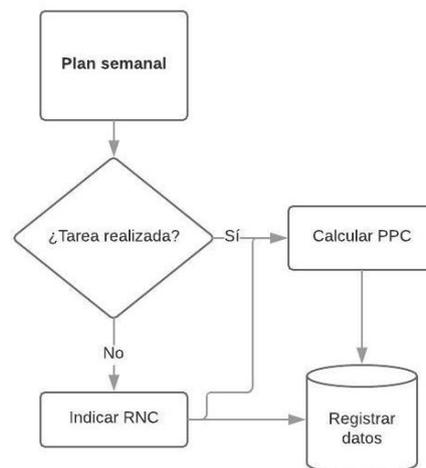


FIGURA 70. FLUJO DE TRABAJO DEL PLAN SEMANAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Por otro lado, se ha comprobado la dificultad de enlazar una programación externa en un programa de visualización 3D. Esta herramienta tiene un gran potencial al poder representar el avance de la obra de manera virtual, pero la coordinación entre archivos aún no es fluida y el sistema de planificación interno de este programa no es tan sofisticado como otros (el software de visualización empleado cuenta con una programación demasiado simple). Sin embargo, su automatización podría ser un punto clave en las reuniones del Plan Maestro donde directamente se podrían ir verificando las tareas de manera visual.

Se concluye pues, que existen herramientas útiles que funcionan a la hora de realizar una programación colaborativa como es el *Last Planner* y de forma gratuita, a pesar de no resolver los aspectos de almacenamiento (*Data Meaning* y *Data Warehousing*). Añadir que este tipo de aplicaciones están en constante evolución y actualización de mejora. De hecho, poco antes de concluir con el estudio, *Instagantt* agregó la posibilidad de identificar el camino crítico. Así que, cabe la posibilidad de que implanten en un futuro nuevas funciones que permitan generar

estadísticas de progreso personalizables. Por lo tanto se ratifica que la filosofía *Lean* no precisa grandes inversiones en tecnología para su implantación y uso.

Destacar que el consultor o facilitador de la gestión del proyecto es una pieza fundamental en la implementación del LPS, y más aún en su digitalización, ya que la gestión de este tipo de aplicaciones es muy sensible a los cambios.

Por último, comentar que el objetivo final de este tipo de aplicaciones digitales es ser capaz de proyectar en obra, como se muestra en la Figura 71, el plan para que este a la vista de cualquier trabajador y que dicho plan este actualizado día a día.



FIGURA 71. EJEMPLO DE PROYECCIÓN DE LA PLANIFICACIÓN EN OBRA. FUENTE: (37)

La gestión de proyecto no es solo la planificación de obra, supone muchas más cosas. Sin embargo, en este caso de estudio únicamente se han tenido en cuenta la duración de las tareas y la asignación a los distintos agentes. La ventaja de esta aplicación es la alimentación diaria que puede tener al verificar actividades o modificar su finalización, y que el plan se mueva acorde a estos cambios. Mediante este programa se podría actualizar el modelo virtual automáticamente y observar el avance de la obra al mismo tiempo que en la realidad.

### LECCIONES APRENDIDAS

- En este tipo de herramientas la figura del facilitador es elemental, su misión, además de dar agilidad y orden a la reunión, es gestionar el avance y modificaciones del proyecto.
- Los trabajadores son los que deben planificar la obra, coordinándose, conversando, negociando sus entradas y salidas. Con lo cual la implicación de la contrata principal y de las subcontratistas es primordial para el funcionamiento del LPS en obra real.
- Es importante definir los espacios donde indicar las tareas para que todos sigan el mismo criterio y mantener un orden. Sobre todo explicar el funcionamiento de la aplicación para no eliminar ni modificar cosas accidentalmente.

- Es recomendable montar el programa sin precedencias e indicarlas después, cuando ya se tenga bien definido el plan para en futuras modificaciones mantener las precedencias.
- Es importante guardar los distintos avances para comparar los estados de la planificación.
- El establecimiento del LPS primero en forma analógica facilita mucho más la digitalización posterior sobre todo al principio de la aplicación.
- Se requiere un mayor enfoque en los detalles para identificar los procesos críticos y las restricciones.
- Se necesita un buen hardware y una conexión rápida a Internet para agilizar el proceso de planificación.
- LPS es una de las herramientas que se pueden empezar a implementar rápidamente sin necesidad de ninguna infraestructura digital potente.

#### 4.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA DIGITALIZACIÓN

En este punto se describen las ventajas de la digitalización del LPS según el caso de estudio y experiencias de miembros del sector de la construcción.

##### VENTAJAS

- Eliminación de los costes de las reuniones ya que una vez definida la programación el intercambio de datos se realiza de forma virtual.
- Reducción de tiempo en las reuniones. Después de una fase de aprendizaje, los equipos planifican sus tareas mucho más rápidas, debidas a la entrada directa de texto en el dispositivo electrónico.
- Se evita tener que traducir todos los colores y anotaciones del método papel en algo legible y ordenado que pueda servir durante el desarrollo de la obra.
- Visualización de las tareas y el estado de la misma y de los compañeros de equipo en cualquier lugar y en cualquier momento. Información en tiempo real para una mejor toma de decisiones.
- Disponibilidad completa en un solo dispositivo con internet.
- Resumen del histórico de la obra o la hoja de ruta.
- Incremento de eficacia y eficiencia del equipo de proyecto.
- Mejora la comunicación entre los interlocutores del proyecto: cliente, contratista y subcontratistas.
- Da transparencia y trazabilidad.
- Mejora la imagen e innovación a la empresa.
- Refuerza el orden, disciplina y estandarización en la empresa.
- Visual del modelo de la obra en el estado en que se encuentra de la planificación.
- Comunicación clara y rápida
- Detección y reducción de riesgos en la planificación del proyecto.
- Según se avanza en la planificación se puede proyectar el modelo de la obra en el estado en que se encuentra de la planificación. Evidentemente el modelo BIM tiene que estar preparado desde el diseño para ello.

En la Figura 72 se puede ver cuál sería el objetivo del uso de este tipo de herramientas. A partir de ellas, a la vez que se verifica la ejecución de la tarea en la planificación, esta también se verificaría en el modelo virtual. De tal manera que visualmente se podrían ver las zonas que se han ejecutado, las que se prevé ejecutar y las que faltan.

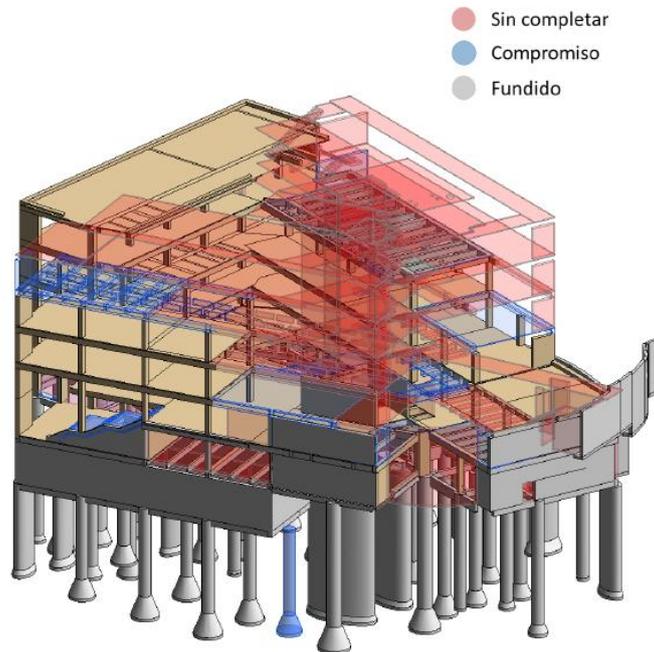


FIGURA 72. EJEMPLO DEL POTENCIAL DE LA SINERGIA LEAN-BIM (VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION VDC) SEGUIMIENTO SEMANAL MEDIANTE EL SISTEMA LAST PLANNER. FUENTE: (38)

### INCONVENIENTES

- Las pantallas de video modernas son mucho más baratas que antes, pero no son lo suficientemente baratas como para tener el mismo tamaño que las áreas de planificación visual de papel.
- El papel del facilitador en un sistema digital se agranda. Se necesita un *know-how* del facilitador aún más profundo para elaborar una configuración de producción realista y no perder de vista los grandes hitos del proyecto.
- Si es cierto que cada trabajador no es rentable que pueda acceder a dicho programación, las personas que coordinan deben ser los usuarios que tengan acceso.
- Amplio manejo de herramientas digitales y coordinación de archivos que se debe saber gestionar.
- Actualización continua de nuevos programas y funciones. Aprendizaje y cambio continuo.
- Aplicaciones sensibles al cambio si la persona no conoce el funcionamiento del programa.
- Problemas comunes que conlleva el uso de tecnología como fallos de conexión o pérdidas de datos, privacidad, corrupción de archivos, modificaciones no registradas...

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

### 5.1 CONCLUSIONES GENERALES

El sector de la construcción se encuentra en un proceso de cambio y evolución debido a la inclusión de la digitalización en sus procesos. En fase de ejecución los recursos para ello aún son limitados, sobre todo por el entorno de trabajo inestable. Esta es la fase donde se perciben los beneficios y las pérdidas del proyecto, y es por ello que hay que prestarle especial atención. Uno de los principales problemas detectados ha sido la ineficiente comunicación y coordinación entre equipos y tareas.

En el sector de la construcción normalmente la propiedad no construye, sino que delega en un arquitecto o ingeniero la responsabilidad del diseño, y en una constructora la responsabilidad de construir. Por lo tanto, la gestión del proyecto en fase de ejecución está en manos de una constructora, que es además quién tiene el control de los costes. La información de esta planificación no se comparte con lo que ni se conoce el desarrollo de las actividades ni dónde se generan las pérdidas por retrasos o errores de ejecución. Bajo esta situación se crea un ambiente de desconfianza tanto por parte de la propiedad como de los subcontratistas que ejecutan las tareas, repercutiendo en el resultado final.

Los métodos de gestión actuales se basan en un análisis individualizado y de aproximaciones según el criterio y experiencia del planificador, donde al final es él quien impone la ejecución de las tareas. En estos casos la gestión pasa a ser una gestión de contratos en vez de actividades. Si bien es cierto que la metodología de gestión de proyectos ha ido evolucionando con el paso del tiempo hasta crear metodologías muy desarrolladas, a la hora de realizar el seguimiento de dichas planificaciones, los retrasos y sobrecostes siguen siendo una realidad. Las obras son unos escenarios cambiantes donde los riesgos de no cumplimiento del plan son elevados aunque estos se predigan.

Por su lado, el sector industrial ha ido aumentando su productividad desde los años 50. Esto se debe a la mejora continua que han ido desarrollando en sus procesos mediante la cual, han detectado todas aquellas actividades que no aportaban valor. Una de las metodologías que se basan en este principio es la denominada filosofía *Lean* y se centra en la eliminación de las ineficiencias de cualquier proceso. Consiste en método de trabajo a largo plazo, donde el éxito radica en el aprendizaje continuo mediante la retroalimentación de las mejoras aplicadas, con lo que su aplicación no implica una mejora inmediata.

La construcción también es un proceso al igual que lo es la industria y por lo tanto, también se puede aplicar el concepto de mejora continua y dividir las actividades entre las que agregan valor y las que no. En el sector de la construcción esta filosofía pasa a denominarse *Lean Construction*.

Una de las herramientas de gestión más conocidas y empleadas es el Sistema *Last Planner*, traducido al español como El Sistema del Último Planificador. Se trata de una herramienta de gestión de proyectos en cascada que se centra en tres ventanas de tiempo para un mayor

control de las actividades a llevar a cabo. El objetivo es aplicar la mejora continua a los sistemas de producción a través de dos pilares: el control de indicadores y la cooperación entre los trabajadores. De esta manera, se crea y mejora la predicción del flujo de trabajo, analizando qué es lo que se necesita y cuándo se necesita por parte de los propios agentes que van a desarrollar la tarea, los últimos planificadores. Además, es un método que analiza a posteriori los motivos del no cumplimiento del plan, aprendiendo de la propia experiencia.

Destacar que aplicar el LPS no se trata de reunirse con los subcontratistas y decir lo que se va a hacer cada día, sino que es una metodología de trabajo bien estipulada en la que se generan compromisos y acuerdos sobre las tareas que se van a desarrollar. Por ello, este método requiere un cambio de mentalidad tanto de la organización como de los participantes y establecer unos roles específicos. Este sistema de gestión no descarta la planificación tradicional. Es más, esta no se puede abandonar, ya que es un buen punto de partida a tener en consideración. El LPS simplemente se encarga de complementarlo de manera intuitiva.

Lo que no se mide no se conoce, lo que no se conoce no se puede controlar y lo que no se controla no se puede mejorar. Es por ello que este sistema ha demostrado una alta efectividad, con multitud de aplicaciones exitosas, mejorando el desempeño de las obras y logrando progresos significativos en el cumplimiento de plazos y el aumento de productividad.

Sin embargo, el factor humano es esencial para su evolución y a su vez, es una de las barreras más grande a superar para su implementación. Además, el hecho de que se trate de una metodología en la que se obtengan resultados a largo plazo no propicia su inclusión en un sector que busca respuesta rápida y que se encuentra en continuo cambio y evolución. Los profesionales que deciden probar esta filosofía se acaban rindiendo antes de poder observar las mejoras del método.

Bajo este contexto, se ha buscado introducir esta filosofía en la digitalización que se presenta en el sector. Se entiende digitalización por el uso de Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) caracterizadas por el acceso a información en línea desde cualquier lugar, permitiendo agilizar los procesos y reducir tiempos y costes. Algunas de estas tecnologías son la inteligencia artificial, la realidad virtual, la realidad aumentada, el Big Data, el BIM (Building Information Modeling) y la impresión en 3D, entre otras.

La gestión de proyectos ya se informatiza, sin embargo este plan no se comparte ni interrelaciona con el avance real de la obra. A partir del caso de estudio desarrollado se ha podido comprobar el potencial de las aplicaciones, móviles y web, de gestión de personas y tareas. Se concluye que la digitalización del LPS puede ofrecer ventajas significativas para una supervisión más cuidadosa del día a día y, que por lo tanto ayude a mitigar pérdidas. Los dispositivos móviles forman parte de la sociedad y prácticamente todo el mundo cuenta con uno de ellos. El hecho de contar con la planificación en tu mano y poder saber en todo momento que es lo que debes hacer es un paso muy grande para la organización de equipos. Es evidente que frente a grandes equipos la idea de que cada trabajador cuente con esta herramienta no es factible hoy en día, pero podría ser un paso hacia el cual avanzar.

Otro punto interesante, y por el cual en una primera instancia se planteo el estudio, es el desarrollo de una metodología en la cual, ante un imprevisto como retraso de materia o pro-

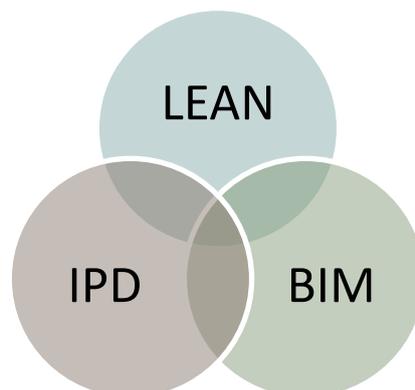
blemas climáticos, se actualice el plan de obra automáticamente con los datos proporcionados directamente desde obra. Se puede afirmar que esto es posible. Desde una aplicación móvil se puede indicar el cumplimiento de una tarea de tal manera que, de forma automática, se actualice la planificación, facilitando la predicción de actividades futuras y permitiendo que el gestor solo se encargue de comprobar su veracidad.

Sin embargo, el uso de estas aplicaciones bajo la herramienta LPS no cumple con el flujo de trabajo completo. LPS se basa en el aprendizaje continuo a partir de estadísticas generadas en planificaciones anteriores y estas aplicaciones no tienen la capacidad de almacenar datos a ese nivel. Actualmente existen algunos software destinados a la aplicación del LPS como *Cocoplan*, *Impera* o *vPlanner* sin embargo estos no tienen la posibilidad de llegar tan cerca a la trabajadora como sí hacen las aplicaciones móviles.

En cuanto a la interacción de estas aplicaciones con la metodología BIM, se ha podido comprobar cómo la visualización 3D tiene un gran potencial al poder representar el avance de la obra de manera virtual. Esta metodología se basa en el modelado de todos los procesos de construcción de una infraestructura para aumentar la productividad y precisión en el diseño y construcción. Este modelo en tres dimensiones abarca desde su geometría, información geográfica y propiedades de los componentes hasta el cronograma y la información de costes. Además, el objetivo es que se opere en tiempo real, con disponibilidad continua para tener una información fiable, integrada y totalmente coordinada. De esta manera, la metodología BIM permite detectar errores de manera visual que se pueden solventar antes de su ejecución real.

Por otro lado, otra metodología emergente es el Integrated Project Delivery. Se trata de un método de gestión y ejecución que se basa en acuerdos sobre intereses y objetivos, y establece un sistema de colaboración abierto, transparente y fluido del que forman parte todas aquellas personas relacionadas con el desarrollo del proyecto. Los contratos IPD aprovechan las capacidades y los puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados, aumentando la eficiencia en todas las fases y con ello, la disminución del desperdicio.

Así pues, el *Integrated Project Delivery* se enfoca en integrar todas las fases de un proyecto desde un punto de vista *Lean* y BIM facilita la gestión de la información de los proyectos. *Lean Construction*, BIM e *Integrated Project Delivery* son tres iniciativas distintas que se están desarrollando en el sector de la construcción pero que tienen muchos puntos en común. Por lo tanto, se debe empezar a trabajar con ellos en una misma dirección.



## 5.2 APORTACIÓN PERSONAL

En mi opinión, después del desarrollo del presente trabajo y la investigación sobre la filosofía *Lean*, puedo concluir que su aplicación no se debe centrar exclusivamente en su digitalización.

La tecnología avanza a otro ritmo en la construcción y hay que aprovechar el empuje que está teniendo hoy en día, sobre todo en un sector clave para la economía española. Sin embargo, los profesionales de la construcción no dependemos de los avances tecnológicos. Estamos a la espera y en proceso continuo de aprendizaje de las herramientas que se nos ofrece, no obstante, la aplicación de la filosofía *Lean* si está en nuestras manos. Debemos hacer un proceso interno de análisis para poder sacar el máximo provecho a la tecnología que viene. No podemos tener progreso sin cambio, y la estandarización es una de las premisas fundamentales de toda tecnología.

Los software y los programas informáticos son una herramienta que hay que saber controlar. Para poder digitalizar cualquier proceso, previamente se debe poder definir para luego poder implementarlo en la plataforma informática. Si las cosas no se pueden explicar es que no se han entendido. Si un proceso no está bien definido el empleo de herramientas es absurdo porque va a comportar una pérdida de tiempo, recursos y frustración por parte de los profesionales que lo implementan. Estos programas cada vez demandan más información desde fases más tempranas, por lo tanto la metodología de trabajo debe cambiar y eso es algo que hay que hacer de manera consciente, y no es sencillo.

*Lean* pone a disposición herramientas para eso y mientras que se establecen los estándares de la metodología BIM y se determinan los software que van a asentarse finalmente en el sector, se deben analizar los procesos internos de todas las empresas para prepararse al cambio.

En cuanto a la digitalización de herramientas *Lean*, sí es posible y útil. Pero, la digitalización no es un fin sino una herramienta para hacer mejorar las cosas, y la filosofía *Lean* puede ser la guía que encamine dicho cambio.

## 5.3 LIMITACIONES

En cuanto a las limitaciones encontradas en el desarrollo de este trabajo se destaca la cuantiosa información sobre la filosofía *Lean* y todos los conceptos relacionados con ella. Se han hallado empresas, profesionales y proyectos que han empleado esta metodología con resultados muy favorables. Sin embargo, la información referente a este ámbito es muy amplia y se actualiza constantemente, ya que el concepto se encuentra aún en expansión.

Hoy en día la información circula a un ritmo veloz. Todo el mundo tiene a su alcance una plataforma donde compartir sus experiencias y opiniones. Sin embargo, en este ámbito, donde todo está en continua evolución, los conceptos se pierden y el exceso de información es más difícil de gestionar.

Por otro lado, mi falta de experiencia en obra ha dificultado la comprensión de la metodología tradicional ya que la teoría en muchos casos difiere de la práctica. Sin embargo, gracias a la opinión de miembros del sector, que han compartido su experiencia, he podido hacer una composición general de la situación actual.

El proceso de aprendizaje *Lean* ha sido costoso, ya que hay que asentar las bases antes de su aplicación. *Lean* es un conjunto de cosas y no se puede llegar a comprender sin una visión completa de dicho conjunto. Se trata de conceptos tan abstractos que al final se desdibujan los límites y es complicado apreciar las diferencias entre unos conceptos y otros. Es por ello que conforme iba avanzando en la creación del documento debía volver atrás y completar información que en un principio no había considerado de valor, pero que si lo tenía. Es por ello que espero haber podido sintetizar los conocimientos adquiridos en este trabajo y que resulten de interés.

A continuación, quiero indicar las referencias que más esclarecedoras han sido para mí, ya que estoy segura que va haber muchos avances en este campo, y estas páginas web hacen un buen seguimiento de ello.

- [Think productivity](#)
- [Lean Construction Enterprise](#)
- [El blog Lean de la construcción](#)

## 5.4 LÍNEAS DE FUTURO

Llegado a este punto, y analizada la aplicación de herramientas digitales a nivel de planificación en fase de ejecución, hay un largo camino por recorrer hasta ver obras sin dependencia de papel. Así pues, a continuación se proponen una serie de futuras líneas de investigación a contemplar.

- Estudio sobre la relación entre las actividades de obra y las modificaciones debidas al control de calidad.
- Estudio sobre la influencia del retraso de una actividad respecto al presupuesto, los planos, materiales, equipos, control de calidad...
- Análisis de cómo la inclusión de la digitalización de los partes de trabajo puede relacionarse con el seguimiento y actualización de la planificación del proyecto.
- Análisis de la integración de otras herramientas *Lean* en aplicaciones digitales.
- Interrelación entre software BIM y herramientas *Lean*:
  - Representación del camino crítico en el modelo BIM de la obra para poder detectar visualmente las actividades que precisan de más atención.
  - Analizar con más detalle el avance de la construcción virtual según se avanza con la planificación, para detectar tareas precedentes o restricciones en el modelo, en tiempo real y de manera visual.
- Estudio sobre los cambios a implementar en la Administración para facilitar la implantación del *Lean Construction* y el desarrollo de proyectos mediante equipos integrados (*Integrated Project Delivery IPD*).



## REFERENCIAS

1. **Pons Achell, Juan Felipe.** Lean Construction. La nueva filosofía de producción adaptada a la edificación. Madrid : Prisa Revistas, Octubre de 2016. 130, págs. 10-12.
2. **Instituto Nacional de Estadística.** Panorámica de la industria. [En línea] 2010. [http://www.ine.es/ss/Satellite?L=es\\_ES&c=INEPublicacion\\_C&cid=1259925129176&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou&param1=PYSDetalleGratis](http://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INEPublicacion_C&cid=1259925129176&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou&param1=PYSDetalleGratis). ISBN: 978-84-260-3758-9.
3. **Instituto Nacional de Estadística.** Boletín informativo. *Quince años del sector industrial (1993-2007)*. [En línea] 2010. [http://www.ine.es/ss/Satellite?L=es\\_ES&c=INECifrasINE\\_C&cid=1259924954918&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou](http://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INECifrasINE_C&cid=1259924954918&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou). ISSN: 1579-2277.
4. **Díaz Guijarro, Raquel.** La inversión regresa al ladrillo: Cómo es el nuevo mercado tras la crisis. *Cinco días, el país*. [En línea] 13 de abril de 2017. [Citado el: 8 de mayo de 2018.] [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/04/13/midiner/1492069607\\_712343.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/04/13/midiner/1492069607_712343.html).
5. **Instituto Nacional de Estadística.** Boletín informativo. *Panorámica de la industria*. [En línea] 2006. [http://www.ine.es/ss/Satellite?L=&c=INECifrasINE\\_C&cid=1259925126576&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou](http://www.ine.es/ss/Satellite?L=&c=INECifrasINE_C&cid=1259925126576&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou).
6. **Gobierno de España, Ministerio de Fomento.** Anuario estadístico. [En línea] 2016. <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/0C18393F-5709-4C64-A1A1-9D557D949926/148785/Anuario2016.pdf>.
7. **Instituto Nacional de Estadística.** España en cifras 2017. [En línea] [http://www.ine.es/ss/Satellite?L=es\\_ES&c=INEPublicacion\\_C&cid=1259924856416&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou&param1=PYSDetalleGratis](http://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INEPublicacion_C&cid=1259924856416&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou&param1=PYSDetalleGratis). ISSN: 2255-0410.
8. **Pons Achell, Juan Felipe.** *Introducción a Lean Construction*. Madrid : Fundación Laboral de la Construcción, 2014. M-6849-2014.
9. **Banco de España.** Desarrollos del empleo a escala sectorial durante la crisis y la posterior recuperación. *Informe trimestral de la economía española*. [En línea] Tercer trimestre de 2017. [Citado el: 8 de mayo de 2018.] [https://www.bde.es/f/webbde/GAP/Secciones/SalaPrensa/Noticias%20Ultima%20Hora/Fich/I\\_T\\_Avance\\_Rec5.pdf](https://www.bde.es/f/webbde/GAP/Secciones/SalaPrensa/Noticias%20Ultima%20Hora/Fich/I_T_Avance_Rec5.pdf).
10. *La licitación y contratación pública continúan en mínimos históricos en 2017. Estudio de mercado.* **Interempresas**. 1393, 2018, Tecnología y equipamiento para las obras públicas, Vol. 3, págs. 34-35.
11. **Universitat Politècnica de Catalunya.** Seminario BIM: Metodología y Tecnología . Barcelona : UPC Talent, 2017-2018.
12. **Briceño, Rodrigo.** PMG Business Improvement. *El desafío de mejorar la productividad en la industria de la construcción #1*. [En línea] 11 de Septiembre de 2017. [Citado el: 2 de Abril de 2018.] <https://www.pmgchile.com/el-desafio-de-mejorar-la-productividad-en-la-industria-de-la-construccion-1/>.

13. **The Economist.** New wiring. Construction and the Internet. *The Economist*. 2000. <https://www.economist.com/node/273886>.
14. **Alarcón Cárdenas, Luis Fernando y Pellicer Armiñana, Eugenio.** Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. A new management focus: lean construction. Febrero de 2009. 3.496, págs. 45-52.
15. **Forbes, Lincoln H. y Ahmed, Syed M.** *Modern Construction. Lean Project Delivery and Integrated Practices*. Nueva York : CRC Press, 2011.
16. **Rodríguez Fernández, Antonio D., Alarcón Cárdenas, Luis Fernando y Pellicer Armiñana, Eugenio.** La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. Febrero de 2011. Vol. 158, 3.518, págs. 1-9. ISSN 0034-8619.
17. **Porras Díaz, Hernán, Sánchez Rivera, Omar Giovanni y Galvis Guerra, José Alberto.** Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. 2014. Vol. 11, 1, págs. 32-53. ISSN: 1794-4953.
18. **García Sabater, Julio Juan.** La casa del Toyota Production System | | UPV. [Video]. València : Universitat Politècnica de València, 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=zh7X4zV525M>.
19. Progressa Lean. Lean Construction: La mejora continua en el sector de la construcción. Fuente: *Alexandria Engineering Journal*, <http://www.sciencedirect.com/>. [En línea] 2015. <http://www.progressalean.com/lean-construction-mejora-continua-sector-construccion/>.
20. **Toro, Julián Alberto Arzayús.** BIM y LEAN: Dos herramientas poderosas para el éxito en la Industria de la Construcción. [En línea] 13 de Enero de 2018. [https://prezi.com/o\\_ltrfkgoez/bim-y-lean-dos-herramientas-poderosas-para-el-exito-en-la-industria-de-la-construccion/](https://prezi.com/o_ltrfkgoez/bim-y-lean-dos-herramientas-poderosas-para-el-exito-en-la-industria-de-la-construccion/).
21. Lean Construction Enterprise. ¿Qué es Lean Construction? [En línea] <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>.
22. *Lean Construction: Leveraging Collaboration and Advanced.* **McGraw-Hill Construction.** Massachusetts : McGraw Hill Construction Research and Analytics, 2013.
23. **ITeC.** Lean Construction Barcelona. *Primeras conclusiones del inventario*. [En línea] 2017. [Citado el: 15 de mayo de 2018.] <https://sites.itec.cat/lean/>.
24. **Pellicer, Eugenio.** Reflexiones sobre la relación entre Lean Construction y la Universidad. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.
25. **Lagos, Camilo, Herrera Valencia, Rodrigo F. y Alarcon, Luis F.** Contributions of Information Technologies to Last Planner System Implementation. Heraklion, Grecia : s.n., Julio de 2017. págs. 87-94.
26. Lean Construction Enterprise. Last Planner. [En línea] <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/last-planner>.
27. **Mayes, Jason.** Pull Planning - Lean Construction. [Video]. 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=sTfejrkt2n4>.
28. **Rodríguez, Fernando.** Eficiencia Constructiva. Last Planner System, el poder de la planificación en equipo. [En línea] 8 de diciembre de 2017. [Citado el: 11 de abril de 2018.]

<http://eficienciaconstructiva.com/last-planner-system-el-poder-de-la-planificacion-en-equipo/>.

29. **Mayes, Jason.** 6 Week Look Ahead Schedule Lean Construction. [Video]. 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=rW1ZU-LhDqA>.

30. —. *Weekly Work Plan Lean Construction.* [Video] s.l.: Youtube, 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=XuxqbNcGnKk>.

31. —. Percent Planned Complete Lean Construction. [Video]. 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=CrFgqFyl9JQ>.

32. *Evolución e impacto mundial del Last Planner System: una revisión de la literatura.* **Hoyos, María Fernanda y Botero, Luis Fernando.** 1, Colombia : Ingeniería y desarrollo, 2018, Vol. 36. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.36.1.10946>. ISSN: 0122-3461 (impreso) / 2145-9371 (on line).

33. **Vanhoucke, Mario.** *Project Management with Dynamic Scheduling. Baseline Sheduling, Risk Analysis and Project Control. 2nd Esition.* Gante, Bélgica : Springer, 2013. ISBN 978-3-642-40437-5.

34. —. *Apuntes curso Project Management. Faculty of Economics and Business Asministration, Universiteit Gent.* Gante : Academia Press, 2017. ISBN 5410574901255.

35. Lean Bim Construction. El blog lean de la construcción. *Lean y la construcción en España.* [En línea] 7 de abril de 2006. [Citado el: 15 de mayo de 2018.] <http://leanbimconstruction.com/lean-y-construccion#comment-825>.

36. *Lean Construction: Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency.* **McGraw-Hill Construction.** Massachusetts : McGraw Hill Construction Research and Analytics, 2013.

37. **Angusto Mongay, Sergio.** Siete Stores en siete semanas. *Experiencias de la aplicación Lean.* Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

38. **Ponz Tienda, Jose Luis y Romero Cortés, Juan Pablo.** Implementación de Lean Construction y VDC en la Universidad de los Andes. *Experiencias de la aplicación del Lean.* Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

39. **Rodriguez, Fernando.** Lean Bim Construction. Retos para implementar Last Planner System. [En línea] 25 de Enero de 2018. <http://leanbimconstruction.com/retos-para-implementar-last-planner-system>.

40. *Industrialization in Swedish bridge engineering: A case study of lean construction.* **Simonsson, Peter y Emborg, Mats.** s.l.: Michigan State University Press, 2007. Annual Conference of the International Group for Lean Construction: 18/07/2007-20/07/2007. págs. 244-253.

41. **Villamor, Miguel.** Aparejadores Madrid. Jornadas BIM: Lo que se mide se controla. [En línea] Abril de 2015. [http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/ojornadas/56/bim\\_para\\_planificacion\\_y\\_pm.pdf](http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/ojornadas/56/bim_para_planificacion_y_pm.pdf)

42. Lean Construction Enterprise. ¿Qué es Lean Construction? [En línea] <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>.

43. **Pons Achell, Juan Felipe.** Hablamos de Lean Construction, con Juan Felipe Pons Achell. *OnSite #33*. s.l. : Podcast , febrero de 2016.

44. **Koskela, Lauri.** *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University : Center of integrated facility engineering CIFE, 1992.

45. **Badano, Bruno.** Gestión general de la construcción. Plann3. Experiencia de aplicación de los principio de Lean en unas condiciones difíciles para la construcción. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

46. **Angusto Mongay, Sergio.** Siete Stores en siete semanas. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

47. **Álvarez Beltrán, Miguel.** Construcción en Serie: Aplicación de herramientas Lean en sistemas de producción estandarizada de viviendas. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

48. **Bullich Torras, Anna.** ¿Por qué implementar Lean en la Administración? *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

49. **Enrique M., Cobreros.** El Lean es para valientes. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

50. **Murillo de la Puente, José Manuel.** Reforma Unidad Quirúrgica plata 3 Hospital General de Sevilla. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

51. **Ponz Tienda, Jose Luis y Romero Cortés, Juan Pablo.** Implementación de Lean Construction y VDC en la Universidad de los Andes. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

52. **García Martínez, Recadero José.** Lean Construction: Concepto, técnica y análisis de un caso práctico. 2016. págs. 1-19.

53. **Pellicer, Eugenio.** Reflexiones sobre la relación entre Lean Construction y la Universidad. *Experiencias de la aplicación del Lean*. Barcelona : ITeC, 8 de mayo de 2018.

# ANEJOS

## ANEJO I: HERRAMIENTAS LEAN

El *Lean Manufacturing* es una estrategia de producción que está constituida por algunas herramientas. El propósito principal de estas herramientas es eliminar todas las operaciones que no agregan valor al producto final. Las herramientas que componen la filosofía *Lean* son las siguientes:

<b>Las 5 S's</b>	<b>ANDON</b>
<b>Just in Time</b>	<b>Cambio rápido del modelo (SMED)</b>
<b>Producción Pull</b>	<b>KAIZEN</b>
<b>KANBAN</b>	<b>Ciclo demming (PHRA)</b>
<b>Total Productive Maintenance (TMP)</b>	<b>Value Stream Mapping (VSM)</b>
<b>HEIJUNKA</b>	<b>Target Costing</b>
<b>JIDOHKA</b>	<b>Estandarización</b>
<b>POKA YOKE</b>	

De estas herramientas no todas tienen una aplicación intuitiva a la construcción, sin embargo si son clave para trabajos relacionados con la producción en cadena.

### ▲ LAS 5 S's

Se trata de una técnica para la mejora de la calidad en los procesos productivos asociado una mejora de la higiene y seguridad durante los mismos. La base del método está en la aplicación de cinco permiten desarrollar ambientes de trabajo más eficientes y agradables.

- *Seiri* (Separar); Distinguir entre lo que es necesario y lo que no lo es
- *Seiton* (Organizar); Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar
- *Seiso* (Limpiar); No limpiar más, si no evitar ensuciar
- *Seiketsu* (Estandarizar); Mantener lo organizado
- *Shitsuke* (Disciplina); Convertir en un hábito el uso del método establecido

Los beneficios de esta herramienta son:

- Mayores niveles de seguridad que implican una mayor motivación de los empleados.
- Mayor calidad, tiempos de respuesta más corto.
- Aumenta la vida útil de los equipos.
- Generación de una cultura de organización y reducción en las pérdidas, se reducen los defectos por error de equipos y operarios.

### ▲ JUST IN TIME

*Just in time* (Justo a tiempo) es una filosofía de producción que consiste en terminar el producto en el momento de ser requerido por el cliente, o por el siguiente proceso en la cadena, exactamente en la cantidad requerida, con productos de máxima calidad y mediante un proceso de producción que utilice el mínimo inventario posible y que se encuentre libre de cualquier tipo de coste innecesario.

En lugar de maximizar la producción se trata de hacer sólo lo que se necesita, en la cantidad que se necesita y con la calidad requerida. Para ello se establecen tres principios básicos:

- Flujo continuo. El peor enemigo: el desperdicio. Las principales ventajas que aporta el flujo continuo son la reducción de inventario en proceso, el tiempo de entrega, ahorro de espacio y mejora de la comunicación.
- Sistemas de producción *Pull*.
- Nivelación de la producción (*Takt Time*). La sobreproducción es sinónimo de ineficiencia por lo que es necesario igualar oferta y demanda. Si el tiempo de ciclo es superior al *Takt Time* significa que la producción está a un ritmo inferior al necesario.

### ▲ **PRODUCCIÓN PULL**

Esta estrategia consiste en producir solo lo necesario, tomando los recursos requeridos de la operación anterior. Para ello se debe comenzar al final de la cadena de ensamble e ir hacia atrás. Esto indica que el paso hacia la siguiente fase de producción debe darse por la siguiente actividad. Los beneficios son:

- Reducir inventario, y por lo tanto, poner al descubierto los problemas.
- Realizar solo lo necesario, se facilita el control.
- Se lleva el inventario al mínimo.
- Se reduce el tiempo de suministro (*Lead Time*).
- Se libera espacio en la zona de trabajo.

### ▲ **KANBAN**

Las funciones del *Kanban* son el control de la producción y mejora de los procesos. Se trata de un sistema de transmisión de la información mediante tarjetas que describen el origen, destino, identidad y cantidad de un elemento. Sirven para poner en comunicación las necesidades de producción (tanto en momento como en cantidad) entre los distintos centros de trabajo. Se trata de un sistema de control de producción de tipo *Pull* que facilita el control visual, evita la acumulación de inventarios, facilita la localización de problemas, posibilita la regulación del nivel de inventarios y simplifica las tareas administrativas mediante tarjetas. Las reglas del *Kanban* son:

- No se debe mandar producto defectuoso a los procesos subsecuentes.
- Los procesos subsecuentes requerirán solo lo necesario.
- Producir exactamente la cantidad requerida por el proceso subsecuente.
- Balancear la producción.
- Evitar especulaciones.
- Estabilizar y racionalizar el proceso.

### ▲ **TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TMP)**

El Mantenimiento productivo total es una técnica de trabajo dirigida a la eliminación de pérdidas asociadas con paradas, calidad y costes en los procesos de producción industrial. Está orientado a crear un sistema organizativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo.

En contra del enfoque tradicional del mantenimiento, en el que unas personas se encargan de producir y otras de reparar cuando hay averías, el TPM busca la implicación continua de toda la plantilla en el cuidado, limpieza y mantenimiento preventivo. De esta forma se consigue que no se lleguen a producir averías, accidentes o defectos. Para lograr dichos objetivos, el TPM busca:

- Maximizar la eficacia del tiempo
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo por toda la vida del equipo.
- Involucrar a todos los departamentos que planean, diseñan, usan, o mantienen el equipo en la implementación del TPM.
- Activamente involucrar a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los operarios.
- Promover el TPM a través de motivación con actividades autónomas de pequeños grupos.

Entre algunos de sus beneficios se podría destacar:

- Mejora la calidad en el ambiente de trabajo
- Creación de una cultura de responsabilidad, disciplina y respeto por las normas
- Prevención y eliminación de causas potenciales de accidentes
- Reducción de los costes de mantenimiento

#### ▲ HEIJUNKA

Técnica que adapta la producción a la demanda fluctuante del cliente (Producción nivelada). En lugar de ejecutar lotes grandes de un modelo después de otro, prevé producir lotes pequeños de muchos modelos en periodos cortos de tiempo. Trata de conseguir que la producción y, por lo tanto, los recursos, se distribuyan de la forma más uniforme posible a lo largo del tiempo. Además, pretende que una línea de producción no fabrique un único producto en grandes series, sino que produzca muchas variedades diarias como respuesta a la demanda cambiante de los consumidores.

#### ▲ JIDOHKA

*Jidohka* se refiere a la verificación de calidad integrada al proceso. La filosofía *Jidohka* establece los parámetros óptimos de calidad en el proceso de producción, es decir compara los parámetros del proceso de producción con los estándares establecidos y si al hacer la comparación los parámetros del proceso no corresponden con los estándares de producción, entonces el proceso se detiene, alertando que se tiene una situación inusual en el proceso que debe ser corregida, para evitar así que el error se propague en operaciones siguientes, perdiendo tiempo y dinero.

Algunas herramientas son los sistemas anti-error (*Poka Yoke*), las señales visuales (*Andon*), el autocontrol en el propio puesto y máquinas con parada automática ante defectos.

Por lo tanto, el control automático de defectos consiste en la utilización de equipos productivos con mecanismos automáticos de retroalimentación que detectan los defectos de los

elementos fabricados. Cada miembro del equipo al descubrir un problema en su estación de trabajo deberá corregir el problema, si no pueden, podrán detener la línea de producción. La implantación del *Jidoka* puede aportar las siguientes ventajas:

- Garantizar la calidad de los elementos fabricados a través de una inspección del 100%.
- Reducir los costes y ciclos de fabricación al no ser necesarios los tiempos de transporte para
- llevar las piezas a un centro de verificación.
- Poder suprimir los inventarios de seguridad destinados a solventar problemas de calidad.
- Prevenir averías del equipo.
- Usar eficazmente la mano de obra.

### ▲ **POKA YOKE**

Un dispositivo *Poka Yoke* es cualquier mecanismo que ayude a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace evidentes para que sean advertidos por los operarios y sean corregidos a tiempo. En definitiva lo que busca es eliminar los defectos del producto, previniendo o corrigiendo los errores lo antes posible. El sistema exige el 100% de inspección en el proceso, de allí la retroalimentación y acción inmediata cuando ocurren los fallos. Las funciones reguladoras del *Poka Yoke* son:

- Métodos de control: Apagan las maquinas o bloquean los sistemas de operación previniendo que el defecto continúe ocurriendo.
- Métodos de advertencia: Advierte al trabajador de la anomalía ocurrida, llamando su atención con una luz o sonido.

Las características principales de un buen sistema *Poka Yoke*:

- Son simples y baratos. si son demasiado caros o complicados, su uso no es rentable
- Son parte del proceso, llevan a cabo el 100% de inspección
- Son ubicados cerca o en el lugar donde ocurre el error.

### ▲ **ANDON**

Es un término japonés para alarma, indicador visual o señal, utilizado para mostrar el estado de producción, utiliza señales de audio y visuales en un tablero, que indican las condiciones de trabajo en cada área de producción, *Andon* significa ayuda. El color en el tablero indica el tipo de problema,

- Rojo: Maquina averiada.
- Azul: Pieza defectuosa.
- Blanco: Fin de lote de producción.
- Amarillo: Esperando por cambio de modelo
- Verde: Falta de material.
- Sin luz: Sistema operando normalmente.

### ▲ CAMBIO RÁPIDO DEL MODELO (SMED)

SMED (*Single Minute Exchange of Die*) se refiere a un conjunto de conceptos y técnicas que pretenden reducir los tiempos de preparación hasta poderlos expresar en menos de 10 minutos. Esta técnica se deriva del justo a tiempo para acortar los tiempos de preparación de las máquinas. Los objetivos del SMED son:

- Logra una planificación acertada, no dejando nada al azar.
- Estudiar los métodos de trabajo y tiempos internos óptimos.
- Eliminar los ajustes.

El método tradicional de fabricación en grandes lotes oculta las ineficiencias originadas por los tiempos excesivamente largos de preparación de la maquinaria para fabricar un nuevo producto. Para minimizar el impacto se producen grandes series de productos para repartir estas ineficiencias, disminuyendo así el coste medio y el tiempo de fabricación unitario.

Sin embargo, SMED reduce drásticamente los tiempos de preparación y por lo tanto, elimina la necesidad de trabajar con grandes lotes de producción. Beneficios del SMED:

- Producir lotes pequeños.
- Reducir sustancialmente inventarios.
- Productos de alta calidad (estándares óptimos).
- Reducción de costos.
- Tiempos de entrega más cortos.
- Mayor competitividad.
- Tiempos de cambio de modelo más fiables.
- Carga más equilibrada en la producción.

### ▲ KAIZEN

Proceso de mejora continua a través de todas las acciones diarias. Su objetivo consiste en incrementar la productividad controlando el proceso mediante la reducción del tiempo de ciclo, la estandarización de criterios de calidad, los métodos de trabajo por operación y la eliminación de desperdicios en cualquiera de sus formas. Para encontrar las causas de todos tus problemas, preguntar 5 veces ¿porqué? Los pasos para la implementación del *Kaizen* son:

- Paso 1: Selección del tema de estudio
- Paso 2: Crear la estructura para el proyecto (equipo)
- Paso 3: Identificar la situación actual y formular los objetivos
- Paso 4: Diagnostico del problema
- Paso 5: Formular un plan de acción
- Paso 6: Implantar mejoras
- Paso 7: Evaluar los resultados

### ▲ CICLO DEMMING (PHRA)

Este ciclo consiste en una serie de actividades para la mejora donde para llegar a una mejor calidad que satisfaga a los clientes, deben recorrerse constantemente 4 etapas:

- Planificar: Estudiar la situación actual, definir el problema, analizarlo, determinar sus causas y formular el plan para el mejoramiento.
- Hacer: Ejecutar el plan.
- Revisar: Ver o confirmar si se ha producido la mejora deseada.
- Actuar: Institucionalizar el mejoramiento como una nueva practica para mejorarse, o sea, estandarizarse. Tan pronto como se hace un mejoramiento se convierte en un estándar que se le aplicara de nuevo el ciclo al hacer "girar" la rueda, para obtener más mejoramientos.



FIGURA 73. CIRCULO DEMING PDCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### ▲ VALUE STREAM MAPPING (VSM)

La función de los Mapas de Cadena de Valor o *Value Stream Mapping* (VSM) es analizar el estado actual del proceso para poder planificar y controlar una estrategia de mejora. Es, por lo tanto, la técnica inicial con la que detectar los desperdicios presentes en el proceso, que posteriormente serán corregidos con la aplicación de las distintas herramientas disponibles.

El VSM es una técnica utilizada para representar gráficamente los procesos necesarios para la transformación de materias primas en un producto terminado y el modo en que se transmite la información entre estos procesos.

En primer lugar es necesario definir el conjunto de acciones que se necesitan para generar dicho producto a través de los flujos de producción y de diseño. Se debe trabajar sobre el conjunto de los procesos y no solo sobre los procesos individuales, consiguiendo de esta forma mejorar el todo y no solo optimizar las partes. Además, se debe indicar qué cantidad de producto se debe producir o suministrar y cuándo debe empezar a fabricarse o solicitarse a los proveedores internos o externos.

De esta manera, el VSM muestra la proporción de las actividades que añaden valor y las que no y las relaciones en el conjunto de las operaciones. La representación del VSM es esencial por los siguientes motivos:

- Vincula los conceptos y las técnicas Lean, lo que ayuda a seleccionar la técnica más adecuada.

- Permite visualizar el flujo completo del proceso de producción.
- Describe detalladamente cómo debería funcionar la organización.
- Identifica las fuentes que producen pérdidas de manera rápida.
- Forma la base del plan de ejecución.
- Muestra el enlace entre el flujo de información y el de material.

### ▲ TARGET COSTING

El *Target Costing* tiene como objetivo dirigir a la empresa desde el valor del cliente. Así pues, se empieza trabajando estrechamente con los clientes, tratando de comprender sus necesidades y cómo la empresa puede crear más valor para él.

Este concepto fue originalmente desarrollado con el fin de proporcionar un método para el personal de *marketing* y diseño, para obtener una comprensión verdadera de las necesidades y requerimientos del cliente. Esto permite al equipo de diseño crear un producto que tenga el máximo valor, y además, permite tener conciencia plena del impacto que tiene el diseño en los diferentes flujos de toda la cadena de valor. *Target Costing* puede aplicarse tanto al desarrollo de nuevos productos, como a productos y procesos existentes con flujos de valor actuales.

### ▲ ESTANDARIZACIÓN

La estandarización consiste en determinar el orden secuencial de los procesos que ha de ejecutar un operario, de forma que se obtengan los siguientes objetivos:

- Equilibrar todos los procesos en términos de tiempos de producción.
- Conseguir una alta productividad por utilizar el mínimo de trabajadores posible.
- Eliminar todas las tareas o movimientos inútiles.
- Reducir costes de producción.

El objetivo de esta herramienta es conseguir que las operaciones se realicen siempre de una misma forma. Crear procesos estándar, consistentes y predecibles es un factor que propiciará el control y posterior mejora de los procesos.

## ANEJO II: LEAN PROJECT DELIVERY

La ejecución integrada de proyectos o modelo IPD (Integrated Project Delivery), se basa en una alta colaboración entre el cliente, el proyectista y el contratista general, desde las fases iniciales del diseño hasta la puesta en marcha del edificio. Esto se logra, cambiando los momentos en que los desarrolladores del proyecto intervienen en él para aumentar el nivel de comprensión del mismo y acortar sus fases. Como se ha expuesto, la filosofía “Lean” no es un método o unos pasos a seguir, sino una manera de pensar para optimizar la producción de los proyectos constructivos. Así pues, al aplicar Lean Construction al modelo IPD se obtiene como resultado el sistema de ejecución de proyectos “Lean” LPDS (Lean Project Delivery System) con el fin de aprovechar los talentos e ideas de los participantes para optimizar valor para el cliente, reducir residuos y maximizar la eficacia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.

Con el modelo LPD la filosofía Lean construction abarca toda la vida del proyecto de construcción, y al integrar la fase de diseño con la de producción, une todos los agentes que intervienen. Por lo tanto, La estructura teórica es muy diferente a la del sistema tradicional.

El modelo teórico de LPDS se describe como un conjunto de cinco fases y once etapas de desarrollo práctico que son controladas por un módulo de aprendizaje continuo para ir aprendiendo de los errores cometidos en cada etapa de aplicación de LPDS al proyecto.

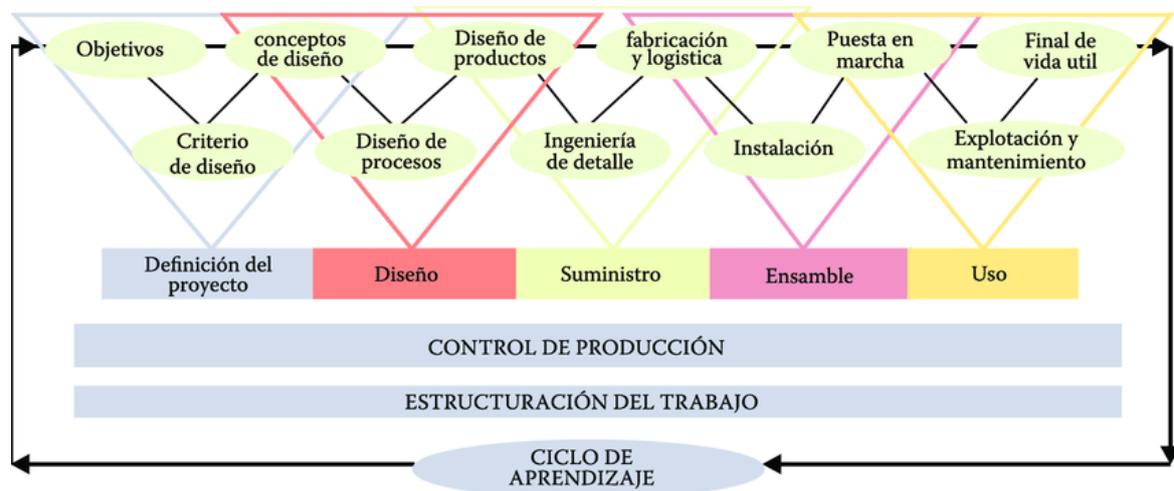


FIGURA 74. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM. FUENTE: (17)

### Definición del proyecto

Es la primera fase del modelo, está conformada por tres etapas que se implementan antes de comenzar el trabajo de diseño como tal:

- Las necesidades y valores. La primera etapa comprende el análisis y estudio de las necesidades de los clientes finales, es decir lo que desea el cliente
- Los criterios de diseño. Engloba los criterios de diseño, o sea, las pautas que deben seguirse para la concepción del proyecto, por ejemplo las normas técnicas de construcción.

- Los conceptos de diseño. Empiezan a surgir las primeras ideas, que plasmadas en esquemas o anteproyectos dan forma al diseño conceptual.

Las etapas de la primera fase deben ser dinámicas e interactivas para lograr que los diferentes intereses de los involucrados tengan un alto grado de convergencia y así pasar a la etapa de diseño.

### **Diseño “Lean”**

Es la segunda fase en la gestión de proyectos “Lean” y al igual que en la primera fase tiene tres etapas que interactúan entre sí:

- Los conceptos de diseño, etapa común a la fase anterior. En esta fase se desarrolla el diseño conceptual del producto que se planteó durante la definición del proyecto con el fin de obtener el diseño definitivo
- El diseño de procesos. Establecer el proceso constructivo que se plantea en la etapa de diseño.
- El diseño de productos. Verificar las necesidades del cliente y optimizar al máximo los recursos.

En el paso de la fase de diseño “Lean” a la siguiente, el diseño deberá ser evaluado explícitamente por el equipo de diseño/construcción y el cliente.

### **Suministro “Lean”**

La fase de suministro “Lean” comprende las etapas de:

- Diseño de producto, etapa común a la fase anterior.
- Ingeniería de detalle. La fase consiste principalmente en la ingeniería de detalle del diseño de lo producido en la etapa previa,
- Fabricación y logística. Seguimiento de la fabricación o compra de componentes y materiales, así como de la logística de gestión de entregas e inventarios.

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

El abastecimiento “Lean” aborda el problema de falta de abastecimiento a través de tres enfoques principales:

- Mejorar el flujo de trabajo de fiabilidad, mantenimiento, identificación, restricción y remoción.
- El uso de software de gestión de proyectos basado en la web para aumentar la transparencia a través de las cadenas de valor.
- La vinculación de flujo de trabajo de producción con suministro de material.

## Ensamblaje “Lean”

Esta fase está conformada por los módulos:

- Fabricación y logística, etapa común a la fase anterior.
- Instalación. Lean se inclina hacia elementos prefabricación creando un ambiente controlado, predecible y reduciendo muchos pasos mejoren los tiempos de trabajo. Los trabajos en obra se ven afectados por condiciones de incertidumbre, como las variaciones del clima y las limitaciones de mano de obra especializada, materiales y equipos. tan solo con la instalación de los diferentes equipos.
- Puesta en marcha.

## Uso

Finalmente, el uso se puede dividir en:

- Puesta en marcha
- Explotación y mantenimiento
- Vía útil

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

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

La razón por la cual el modelo IPD se distingue de los demás es que integra al propietario, el equipo de diseño y al contratista, desde la etapa de diseño inicial hasta la finalización de la misma. De esta manera, los equipos pueden aprovechar en conjunto el talento y las ideas de todos los participantes. Como ventajas de este método se puede destacar que mejora los resultados del proyecto al suponer un cambio en la forma en que se toman las decisiones, se cumplen los objetivos y se comparten las responsabilidades. Los rasgos distintivos de un proyecto IPD son los objetivos compartidos, la toma de decisiones por consenso y el uso de BIM o el modelado de información de construcción. Para asegurar el correcto funcionamiento el trabajo, los procesos se controlan y están bien calculados. Mediante la metodología PM se optimizan los procesos focalizando cada actividad en cambio lean Construction optimiza a nivel de proyecto. Lo que PM considera como lo menos efectivo.

