



**Escola de Camins**

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

*Del Lean Thinking a la Lean Construction.*  
Estudi de la filosofia i aplicació a un  
projecte constructiu.

Treball realitzat per:

**Gerard Boadas Andreu.**

Dirigit per:

**José Turmo Coderque.**

**Gonzalo Ramos Schneider.**

Grau en:

**Enginyeria Civil.**

Barcelona, 23 de juny del 2016

Departament d'enginyeria de la Construcció.

**TREBALL FINAL DE GRAU**

## AGRAÏMENTS.

En primer lloc m'agradaria donar les gràcies a en José Turmo que sempre s'ha mostrat disposat a ajudar-me. Els seus apunts i suggeriments m'han permès millorar el resultat de la meva feina. També vull agrair el suport que he rebut per part d'en Gonzalo Ramos quan ha estat necessari.

En segon lloc agrair a l'Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC) que m'hagi permès assistir a les ponències *Lean Barcelona 2016: The Last Planner System* a canvi d'haver treballat com a becari durant un temps. L'experiència ha estat molt enriquidora i m'ha ajudat a comprendre la situació actual de la construcció.

Per acabar vull donar les gràcies als meus pares per el suport que m'han transmès en tot moment i al meu germà per els consells que m'ha donat.

## RESUM.

La productivitat a la construcció sempre s'ha mantingut en números baixos però l'alta demanda feia que aquests problemes passessin desapercebuts. Amb la crisi i l'esclat de la bombolla immobiliària aquestes mancances han quedat al descobert i el sector n'està patint les conseqüències. L'arribada de la filosofia *lean* s'ha vist com una opció de canvi.

L'objectiu principal del document és entendre'n els principis i les idees bàsiques, veure l'aplicació que poden tenir als projectes constructius i aportar un exemple numèric per extreure'n les primeres valoracions.

S'ha pogut veure que la millor manera d'aplicar *lean* a la construcció és a través del *Last Planner System*, un sistema de gestió de projectes constructius que promou la cooperació i confiança entre les parts que actuen a l'obra.

Aplicant aquest mètode a un cas de programació real s'ha comprovat que el sistema funciona aconseguint reduir els terminis quan existeix un flux de treball continu i robust. Per obtenir-lo, hem de gestionar bé les tasques i controlar-ne la variància.

# ÍNDIX

<b>1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....</b>	<b>5</b>
1.1. Objectius.....	5
<b>2. LEAN THINKING.....</b>	<b>6</b>
2.1. Inicis del Lean Thinking.....	6
2.1.1. LA PRODUCCIÓ EN MASSA.....	6
2.1.2. LA PRODUCCIÓ AJUSTADA O LEAN PRODUCTION.....	7
2.2. Les idees del Lean Thinking.....	9
2.2.1. (I) SPECIFY VALUE.....	10
2.2.2. (II) IDENTIFY THE VALUE STREAM.....	11
2.2.3. (III) FLOW.....	12
2.2.4. (IV) PULL.....	14
2.2.5. (V) PERFECTION.....	15
2.3. Eines principals del Lean Thinking.....	16
2.3.1. LES 5S.....	16
2.3.2. VALUE STREAM MAPPING (VSM) O MAPES DEL FLUX DE VALOR.....	18
2.3.3. CONTROLS VISUALS. EINES POKA-YOKE.....	19
2.3.4. TÈCNICA SMED (SINGLE MINUTE EXCHANGE DIE).....	21
2.3.5. EL JUST-IN-TIME I LA SEVA MATERIALITZACIÓ: ELS KANBAN.....	22
<b>3. DIFERÈNCIES ENTRE INDÚSTRIA I CONSTRUCCIÓ.....</b>	<b>25</b>
3.1. Diferències en la natura de l'operació.....	25
3.2. Diferències en la planificació i l'execució.....	26
<b>4. LEAN CONSTRUCTION.....</b>	<b>28</b>
4.1. Motivació per aplicar lean a la construcció.....	28
4.1.1. TIPUS DE MALBARATAMENT A LA CONSTRUCCIÓ.....	30
4.2. El Last Planner System.....	34
4.2.1. (I) PLANIFICACIÓ COL·LABORATIVA (SHOULD).....	36
4.2.2. (II) POSADA A PUNT (CAN).....	39
4.2.3. (III) AVALUACIÓ I PLA DE PRODUCCIÓ (WILL).....	40

4.2.4. (IV) GESTIÓ DE LA PRODUCCIÓ (DOING/DONE). .....	42
4.2.5. (V) MESURA, APRENENTATGE I MILLORA CONTÍNUA (DID). .....	43
4.3. BIM (Building Information Modelling). .....	44
<b>5. APLICACIÓ DE LA LEAN CONSTRUCTION A UN CAS.</b> .....	<b>47</b>
5.1. Bases de la simulació.....	47
5.1.1. CÀLCUL DE LA DURACIÓ DE LES ACTIVITATS. ....	47
5.1.2. TRANSICIÓ ENTRE DIFERENTS ACTIVITATS.....	49
5.2. Anàlisi d'un cas teòric. ....	50
5.3. Un cas real: la biblioteca municipal Miquel Batllori. ....	<b>53</b>
5.3.1. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ I VALORACIÓ.....	56
<b>6. CONCLUSIONS I LÍNIES DE FUTUR.</b> .....	<b>59</b>
6.1. Conclusions.....	59
6.2. Línies de futur.....	60
<b>7. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.</b> .....	<b>61</b>

# 1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.

En un context de crisi econòmica com l'actual, es produeix un descens de la demanda general. Aquesta reducció de les opcions de negoci fa que resulti complicat entrar o mantenir-se en un mercat on la competència és constant.

Perquè una empresa sigui competent ha de ser capaç d'oferir bons productes a un preu assequible i, a més a més, extreure'n un benefici per mantenir-se. L'única manera d'aconseguir aquest propòsit és produir de manera eficient per reduir al mínim els costos. En el camí de buscar la producció més eficient es va canviar la producció artesana per la producció en massa. Més endavant, cap al 1950, apareixeria la filosofia *lean* al Japó que es centrava en produir amb el mínim malbaratament possible.

Aquestes noves idees *lean* triomfen a la Toyota Motor Company i després al conjunt de la indústria automobilística. A partir d'aquest punt adquireixen una popularitat i passen a implementar-se a fàbriques de diferents productes d'arreu del món.

El gremi de la construcció és un dels que més està patint aquesta falta de demanda. A més a més a Espanya aquesta mancança es major ja que encara s'arrossegueu les conseqüències de l'esclat de la bombolla immobiliària. Les obres s'estan adjudicant amb baixes extraordinàriament agressives i fer-ne un benefici es fa cada vegada més difícil. Això ha fet que a la construcció s'intentin millorar uns rendiments de producció que històricament han estat baixos. Es considera per tant la possibilitat d'adaptar aquestes idees *lean* a la construcció per millorar-ne la seva eficiència i revertir aquesta situació.

## 1.1. Objectius.

› Estudiar i comprendre l'essència i els principis que es segueixen per arribar a un estat *lean*. Analitzar, també, les eines utilitzades per traslladar aquests principis a metodologies aplicables a la realitat.

› Analitzar els problemes principals que ens trobem a la construcció. A partir d'aquí, esbrinar en quin àmbit hem d'actuar per solucionar aquells que tenen una influència directa en els baixos rendiments del sector.

› Veure si és possible adaptar la filosofia del *lean thinking* a la construcció i estudiar les diferents maneres d'implementar-hi aquestes idees.

› Aplicar les tècniques *lean construction* apreses a un projecte constructiu i veure en quins casos són d'utilitat, com hi influeixen i quins beneficis se'n obtenen.

## 2. LEAN THINKING.

### 2.1. Inicis del Lean Thinking.

Per poder entendre adequadament la producció ajustada o *lean* cal començar explicant-ne l'evolució dels seus orígens. A *The Machine that changed the World* [18] trobem una bona introducció sobre la història de la producció d'automòbils. Després s'explica com les idees que van néixer al Japó i es van aplicar en aquest àmbit es van desenvolupar i van acabar fascinant a tot el món.

#### 2.1.1. LA PRODUCCIÓ EN MASSA.

Fins a principis del segle XX la producció artesanal és l'única que es coneix. En aquest mètode la força laboral que hi treballa està altament qualificada en el disseny, les operacions de manufactura i l'acoblament de les parts. L'organització està totalment descentralitzada i els components que formen els vehicles acostumen a procedir de petits tallers de la mateixa ciutat. El propietari o empresari és el responsable d'estar en contacte amb tots els implicats i mirar de coordinar-los.

A aquest mètode el segueix un volum de producció molt reduït de per exemple uns mil automòbils l'any o fins i tot menys. El fet d'estar produïts artesanalment permet l'oferta de dissenys diferents i adaptats a cada consumidor però no s'aconsegueix reduir el cost per unitat encara que aquesta producció augmenti. El grau de flexibilitat i personalització és tant gran que fins i tot surten diferents dues unitats que s'han mirat de fer iguals ja que els petits tallers acaben produint amb petites diferències.

Tot això va canviar quan arribà Henry Ford i analitzant la producció artesana en canvià totalment les formes aconseguint reduir dràsticament costos i millorant-ne la qualitat. Aquest canvi brutal per a la indústria de l'automòbil l'anomenarà producció en massa.

La idea que ens ve al cap quan es parla de producció en massa és la de la cadena de muntatge contínua. Però a diferència del que es pensa, la idea clau no va ser aquesta sinó la total estandardització de les parts. En l'artesania les peces arribaven sempre diferents cosa que feia del muntatge una de les parts més complicades del procés. Ford va insistir de manera quasi obsessiva en aquest aspecte. Primer van arribar innovacions tecnològiques que permetien treballar amb materials endurits prèviament evitant que es deformessin. Al 1908, i després d'implantar el mateix sistema de mesures a tots els processos va aconseguir la total estandardització de les parts.

Un cop tenim les parts iguals és molt més fàcil ajuntar-les i es decideix que cada persona passi a fer ara només una part del procés. Abans un operari havia de col·locar, per exemple, totes les parts mecàniques (rodes, transmissió, motor, generador...). Ara aquest operari es mou per la nau i únicament realitza la seva tasca. Això, redueix el temps de cicle de 512 minuts a 2,3.

És al 1913 quan Ford veu que l'obrer triga un temps molt valuós a moure's per tota la fàbrica i crea la cadena de muntatge mòbil (o de flux continu) a la planta Highland Park de Detroit. La cadena col·loca un cotxe rere l'altre davant l'obrer i permet imposar un ritme de treball alt. El temps de cicle que ja havia estat reduït dràsticament torna a disminuir a quasi la meitat (de 2,3 a 1,19 minuts).



**Figura 1.** Cadena de muntatge del model T de Ford al 1914 ( Font: EFE Motor (2016) ).

A partir d'aquí i amb les idees principals ja definides Ford va anar perfeccionant el seu mètode i aconseguia reduir el cost per vehicle si augmentava la producció. Cada vegada s'anava dividint el treball en tasques més senzilles on l'obrer no havia de tenir cap coneixement. Això va comportar la creació de màquines d'alta tecnologia per a realitzar tasques ridícules i una inflexibilitat de les fàbriques elevadíssima, aspectes que ara frustren els esforços per canviar a la nova producció ajustada.

Durant molt temps la demanda de cotxes a Amèrica va superar a l'oferta cosa que va fer que la producció en massa dominés la indústria automobilística durant més de mig segle. Quasi totes les activitats industrials d'Amèrica del Nord i Europa van acabar adoptant aquesta manera de produir.

La producció en massa va gaudir del seu moment àlgid al 1955. Durant aquest any Ford, General Motors i Chrysler, les tres grans empreses del moment, van vendre més de 7.000.000 de vehicles. A partir d'aquí, però, se'n va iniciar la decadència. Europa, havent adoptat les tècniques s'havia tornat competitiva i la feina a la fàbrica, que era extremament exigent, començava a generar recel entre els treballadors, que començaven a organitzar-se en sindicats i a demanar més drets.

### **2.1.2. LA PRODUCCIÓ AJUSTADA O LEAN PRODUCTION.**

Al 1937 es funda la Toyota Motor Company que patirà uns inicis bastant durs. Inicialment el govern militar els va obligar a fabricar camions en comptes de cotxes de passatgers i després, al 1949, van patir un col·lapse de vendes notable. Cap al 1950 la TMC havia produït 2.685 automòbils mentre que a la planta de Rouge, a Detroit, se'n produïen 7000 en un sol dia.



Eiji Toyoda, un enginyer japonès de la marca decideix l'any 1950 visitar durant 3 mesos la planta a Rouge de Ford. Després d'estudiar la que se suposava que era la instal·lació manufacturera més gran i eficaç del món, el jove no va tenir dubtes. Pensava fermament que aquell sistema de producció es podia millorar i un cop al Japó es va posar a treballar-hi. Ell i l'enginyer cap de producció Taiichi Ohno van iniciar la revolució. D'aquí va néixer el sistema de producció Toyota i finalment la *Lean Production*.

A Nagoya, que és on es trobava la seu principal de Toyota, es donaven unes característiques particulars que feien impossible adaptar-hi el model de producció en massa:

› El mercat, domèstic i petit, demandava una àmplia gamma de vehicles. Cotxes de luxe per membres del govern, camions grans per portar les mercaderies al mercat, camions petits per les granges japoneses i cotxes petits adequats a les poblades ciutats del Japó i als preus de l'energia. Ford no tenia aquests problemes ja que la gran superfície, població i demanda li permetien fabricar sempre el mateix producte.

› La mà d'obra va demanar des del primer moment unes condicions de treball adequades i es van crear sindicats de treballadors. A més a més, al Japó no hi havia tants immigrants com a Amèrica, o gent del camp que estigués disposada a treballar moltes hores a canvi d'un sou bastant precari.

› L'economia japonesa en aquell moment estava arrasada per la guerra. La falta de capital i divises feia impossible efectuar compres massives. La compra de grans màquines orientades a fer petites activitats quedava, per tant, descartada.

Ohno, veient aquest context comença a introduir els primers canvis. La maquinària passa a ser molt més flexible i redueix les "fornades" de productes. D'aquesta manera veu que hi havia molt menys transport i una reducció de l'estoc.

La importància que dóna a la gent en el seu procés és clau. Els contractes a Toyota passen a ser vitalicis cosa que incorporava una altra despesa fixa a l'empresa. Això pot semblar un cost extra innecessari però d'aquesta manera aconseguia la implicació total de la gent. Els treballadors, molt més qualificats que a la producció en massa, s'organitzen en grups. Aquests grups treballen junts per arribar a objectius comuns i disposen d'un líder que els guia però que mai està per sobre de les idees o propostes que tinguin. Ohno també dóna el poder als treballadors per parar la cadena de muntatge sempre que detectin un error, quan a Ford una de les premisses era la de mantenir-la sempre en moviment. Això va fer que al principi costés de produir de manera contínua, però reduïa els errors notablement.

Amb la introducció d'aquestes petites variacions Toyota aconsegueix uns canvis dràstics que es veuen reflectits a la figura següent.

	Framingham	Takaoka
Hores de muntatge brutes per cotxe.	40,7	18
Hores de muntatge ajustades (només comptant la sèrie d'activitats necessàries).	31	16
Defectes de muntatge per cada 100 cotxes produïts.	130	45
Espai requerit de muntatge per cotxe ( m <sup>2</sup> per vehicle i any ).	0,75	0,44
Existència de peces disponibles ( promig ).	2 setmanes	2 hores

**Figura 2.** Planta de muntatge a Framingham de General Motors contra la planta de muntatge a Takaoka de Toyota al 1986. ( Font: IMVP World Assembly Plant Survey ).

Com es pot veure, introduint-hi aquestes millores Ohno va aconseguir reduir a més de la meitat les hores emprades en fabricar cadascun dels vehicles, reduir dràsticament els defectes de muntatge i deixar l'estoc en el material que es necessitaria al cap de dues hores. Al 1990, i gràcies a la flexibilitat que el mètode japonès permetia, Toyota és capaç d'oferir tants productes com la General Motors, companyia que en aquells moments era el doble de gran. Al 2003 va arribar a estar en segon lloc en volum d'activitat, només per darrere de la abans ja anomenada General Motors i era considerada l'empresa més ben gestionada del món.

Però les millores no van acabar aquí. Una de les diferències notables que més endavant explicarem és la d'intentar sempre assolir la perfecció. Els productors en massa es plantegen un objectiu limitat que acaba desembocant en un número de defectes acceptable, un nivell màxim d'existències acceptable, una estreta gamma de productes... Fer-ho millor costaria massa o excediria les capacitats humanes. *Lean* significa buscar la perfecció. No s'hi ha arribat mai, però aquesta motivació contínua porta a resultats sorprenents. Aquest afany de l'empresa no cessà i avui encara es segueixen millorant aquestes idees.

## 2.2. Les idees del *Lean Thinking*.

*Muda* és una paraula d'origen japonès que tot empresari ha de tenir en compte. Vindria a significar malbaratament i inclou també totes aquelles activitats que absorbeixen recursos però no creen valor. Normalment associem el malbaratament als materials. Per exemple un estoc desorbitat, matèries primeres que ens arriben malmeses o productes intermedis o finals que tenen defectes. Ara bé, existeixen molts tipus de malbaratament que no tenen a veure amb els materials com per exemple el moviment de personal innecessari o l'espera entre la realització de dues tasques diferents.

Al 1988 Taiichi Ohno va escriure la llista dels set diferents tipus de *muda* que existeixen [14]. Tot i que és una classificació molt significativa degut a que Ohno va ser un dels grans precursors de la filosofia *lean*, no és un aspecte molt important ja que altres autors destacats també han realitzat classificacions molt vàlides. El que és realment

important, doncs, és saber quins són els principis bàsics que s'han d'aplicar per intentar reduir al màxim aquest malbaratament.

Daniel T. Jones i James P. Womack, que ja havien escrit *The Machine that changed the World* [18] van continuar amb les seves investigacions. Després d'haver estudiat nombroses empreses arreu del món van redactar *Lean Thinking* [12] on es troben recollits els 5 principis a seguir per produir amb el mínim de malbaratament. Aquest llibre va arribar a assolir un èxit sorprenent tant en vendes com en popularitat i se'l considera una de les grans guies de l'àmbit.

### 2.2.1. (I) SPECIFY VALUE.

El valor que té un producte només el pot determinar de manera correcta el consumidor o client final. Aquest valor només és significatiu quan s'expressa en termes d'un producte específic que satisfà les necessitats del consumidor a un preu concret i en un moment determinat (un bé, un servei o normalment els dos a la vegada).

A vegades es centra massa l'atenció en l'aspecte econòmic i això sovint acaba desembocant en directius que no saben gens bé el que passa als seus productes. Si un producte no es ven bé es justifiquen dient que és el producte que han fet sempre i que els actius dels que ja disposen són costosos. Si no té èxit entre els consumidors n'ajustaran el preu o l'adornaran perquè els atregui i això no soluciona el problema. També és comú trobar-nos enginyers de producte que fan dissenys complexes, refinats i innovadors. Segons el seu punt de vista, aquestes característiques donen valor al producte. S'equivoquen perquè el valor que perceben és diferent al del consumidor, que pot tenir uns coneixements més senzills i per tant unes preferències més humils o pràctiques.

Un exemple de mala interpretació del valor podria ser el de les companyies aèries. El model inicial del transport aeri va portar a anar construint cada vegada avions més grossos. Tenir aquests actius tant costosos, instal·lacions de producció de grans avions i complexes aeroportuaris massius conduïa a les empreses a voler aprofitar-los i per tant, a l'estancament. Voler aprofitar aquests recursos els porta a tirar pel concepte antic d'eficiència: grups de persones més grans que cada vegada viatgen en naus més grans.

El que vol la majoria dels clients és anar d'un lloc a l'altre de la manera més ràpida possible, sense esperes ni transbords, desig impossible de satisfer seguint l'esquema antic d'organització. Un nombre elevat de petits avions amb flexibilitat de rutes hagués estat el que s'adaptava millor a la demanda però el servei que s'oferia eren vols amb transbords il·lògics i la necessitat de grans desplaçaments fins als centres de distribució. Les empreses es gastaven molts diners en potenciar i organitzar aquests nodes de classificació i distribució i ens oferien a la vegada serveis secundaris com sales d'executius als aeroports o entreteniment dins els propis avions.

Era un model centrat en l'avió i l'aeroport on es perd de vista el conjunt del producte i pitjor encara, les preferències del client, que quedaven molt desateses. Actualment sembla que això va canviant ja que les empreses de baix cost han entrat al mercat amb força.

Aquestes empreses ofereixen flexibilitat amb avions de dimensions més reduïdes i sense cap pretensió. El cost es veu reduït i la gent tendeix a agrair-ho.

Per tant, el primer pas fonamental de la filosofia *lean* és el fet de definir bé el valor que vol el client. Això s'aconsegueix a través del diàleg amb consumidors específics i anant comprovant periòdicament la satisfacció i les noves inquietuds. És evident que els canvis no es poden aplicar instantàniament però cal que els directius tinguin la idea clara del que verdaderament busca el client per enfocar totes les decisions de l'empresa a satisfer-ho.

### 2.2.2. (II) IDENTIFY THE VALUE STREAM.

Quan parlem de flux de valor, parlem de totes les accions requerides per passar un producte específic (que pot ser un bé, un servei, o la combinació dels dos) per les tres tasques de gestió crítiques de qualsevol empresa:

› *Tasca de solució de problemes.* És la part que comença amb la concepció del producte, segueix amb el seu disseny detallat i l'enginyeria i acaba amb el llançament a producció.

› *Tasca de gestió de la informació,* que va des de la recepció de la comanda a l'entrega i ens la presenta a través d'una programació detallada.

› *Tasca de transformació física.* Consisteix en tots els processos que succeeixen des de la rebuda de matèria prima fins al producte acabat en mans del consumidor.

El primer pas, un cop tenim clar què és el flux de valor, és identificar-lo en la seva totalitat, cosa que poques empreses realitzen correctament. Si analitzem bé la totalitat d'aquests processos quedarà al descobert una bona quantitat de *muda*. En funció d'això podrem classificar les accions en tres grups diferents:

› *Passos que creen valor de forma inequívoca.* Per exemple l'acció de soldar els tubs d'una bicicleta per fer-ne el quadre

› *Passos que no creen cap valor però que són inevitables amb la tecnologia actual i els actius de producció disponibles.* Per exemple, quan hem realitzat la soldadura dels tubs cal una inspecció per garantir-ne la qualitat. Aquestes accions les podem anomenar *muda* de tipus 1.

› *Passos addicionals que no creen cap valor.* Els podem evitar de manera immediata. S'anomenen *muda* de tipus 2.

Amb aquesta classificació tenim un ajut per començar a eliminar allò que no afegeix valor al producte. Si detectem algun procés que no funciona amb els recursos mínims necessaris o que genera defectes, la recomanació és sempre de parar la producció i canviar-ho immediatament. Aquest tipus de decisions poden sacrificar a vegades els resultats a curt termini però són una garantia d'èxit al llarg termini. D'aquesta manera sempre tenim la cadena de producció enfocada a produir de la manera més eficient. Els resultats són de més qualitat i evitem acumular errors.

Cal remarcar que l'estudi del flux de valor s'ha de realitzar en la seva totalitat, i això inclou també fora de l'empresa. Penseu que podem tenir els nostres processos interns optimitzats amb una gran efectivitat i tot i així detectar muda en el nostre flux. L'exemple a continuació és molt senzill però il·lustra molt bé la importància d'aquest aspecte.

*La nostra empresa produeix suc de poma. A l'inici necessitem les pomes sense envasar ja que s'introdueixen així a la maquinària. S'ha comprat sempre la matèria prima a una empresa que ven les pomes en paquets ja que la majoria dels seus clients les volen així. A causa d'això, el nostre primer pas de transformació és el de tenir personal per desempaquetar les pomes i introduir-les a la màquina. Analitzant bé el procés, però, veiem que podríem comprar les pomes al nostre proveïdor sense envasar. A ell li estalviem el cost de fer-ho i per tant ens podrà vendre la matèria a més bon preu. Nosaltres estalviem diners en la compra i eliminem el procés de desembossat, que abans semblava imprescindible.*

### 2.2.3. (III) FLOW.

Quan ja tenim ben especificat el concepte de valor i l'empresa ha estudiat el flux de valor per eliminar-ne totes les etapes amb malbaratament evident, podem dur a terme el proper pas. Aquest consisteix en fer que totes les etapes que hem determinat com a creadores de valor flueixin. Per aconseguir-ho cal canviar la manera com acostumem a pensar.

Normalment organitzem les nostres empreses per funcions i departaments i agrupem les activitats segons els tipus. Pensem que d'aquesta manera les podrem realitzar de forma més eficient i seran més fàcils de gestionar. Fins i tot dins de cada departament les organitzem en lots. Per posar un exemple primer pintem totes les peces que han d'anar de color verd, després aquelles que han d'anar vermelles i finalment, les grogues. La manera de treballar en forma de lots significa llargues esperes mentre els productes esperen que el departament els prepari per el tipus d'activitat següent. Per què no ens centrem en el problema des del punt de vista d'un producte? El que ens interessa és que es finalitzi de la manera més ràpida possible i amb el mínim d'esforç. Si ens concentrem en el producte i no en la maquinària o l'estructura les tasques s'acostumen a realitzar de forma més eficient.

Si que és cert que si el nostre producte final és sempre el mateix els lots poden arribar a ser vàlids. Però quan no tot és el mateix els departaments compliquen el procés. Imagineu que hem d'escriure 1.000 cartes. Si totes són iguals i van al mateix destí, l'idioma, el segell i l'adreça seran els mateixos. No caldrà comunicació entre departaments i es podrà produir per blocs. Per contra, si totes van a llocs diferents la cosa es complica. Cada carta serà diferent i a l'hora de posar el segell i l'adreça, s'haurà d'anar comprovant que no ens equivoquem. El fet de produir-les per lots ens farà fer-ho de forma molt més lenta. Si s'agafés una carta, s'escriu i s'hi posa el segell i l'adreça de forma continuada, el treball es faria més ràpidament ja que no hi hauria dubtes. Per veure-ho de forma més clara proposem aquest exemple pràctic conegut, que he dut a terme, podent comprovar els avantatges del *flow*.

Exemple pràctic de flow.

Simulem que la nostra empresa rep una comanda de tres productes. El productes que hem d'entregar són columnes ordenades de caràcters. En el nostre cas, una columna de números enters, una de lletres i una de nombres romans.

<u>Números</u>	<u>Lletres</u>	<u>Números romans</u>
1	A	I
2	B	II
3	C	III
4	D	IV
5	E	V
6	F	VI
7	G	VII
8	H	VIII
9	I	IX
10	J	X

**Figura 3.** Les tres columnes ordenades simulen els productes acabats ( Font: imatge pròpia ).

Per a realitzar la comanda podem fer-ho de dues formes. La primera seria en forma de lots o fent les peces per departaments. La segona, prioritant el flux i centrant-nos en un producte en cada moment.

<u>Números</u>	<u>Lletres</u>	<u>Números romans</u>
1	A	I
2	B	II
3	C	III
4	D	IV

**Figura 4.** Producció en lots. S'escriuen els caràcters per files, simulant els lots de peces ( Font: imatge pròpia ).

<u>Números</u>	<u>Lletres</u>	<u>Números romans</u>
1	A	
2	B	
3	C	
4	D	
5		
6		
7		
8		
9		
10		

**Figura 5.** Producció centrant-nos en el flux. S'escriuen els caràcters per columnes, simulant que un producte que s'inicia es manté en producció fins que s'acaba ( Font: imatge pròpia ).

*El fet d'haver de canviar de bolígraf cada vegada que es passa d'una columna a una altra representa la dificultat i el temps que s'ha de gastar en saber on hem deixat el producte anteriorment per continuar amb el seu procés de fabricació.*

*Realitzant l'experiment i cronometrant el temps que s'ha trigat a finalitzar les tres columnes en podem treure unes conclusions molt interessants:*

*› El mètode centrant-nos en el flux és molt més ràpid que produir per lots. En aquest exemple la millora del temps ha estat del 50% ja que s'ha trigat 1 minut i 22 segons a fer-ho en lots i només 41 segons a fer-ho per productes.*

*› A part de l'estalvi general de temps, els productes s'acaben molt més ràpid i els podem entregar abans al consumidor deixant-lo satisfet i estalviant espai i estoc. Seguint l'exemple i prioritzant el flux teníem la columna de números acabada en aproximadament uns 14 segons i la de lletres en 28. En l'altre cas, totes s'han acabat al voltant dels 80 segons i durant tot el procés teníem lots de productes inacabats esperant a que se'ls passés a una nova fase de producció ( una nova fila ).*

*› Per acabar, destacar la dificultat que ens suposava el fet de canviar de producte cada vegada, cosa que ens feia canviar el que estàvem pensant i tenir dubtes sobre el pas que anava a continuació.*

A les empreses ens trobem la dificultat d'aconseguir que aquest flux no s'aturi encara que les comandes siguin petites i variades. Ohno ho va aconseguir en cadenes d'acoblament aprenent a canviar ràpidament les eines i adaptant de forma sorprenent les màquines a la mida i capacitat adequades.

Per tant, tot i que en un principi la mentalitat del flux és contrària a la intuïció, val la pena fer aquest esforç, ja que els beneficis que se'n extreuen els acabem de comprovar.

#### 2.2.4. (IV) PULL.

El primer efecte visible quan evolucionem de departaments i lots a equips de producte i flux és que el temps de concepció a llançament, de venda a entrega i de matèria prima a consumidor descendeix de forma espectacular. Al introduir-se aquest flux els productes que trigaven anys a dissenyar-se ara es resolen en qüestió de mesos. Les comandes que trigaven dies en ser processades es completen en hores i les setmanes o mesos del temps total de producció física convencional es redueix ara a dies o fins i tot hores. El normal és poder reduir ràpidament a la meitat el termini de desenvolupament del producte, en un 75% el temps de processament de comandes i en un 90% el de producció física (si no estem fent quelcom malament). A més a més els sistemes *lean* han de poder fabricar en qualsevol combinació qualsevol producte que l'empresa tingui en oferta en aquell moment perquè ens puguem ajustar de forma immediata a una demanda canviant.

Això a simple vista pot no semblar un gran què. Però aquesta capacitat de dissenyar, programar i fer exactament el que el consumidor desitja en un temps reduït ens permet no haver de fer previsions de venda i fabricar simplement allò que els consumidors necessiten.

Podem fer que el client atregui (*pull*) el producte en comptes d'empènyer cap al mercat productes que sovint no són desitjats (*push*). A més a més s'ha demostrat que la demanda acostuma a ser molt més estable quan sap que pot aconseguir el que vulgui de forma immediata i quan els fabricants paren de realitzar campanyes publicitàries amb descomptes per productes que ja ningú vol.

Per posar un exemple podem parlar dels llibres. Cap als voltants del 2003, aproximadament la meitat dels llibres impresos a Estats Units es trituraven. Això passa perquè les empreses no han après res del flux i per tant el consumidor no pot atreure el producte cap a si mateix. Si s'acaben les existències en una botiga el procés de reposar els llibres triga setmanes i la vida útil dels llibres, que és molt baixa, no ens ho permet. O es té el llibre en el punt de màxim interès o es renuncia a moltes vendes. Com que no es pot predir la demanda per anticipat la única solució és imprimir milers d'exemplars per tenir plens tots els punts de venda quan el llibre és publicat. Aquesta sobreproducció porta a que no es venguin tots i que els que han sobrat es retornin a l'editorial que els triturarà un cop s'acabi la temporada.

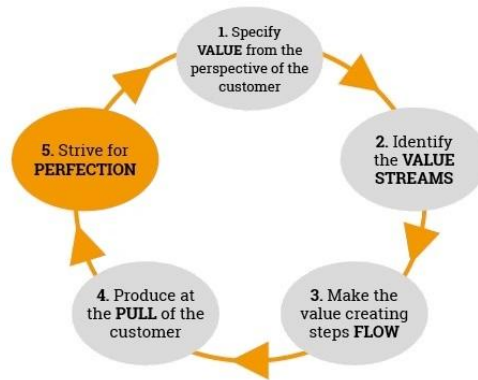
Per solucionar aquest exemple al principi les firmes poden aprendre a imprimir en lots petits, més ràpidament i amb més freqüència. Més endavant fins i tot potser es podrà imprimir el mateix llibre a la llibreria (el que desitgi el consumidor) o passar al format digital (actualment ja ens trobem que podem adquirir el llibre que volem a través de la xarxa).

#### 2.2.5. (V) *PERFECTION*.

Un cop una empresa decideix acceptar i implementar a consciència els quatre primers principis *lean* veu que aquestes idees es poden portar més i més al límit. Es pot continuar reduint l'esforç, es pot continuar reduint el temps, l'espai... Cada vegada volem saber més detalladament que és el que desitja el consumidor i anem intentant reduir els errors de producció a zero. Això ens porta a buscar la perfecció, que ja no ens sembla una idea tant esbojarrada.

És aquest principi de buscar la perfecció el que fa que els altres quatre principis segueixin funcionant i que quan en reduïm o refinem un ens surtin noves possibilitats per aplicar als que estan estretament relacionats. Si l'empresa para de buscar la perfecció el motor de millora també es para i tornarem als inicis.





**Figura 6.** Els 5 principis lean. *Buscar contínuament la perfecció és una de les claus de la producció ajustada ( Font: Suiko (2016) ).*

Un dels estímuls més importants per la perfecció és el de la transparència. Normalment les empreses són reticents a donar moltes dades sobre el seu funcionament. Aquest temor pot estar justificat perquè si es veuen febleses els proveïdors poden vendre els seus productes més cars, o els clients fer ofertes més baixes. Altres empreses de la competència també podrien copiar estratègies comercials o mirar de fer-se seus mercats o tractes que dominava l'empresa de la qual parlem. Tot i això, aquesta transparència també permet a totes les persones interessades i als empleats conèixer com funciona el sistema i poden descobrir metodologies que permetin crear valor o estalviar diners. El *feedback* que se'n deriva és molt valuós per a l'empresa i normalment en compensa els desavantatges.

### 2.3. Eines principals del *Lean Thinking*.

Tot i que el *Lean Thinking* és més una filosofia i una manera de fer les coses que un mètode fix a seguir, existeixen certes eines que ens ajuden a apropar-nos al nostre objectiu *lean*. La seva aplicació no sempre és senzilla i tampoc ens donarà beneficis immediats, però són un bon començament per entendre'n la idea i estructurar els nostres pensaments.

Aquestes eines que mencionarem es troben exposades a moltes fonts d'informació. Quesada-Pineda, et al. [16] ens n'ofereixen una bona recopilació que a continuació presentem i desenvolupem.

#### 2.3.1. LES 5S.

Les 5S són una metodologia originària del Japó. Aquesta metodologia ens facilita aconseguir un entorn laboral més ordenat, organitzat i net que ens permetrà assolir una productivitat més elevada. El gran avantatge de les 5S és que la seva aplicació no requereix la implementació de noves tecnologies ni afegir estructures d'empresa. Segurament caldrà la conscienciació dels treballadors perquè es comprometin amb les condicions, però és un preu petit a pagar per als resultats que n'aconsegurem.

El nom bé donat per les inicials dels cinc termes japonesos que corresponen als cinc principis a seguir i que marquen l'ordre d'aplicació les idees més importants. Els cinc termes són *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* i *shitsuke*.

- *SEIRI* o classificar.

En molts llocs de treball trobem eines o productes acumulats que ja no s'utilitzaran mai més, ja sigui perquè estan espatllats, són massa antics o els hem substituït. Per a buidar el nostre espai de treball, doncs, hem de classificar els objectes en necessaris i innecessaris.

Un cop hem separat els objectes que són útils hem de desprendre'ns de la resta. Si l'objecte té valor busquem el millor client per donar-li o vendre'l i d'aquesta manera treure'n profit. Si per contra no té cap valor cal desfer-se'n de la manera més ràpida possible. Hi pot haver algun element que no sigui fàcil de tirar, per exemple, degut a les seves dimensions. Tot i així val la pena buscar la manera d'eliminar-lo de la forma menys costosa i fer el pas. Tot allò que no suma acabarà restant si no prenem la decisió.

- *SEITON* o organitzar.

Els objectes, eines i materials que hem decidit mantenir els hem ara de classificar d'una forma efectiva perquè els tinguem a disposició ràpidament.

Una bona manera de fer-ho és col·locar aquells que fem servir amb més freqüència més a mà que aquells que utilitzem esporàdicament. D'aquesta manera estalviem tot el temps que empràvem a buscar allò que necessitàvem o a moure'ns pel lloc de treball de manera poc efectiva.

- *SEISO* o netejar.

Sembla obvi que l'espai on treballem ha d'estar net. Tot i així als principis s'insisteix amb la neteja perquè aporta molts més beneficis dels que pensem a simple vista. Apart d'evitar la mala impressió i les incomoditats que causa un lloc brut, hi ha estudis que demostren que un lloc net influeix en l'estat d'ànim dels treballadors, que faran la feina més a gust. És per tant aconsellable que la neteja formi part del programa d'activitats diàries.

- *SEIKETSU* o estandarditzar.

Un cop tenim l'espai ordenat i net hem de procurar incorporar una rutina i esquemes fixos d'actuació. Si sempre encarem les tasques de la mateixa manera agafarem bones costums i podrem corregir errors o millorar l'organització de l'espai de treball.

- *SHITSUKE* o mantenir.

I finalment, com el cinquè principi de la filosofia *lean*, el que hem de fer és mirar de mantenir tot allò que estem intentant implementar. Anar repassant els estàndards i les pautes acordades. Per fer-ho podem recompensar el treballador si segueix les idees marcades i col·labora en el projecte. Les persones motivades són claus per l'èxit.



**Figura 7.** Una farmaciola, que pot representar qualsevol espai d'una empresa. A l'esquerra, l'abans, i a la dreta el després d'aplicar les 5S. ( Font: Total Quality Management (2016) )

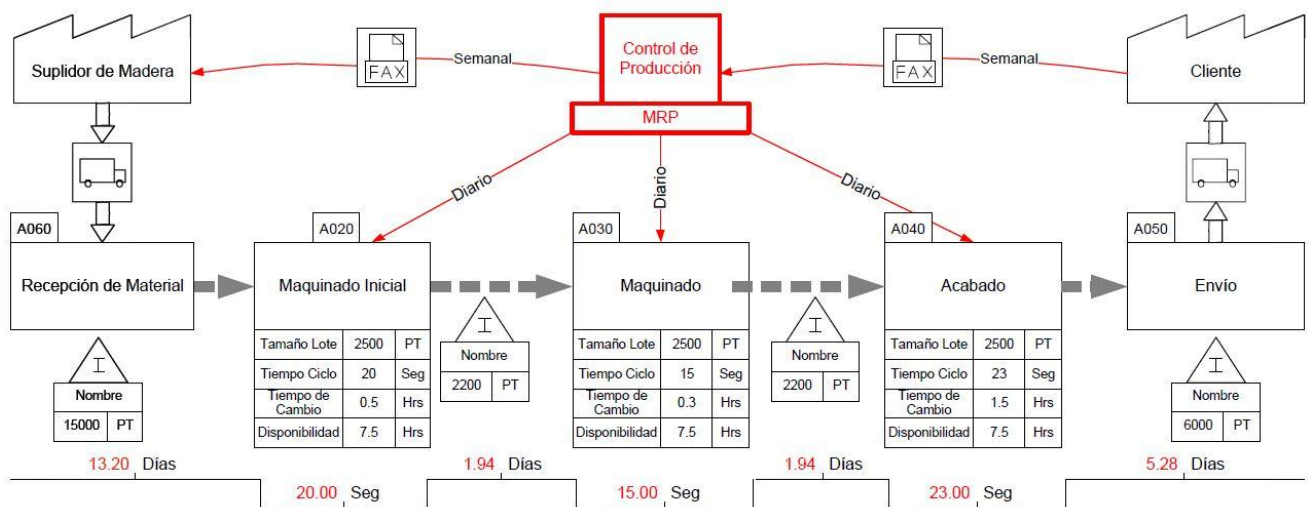
Les 5S són un bon començament per entrar a la filosofia *lean*. Aplicant aquests senzills passos i mantenint-los al llarg de la vida de l'empresa ens portarà sempre beneficis i el cost d'aplicar-los és mínim.

### 2.3.2. VALUE STREAM MAPPING (VSM) O MAPES DEL FLUX DE VALOR.

El *lean thinking* es basa en la premissa de que només hem de mirar d'efectuar aquelles tasques que agreguen valor. El mapa de flux de valor és la representació gràfica utilitzada per analitzar la cadena de valor d'un producte o companyia. Si el realitzem correctament ens permetrà veure clarament l'estructura dels processos i discernir aquelles activitats que agreguen valor de les que no ho fan.

Aquesta representació no només conté les activitats principals. Per a tenir una bona referència cal introduir-hi també els fluxos de materials i informació, les relacions establertes amb proveïdors i els requeriments dels clients. Com més detallat sigui el gràfic més precises podran ser les nostres prediccions. Per tant, per fer-lo més complert podem afegir-hi els temps d'entrega, els mètodes de programació de la producció, el consum energètic i totes aquelles dades que tinguin relació amb el procés productiu, que tinguin influència en temes econòmics o de temps.

En l'exemple concret de la figura 8 es pot veure al centre el control de producció que és qui regula totes les activitats. S'hi ha marcat la periodicitat amb la que rep o transmet la informació, vital en qualsevol organigrama que vulgui funcionar adequadament. Als extrems hi tenim la recepció del material i l'enviament del producte acabat i el mètode de transport amb el que es fan. Com s'ha comentat abans, el grau de detall de la nostra representació és important i en aquest punt hi trobem a faltar informació. No sabem la quantitat que arriba ni amb quina freqüència ho fa. No sabem si arriba un dia després de fer la comanda o si en triga trenta. Si el material arriba en funció de la demanda també seria bo reflectir-ho i especificar segons quins patrons. La informació és clau a l'hora de trobar el *muda*.



**Figura 8.** Mapa del flux de valor d'una empresa de modelatge arquitectònic ( Font: Virginia Cooperative Extension (2012) ).

Entre els dos extrems hi trobem els processos pels quals transcorre el material i els detalls de cadascun d'ells: els lots, els temps de cycle, etc. I finalment, a la part baixa del gràfic hi trobem una part molt important per l'aplicació de la filosofia *lean*, la línia dels temps de producte dins l'empresa. A la part superior d'aquesta línia hi ha els períodes en els quals no s'agrega valor i a la inferior aquells que ho fan. En aquest exemple en particular la suma dels processos que no agreguen valor és d'uns 22 dies mentre que les que agreguen valor real no arriben al minut ( 58 segons ). Un 99,9% dels temps a l'empresa, segons l'anàlisi fet, no agrega valor al producte. Aquest temps es perd en inventaris de matèries primes i semi-processades o en productes acabats i en transports innecessaris. El nostre objectiu serà aconseguir que aquest temps d'estada dels materials a l'empresa sigui el més semblant possible al d'agregació de valor.

Per tant, el primer pas per treure'n rendibilitat del VSM és el de crear el mapa de flux de valor de l'estat actual de la nostra empresa. Un cop l'hem analitzat i n'hem vist els defectes i aspectes millorables podem dissenyar el mapa de valor de l'estat que considerariem ideal. Aquest esquema ideal serà pràcticament inassolible, però serà l'objectiu que ens guiarà a través de la millora diària. Com hem anat dient amb tots els aspectes de la filosofia *lean*, una de les claus serà anar actualitzant aquest mapa de flux de valor, ja que la millora es produeix quan l'esforç és constant i s'aprèn d'allò que hem estat experimentant.

### 2.3.3. CONTROLS VISUALS. EINES POKA-YOKE.

Fins ara hem proposat una manera d'organitzar la nostra empresa de manera eficient amb les 5S i hem donat un mètode de treball per anar polint els temps d'aquelles activitats que no afegixen valor. Seguint amb les eines que ens ajuden a apropar-nos cada vegada més a l'estat *lean* ideal ens trobem amb aquelles que ens ajudaran a controlar el nostre flux. Amb la seva aplicació es mira d'evitar tot el malbaratament que té lloc durant la producció en sí, principalment a causa de defectes en el procés i errors humans.

Una de les maneres d'evitar que els defectes es propaguin al llarg de la cadena de producció acumulant més pèrdues cada cop i mantenir les condicions de cada màquina en el seu estat òptim és la dels controls visuals. Els controls visuals no requereixen de molta inversió i es poden aplicar a totes les àrees d'una organització. Banalment es podria dir que consisteixen en observar detingudament per detectar qualsevol cosa que no funciona correctament. Ara bé, la gràcia d'aquesta tècnica és fer que l'ajuda visual que nosaltres rebem en fer el control estigui disponible en el lloc i el moment correctes. També és important que sigui un senyal estàndard a través de tota l'organització perquè tothom el pugui entendre.



**Figura 9.** Exemple d'una eina de control visual. El nivell de colors ens permet ràpidament detectar si la quantitat de fluid en el cilindre és l'adequada ( Font: SIOM (2013) ).

Si amb total desconexió dels processos d'una fàbrica nosaltres entrem i veiem el cilindre de la imatge sabem, sense que ningú ens n'expliqui el funcionament, que el nivell de líquid que hi ha és el correcte. Això és gràcies a la bona utilització dels controls visuals ja que la combinació de materials i colors fan veure a simple vista que tenim les condicions adequades. És això el que hem de buscar dins la nostra empresa.

Amb el nivell de la imatge o qualsevol eina visual adequada detectarem ràpidament qualsevol ajust o correcció que haguem de fer. El problema és que aquest ja haurà succeït. Per evitar-ho podem anar més enllà i passar a prevenir els problemes abans de que es manifestin.

*Poka-yoke* és un terme japonès que significa literalment “a prova d'errors”. Els dispositius o sistemes que segueixen aquesta idea estan dissenyats de tal forma que eliminen totalment la possibilitat de cometre errors. Els *poka-yoke* poden ser des de detalls molt simples fins a estructures més complexes, però totes asseguraran que al dur a terme una acció, aquesta es faci correctament.

Tot i no ser-ne conscients en el nostre dia a dia trobem múltiples exemples d'eines *poka-yoke*. Un exemple molt clar són els coneguts llapis de memòria que tots hem utilitzat alguna vegada. El plàstic situat a la part interior impedeix que entri si l'estem connectant malament. Automàticament i sense ni tan sols ser-ne conscients el girarem i durem a terme

l'acció amb èxit. Un altre exemple és la forma tant característica de les targetes SIM dels telèfons mòbils on a un dels vèrtexs se li ha donat forma d'escaire. D'aquesta manera tant simple tothom insereix correctament la targeta.

A les empreses pot resultar més difícil aplicar aquesta tècnica. S'haurà de fer un esforç i analitzant els passos dins la nostra cadena de muntatge incorporar-hi controls visuals i eines *poka-yoke*. El benefici que se'ns retorna és molt més gran ja que disminuïm els errors notablement.

#### **2.3.4 TÈCNICA SMED (SINGLE MINUTE EXCHANGE DIE).**

Aplicant els controls visuals i les eines *poka-yoke* assegurem un flux fiable i amb molt pocs defectes. Aquestes millores, però, canvien molt poc els temps del nostre flux. Un dels problemes que segurament continuarem patint és el de la flexibilitat de la nostre producció. El fet de trigar molt a canviar d'un producte a un altre comporta alts temps d'entrega i grans estocs.

La tècnica SMED ( *Single Minute Exchange Die* ) [9] és una de les més eficaces a l'hora de reduir els temps on la cadena de producció està aturada degut a la preparació de la maquinària per a realitzar els nous processos. Va ser desenvolupada per Shigeo Shingo, d'origen japonès, i es va implementar per primer cop a Toyota, l'empresa puntera de la filosofia *lean*. Amb ella es busca una reducció dels temps de preparació, que ens permetrà treballar amb lots més reduïts. Els lots reduïts milloren substancialment els temps d'entrega i redueixen els nivells de producte en trànsit, dos aspectes molt valuosos. La flexibilitat també es veu potenciada ja que ens podem adaptar molt més a la demanda i no hem d'estar produint lots grans per por a perdre temps amb els canvis de peces.

Per aconseguir aquests propòsits el mètode SMED ens recomana seguir quatre fases:

##### **I. SEPARAR LES OPERACIONS INTERNES DE LES EXTERNES.**

Aquesta primera fase implica diferenciar entre la preparació de la maquinària amb el procés parat (preparació interna) d'aquella amb la maquinària en funcionament (preparació externa). En el primer cas parlem d'aquelles operacions que, inevitablement, requereixen la màquina aturada. Si per contra veiem la manera de dur a terme les accions en funcionament, ens trobem en l'altre cas, molt més beneficiós. El nostre objectiu és evitar qualsevol activitat de preparació externa realitzada quan la màquina està parada. Per tradició o costum pot ser difícil detectar-les, ja que sempre s'haurà fet el mateix. Una bona manera de millorar és enregistrar un vídeo del procés per ajudar-nos a comprendre'l, veure'n els temps reals i les millores que anem fent. Per exemple en la neteja dels aparells és un dels moments on normalment es perd temps, ja que la majoria poden ser externes.

##### **II. CONVERTIR OPERACIONS INTERNES EN EXTERNES.**

El segon pas és el de canviar operacions de tipus intern a operacions externes. Ara bé, no ens hem de limitar a les preparacions directament sobre la màquina ja que hi ha moltes més activitats que constitueixen el procés. Ens podem trobar per exemple amb un cas en que

col·loquem un motlle dins la màquina i hem d'esperar un cop ja és dins a que s'escalfi. Si prèviament l'escalfem a la temperatura adequada quan el fixem ja estarà preparat. Hem passat el temperament d'operació interna a externa. Als *pit-stop* de la fórmula 1 podem apreciar les tècniques SMED portades al màxim. Es mira d'aconseguir que el cotxe estigui el menys temps parat possible ja que el temps estalviat és molt vital per aconseguir un bon resultat. Ho aconsegueixen per exemple gràcies als elements que subjecten les llantes, dissenyats per estar parcialment ajustats ja abans de la seva col·locació.

### III. ORGANITZAR LES OPERACIONS EXTERNES.

Aquesta fase, tal i com el seu nom indica, es basa en col·locar correctament totes les eines i materials que ens ajuden a realitzar les operacions externes. Els elements han d'estar preparats al costat de la màquina després d'haver-ne realitzat les comprovacions i reparacions recomanades. És probable que es requereixi d'inversió en actius de manteniment, emmagatzematge o transport. Si tenim qualsevol peça lluny o triguem molt a transportar-la, perdrem temps i precisió en el canvi.

### IV. REDUIR EL TEMPS DE LES OPERACIONS INTERNES.

L'últim pas consisteix bàsicament en reduir al mínim els processos d'ajust. Es calcula que aquest tipus de processos constitueixen entre el 50 i el 70% de les operacions de preparació interna. Una de les actuacions que podem dur-hi a terme és estandarditzar les característiques dels sistemes de subjecció dels elements mòbils. Un altre aspecte clau passa per reduir els temps de parametrització i ajust per aconseguir la qualitat adequada. Aquí ja entrem més en temes d'enginyeria i noves tècniques cosa que en farà augmentar considerablement el cost.

Aplicar tots quatre principis no és senzill ja que són en gran part teòrics i en molts casos, a diferència del que proposa generalment la filosofia *lean*, requereixen de tecnologies avançades que ens permetin aquesta reducció de temps que es busca. El concepte que sí que s'ha de tenir sempre present és el de les operacions internes i externes que és més un tema d'anàlisi i logística sobre el que podem actuar.

#### 2.3.5. EL JUST-IN-TIME I LA SEVA MATERIALITZACIÓ: ELS KANBAN.

Un cop l'essència del *lean thinking* havia estat establerta es buscava la manera d'aplicar-la a la indústria i en concret a l'automoció. Taiichi Ohno, el vicepresident de la Toyota Motor Company i gran impulsor de la filosofia va desenvolupar la producció *Just-in-time* (JIT). En aquest tipus de producció, totalment innovadora, es té com a objectiu fabricar només els productes necessaris quan realment són necessaris. L'estoc, per tant, es mira de mantenir sempre dins els mínims possibles. Sugimori et al. [17] ens n'expliquen els seus orígens i les claus del mètode.

Un dels factors importants en aquest aspecte és el *lead time*, que és el temps que es triga des de l'inici d'un procés productiu fins la seva finalització i entrega. Si aquest temps és massa alt no podem adaptar la producció a la demanda perquè trigarem massa a satisfer les comandes. És per això que en una empresa on l'estructura de la producció ja està definida

ens serà difícil adaptar-hi les tècniques JIT. Els lots, els temps de producció elevats, el desequilibri entre inventaris, etc., són problemes que faran que no tingui èxit aquesta mentalitat.

Per tant, perquè sigui possible aplicar la metodologia *Just-in-time* cal satisfer quatre requeriments que ens permetran anar reduint cada vegada més el *lead time*. I amb aquesta reducció del temps tolerarem els canvis de demanda i anirem reduint estoc i sobreproducció. Anem a veure per tant aquestes quatre premisses:

- Hem d'aconseguir primer de tot que a tots els processos els arribi ràpidament la informació necessària sobre allò que han de produir, la quantitat requerida i el moment en el qual ho han de fer. Aquesta informació ha de ser clara i ha de venir del pas següent de la cadena. No és l'activitat precursora la que proveeix de peces la següent, és l'activitat posterior la que demana els productes a l'anterior. Aquest primer concepte és molt important i va molt relacionat amb les idees *pull*.

- El següent objectiu és el d'aconseguir que tots els processos es puguin efectuar a peça per peça. Produir una sola peça, transportar una sola peça, entregar una sola peça... i fer-ho d'una manera eficient. Els lots, una de les característiques de la producció convencional, s'han de mirar d'eliminar. Si disposem de maquinària flexible amb propòsits múltiples i treballem amb les tècniques SMED comentades anteriorment ens anirem acostant a l'objectiu.

- El tercer requeriment és un dels que costa més d'entendre i aplicar ja pot semblar que va una mica en contra de la lògica del JIT. En el pas previ i amb l'aplicació de les tècniques SMED volem produir amb lots molt petits i adaptar-nos a la demanda. Ara bé, si ens hi adaptéssim en cada instant hi hauria canvis constants de producció i l'organització seria quasi impossible. Cal anivellar la producció (*production levelling*). Per aconseguir-ho, la part final de la cadena de producció, que és la que s'encarrega de realitzar les comandes aigües amunt, ha de ser capaç de fer una estimació de la demanda, fer-ne una mitja i anar-la comunicant. Aquesta estimació es pot anar adaptant a la demanda real però ens permetrà assolir una estabilitat a la producció. D'aquesta manera, produint el que se'ns demana però de forma més regular evitarem més dies on la producció està molt per sota o molt per sobre de les nostres possibilitats. Trobarem un bon equilibri.

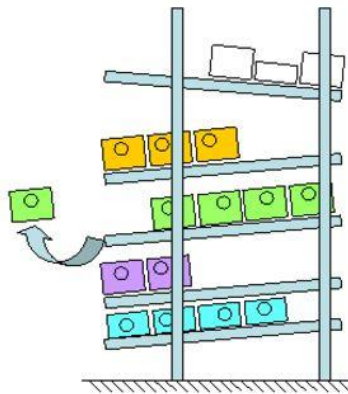
- El quart i últim pas és el d'anar eliminant al màxim la sobreproducció. En la producció convencional es valora positivament tenir estocs ja que es veuen com una font d'estabilitat que permetrà absorbir problemes i fluctuacions de demanda. Per Toyota i la filosofia *Just-in-time* és el pitjor malbaratament ja que a part de ser *muda* per si mateix ( aquest estoc es deteriora, ocupa espai, reté capital... ) també amaga les causes o arrels d'altres malbarataments. Per exemple fa que sigui més difícil detectar diferents velocitats de treball, problemes en algun procés, temps que el treballador està aturat, etc.

Per facilitar la transmissió d'informació tant necessària en el JIT disposem del sistema *Kanban*. Aquest sistema d'informació facilita visualitzar el flux de materials necessaris ja que ens ajuda a conèixer de forma detallada la demanda que es va generant. És



un sistema molt senzill que consisteix en una sèrie de senyals i instruccions per al reaprovisionament de components o materials per part dels proveïdors. Aquests proveïdors, o els receptors dels *kanbans*, es poden trobar dins de la pròpia cadena de producció de l'empresa o poden ser els proveïdors de matèries primeres. Quan el client retira productes del seu lloc la senyal viatja fins al principi de la cadena, comunicant allò que cal reproduir.

Originàriament aquests *kanbans* eren targetes que contenien tota la informació detallada sobre el material que s'havia consumit. Actualment es manté la idea i funció de *kanban* però en trobem de molts tipus com poden ser senyals lluminoses, adhesius, cartells... En general es busca que siguin sistemes visuals i no gaire complexes. Això fa que aportin simplicitat, rapidesa i efectivitat ja que aquests senyals ens arriben a temps real i en un format comprensible. Com en els controls visuals, el seu objectiu és facilitar la tasca del treballador al màxim.



**Figura 10.** Exemple gràfic de kanban on la pròpia caixa actua com a senyal  
(Font: Leanroots (2010)).

A l'exemple de la figura, quan el venedor que es troba a l'esquerra de la prestatgeria necessita més existències d'un producte n'agafa una caixa. Buida aquesta capsa obtenint-ne el material i la deixa al prestatge superior. El proveïdor, que es troba a la dreta, va rebent les caixes i sap l'ordre i les comandes que li van arribant en tot moment. Un cop té el producte pot reutilitzar la caixa per empaquetar-lo i tornar-lo a dipositar al prestatge pertinent. És un exemple molt esquemàtic d'un *kanban* que segueix un patró FIFO (*first-in-first-out*), però ens permet veure el potencial d'aquesta idea per simplificar i facilitar la regulació de la producció, sempre en funció de la demanda.

### 3. DIFERÈNCIES ENTRE INDÚSTRIA I CONSTRUCCIÓ.

La popularitat de la *Lean Production* després de *The Machine that changed the World* [18] va portar a la gent a preguntar-se si les idees de la Toyota Corporation es podien estendre més enllà del context de la producció en fàbriques convencionals. La primera adaptació d'aquestes idees es va implementar als serveis basats en seqüències d'activitats. Els primers a presentar-ho van ser Bowen i Youngdahl el 1998 [6]. Introduïen casos de les idees adaptades a companyies aèries, cadenes de menjar ràpid i fins i tot hospitals. L'adaptació en aquestes empreses era assequible degut a que gran part dels processos es repeteixen constantment.

Però quan volem aplicar les idees *lean* al món de la construcció apareixen inconvenients addicionals ja que en aquest cas la producció es basa en projectes. Aquests projectes acostumen a ser únics cosa que fa que no hi hagi una seqüència fixa d'activitats que es pugui estandarditzar.

Paez, et al. [15] ens proposen una llista de diferències entre els dos àmbits que remarquen de forma molt entenedora les variàncies entre indústria i construcció. Per comprendre-ho millor separem aquelles diferències que són conseqüència de la natura de l'operació d'aquelles que es deriven de la planificació i l'execució.

#### 3.1. Diferències en la natura de l'operació.

L'aspecte clau en aquest tipus de diferències és la condició física del producte final. En el cas de la indústria normalment podem transportar el bé de consum, ja sigui per emmagatzemar-lo o per arribar al client. La construcció tracta amb unitats que no permeten el transport. Aquest fet, que resulta determinant, desemboca en quatre diferències.

La primera és que a la construcció la producció és *in situ*. Els productes manufacturats no presenten aquesta restricció. Els podem produir allà on vulguem i després els transportem. La instal·lació és senzilla i fins i tot a vegades la fa el client. En els projectes, però, la instal·lació i l'erecció són les activitats que donen més valor a el nostre producte. Construïm per tant a la posició definitiva cosa que ens porta a treballar amb l'espai, un punt a tenir molt en compte.

Una de les grans característiques de la indústria és un alt volum de producció en sèrie. Això permet l'especialització de l'equipament per fer totes les unitats iguals. Les opcions de personalització dels resultats són molt baixes, sovint ofertes pels detallistes que compren els productes de fàbrica. Tot el contrari que a les obres. El lloc on es construeix ja determina unes característiques concretes que segurament diferiran de qualsevol projecte anterior. Cal afegir al consumidor (també anomenat propietari), que té un paper clau i definirà com vol el seu producte amb l'ajut dels dissenyadors. A més a més, si durant la seva realització en decideix alguna modificació, s'haurà de fer el possible per dur-la a terme. Ens trobem per tant que es canvia d'una fabricació totalment coneguda a projectes únics, ja que cada vegada seran diferents.

En tercer lloc en destaquem la diferència de complexitats. A les fàbriques es poden manejar fàcilment una gran quantitat de materials que vénen de diferents empreses degut a que els proveïdors porten components específics. S'assegura un flux viable de producte ja que, gràcies al volum de producció, acabem optimitzant la xarxa de subministrament. Tot el contrari passa a la construcció que segons Bertelsen [4] es considera un sistema complex i dinàmic basat en el disseny inicial i que inclou un nombre considerable d'assemblatges amb especificacions variables. La instal·lació de les parts ve condicionada per la interacció i el solapament d'activitats. Això fa que satisfer l'horari fixat sigui difícil amb els recursos que havíem previst. Aquesta pressió de terminis i les restriccions s'acaben afrontant moltes vegades amb un cost addicional.

Per acabar parlem de la incertesa que sorgeix de l'efecte combinat de la producció complexa i in situ. La natura de la producció en sèrie fa possible reduir els dubtes ja que el procés sempre és el mateix i es pot anar controlant. Les condicions climàtiques o del sòl, canvis entre els propietaris o la interacció entre múltiples operacions donarà sempre lloc a excepcions. I aquestes excepcions són a vegades tant crítiques com les activitats que hem programat i poden determinar el resultat del cost del projecte.

### **3.2. Diferències en la planificació i l'execució.**

Un dels principals problemes en la construcció és que el rendiment de les inversions no es veu ràpidament reflectit. A la indústria la vida del cicle de producte al mercat és llarga. Això permet desenvolupar estudis i fer-ne recerca. Se'n treuen conclusions amb poc temps, es corregeixen errors i es millora el producte. A la construcció el cicle de vida del projecte n'és la pròpia duració. Si invertim en planificació o formació no en veurem els resultats fins que passin uns quants projectes. Això fa que les inversions en construcció siguin baixes. Segons Banik [3] aquest problema n'afecta considerablement a la capacitat d'innovació i desenvolupament.

Els actius es veuen de manera molt diferent en els dos àmbits. En la producció en sèrie busquem optimitzar el rendiment en funció de la producció i dels actius o béns que comprem. A l'obra l'equipament es veu com quelcom que pot ser llogat. Busquem reduir adquisicions i costos sempre i quant puguem assegurar la disponibilitat d'aquest. El fet de no comprar maquinària ens permetrà ser una empresa més flexible que es podrà adaptar a varis tipus de projectes.

Quan una persona treballa a una cadena de producció realitza la mateixa tasca cada dia. Té el seu lloc definit i adquireix una gran experiència a la feina. Les polítiques salarials són estables i el lloc de treball acostuma a ser fix. Aquests aspectes presenten una gran diferència respecte a la construcció. Per començar els sous, que sempre poden fluctuar, depenen de l'habilitat, l'experiència i el rendiment de cada treballador. Es busquen professionals experimentats i que tinguin un coneixement general ja que és probable que els toqui realitzar tasques variades o que hagin de coordinar un projecte que serà diferent de tots els que hagin organitzat. Això fa que es treballi per incentius, que la feina no sigui estable i que l'experiència per repetició no sigui tant comuna.

En funció de la planificació que haguem fet del nostre projecte organitzarem també el subministrament de recursos que necessitem. Ens arribaran a l'obra segons les activitats programades i per tant és molt important que hi hagi coordinació entre el subministrador, el cap de projecte i el desenvolupament de l'obra. En la indústria el subministrament està mecanitzat en funció de la necessitat. Quan es dona l'ordre s'incorpora a la cadena. La dificultat principal aquí és mirar de tenir sempre material disponible emmagatzemant-ne la quantitat mínima possible.

I per acabar es pot parlar de com es gestiona en cada cas el tema de control de qualitat. A la indústria el que s'inculca sobretot és la prevenció i el monitoratge. D'aquesta manera s'eviten o es detecten ràpidament els components defectuosos o errors en la cadena de muntatge. No s'arreglen o es refan components, ja que és més fàcil descartar-los i fer-ne de nous. A les obres no es pot reemplaçar el producte ja que aquest és únic i per tant és habitual haver d'arreglar-ne parts ja fetes. La qualitat aquí ve donada per la conformació del producte. Els plànols de referència i les especificacions són allò que ens marcarà els estàndards de seguretat. El propietari i la companyia tenen la responsabilitat compartida de vetllar per ells i complir-los.

<b>Indústria.</b>	<b>Projectes constructius.</b>
<b>DIFERÈNCIES EN LA NATURA DE L'OPERACIÓ.</b>	
Producte final transportable i instal·lació senzilla.	Producció in situ i producte final inamovible.
Alt volum de producció estandarditzada.	Producció única i variable.
Complexitat del procés baixa.	Alta complexitat i interacció entre activitats.
Baixa incertesa.	Elements externs generen incertesa en els resultats i terminis.
<b>DIFERÈNCIES EN LA PLANIFICACIÓ I L'EXECUCIÓ.</b>	
Inversions més justificables. Períodes de retorn baixos.	Escassetat d'inversions ja que només es veuen a llarg termini.
Personal acostumat a realitzar la seva tasca.	Feines variables. Es requereixen coneixements transversals i experiència.
Subministrament segons necessitat.	Subministrament segons programació.
Es descarten components dolents, no s'arreglen.	No es descarta treball mal realitzat, es refà.
Control de qualitat amb prevenció i monitoratge.	Control de qualitat en disseny i conformació del producte.

**Figura 11.** Resum de les diferències entre la indústria i els projectes constructius ( Font: figura pròpia ).

## 4. LEAN CONSTRUCTION.

Fins ara hem fet una presentació de tot el que envolta la filosofia *lean* dins el món de la producció industrial. Això ens ha servit per entendre'n bé quins són els objectius principals i els aspectes que s'hi intenten potenciar.

També sabem que les millores que hi aporta són reals i a moltes empreses d'arreu del món se n'ha pogut veure els beneficis. Tot i això, les diferències que trobem entre la producció en fàbriques i la construcció són considerables. Què és el que ens porta a fer l'esforç d'adaptar i aplicar *lean* a la construcció? Per què cal canviar el mètode de producció actual?

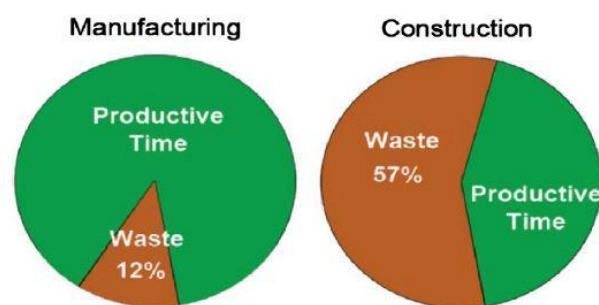
A continuació es fa una explicació dels motius pels quals s'està prenent aquesta decisió de canvi i parlarem també de quines són les metodologies principals per aconseguir una bona adaptació i implementació del *lean* als projectes constructius.

### 4.1. Motivació per aplicar *lean* a la construcció.

La construcció i sobretot els projectes de grans dimensions i complexitat s'han caracteritzat sempre per presentar dificultats. Les baixes que s'adjudiquen actualment fan que alguns cops es superi el cost que s'havia establert prèviament. També succeeix sovint que es fa difícil complir els terminis d'entrega de les obres o acabar-les tranquil·lament. Totes aquestes imperfeccions del gremi s'han vist normals i fins i tot inevitables durant molt temps. Aquests contratemps constants s'accepten perquè es sap que hi intervenen tants factors, molts d'ells difícils de controlar, que fan que aquests problemes occorrin.

Els encarregats de gestionar l'obra assumeixen que hi haurà maldecaps i tensions entre les parts, que en molts casos es posaran a la defensiva. El contractista, cap d'obra o la persona que lideri el projecte haurà de fer d'apagafocs i pressionar en alguns casos els subcontractistes perquè accelerin el ritme de treball i acabin la seva part de feina dins els terminis desitjats [11].

Però tot i que aquests problemes són coneguts, es toleren i s'accepten, estudis demostren que invertim el temps de manera molt poc eficient respecte de com es fa a la manufactura. Com podem veure a la figura, al 2004 més de la meitat del temps que invertíem a l'obra el perdíem. A la mateixa època el temps perdut a la manufactura només era el 12% del total.



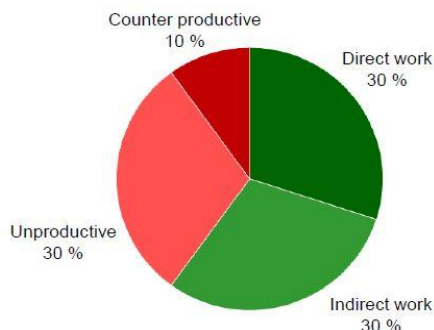
**Figura 12.** Percentatges de temps malbaratats a la manufactura i a la construcció ( Font: *Lean Construction Institute (2004)* ).

Per tant, veient aquestes dades podem deduir que una millora del sector és possible i que cal, si més no, intentar solucionar-ho.

Per mirar de resoldre aquestes mancances i aprofitant la millora contínua de la tecnologia n'hem aplicat alguns avenços. Per exemple els programes CAD ( Computer Aided Design ) han millorat notablement l'eficiència i rapidesa amb la que es creen els plànols. Tot i això en els últims 40 anys l'eficiència dels processos constructius ha continuat presentant números baixos. Per posar dos exemples trobem en primer lloc que als Estats Units es va mesurar un descens de la productivitat del 1964 al 2004. El segon exemple és el del Japó, un país altament tecnològic, on la productivitat va baixar de 3714 a 2731 iens/home/hora en el període comprès entre el 1990 i el 2004 [2].

La principal raó sembla ser que tot i que les noves tecnologies redueixen el cost del disseny i construcció, no poden millorar la gestió d'aquests, que cada cop acostumen a ser més complexes. Per exemple, com hem comentat abans, tot i que els programes CAD milloren l'eficiència dels plànols no redueixen els errors que cometem quan els produïm o els interpretem, cosa que impedeix millorar aquesta productivitat. La innovació tecnològica, per tant, no és una solució que sembli molt efectiva i s'ha mirat de buscar altres camins.

Veidekke, una empresa principalment contractista d'origen noruec, també ha realitzat un estudi interessant. De les hores que dediquen els seus treballadors a les obres n'han mesurat la seva utilitat real. El resultat parla per si sol i podem veure que no és ni molt menys idoni.



**Figura 13.** Ús de les hores de treball, sense aplicar lean, a l'empresa Veidekke de Noruega ( Font: *Lean Construction Barcelona* by ITeC (2016) ).

Mirant amb més deteniment el gràfic podem veure que un 30% d'hores són improductives i un 10%, fins i tot, arriben a ser contraproductives, retardant els processos o empitjorant allò que ja teníem fet. La solució, segons Trond i la pròpia empresa [5], passa per una col·laboració entre totes les parts que intervindran en el projecte per aconseguir una millor organització. D'aquesta manera no perdrem tant temps a l'obra i s'augmentaran els beneficis. Després d'haver pres aquesta decisió l'empresa ha vist que el camí a seguir per aplicar-ho no és fàcil però després de l'esforç econòmic inicial i uns quants projectes en comencen a veure els resultats amb escreix.

I és que com vaig poder copsar a les ponències que es van dur a terme a Barcelona [11], hi ha ganes de canvi i millora. En aquestes jornades hi va assistir persones amb experiència i pes en el sector constructiu espanyol i vaig poder detectar el desencís amb la gestió actual. Quan se'ls va preguntar qui no gaudia de la seva feina, més de la meitat de la gent va aixecar la mà. Argumentaven que es troben en problemes constants, que l'estrès és molt elevat i que la seva principal feina, més que gestionar, era fer d'apagafocs intentant mantenir els conflictes controlats. Això també és un dels motius a l'hora de canviar a *lean*.

#### 4.1.1. TIPUS DE MALBARATAMENT A LA CONSTRUCCIÓ.

Per millorar la producció podem analitzar quins són els tipus de malbaratament principals que es donen a la construcció i mirar de solucionar-los. Formoso, et al. [8] proposen una classificació del malbaratament en nou grups. Aquests grups varien respecte als de la indústria a causa de la diferència entre la seva naturalesa. Veient aquesta classificació podem determinar com actuem per reduir les despeses al mínim i incrementar la producció. És important conèixer en quin aspecte ens centrem per evitar que tot vagi malament, sigui car i vagi tard.

- SOBREPDUCCIÓ.

Es dona simplement quan produïm una quantitat més gran d'aquella necessària o quan la fem abans que calgui. Això porta inevitablement a malgastar materials i hores de feina. També retenim més temps l'equipament per realitzar aquestes activitats, que ens suposarà un cost extra. Quan produïm més del necessari sorgeixen inventaris de productes inacabats que no utilitzarem i que es poden perdre del tot si es deterioren fàcilment. Un exemple molt clar és el de la producció de morter que no es pot fer servir a temps i s'acaba assecant. Aquest exemple pot semblar poc important ja que és a petita escala, però la sobreproducció pot passar a ser un problema important quan es dona per falta de coordinació entre les parts i el coneixement d'allò que requereix l'obra.

- SUBSTITUCIÓ.

És un malbaratament fàcil de mesurar ja que principalment és monetari. Es produeix quan es substitueix un material que ja compliria la seva funció per un més car que pot tenir millors prestacions però que són innecessàries. Entren també dins el malbaratament per substitució l'execució de tasques senzilles per obrers que estan qualificats per fer-ne de més complexes i l'ús d'equipament altament sofisticat en activitats on un més senzill seria suficient.

Si aconseguim disposar d'un bon disseny i existeix una bona comunicació entre les parts, passa a ser un malbaratament secundari ja que quasi sempre col·loquem el material adequat. Ara bé, en la situació actual on el mercat està molt competit les empreses tenen dificultats per generar beneficis a causa de les baixes agressives. Per aconseguir recuperar els màxims diners possibles, justifiquen molts cops la substitució de materials per components més cars podent augmentar el preu de venda al client. És un problema que s'ha de mirar d'arreglar ja que com podem comprovar no afegeix valor al nostre producte.

- TEMPS D'ESPERA.

El conformen tots els moments on el temps es desaprofita i queda mort, sobretot entre activitats. Es dona bàsicament degut a la falta de sincronització entre diferents grups i processos. També pot produir temps d'espera la falta de materials degut a que no se'n ha gestionat bé les existències. Com hem pogut veure, és un dels problemes més greus que presenta la construcció i per tant un dels principals punts a mirar de solucionar. Si el ritme de treball no és constant segur que aquest temps d'espera apareix i per tant l'hem de mirar de reduir garantint una continuïtat entre els processos.

Cal tenir en compte que al perdre aquest temps l'obra acabarà més tard del compte. Això pot suposar una penalització en funció del contracte i dels terminis. També suposa un cost extra ja que haurem de contractar els equips de treball durant més temps a causa de que el temps en obra serà major. Una bona gestió del projecte pot portar a temps d'espera molt reduïts i per poder-ho aconseguir cal l'aportació de totes les parts per conèixer bé els temps de treball.

- TRANSPORT.

Aquest tipus de malbaratament té en compte el moviment dels materials dins el propi recinte. Si no distribuïm bé els recursos a l'espai perdrem temps transportant-los i movent-los de lloc. A més a més, si ho fem amb un equipament inadequat o per camins en males condicions també podrem malmetre material i malbaratar-lo. A part d'aquest malbaratament de materials, que és el menys important, perdem hores de feina, energia i espai a l'obra.

Una planificació adequada tenint en compte l'espai físic i les necessitats de cada procés ens ajudarà a distribuir bé els recursos i evitar els transports innecessaris.

- PROCESSAMENT.

Està relacionat amb la natura de cada operació, l'activitat de conversió. Només es pot evitar canviant les tecnologies de construcció. Per exemple en la realització d'un túnel per formigó projectat hi haurà una part d'aquest que caurà al terra.

Analitzant els processos podríem desenvolupar noves tècniques i implementar-les, millorant així en aquest aspecte. Tot i això, com hem pogut comprovar anteriorment, l'aplicació de noves tecnologies no ha suposat canvis significatius en la millora de la producció. Apart acostuma a ser un procediment car. És per això que no és un dels punts més urgents a tractar.

- INVENTARIS.

No hi ha equilibri quan ens trobem amb un inventari que és excessiu o insuficient. Si no disposem de materials ens trobarem que el temps d'espera augmentarà ja que haurem d'esperar-ne l'arribada de nous. Per contra, les pèrdues en aquest àmbit es donen quan els inventaris són excessius. Apareix un cost extra degut al deteriorament dels materials, pèrdues perquè no s'emmagatzema adequadament, robatoris i vandalisme. I si aconseguim



conservar el material adequadament també tenim capital lligat i immòbil, que impedeix que estigui actiu a un altre lloc.

Molts cops ve degut a una planificació pobre o al desconeixement i estimació de les quantitats. Si es parla amb els diferents subcontractistes i especialistes de cada activitat i hi ha una millor coordinació gestionarem millor l'arribada del nostre inventari.

- MOVIMENT.

Anteriorment hem parlat del transport ineficient dels materials. En aquest cas es valoren els moviments innecessaris dels treballadors durant la seva feina que vénen donats per la mala disposició del lloc de treball o el seguiment d'uns mètodes d'acció inefectius.

- PRODUCCIÓ DEFECTUOSA.

Es dona quan el producte final o l'intermedi no satisfan les especificacions de qualitat o d'estètica per part del client. Això porta a retocar allò que ja tenim fet o a eliminar el producte amb l'error i tornar-lo a fer de nou. Tant si el retoquem com si el refem de zero haurem d'invertir nous materials i temps i s'haurà de tornar a programar el projecte ja que una part que donàvem per acabada no serà correcte.

Tot i que una de les causes en pot ser la mala actuació dels obrers el problema principal acostuma a venir de la coordinació entre disseny, constructor i el propi client. Molts cops, i en funció de l'estructura d'estat, els projectes s'adjudiquen amb el disseny ja realitzat prèviament, sense tenir en compte a la constructora que el durà a terme. Això en dificulta la interpretació i porta als errors comentats prèviament. A vegades també pot passar que el client es mantingui al marge del projecte (fins i tot per voluntat pròpia) i llavors, al arribar a l'obra, trobar aspectes que no estan al seu gust. Llavors, o els canviem per satisfer-lo i afegim un cost extra o queda tal i com ho tenim, no donant a l'obra el valor que volia realment el client.

- ALTRES.

Tot allò que no puguem classificar dins dels altres àmbits com per exemple robatoris, furts, vandalisme, accidents fortuïts... conformen aquesta categoria.

També tenen vital importància les condicions climàtiques. És cert que no podem controlar els dies de pluja o mal temps que tindrem en un projecte. Tot i així, si la programació no és adequada aquests contratemps trasbalsaran el nostre horari. Amb una bona gestió reduïrem el impacte de les condicions climàtiques i aconseguirem, tot i les pauses obligades, que el flux s'aturi el mínim.

TIPUS DE MALBARATAMENT	RELACIÓ AMB LA PROGRAMACIÓ I GESTIÓ DELS TEMPS.		
	Alta	Mitjana	Baixa
Sobreproducció.	●		
Substitució.		●	
Temps d'espera.	●		
Transport.		●	
Processament.			●
Inventaris.	●		
Moviment.	●		
Producció defectuosa.		●	
Altres.		●	

**Figura 14.** Taula resum on es mostra la influència i relació d'una mala programació amb els diversos tipus de malbaratament ( Font: imatge pròpia ).

Com podem veure a la taula anterior la programació juga un paper vital en gran part dels problemes que podem tenir en una obra. Només en la pròpia execució de les tasques, on es produeix el malbaratament per processament, no hi té una influència significativa. Alshaimi i Koskela [1] ja ho varen detectar declarant que la gestió i programació dolenta als projectes era una raó comuna i predominant en el retards en la finalització d'aquests.

Ens sortirà molt més a compte produir de manera eficient i encertada des de l'inici ja que tot anirà sobre rodes i no haurem de fer modificacions complexes quan ja tenim el projecte i l'horari en marxa. És important també involucrar des del primer moment del projecte al client i fer el disseny conjuntament. D'aquesta manera no es dissenya res que sigui impossible de fer o que no s'entengui i es van resolent els errors que d'altra manera podrien sorgir més endavant. Hi ha gent que és contrària a aquesta manera de fer ja que argumenten que limita la creativitat dels dissenyadors i arquitectes. Potser si que no tenen la llibertat total que tenen de l'altra forma, però veure les seves idees mentre realitzen el procés ens permet donar-los-hi recomanacions més tècniques que faran que el procés global resulti més eficient. Els equips de treball són fonamentals a la filosofia *lean*.

A la realitat totes aquestes idees i intencions que proposen poden ser de difícil aplicació en funció del sistema d'adjudicació d'obres. A Espanya, per exemple, s'acaben realitzant baixes desorbitades amb terminis difícils de complir, ja que és el que es valora quan s'adjudiquen. A més a més, vénen amb un disseny previ cosa que dificulta l'adaptació de l'empresa constructora al projecte en sí. És llavors quan comencen els tripijocs per mirar de treure'n un benefici i on tothom va pel seu compte. El risc i les incerteses es van passant sempre de rangs superiors a inferiors per evitar represàlies cosa que fa que no siguin gestionats de manera correcta. A causa d'això els subcontractistes pugen preus i les tensions

augmenten a les obres. Si mirem de canviar l'estructura del sector i trobem una manera de valorar l'eficiència i la regularitat quan adjudiquem un projecte serà molt més justificable aplicar filosofies *lean* i tot el gremi en sortirà beneficiat.

Tot i els arguments donats anteriorment encara podríem tenir dubtes sobre la utilitat real i el rendiment de l'aplicació de la *lean construction* al sector. Per això ja s'han fet estudis i seguiments de projectes on aquestes idees han estat implementades, amb resultats molt bons. Per exemple Conte i Gransberg [7] han estat examinant els beneficis i principis utilitzats en més de 20 companyies constructores del Brasil que apliquen tècniques *lean*. També Wright [19] ens ha presentat diversos casos que n'inclouen l'ús amb bons resultats. Un dels casos més destacables fins al moment ha estat un projecte portat a terme per l'empresa americana JE Dunn Construction. Aquesta empresa va començar a implementar tècniques *lean* a la construcció al 2012 i al cap de poc temps es van trobar amb un projecte. Consistia en l'ampliació de l'hospital Anchor d'Atlanta, a l'estat nord-americà de Geòrgia i seguint els seus antics criteris de planificació van estimar una duració del projecte de 26 setmanes. Després, posant molts esforços per aconseguir un ambient col·laboratiu i aplicant eines *lean*, van assolir un resultat sorprenent d'entrega de només 19 setmanes [11].

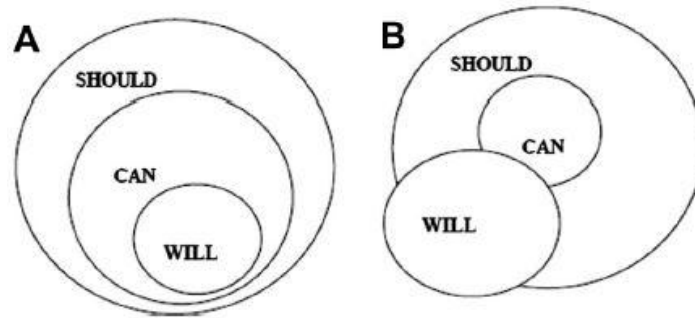
Per tant tenim la garantia de que els canvis que introduïrem poden portar grans resultats. Aquests canvis aniran enfocats a mantenir un bon flux de treball. És per això que n'hi diem *lean construction*, perquè seguirà els principis que hem destacat a l'inici d'aquest document i n'adaptarà les tècniques i eines allà on sigui possible.

Podríem dir en certa manera que no existeix un llistat d'eines o mètodes sobre *lean construction*. Això és així perquè el concepte és relativament nou i depèn de les tècniques *lean thinking*, que són idees amb molt més recorregut i aplicabilitat. Per tant la informació que trobem és més experimental, on hi predominen els resultats i exemples de casos concrets. Tot i així existeixen algunes eines importants que han estat desenvolupades per ser principalment aplicades a la construcció i que ens ajudaran a aconseguir els propòsits fixats.

## **4.2. El *Last Planner System*.**

El *Last Planner System*® (LPS) va ser creat per Glenn Ballard i Greg Howell als inicis de la dècada dels 80 i es va utilitzar per primera vegada el 1985. Durant les seves tres dècades de vida el mètode ha evolucionat i s'ha anat adaptant i ho haurà de continuar fent ja que el mercat i les tècniques canvien. Actualment és una marca registrada per el *Lean Construction Institute* i l'utilitzen centenars d'agents del sector arreu de tot el món [13].

És un sistema de planificació i seguiment de projectes que té com a principal objectiu millorar la predictibilitat i la fiabilitat de la producció. Aplicat correctament garanteix l'ús correcte dels recursos i redueix substancialment les diferències entre allò que planifiquem i allò que realment acabem fent. Aquest fet estalvia moltes de les pèrdues ocasionades per la incertesa i la variabilitat dels projectes.



**Figura 15.** Representació del desenvolupament de les activitats en els projectes. A l'esquerra la regularitat que aconseguim aplicant *Last Planner*. A la dreta els resultats d'una programació incerta ( Font: *Alexandria Engineering Journal* [2] ).

Com podem veure a la figura el que aconseguim principalment aplicant *Last Planner* és una consistència en les nostres accions. Ens comprometem a fer (*will*) només passos que es estan preparats per fer-se (*can*) i sempre seguint la planificació general que ens dictava el que s'hauria de fer (*should*).

En canvi, el que passa normalment és que la comunicació que existeix entre els equips de treball no és l'adequada, fins i tot entre aquells que provenen d'una mateixa empresa però que realitzen tasques diferents. Es tendeix a pensar que realitzant les tasques ràpidament acabarem abans. És cert que hi té una influència però és quasi inapreciable si no assegurem un flux consistent. En el cas "B" de la figura allò que es decideix fer no forma part del que es pot fer i fins i tot engloba parts que no són ni necessàries. Hem de canviar la manera de pensar centrada en les activitats per una que pensi en el procés en general. Quan no parem mai la feina i aconseguim cooperar els resultats són notables.

Per aconseguir-ho el LPS crea una estructura ben definida que regula totes les relacions, converses, pactes i compromisos que es donen de forma natural a les obres i que sovint queden desaprovechades. Aquesta estructura permet organitzar totes aquestes interaccions perquè es facin en el moment oportú i amb el grau de detall adequat per a cada situació. A més a més garanteix que aquesta informació arribi a totes les persones que els interessa. D'aquesta manera tant senzilla s'estableix una unió vital entre treballadors i entre la logística del programa i els equips de treball. Compartir coneixements també ens permet detectar els problemes el més aviat possible cosa que ajudarà a mitigar-ne els efectes o a trobar-ne la solució abans de que succeeixin. Tot sempre realitzat de manera col·laborativa i transparent.

La implementació del LPS, com moltes de les eines basades en filosofia *lean*, no requereix de grans tecnologies ni d'adquisicions costoses. Cal principalment entendre'n la filosofia i creure-hi, deixant de banda la planificació convencional. Per aconseguir incorporar amb èxit el *Last Planner* seran necessaris equips de treball que tinguin nocions sobre aquesta manera de treballar en equip.

Abans d'entrar pròpiament a aplicar l'estructura que ens proposa el mètode hem de realitzar una planificació general on essencialment hi fixarem les fites més importants a assolir. Aquesta part és bastant similar a com la faríem de forma tradicional. Un cop tenim aquesta base, però, comencen els aspectes nous. Aplicarem 5 conversacions o passos claus que ens ajudaran a materialitzar i assolir tot el que hem anat exposant.

Si no ens podem permetre una inversió inicial important sempre tenim l'opció d'aplicar-ne per separat alguna de les parts o anar-les incorporant gradualment, ja que cadascuna ens aporta els seus beneficis. Però la realitat és que surt molt més a compte una aplicació simultània ja que entre elles es complementen tal i com ho feien els cinc principis *lean*.

#### 4.2.1. (I) PLANIFICACIÓ COL·LABORATIVA (SHOULD).

Tradicionalment, quan ens disposem a realitzar una obra n'encarreguem la programació a planificadors professionals. Aquests, juntament amb els gestors del projecte dissenyen el pla a seguir. Al no tenir coneixements de primera mà sobre tots els processos fan suposicions sobre els temps i donen folgança al programa per compensar aquestes incerteses. És possible que en alguns casos parlin amb alguns membres de l'equip sobre les assignacions que se'ls ha fet per informar-se millor i que l'aproximació sigui més acurada.

Aquestes assignacions no han estat totalment consensuades i els equips de treball es conformen amb el que se'ls mana. Treballaran de forma independent i buscaran el millor per el seu propi interès. Si creuen que el temps que se'ls ha donat per realitzar una tasca és escàs, en reclamaran més. Si pel contrari creuen que disposen de temps extra evitaran comunicar-ho. D'aquesta manera gaudiran de més temps per realitzar la seva feina i s'estalviaran rebre futures represàlies en temes de terminis. Les persones que dissenyen els programes d'actuació coneixen aquests comportaments i acaben imposant molts cops la planificació sense acabar de confiar en les parts contractades. A partir d'aquí els projectes es gestionen en funció d'allò que en teoria s'ha de fer. Les suposicions que s'han fet, la incertesa i les tensions acaben fent que molt cops no es completi el programa tal i com s'havia planificat.

El *Last Planner System* és un sistema dissenyat per assolir els objectius que prèviament hem acordat. Però aquest acord o consens ha de venir de tots els membres i per tant, a l'hora de realitzar aquesta primera planificació, es vol que totes les parts que tenen interès i influència a l'obra hi estiguin presents. És recomanable que hi assisteixin algun membre de l'equip de disseny, el gestor del projecte, el planificador, membres representants dels principals equips de treball o de les empreses que hi participen i fins i tot, el client. D'aquesta manera, quan les persones importants es coneixen i comparteixen coneixements mentre organitzen la planificació resulta molt més senzill discutir les interdependències crítiques entre activitats i polir o fer més exactes totes les suposicions que s'han fet.

#### Com ho fem?

La planificació col·laborativa és important iniciar-la sempre de dreta a esquerra, o dit d'una altra manera, del final de l'obra cap al principi. Molts cops ens centrem massa en

satisfereix directament l'objectiu final passant per alt el que necessita el pas immediatament següent per treballar de manera ràpida i segura. Aquesta planificació des del futur ens ajuda a estructurar molt millor el programa i a construir amb anticipació les necessitats d'accions posteriors aconseguint agilitzar el procés.

La manera de fer-ho pot semblar difícil però és la que utilitzem intuïtivament quan planifiquem qualsevol procés on la data final o d'entrega és important. Un exemple molt clar es dona quan tenim una cita. Els càlculs (o la planificació) els fem de la següent forma:

- › A les 9:00h tinc la cita amb el metge.
- › Si a les 9:00h tinc la cita a les 8:50h he de baixar del metro.
- › Si a les 8:50h he de baixar del metro l'hauria d'agafar a les 8:10h ja que són 40 minuts de trajecte. Sé però que a vegades el metro triga uns minuts més a causa dels retards així que l'agafaré a les 8:00h per assegurar-me que arribo bé.
- › Si he d'agafar el metro a les 8:00h he de sortir de casa a les 7:55h ja que només tinc 5 minuts de camí fins a la parada.
- › I si a les 7:55h sé que he de sortir de casa m'he d'aixecar del llit a les 7:20h ja que trigo un quart d'hora a dutxar-me i 20 minuts per esmorzar.

L'exemple és molt senzill i esquemàtic però mostra molt bé la seguretat i la fiabilitat que ofereix aquest tipus de producció. Ens podem referir a ella amb el nom de *pull planning* o *pull scheduling* perquè realitzem allò imprescindible per a l'activitat següent en el moment oportú. Podem veure per tant la primera influència clara dels principis *lean* amb les tècniques *pull*.

També és important destacar com hem gestionat les folgances. Usualment es tendia a donar per costum un marge a totes les activitats. Això, més que donar estabilitat al projecte genera incertesa en el programa. Si no s'utilitzen és possible que aquestes folgances es vagin acumulant al final i que l'horari que hem dissenyat tendeixi sempre cap a la dreta (acabant-se sempre amb els temps més elevats o allargant-se).

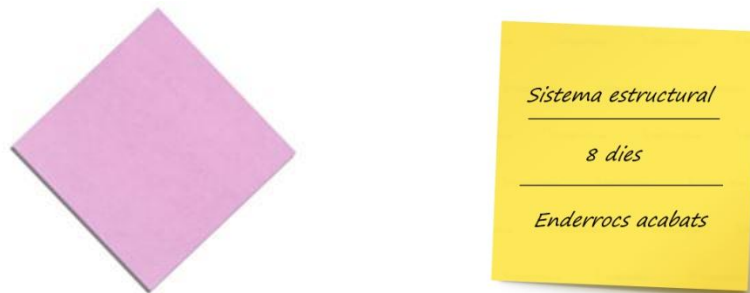
Aplicant correctament *Last Planner* les utilitzarem estratègicament per protegir la predictibilitat de l'horari donant-ne només a les tasques que són especialment importants o complexes. En el cas que acabem d'explicar hem donat només un temps de folgança al transport ja que és l'única acció que ens dona una incertesa. En canvi no té cap sentit donar-la a l'esmorzar o als desplaçaments a peu ja que són temps fixos que els coneixem perfectament.

L'aspecte ideal d'una reunió de programació col·laborativa és el que podem veure a la figura 16. És aconsellable tenir un espai obert i ampli on la gent es pugui moure bé i tothom tingui l'accés fàcil a la paret on fem la programació. A la paret, o en un cartró on hi hagi espai suficient, hi anirem definint aquesta programació. El sistema més econòmic i pràctic és el dels *post-it* que donen una gran flexibilitat perquè es poden canviar de lloc ràpidament.



**Figura 16.** Exemple de planificació col·laborativa. La facilitat de visualització i la implicació de les parts és molt important ( Font: LinkedIn Paul Ebbs (2015) ).

Els *post-it* ofereixen una gran claredat i són una eina molt similar als controls visuals que trobàvem a la *lean production*. A la figura 17 hi tenim les dues maneres d'utilitzar-los. Posat en diagonal marcarà una fita del projecte i enganxat de forma corrent representarà una activitat. En aquest adhesiu es recomana escriure-hi l'activitat que representa, els dies de duració i els requeriments necessaris perquè es pugui dur a terme. Ho escriurem sempre seguint la mateixa estructura per facilitar-ne la comprensió.



**Figura 17.** A l'esquerra un *post-it* que representa una fita i a la dreta un que representa una activitat ( Font: imatge pròpia ).

Tornant a fer una ullada a la figura 16 podrem veure les fites col·locades a la part superior del panell i moltes activitats. Aquests *post-it* que representen les activitats són de molts tons perquè s'intenta que cada equip de treball tingui el seu propi color. A les reunions que es duen a terme la nostra responsabilitat serà col·locar correctament els nostres adhesius acceptant-ne el que impliquen. A partir d'aquí, si es veu que es pot canviar alguna cosa o veiem alguna millora possible parlarem amb la persona responsable de l'adhesiu en qüestió. El que mirem d'aconseguir és que tothom estigui conforme amb allò que s'ha acordat i que es responsabilitzi dels compromisos que ell mateix haurà donat per vàlids.

També se'ns remarca molt la importància de saber dir “no ho sé”. Sembla una tonteria però això és vital perquè la planificació col·laborativa funcioni. Molts cops costa pronunciar aquestes paraules perquè sembla que donem una mala impressió com a professionals. La realitat és totalment contrària. Manifestant el nostre desconeixement o dubtes permetrem a les altres persones ajudar-nos i treballar entre tots per resoldre els problemes. Quan planifiquem, rebre “males notícies” aviat sempre és informació útil.

I ja per acabar, un cop hem definit el projecte en podem mirar de fer un repàs general per aconseguir comprimir-lo. S'han fet estudis que conclouen que la majoria de programes es poden arribar a comprimir un 20%. Parlant entre les parts podem trobar mètodes per realitzar activitats a la vegada, per repartir-nos millor la feina o per ajudar-nos en tasques que són crítiques. Reduir els terminis aporta beneficis per a tothom. El client tindrà el producte a la seva disposició abans i el contractista serà més competitiu ja que haurà de contractar per menys hores i rebrà bonificacions per acabar en un temps bo. És important que aquests beneficis es reparteixin entre totes les parts participants ja que s'haurà pogut acabar abans gràcies al treball en equip.

#### Quins beneficis aporta?

- Un pla d'actuació molt més realista, ben definit i consensuat.
- Les seqüències necessàries d'activitats perquè el treball flueixi.
- Claredat en el repartiment d'activitats.
- Pla de logística que defineix en cada moment la quantitat de materials necessaris.
- Cooperació i sentiment de formar part d'un equip.
- Coordinació entre disseny, construcció i client.

#### 4.2.2. (II) POSADA A PUNT (CAN).

A mesura que l'obra avança és evident que el grau de detall de la planificació col·laborativa no serà suficient per coordinar les tasques tal i com és degut. A més a més aniran sorgint aspectes posteriors que caldrà tenir en compte. El que havíem fet fins ara és establir la seqüència d'activitats òptima considerant la totalitat del projecte. Les interaccions les hem tingut presents però no les hem tractat.

El següent pas per tant és eliminar les restriccions que sorgeixen de la interacció entre les diverses tasques. Aquest procés el realitzarem per les feines que ens venen en un futur proper o de mitjà termini (*look-ahead planning*). D'aquesta manera aconseguirem tenir les activitats preparades perquè es puguin fer quan sigui el moment. Si no fem bé aquest pas o ens el saltem és possible que en algun moment programem per fer una activitat sense tenir-ne els requisits previs complets.



### Com ho fem?

Per fer-ho de manera adequada és necessari anar eliminant les restriccions de les activitats amb una antelació de 4 a 8 setmanes. Aquest període, lògicament, pot variar en funció de la duració i complexitat del projecte. Les reunions es duran a terme aproximadament un cop per setmana o un cop cada dues setmanes perquè tinguem temps d'analitzar correctament els passos que vindran.

Hi ha de ser present un representant de cada equip que té alguna activitat a realitzar dins el període que s'analitza. D'aquesta manera ens comunicarà en detall tots els seus requeriments i les altres parts podran confirmar que no hi haurà problema per satisfer-los.

### Quins beneficis aporta?

- Tasques a mitjà termini lliures de restriccions.
- Reducció dràstica dels problemes en obra.
- Actualització de la planificació col·laborativa.
- Augment de la fiabilitat de la programació i per tant, reducció de malbaratament.

#### 4.2.3. (III) AVALUACIÓ I PLA DE PRODUCCIÓ (WILL).

En aquest últim esgraó de planificació mirem de polir els últims matisos i ens comprometem exactament amb les activitats que farem, el temps que trigarem i el moment de finalització. A vegades, per acabar d'encaixar l'horari de totes les tasques poden sorgir petits temes per parlar, per exemple com acabem de repartir l'espai dins l'obra per treballar o com compartim alguns recursos o equipaments. Són petits detalls que parlats ens ajudaran a fer la feina amb una efectivitat elevadíssima. Tot i això cal recordar que ja no tindrem cap problema en solucionar-los ja que prèviament en la posada a punt n'hem tractat les restriccions més conflictives.

En aquest pas també s'avaluarà el resultat obtingut de la setmana anterior. Per tant, primer fem una avaluació dels resultats i després, en funció d'això i de les activitats que hem acabat realitzem la programació per la setmana vinent.

És cert que tots aquests processos que s'han anat comentant poden semblar feixucs i confosos perquè la proposta del LPS incorpora moltes reunions que poden semblar calcades. Cal acostumar-se a la disciplina del mètode i practicar-lo. La filosofia *lean* i el *Last Planner* ens animen a intentar-ho. A mesura que anem utilitzant les tècniques les reunions seran més àgils i els agents sabran exactament què és el que s'ha de parlar a cada reunió i com han de fer-ho. El mètode és complex però serveix per gestionar projectes constructius, que com hem pogut veure també ho són.

Com ho fem?

Per dur a terme aquest tercer pas disposem del suport d'unes fitxes que ens permetran organitzar tot allò que anem acordant de manera entenedora permetent també després fer-ne l'avaluació.

**PROPOSED PRODUCTION PLAN**

<i>project:</i> BIBLIOTECA MUNICIPAL MIQUEL BATLLOR		<i>week commencing:</i> Dilluns 18 de gener del 2016										
<i>phase:</i> FITOUT		<i>prepared by:</i> Gerard Boadas (gerardboadas@gmail.com)										
<i>area:</i> TURBINE HALL		<i>date prepared:</i> Divendres 15 de gener del 2016										
Plan A ref.	Task description.	Final MakeReady needs.	When will the work be done?							Completed	PPC analysis.	
	<i>Criteria for release of assignments: defined, ordered, sized.</i>	<i>Work that must and can be performed prior to the release of this task.</i>	<i>Who will do the work?</i>	M	T	W	T	F	S		S	On time
10765	SM1 pipework		Pipe1									
10770	Non destructive test of SM1 pipework	Completed SM1 pipework	Pipe1									
10835	SM2 pipework		Pipe2									
Plan B	<i>Work we could do if we have the time.</i>			M	T	W	T	F	S	S		<i>Reasons for starting.</i>
10925	Assemble final piping for overspeed											
10935	Begin preparation work for turbine 2											

**Figura 18.** Fitxa que ens ajuda a estructurar l'avaluació i el pla de producció ( Font: imatge pròpia ).

Per començar a la capçalera hi introduïm a quina fase del projecte estem, l'àrea on actuarem i la setmana a la que fa referència la planificació. Són dades senzilles però que ens ajudaran a identificar bé la informació i a cometre molts menys errors, una assignatura pendent a la construcció.

A continuació comencem a definir les activitats que farem. Aquestes formaran part del nostre pla "A". Per fer-ho seguirem l'exemple i escriurem de forma entenedora la referència i el seu nom. Indicarem si existeix algun pas previ necessari i marcarem qui durà a terme l'activitat. Per acabar, marquem a l'horari que ve incorporat la duració de la nostra activitat. Aquests passos els realitzem per totes les activitats que es faran.

A sota el pla "A" hi podem veure el pla "B". Aquí hi situarem activitats extres per si acabéssim totes les activitats que hem de fer abans d'hora o per si s'ha de canviar d'activitats a mig procés per algun motiu en particular. L'objectiu del pla "B" és mantenir sempre el flux de treball i oferir alternatives a les alteracions que es puguin trobar.

Com hem dit abans també caldrà fer l'avaluació de la producció de la setmana anterior. Per fer-la només cal seguir les activitats que vam acordar fer i anar comprovant si s'han acabat o no. La mateixa fitxa ens permet escriure-hi si està completada i també si s'ha entregat tard i el perquè. Aquesta avaluació la guardarem per futures actuacions.

Gràcies a l'estructura tant marcada que acabem de proposar i a tots els passos prèviament fets, els *meetings* per dur a terme aquest tercer pas acostumen a durar menys d'una hora. En projectes comprimits o de terminis molt ajustats és possible que s'hagin de fer diàriament. La gran majoria, però, incorporen aquest pas de forma setmanal. D'aquí sorgeix el conegut nom de *Weekly work planning*. El programa setmanal que se'n deriva rep el nom de *Weekly work plan* (WWP).

#### Quins beneficis aporta?

- Exactitud elevadíssima en la planificació.
- Concentració dels esforços en allò que realment cal fer.
- Horari concret per als proveïdors de materials.
- Recopilació constant i estandarditzada d'informació que ens serà d'utilitat

#### 4.2.4. (IV) GESTIÓ DE LA PRODUCCIÓ (DOING/DONE).

Aquest pas, normalment el més complicat i conflictiu quan organitzem un projecte, passa a ser el més senzill gràcies a la programació col·laborativa i el *Last Planner*.

A la gestió convencional el cap de projecte és l'únic que realment vetlla per el compliment d'aquest. Per tant ha de controlar a la resta d'equips, perseguir-los i en cas que sigui necessari, donar tocs d'atenció. Molts cops valorem les capacitats d'aquests professionals en aquestes situacions complexes i en funció d'això es donen els incentius. Aquesta posició però no deixa de ser desagradable i incòmoda.

En canvi ara hem aconseguit crear aquesta relació de persones i la sensació d'equip. Tothom vol que l'obra funcioni ja que a més s'han fet pactes i s'és conscient de la importància del nostre treball. Tothom vol que surti bé i per tant tothom controla que la feina es faci.

El que es mira de fer en aquest pas és anar monitorant la finalització de les tasques i les raons de petites demores perquè tot acabi d'anar com ha d'anar. Aquí la feina més dura ja l'hem feta prèviament.

#### Com ho fem?

Tenim l'opció d'introduir *stand-up meetings* on de forma molt ràpida es repassa amb els treballadors el que es farà durant el dia. Si la gent és puntual i ho fem de forma eficient 15 minuts són suficients. Simplement es recorden els punts claus de la jornada i es comenten novetats d'última hora en cas que sigui necessari.

Per acabar de controlar la producció també es recomanable disposar d'una persona que s'encarregui de rebre les novetats d'última hora. És de vital importància que comuniquem correctament quan acabem una activitat. D'aquesta manera el següent grup de treball pot iniciar la seva tasca i no perdem gens de temps.



**Figura 19.** Exemple d' stand-up meeting ( Font: GS Solutions Group (2012) ).

#### Quins beneficis aporta?

- Recordatori del que farem durant el dia.
- Recopilació d'inconvenients o instruccions d'última hora.
- Informació sempre actualitzada.
- Garantia de flux ininterromput.

#### 4.2.5. (V) MESURA, APRENENTATGE I MILLORA CONTÍNUA (DID).

Acabem amb un dels trets característics de la filosofia *lean*, avaluar el que hem fet i buscar la millora contínua. Un anàlisi sistemàtic d'allò que anem completant ens permetrà veure on es donen les nostres mancances principals i ens ajudarà a anar perfeccionant el nostre flux fent-lo més àgil i fiable.

#### Com ho fem?

L'eina més potent que disposem per dur a terme aquesta millora és el PPC (*Plan percent complete* o *Percentage of promises completed*). Com hem pogut veure prèviament a la figura 18, durant les reunions setmanals marcarem quines activitats hem pogut acabar durant la setmana. El PPC es calcula com el percentatge de tasques que s'han acabat respecte aquelles que ens havíem compromès a fer. En aquest càlcul només s'hi incorporen les activitats del pla "A".

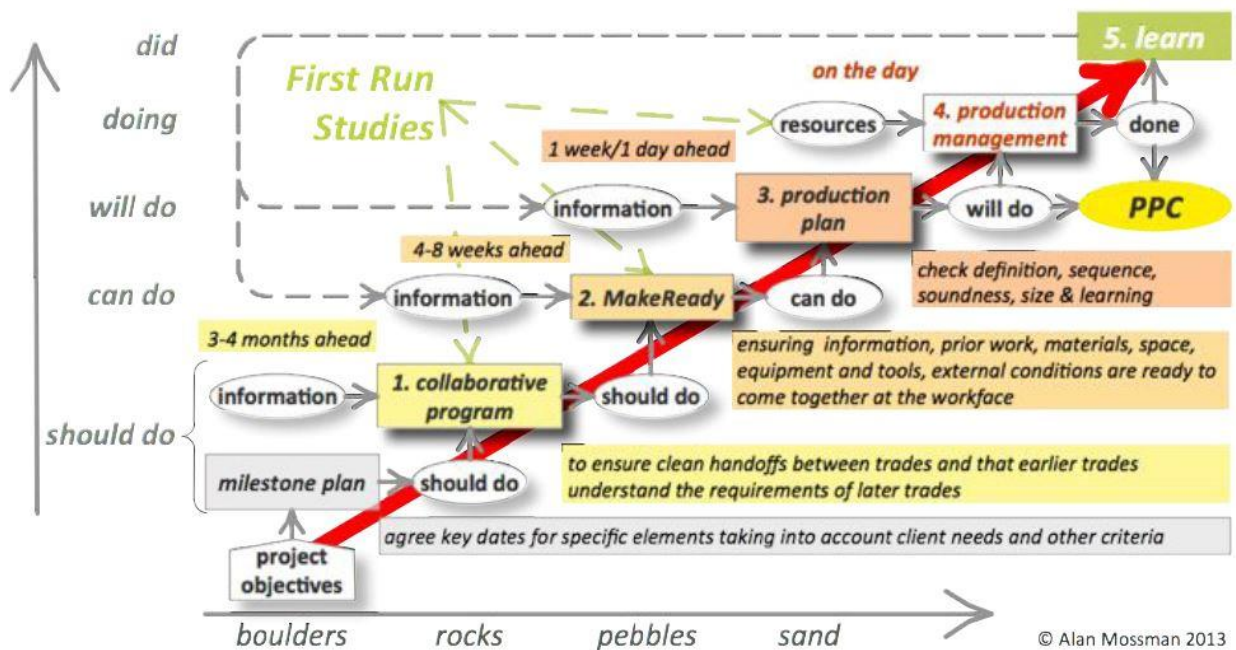
S'han fet estudis que demostren una correlació significativa entre els percentatges de PPC i la productivitat. Es busca obtenir regularment valors elevats de PPC ja que comporten una alta fiabilitat de la planificació. Els resultats òptims estan al voltant del 90-95% ja que estarem complint quasi totes les activitats marcades i a la vegada es treballarà a la màxima capacitat [87]. Estudiant els punts on el PPC s'allunya d'aquests valors aconseguirem una bona base per a la millora que podrem aplicar a setmanes o projectes futurs.

Si s'arriba al 100% o fins i tot es fa alguna activitat del pla "B" estem construït per sota de les nostres possibilitats. El projecte es podria haver comprimit més o les parts són massa conservadores. Podem mirar de motivar els treballadors perquè es comprometin a exigir-se més.

Els valors baixos de PPC havent aplicat correctament els passos de la planificació col·laborativa ens indiquen que hi ha hagut un excés de confiança. Durant la setmana s'ha acordat fer un volum massa elevat de feina poc temps. És molt important recordar que una de les claus de l'èxit és la fiabilitat i el valor de les promeses que fa cadascú. Si no podem fer una cosa no la prometem i si ens comprometem a fer-la, l'hem d'aconseguir dur a terme.

Quins beneficis aporta?

- El benefici és la pròpia millora. Com més ens autoexigim més eficients serem.



**Figura 20.** Resum de les fases que apliquem seguint el Last Planner System ( Font: Mossman, A. [13] ).

### 4.3. BIM (Building Information Modelling).

Amb la invenció de l'ordinador els programes de disseny assistit (CAD) van entrar amb força al mercat de la construcció. Amb el pas del temps aquests programes que inicialment només permetien dibuixar en 2D van evolucionar fins arribar als models tridimensionals. Aquest canvi va suposar una millora important en termes de visualització i modelatge dels nostres projectes. Tot i això aquests models 3D no deixaven de ser una col·lecció de punts, línies i volums que no aportaven cap informació extra [20]. S'havia

millorat la fase del disseny i la seva visualització però hi continuava havent problemes en la coordinació entre aquests dissenys i la construcció.

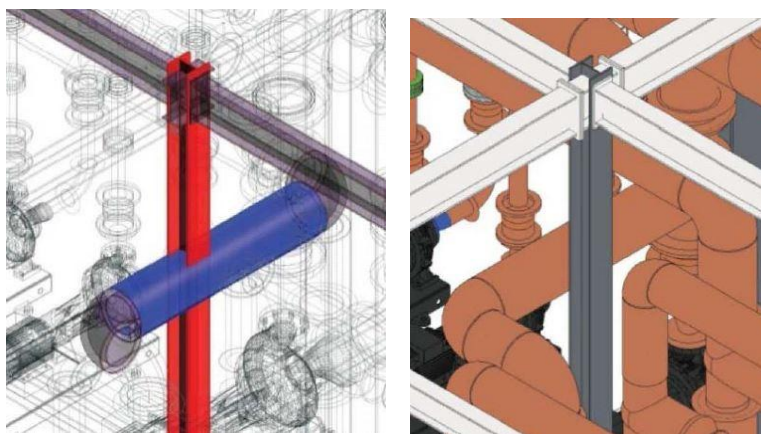
El BIM (Building Information Modelling) és un sistema de gestió de projectes constructius que utilitza software dinàmic de modelatge 3D. La gran diferència respecte als programes 3D de CAD és que aquests models estan relacionats amb una base de dades. Per tant, totes les entitats geomètriques que componen els models BIM porten informació que es pot consultar. Aquesta informació pot ser des de valors numèrics fins a dades qualitatives com per exemple una descripció del material. Totes aquestes característiques porten una sèrie de beneficis.

- *Gestió dels canvis.*

Al tenir la informació emmagatzemada en una base de dades central, qualsevol modificació del disseny actualitza directament totes les parts que hi estan comunicades. Si afegim noves finestres en el model 3D es veuran immediatament modificats tots els plànols 2D. A més a més, per exemple, si tenim coordinat el model amb el pressupost també es podrà veure un increment de preus que s'haurà calculat de forma automàtica. Aquesta coordinació permet a totes les parts interessades conèixer sempre la situació del disseny a temps real.

- *Detecció d'interferències entre peces.*

La coordinació en 3D de totes les parts que actuen al projecte fa que molt cops puguem solucionar xocs que s'haguessin manifestat ja en el procés constructiu.



**Figura 21.** El model BIM ha permès detectar l'error d'interferència i s'ha pogut modificar el disseny ( Font: Josep M. Galan).

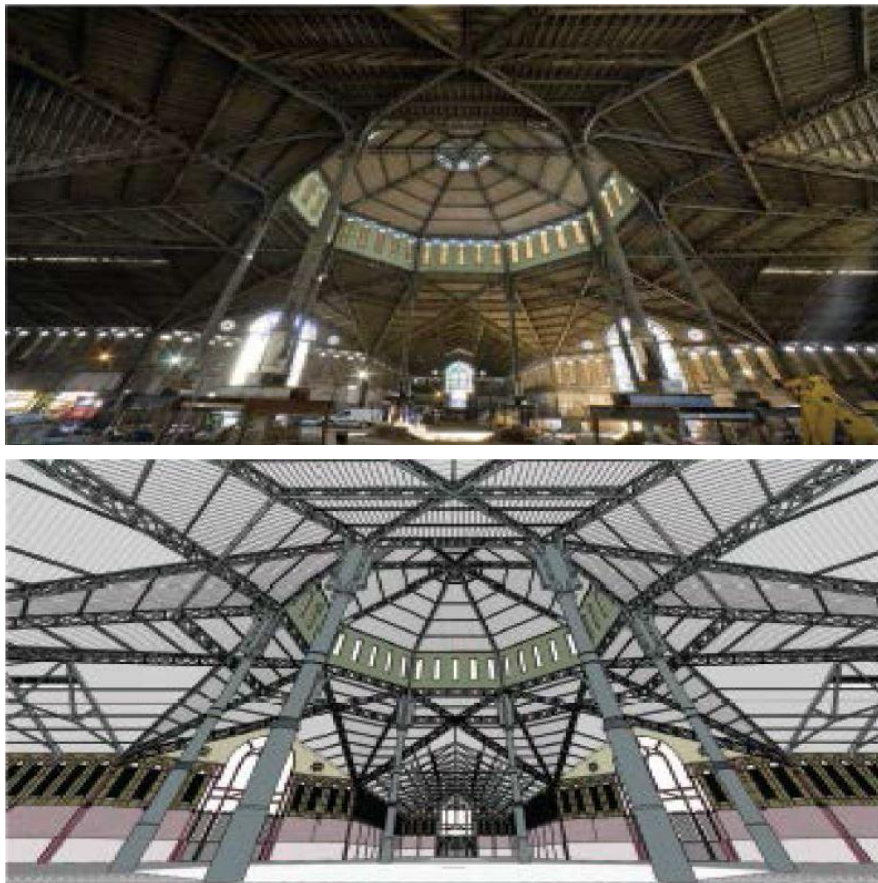
- *Simulacions virtuals.*

Les diferents entitats que formen el model no només incorporen dades arquitectòniques sinó que també permeten incorporar informacions sobre l'enginyeria del material o la sostenibilitat. Això ens permetrà realitzar simulacions del nostre projecte sense haver-ne començat la construcció real.

- *Gestió de dades.*

El BIM és l'eina perfecte per gestionar una gran quantitat de dades i ordenar-les de forma lògica i útil. En projectes de gran envergadura i complexitat serà una eina imprescindible.

Per tots aquests motius el BIM és una eina ideal per a la coordinació de projectes complexos on el disseny i la construcció van avançant de forma simultània. El potencial d'aquest sistema s'ha vist ràpidament i la majoria de les empreses comencen a incorporar mètodes BIM. A Catalunya, des de l'any 2014, l'empresa pública Infraestructures de la Generalitat de Catalunya està duent a terme usos pilot de BIM en projectes d'edificació. En un futur proper es vol mirar de fixar com a obligatori l'ús de BIM en les fases de disseny i construcció dels projectes [10].



**Figura 22.** Imatge del mercat de Sant Antoni i del model 3D BIM ( Font: Francisco Román ).

## 5. APLICACIÓ DE LA LEAN CONSTRUCTION A UN CAS.

Després de la recerca feta i l'assistència a les ponències *Lean Barcelona 2016* he pogut comprovar que el més important per aplicar *lean* correctament és saber coordinar les nostres accions per produir amb el mínim malbaratament. Aquesta implementació *lean* queda molt lluny d'una fórmula matemàtica precisa o d'una metodologia d'un software concret que es pugui incorporar directament a la nostra planificació i obtenir resultats. Cada cas és diferent i l'única manera real de veure'n l'efecte és portant-les a la realitat. Allà és on veurem si les interaccions entre els equips de treball queden ben gestionades i si les millores realment es manifesten.

Tot i això considero que puc aportar un exemple numèric que acompanyi la teoria que s'ha anat exposant. D'aquesta manera es comprendrà millor els beneficis que pot portar el *Last Planner* i els compararem amb el resultats sense aplicar les idees *lean*.

Per a dur a terme aquesta simulació primer n'establiré les bases per tenir clar sobre quins principis treballarem. A continuació introduiré un cas teòric molt esquemàtic que ens permetrà extreure'n les primeres conclusions i finalment aplicarem la mateixa simulació a un programa d'un projecte real.

### 5.1. Bases de la simulació.

#### 5.1.1. CÀLCUL DE LA DURACIÓ DE LES ACTIVITATS.

El primer que hem de tenir en compte a l'hora de simular un projecte és la duració incerta de les activitats. No té gaire sentit proposar-ne una amb les duracions fixes ja que per la seva naturalesa tendeixen a ser complicades. Segurament les duracions que prèviament s'hauran previst diferiran dels terminis reals. Per tant la duració de les activitats ha d'estar representada per una variable aleatòria.

Aquesta aleatorietat, però, segueix un esquema bastant comú per a totes les activitats que es realitzen en una obra. Si considerem que la predicció que s'ha fet de la durada equival a l'esperança de la variable tenim dues opcions: acabar-la més ràpid o més lent que aquest temps final estimat. Acabar l'activitat abans del previst és un resultat comú ja que sempre tendim a donar-nos una mica de marge. Aquesta millora del temps, però, no serà molt gran ja que la física del procés no ho permetrà. Per altra banda hi poden aparèixer molts contratemps que faran que el termini estimat es sobrepassi de manera notable i que la duració de la tasca s'allargui molt més del previst. Ens trobem per tant davant d'una distribució en forma de campana on destaca la seva asimetria.

La distribució que més bé s'adapta a aquestes condicions i ens dona uns millors resultats és clarament la distribució LogNormal (LN) que ens ofereix l'asimetria que busquem. Aquesta distribució deriva d'una distribució normal.

$$Y \sim N [\mu, \sigma^2] \quad \rightarrow \quad X = \exp (Y) \sim LN [\mu, \sigma^2] \quad (1)$$

$$\text{on:} \quad \mu = E [ Y ] \quad i \quad \sigma^2 = Var [ Y ]$$



Utilitzant els paràmetres definits a l'equació (1) la nostra funció de densitat de probabilitat per a la variable X queda de la següent forma.

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right] \quad (2)$$

Un cop ja tenim la funció densitat de probabilitat de la nostra variable en podem conèixer la mitja i la variància, que seran d'especial interès per adaptar les nostres tasques a la distribució.

$$E [ X ] = \exp \left( \mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (3)$$

$$\text{Var}[ X ] = (\exp(\sigma^2) - 1) \cdot \exp ( 2 \cdot \mu + \sigma^2 ) \quad (4)$$

#### Exemple del càlcul de la duració d'una activitat.

Tenim una activitat de duració estimada 10 dies i de variància estimada 10. Aquests dos valors equivaldran a l'esperança de la nostra variable aleatòria i a la seva pròpia variància.

$$E [ X ] = 10 \text{ dies}$$

$$\text{Var}[ X ] = 10$$

Utilitzant les equacions (3) i (4) trobarem els paràmetres necessaris per construir la nostra funció de densitat de probabilitat.

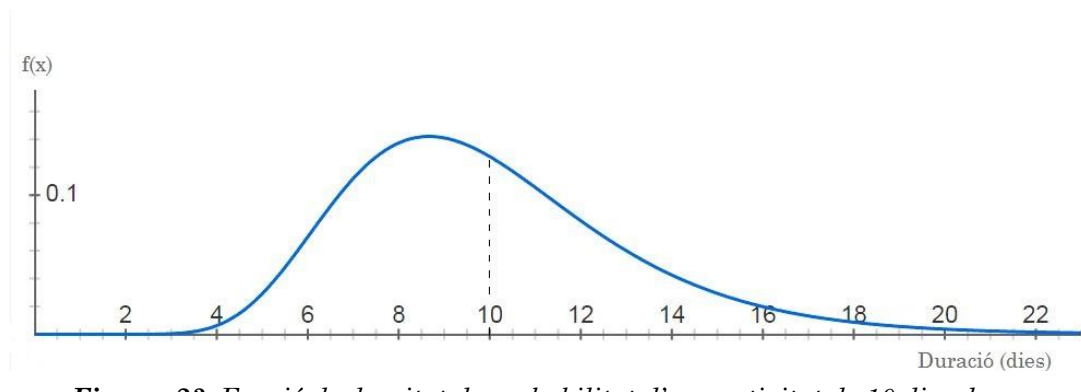
$$\mu = 2,25493$$

$$\sigma^2 = 0,09531$$

$$\sigma = 0,3087235$$

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot 0,3087235 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(\ln(x) - 2,25493)^2}{2 \cdot 0,09531} \right]$$

A partir d'aquí podem extreure'n tants valors com vulguem i tindrem una simulació bastant acurada del que passa a la realitat.



**Figura 23.** Funció de densitat de probabilitat d'una activitat de 10 dies de duració i variància 10 ( Font: Google ).

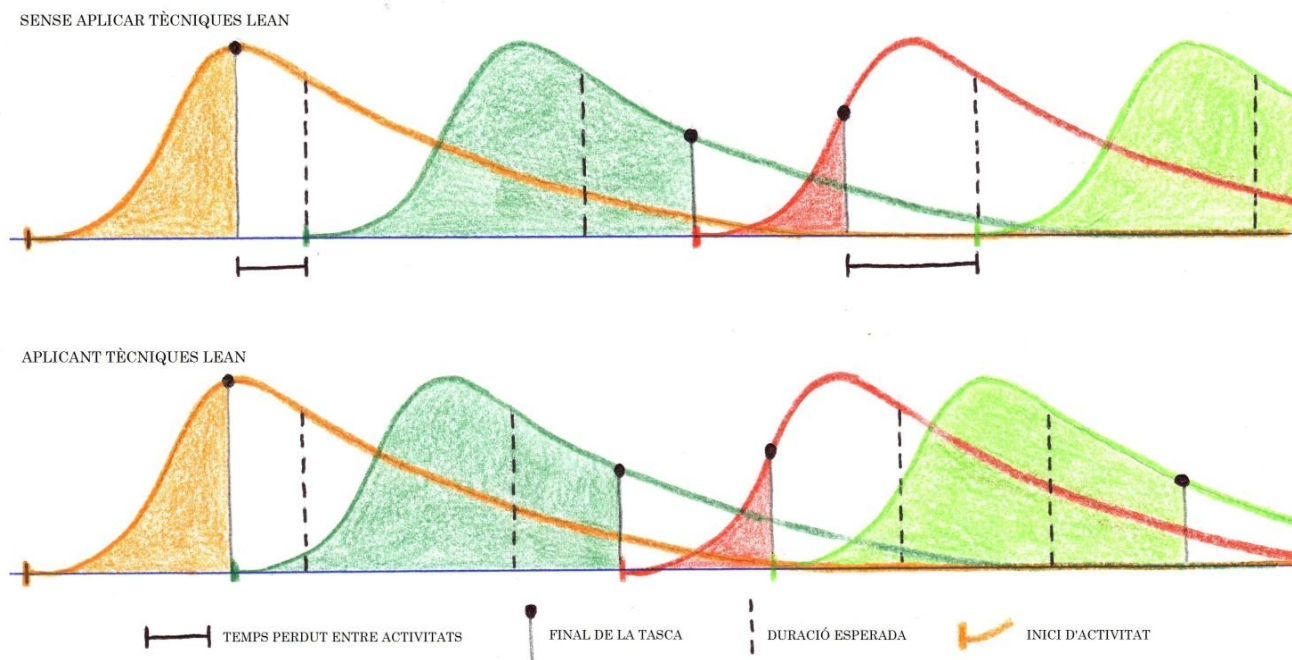
Com es pot veure a la figura la forma de la distribució LogNormal s'adapta correctament a les condicions descrites prèviament. Per altra banda les variàncies les hem considerat proporcionals a la duració. Com més dies de treball requereix una tasca més complexa serà i menys detallada haurà estat la seva planificació. Aquesta falta de detall i anàlisi pot portar al sorgiment de problemes greus i duracions elevades o a una mala estimació i duracions notablement més curtes. Per tant, si hem agafat de base una activitat de duració i variància 10, per una activitat que dura 1 dia tindrem una variància de 0,1 i per una activitat de duració 100 la seva variància serà de 1000

Ara ja tenim la duració de les activitats, que són establertes de forma aleatòria. Anem a veure a continuació com en gestionem la interacció, que és on realment actua la filosofia *lean*.

### 5.1.2. TRANSICIÓ ENTRE DIFERENTS ACTIVITATS.

Si no planifiquem de manera conjunta aplicant tècniques *lean* la comunicació acostuma a fallar i els diferents equips de treball duen a terme les tasques de forma independent. Quan un equip no està implicat en el conjunt de l'obra realitza la seva feina sense donar molta importància a les activitats posteriors. Això farà que al acabar la seva part es desentengui de la continuació del procés. Per tant, per simular aquesta falta de compenetració, mai es començarà una activitat abans d'arribar al temps esperat de l'activitat anterior. Si pel contrari el temps real de duració supera l'estimat la següent activitat començarà a l'instant ja que és segur que el proper equip de treball estarà preparat per començar. Aquest següent equip no voldrà responsabilitzar-se del retard de la tasca anterior i voldrà tot el temps que se l'hi havia assignat. Aquesta és la realitat de la construcció on costa molt aprofitar les activitats que s'han fet de forma ràpida i l'horari es va allargant cada cop més.

En l'altre cas tenim aquesta interacció regulada per una bona gestió *lean*. El seguiment exhaustiu i constant que estarem duent a terme aconseguirà garantir un flux continu. Gràcies a la comunicació que hem promogut, quan estiguem acabant una activitat segur que tindrem preparat el següent equip de treball i per tant podrem començar sempre immediatament, sigui tard o aviat.



**Figura 24.** Esquemes d'interacció d'activitats aplicant o no tècniques lean ( Font: imatge pròpia ).

Com podem veure a la representació gràfica de la figura 24 les activitats taronja i vermella han acabat abans del que s'havia previst. Els mètodes *lean* han permès aprofitar aquest temps mentre que la gestió d'activitats de forma tradicional no ha reaccionat a temps i s'ha perdut aquestes hores possibles de feina. En els dos casos el temps que s'ha treballat ha estat el mateix però ja podem veure com en el segon cas hem acabat les quatre tasques i en el primer encara no ho hem fet.

## 5.2. Anàlisi d'un cas teòric.

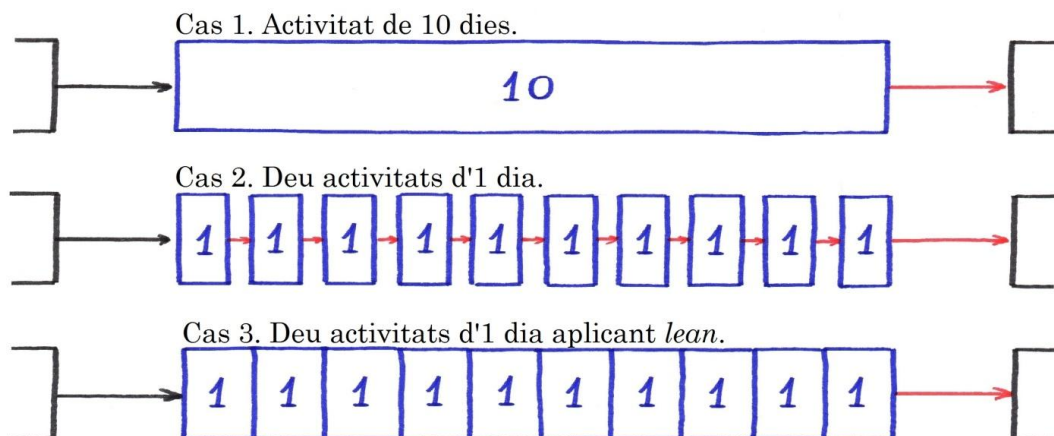
Establertes les bases de les simulacions que farem, comencem per tractar un cas teòric que estigui ben acotat. Això ens permetrà veure de manera més còmode les millores o els canvis que aconseguim. Si comencéssim amb un cas molt complex seria més complicat desgranar-les.

Suposem que ens trobem en el context d'un projecte de grans dimensions. Seguint una de les seves seqüències d'activitats trobem una tasca d'una durada estimada de 10 dies. La relació amb les activitats anterior i posterior són relacions final-inici estàndards. Hem separat tres maneres diferents d'encarar-ne la seva realització.

En el primer cas simplement donarem l'activitat a un equip de treball que haurem contractat independentment. Aquest equip serà l'únic encarregat de l'activitat i per tant la gestionarà com una sola entitat. Quan l'acabi, marxaran de l'obra.

En el segon cas dividirem aquesta activitat de duració estimada de 10 dies en 10 activitats de durada equivalent igual a 1. Volem veure com aquesta separació del treball en tasques més concretes afecta la duració global i la fiabilitat de l'estimació.

Finalment, en el tercer cas, simularem la situació tal i com es gestionaria amb filosofies *lean*. Dividirem la feina també en 10 activitats d'1 dia i promourem la cooperació entre les parts perquè el flux de treball sigui continu.



**Figura 25.** Esquema dels tres casos que tractarem a la simulació teòrica. ( Font: imatge pròpia ).

De cada cas s'han fet 1000 simulacions seguint les condicions comentades. Un cop s'han obtingut els resultats n'hem calculat els paràmetres estadístics més significatius.

Cas 1. Activitat de 10 dies (sense tècniques lean).

Cedint directament la responsabilitat a un equip independent la feina de gestió ha estat nul·la. La independència de l'equip contractat fa que aquest no es preocupi de comunicar el resultat de forma eficient. És normal que una activitat de 10 dies en un projecte gran passi desapercebuda si no hi prestem atenció i la comunicació falla. Per tant, les duracions inferiors a 10 dies no s'aprofitaran i prendran com a valor aquell de la duració esperada.

CAS 1	
Durada mitjana (dies)	11,29
Variància de la durada	4,85
Duració màxima (dies)	24,54
Duració mínima (dies)	10

**Figura 26.** Resultats de la simulació del cas 1.

Cas 2. Deu activitats d'1 dia (sense tècniques lean).

Repartint la feina de manera més concreta aconseguim que cada equip de treball gestioni la seva part més fàcilment. Això fa que la variància elevada d'una activitat de 10 dies es dissolgui en petites variàncies. Ara bé, la coordinació entre tants grups de treball en terminis molt reduïts fa que es donin situacions de temps morts.

CAS 2	
Durada mitjana (dies)	11,24
Variància de la durada	0,45
Duració màxima (dies)	15,14
Duració mínima (dies)	10

**Figura 27.** Resultats de la simulació del cas 2.

### Cas 3. Deu activitats d'1 dia aplicant *lean*.

En aquest tercer cas es segueix l'estructura del cas 2 però amb una planificació col·laborativa prèvia cosa que facilita una transició immediata en tots els casos.

CAS 3	
Durada mitjana (dies)	10,02
Variància de la durada	0,95
Duració màxima (dies)	14,38
Duració mínima (dies)	7,3

**Figura 28.** Resultats de la simulació del cas 3.

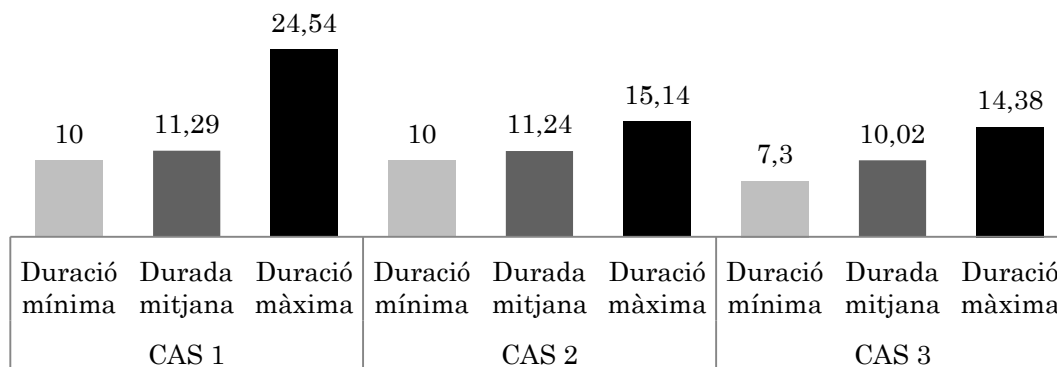
### Valoració dels resultats

Com es podia suposar, aplicar tècniques *lean* i permetre el flux continu d'activitats aconsegueix mantenir la duració mitjana de l'activitat global en els valors esperats. Aquesta duració mitjana és important però hi ha altres aspectes que també són claus.

Comparant els casos 1 i 2 podem veure que presenten duracions mitjanes molt similars. En primera instància es podria pensar que la divisió de treball en petits "paquets" no ha tingut cap efecte. Ara bé, quan en comparem els extrems i la variància veiem que hem millorat en un aspecte molt important: la regularitat. En el CAS 1 la màxima duració ha arribat als 24,54 dies, un 245,5% del temps previst inicialment. En el CAS 2, només afegint la separació en tasques més petites, aquesta màxima ha baixat fins als 15,14 dies (151,4%).

Veient aquests resultats entenem la importància de planificar en detall, aspecte molt remarcat en el *Last Planner*. La variància en els dos casos no fa més que remarcar-ne la importància ja que la del CAS 1 presenta un valor aproximadament 10 vegades superior al del CAS 2.

Per tant, si no hi ha una bona coordinació, separar les activitats en taques molt petites no ajudarà a reduir els terminis però ens ajudarà a obtenir resultats més robustos.



**Figura 29.** Gràfic de comparació entre els tres casos.

El cas *lean* (CAS 3) permet que es vagin realitzant les tasques una rere l'altra de forma ininterrompuda. En el cas teòric ideal, per tant, la duració mitjana seria de 10 dies exactes. Aquest flux també permet retallar terminis i produir amb menys temps del previst ja que abans la mala comunicació ho impedia. Gràcies a aquesta millora hem aconseguit escurçar en un cas fins a 2,7 dies la duració de l'activitat.

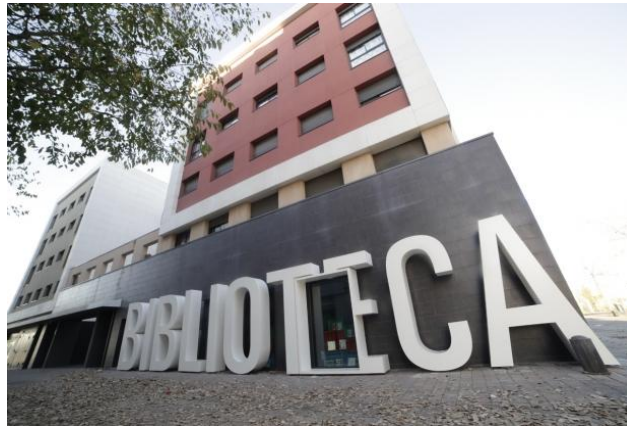
Es podria pensar que la vessant *lean* del cas ha de millorar notablement tots els paràmetres però no és així. La duració màxima no ha millorat gaire i s'aproxima molt a la del CAS 2. Si les activitats s'allarguen més del previst la bona gestió i coordinació de les parts no té massa efecte. Per tant, tal i com hem explicat al LPS, és important que complim les promeses que hem fet ja que si no la coordinació deixa de tenir tot l'efecte que té.

Per acabar també cal destacar que la variància del CAS 3 és més del doble que la del 2 (0,95 per 0,45). No és un aspecte que ens hagi de preocupar ja que si estem coordinats reaccionarem a temps i adaptarem la producció a aquesta variabilitat. La utilitat de les tècniques *lean* a la construcció és també la de saber gestionar aquestes variacions quan existeixin.

### 5.3. Un cas real: la biblioteca municipal Miquel Batllori.

La biblioteca municipal Miquel Batllori es troba situada al sector de Volpelleres de Sant Cugat del Vallès. El seu nom ret homenatge a Miquel Batllori (1909-2003) que fou un historiador i humanista de projecció internacional resident a Sant Cugat durant els seus darrers anys de vida.

Inaugurada al març del 2015 es troba ubicada als baixos d'un bloc d'habitatges de construcció recent situat al final de l'eix comercial que va des de l'estació de Volpelleres fins a la masia de Can Banyameres. La redacció del projecte va anar a càrrec d'Op-Team Arquitectes S.L.P. Amb una superfície útil de 1100m<sup>2</sup> dona servei als barris de Volpelleres, Can Banyameres, Coll Favà, la Guinadera i Sant Domènec. La seva àrea d'influència directa es calcula que és d'uns 14.000 habitants. La biblioteca és de titularitat municipal i rep el suport de la Xarxa de Biblioteques Municipals de la província de Barcelona.



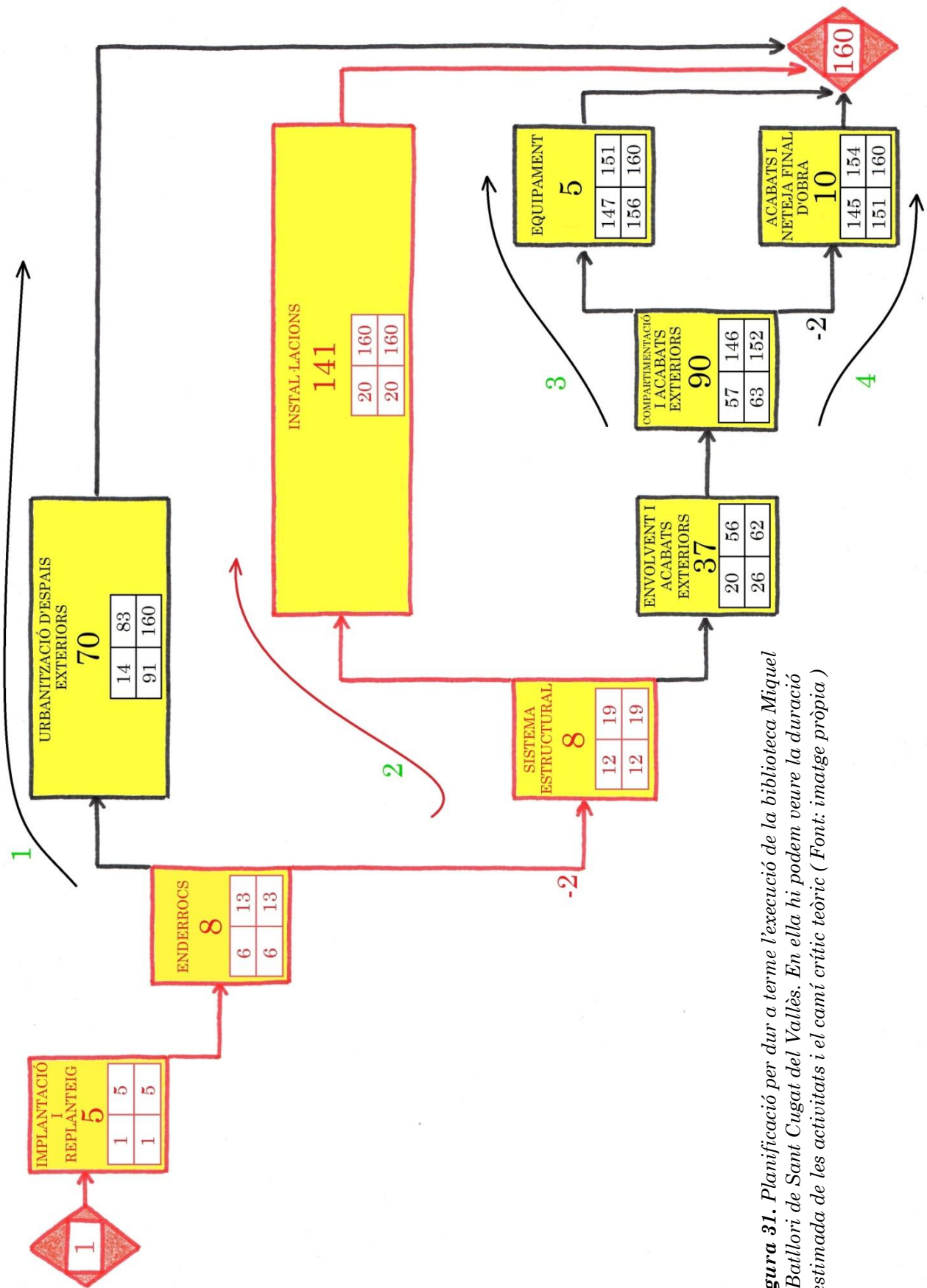
**Figura 30.** Imatge de l'entrada principal de la biblioteca. ( Font: TOT Sant Cugat )

Per a la realització d'aquest projecte es va fer una planificació amb una duració total estimada de 160 dies. Treballant amb el diagrama de Gantt de la planificació detallada n'he pogut extreure una planificació esquema que segueix molt bé les dependències i relacions principals. Aquesta planificació es pot agrupar en 9 activitats que permetran veure més fàcilment com actua *lean* a la programació d'un cas real.

Com podem veure a la figura 31, durant la realització d'aquest projecte hi ha nombroses tasques que es fan de manera simultània. Això fa que ens trobem fins a quatre seqüències d'activitats diferents que poden esdevenir crítiques i marcar la duració total de l'obra.

La simulació de la duració d'aquest projecte s'ha fet també seguint les bases establertes a l'apartat 5.1 d'aquest document. Aquesta simulació consta de 500 experiments. Per cada experiment s'ha trobat la duració de les 9 activitats seguint les distribucions de probabilitat pertinents. Després hem calculat la duració total del projecte de dues maneres diferents: aplicant tècniques *lean* i sense aplicar-ne.

Un cop s'ha fet l'experiment es comenten els resultats més significatius per poder veure la influència de les tècniques *lean* en els terminis d'una programació real.



**Figura 31.** Planificació per dur a terme l'execució de la biblioteca Miquel Batllori de Sant Cugat del Vallès. En ella hi podem veure la duració estimada de les activitats i el camí crític teòric ( Font: imatge pròpia )



5.3.1. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ I VALORACIÓ.

	Gestió convencional	Gestió lean
Durada mitjana (dies)	188,01	176,71
Variància de la durada	1056,01	1548,37
Duració màxima (dies)	368,21	367,32
Duració mínima (dies)	160	92,15
P <sub>5</sub>	160,05	124,88
P <sub>95</sub>	257,42	252,07

**Figura 32.** Taula resum dels resultats de la simulació

El primer resultat que cal destacar és el del termini d'entrega del projecte. Tot i no tenir les millors condicions per implementar *lean* (la programació és poc detallada)s'aconsegueix que s'estalviï de mitjana un 6% de la duració per gestió convencional. Hem passat de 188,01 dies a 176,71.

És cert que la millora existeix però el valor de la duració global continua molt per sobre de la duració estimada. L'objectiu *lean* ha de ser el de mantenir la durada planificada o fins i tot disminuir-la. La tardança excessiva en aquest procés es pot justificar per dos motius.

- Tenim una activitat que engloba les instal·lacions que és de durada i complexitat elevades. Com hem pogut veure en el cas teòric, les eines *lean* són efectives en la coordinació de tasques petites o de variància ben delimitada. Si tenim una tasca voluminosa i poc definida existeix la possibilitat de que la duració es dispari. Llavors les tècniques *lean* són poc efectives i el temps perdut serà quasi impossible de recuperar. Com que la tasca d'instal·lacions es pot allargar molt, les durades màximes dels dos tipus de gestió són semblants.

- Tenim fins a tres camins independents que poden marcar el final del projecte si esdevenen crítics. Tenim el camí 1 amb una tasca de duració 70, el camí 2 amb una de 141 i el 4 amb una de 90. Si s'aconsegueix gestionar bé la majoria de camins però fallem en un, la duració del projecte ja se'n veurà afectada. Això fa que tinguem múltiples opcions de patir les conseqüències del punt previ.

Havent vist els dos motius es podria millorar molt la nostra planificació separant aquestes activitats més voluminoses en paquets de treball petits que siguin de fàcil control. Això és el que es mira de fer aplicant LPS.

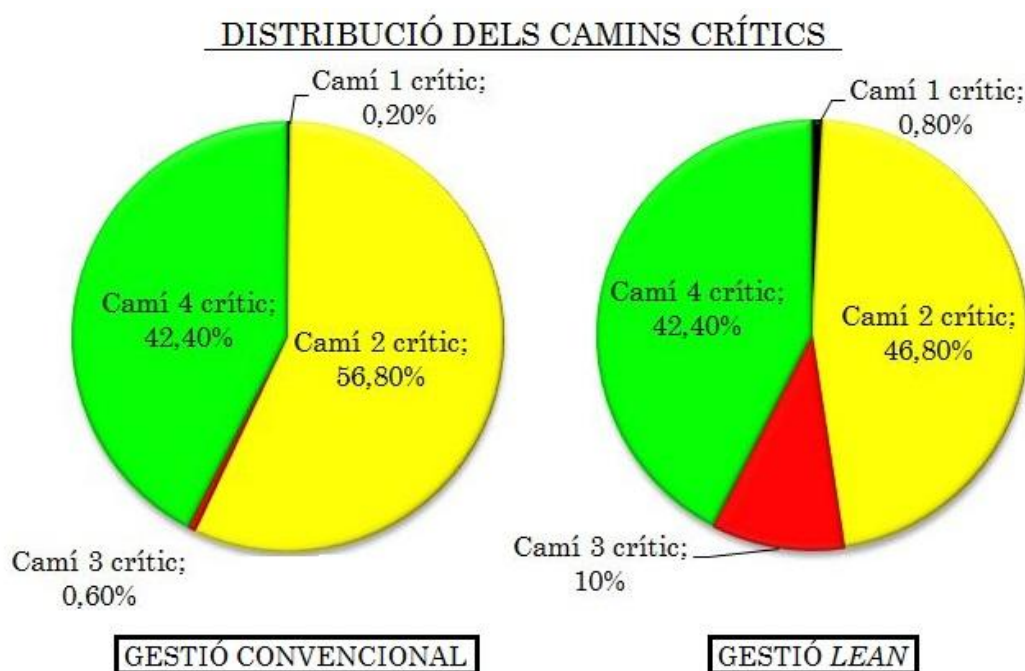
La variància torna a ser major en el cas *lean*. Com ja hem comentat abans, aquesta diferència es deu al increment del rang de valors possibles ja que en la gestió col·laborativa entren en joc les durades inferiors a les previstes.

Els percentils trobats ens ajuden a descartar aquells casos on la simulació ha anat als extrems, ja siguin a la baixa o a l'alça. A la gestió convencional el percentil 5 deixa la duració molt similar a la mínima. Com els temps guanyats no s'aprofiten i s'allarguen fins a la duració planificada tenim moltes durades pròximes al 160, però mai inferiors. En el cas *lean*, aquest 5% descartat ha fet pujar el valor de 92,15 a 128,88 dies, un augment considerable.

En referència als màxims, podem veure com el percentil 95 dels dos casos continua sent molt similar. Aquí encara predominen les duracions elevades de tasques on *lean* no hi té efecte. Si anem baixant aquest percentil anirem veient com els valors es van diferenciant ja que la duració de les activitats serà més regular i la planificació col·laborativa permetrà estalviar temps.

Segons la simulació feta, només un 5% dels casos gestionats convencionalment s'acaben a temps mentre que amb la planificació col·laborativa aquest percentatge augmenta fins al 37,2%. Si es poleixen els detalls que s'han anat comentant i es gestionen bé les activitats la nostra programació serà molt més acurada i aquests percentatges es podran millorar.

A causa de les diferents durades que prenen les activitats el camí crític no sempre acaba sent el teòric. En el nostre cas el camí crític estimat (figura 31) conté l'activitat de més duració i variabilitat. Això fa que la simulació ens ofereixi molts casos on el camí crític passa a ser un altre.



**Figura 33.** Gràfic indicador de la freqüència amb la que els camins han esdevingut crítics (Font: imatge pròpia).

El camí 2 esdevé crític en el 56,8% dels casos en la gestió convencional i en el 46,8% dels casos en la gestió lean (figura 33). Al implementar *lean* aconseguim molts cops que la duració sigui inferior a 141 dies cosa que fa que altres camins tinguin més possibilitats de ser-ho. Dóna la casualitat de que el percentatge del camí 4 ha quedat inalterat. Analitzant bé els casos s'ha pogut veure que passant a *lean* hi ha hagut una redistribució i que aquest 42,4% no està constituït per els mateixos casos concrets.

El que si que és destacable és l'augment dels cops on el camí 3 ha estat el crític. Aplicant *lean* en activitats de duració elevada la variància dels resultats augmenta i per tant és més lògic que els resultats també surtin més dispersos.

I per acabar, tot i quasi passa desapercbut, tenim l'augment del camí 1 que ha passat de ser una vegada crític a 4 vegades crític. Pot semblar una percentatge menyspreable però exemplifica un problema important. Aquesta branca del projecte té una duració estimada de 83 dies i ha superat 4 cops a camins que ronden els 160 dies. Quan no apliquem bé *lean* a totes les parts podem patir-ne les conseqüències. Cal recordar que *lean* incorpora les idees *pull*. Començar l'activitat d'urbanització tant d'hora amb uns marges elevats pot desembocar en duracions elevades. Aquestes duracions elevades porten un cost afegit a l'obra ja que hem de contractar els equips de treball durant més temps. Tot i que pot semblar contradictori, és millor organitzar bé la producció de dreta a esquerra i començar més endavant tenint un marge més reduït. D'aquesta manera la gent treballa concentrada. No perquè una tasca no sigui crítica ens ha de passar per alt. Allargar-la segur que ens costa diners i en alguns casos pot esdevenir crítica.

## 6. CONCLUSIONS I LÍNIES DE FUTUR.

### 6.1. Conclusions.

Es pot veure com la filosofia *lean* és una manera d'actuar que s'allunya de les tendències modernes que implementen tecnologies complexes. L'essència *lean* rau en fer més amb menys. És per això que es centren tots els esforços en reduir el malbaratament o *muda*.

Per reduir el malbaratament es segueixen 5 principis. Aquests 5 principis tenen en compte les preferències del client, busquen un flux de valor constant i marquen les tècniques *pull*. Seguir mètodes *pull* significa produir en funció de la demanda per evitar els estocs. Aquesta tècnica és una de les claus del *lean thinking*. L'últim d'aquests 5 principis és el de perfecció que actua com a motor de la filosofia i fa que sigui possible anar millorant la resta.

*Lean* significa també defensar la importància dels treballadors en el procés i animar-los a compartir els seus coneixements. És per això que es creen equips de treball ajuntant professionals de diversos àmbits. En aquests grups es donen discussions i intercanvis de coneixements que milloraran el resultat global de la nostra producció ja que en tindrem una visió conjunta. Aquest punt difereix bastant de l'alta mecanització on el treballador es centra en una sola tasca i no té coneixement del flux on treballa

Generalment les eines *lean* són tècniques o mecanismes senzills, visuals i econòmics que ens permeten controlar la producció adaptant-la a la demanda, agilitzant-la o fent-la més segura. També es busca que segueixin patrons o passos d'actuació determinats per estandarditzar els processos i veure els errors que cometem. Si mai es seguissin els mateixos passos els errors vindrien cada cop de causes diferents.

La majoria dels tipus de malbaratament que ocorren a la construcció estan altament relacionats amb la mala gestió dels temps a l'obra. Per tant, si volem aplicar *lean* a la construcció i obtenir-ne resultats, ho haurem de fer en aquest àmbit. A les obres poden arribar a interactuar equips de treball de moltes empreses cosa que en dificulta la compenetració. Si millorem la coordinació entre les parts solucionarem gran part d'aquest problema i ens acostarem més a un flux de treball constant. Un flux de treball constant ens ajuda a crear planificacions més estables i reduir el termini dels projectes.

Tot i l'evidència dels problemes a la construcció existeix un cert escepticisme i resistència del canvi a aquesta filosofia tant idíl·lica. La tradició del contractista que controla als subcontractats i els ascensos per resoldre situacions límit reforcen aquest temor. A la vegada, però, s'ha pogut veure a les ponències *Lean Barcelona* que hi ha ganes i voluntat de canvi per la majoria del sector.

El *Last Planner System* és un mètode de planificació i seguiment de projectes i representa l'eina *lean construction* per excel·lència. Aporta una estructura estipulada de reunions on hi assisteixen representants de tots els equips. Planificant conjuntament es comparteixen coneixements i es coneixen mancances. Amb la planificació ben definida i lliure de restriccions els equips es comprometen a acabar les seves tasques en uns períodes

acordats. Aquesta sensació de formar part d'un projecte conjunt motiva als treballadors a fer bé la seva feina. Saben que la resta també ho farà i que si els resultats són bons se'n emportaran part dels beneficis.

El BIM és una metodologia per gestionar projectes, sobretot de disseny i construcció simultània. Es basa en models 3D connectats a una base de dades. Un canvi en el model actualitza totes les dades i plànols que hi estiguin connectats. És una eina ideal per als *stakeholders* que els permet seguir en tot moment la situació actual de l'obra, el seu cost, els terminis...

Perquè els principis *lean* puguin funcionar cal que les tasques estiguin ben definides i tinguin una variància baixa. Si la duració de la tasca no ha estat ben estimada és possible que s'allargui molt i llavors amb la planificació col·laborativa no podem solucionar-ho.

Donar folgances de forma injustificada no és gens beneficiós. El fet de donar un marge dona peu al treballador a relaxar-se i a no treballar al 100%. Això en general portarà duracions més llargues i per tant contractes de més durada. Cal aplicar *pull* i a través d'una bona planificació començar les activitats quan faci falta, produint eficientment en tot moment. Seguint aquest argument, la importància del camí crític queda difuminada. La variació en les durades pot fer que el camí crític canviï. El que hem de fer és preocupar-nos de fer les activitats quan toca i de manera eficient.

En definitiva, *lean* a la construcció significa dur a terme la planificació de forma col·laborativa i confiar en la paraula i ofici de les parts.

## 6.2. Línies de futur.

Seria molt interessant saber si en termes globals la *lean construction* aporta més beneficis que pèrdues. Per a esbrinar-ho s'hauria de fer un seguiment a empreses que s'iniciessin ara en el món *lean*. D'aquesta manera es podria observar l'evolució que experimenten les durades i costos dels seus projectes per extreure'n conclusions fiables. Seria un seguiment tediós però que ens ajudaria molt a assegurar la viabilitat de la planificació col·laborativa.

També es podria mirar buscar una manera eficient per adjudicar les obres. L'esquema "*design-bid-build*" ha quedat antiquat ja que la coordinació entre les parts hauria d'incloure el disseny dins el propi projecte. Una nova manera d'adjudicar les obres on es poguessin premiar filosofies *lean* o metodologies BIM en facilitaria l'expansió.

## 7. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.

- [1] **Alsehaimi, A., Koskela, L.** (2008) *Critical evaluation of previous delay studies in construction*. Proceedings of the 8th international postgraduate conference, Prague.
- [2] **Aziz, R., Hafez, S.** (2013) *Applying lean thinking in construction and performance improvement*. Alexandria Engineering Journal, 52, 679-695.
- [3] **Banik, G.** (1999) *Construction productivity improvement*. Proceedings of the annual 35th annual conference, pp. 165-178.
- [4] **Bertelsen, S.** (2003) *Construction as a complex system*. In *proceedings of the annual conference*. International group for Lean Construction, IGLC-11, 11-23.
- [5] **Bølviken, T.** (2016) *Collaborative planning in production by Veidekke*. [en línia]. <<http://sites.itec.cat/lean/wp-content/uploads/sites/10/2016/05/Lean-LPS-BCN-2016-Constructors-TBolviken.pdf>>. Consulta el 01-06-2016.
- [6] **Bowen, D., Youngdahl, W.** (1998) *The lean service: In defense of a production line approach*. International Journal of Service Industry Management, 9(3), 207-225.
- [7] **Conte, A., Gransberg, D.** (2001) *Lean construction: from theory to practice*. AACE International Transactions CS10, 1-5.
- [8] **Formoso, C., Isatto, E., Hirota, E.** (1999) *Method for waste control in the building industry*. University of California. Proceedings IGLC-7, 325-334.
- [9] **Ingeniería industrial online.** *Técnica SMED - Cambio de matriz en un solo dígito de minuto*. [en línia]. <<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/t%C3%A9cnica-smed-cambio-de-matriz-en-un-solo-minuto/>>. Consulta el 22-05-2016.
- [10] **ITeC.** *BIM*. [en línia]. <<http://itec.es/servicios/bim/>>. Consulta el 15-06-2016.
- [11] **ITeC** (2016) *Lean Construction Barcelona by ITeC*. Jornades i workshops: “The Last Planner System” (Barcelona, 11-13 de maig).
- [12] **Jones, D., Womack, J.** (2003) *Lean Thinking*. Tercera edició. Editorial Gestión2000. ISBN: 978-84-9875-021-8.
- [13] **Mossman, A.** (2013) *Last Planner®: 5+1 crucial and collaborative conversations for predictable design and construction delivery*. The Change Business Ltd.
- [14] **Ohno, T.** (1988) *The Toyota Production System: beyond large scale production*. Productivity press Portland, Oregon, 19-20.

- [15] **Paez, O., Salem, S., Solomon, J., Genaldy, A.** (2005) *Moving from Lean Manufacturing to Lean Construction: toward a common sociotechnological framework*. Human factors and ergonomics in manufacturing, vol.15 (2), 233-245.
- [16] **Quesada-Pineda, H., Buehlmann, U. Arias, E.** (2012) *Pensamiento Lean: ejemplos y aplicaciones en la industria de productos de madera*. Virginia Cooperative Extension. Publication ANR-17S
- [17] **Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., Uchikawa, S.** (1977) *Toyota Production System and Kanban system. Materialization of just-in-time and respect-for-human system*. International Journal of Production Research. 15:6, 553-564.
- [18] **Womack, J., Jones, D., Roos, D.** (1991) *The Machine That Changed the World*. Editorial HarperPerennial. ISBN: 0-06-097417-6
- [19] **Wright, G.** (2000) *Lean construction boosts productivity*. Building design and construction 41, 29-32.
- [20] **Yan, H., Damian, P.** (2008) *Benefits and barriers of Building Information Modelling*. 12th international conference on computing in civil and building engineering, Beijing.