



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PROYECTO FIN DE MÁSTER EN LOGÍSTICA

Curso 2015/16

Concepto y comparativa de las "Lean Learning Factories" del Mundo

Autor: José Manuel Martín Ramos

Tutor: Ángel Manuel Gento Municio

Valladolid, 20 de Septiembre 2016

“Puedes aprender más de un individuo durante una hora de juego, que en un año de conversación”. Platón

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	10
1.2. ALCANCE	10
2. LEARNING BY DOING	11
2.1. CONCEPTO Y ESCENARIO ACTUAL	11
2.2. LA CURVA DEL OLVIDO	15
2.3. CONO DE LA EXPERIENCIA	18
2.4. TÉCNICAS ACTIVAS DE ENSEÑANZA. ESTUDIO EMPÍRICO	20
2.4.1. Enseñanza Activa	20
2.4.2. Estudio Empírico	20
2.4.2.1. Descripción	20
2.4.2.2. Hipótesis	21
2.4.2.3. Resultados	21
2.5. JOHN DEWEY. LA TEORÍA DE LA EXPERIENCIA	23
2.6. DAVID KOLB. EL APRENDIZAJE EXPERIENCIAL	25
2.7. APRENDIZAJE EXPERIENCIAL VS APRENDIZAJE TRADICIONAL	26
3. FACTORIAS DE APRENDIZAJE	29
3.1. ESCENARIO ACTUAL	29
3.2. CONCEPTO DE LAS “LEARNING FACTORIES”	31
3.3. HISTORIA DE LAS “LEARNING FACTORIES”	33
3.3.1. Misión de la colaboración	34
3.3.2. Pennsylvania State University	35
3.3.3. University of Washington	36
3.3.4. Universidad de Puerto Rico en Mayagüez	37
3.4. VARIEDAD DE FACTORÍAS DE APRENDIZAJE	39
3.5. CASO DE ESTUDIO REAL	40
3.6. FACTORÍAS DE APRENDIZAJE DIGITALES	43
3.6.1. Pasos para implantar una factoría de aprendizaje	45
3.6.2. Learning Factories. Ejemplos.	46
4. METODOLOGÍA LEAN	53
4.1. CONCEPTO	53
4.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	54
4.3. PRINCIPIOS LEAN	56
4.3.1. Especificar el valor	56
4.3.2. Identificar el flujo de valor	57
4.3.3. Flujo sin interrupciones	57
4.3.4. Pull (Atracción)	58
4.3.5. Perfección	59
4.4. TIPOS DE DESPILFARRO	60
4.4.1. Muri	60
4.4.2. Mura	60
4.4.3. Muda	60
4.5. ESTRUCTURA Y HERRAMIENTAS LEAN	61
4.5.1. 5S	63
4.5.1.1. Seiri (separar)	63
4.5.1.2. Seiton (Organizar)	64
4.5.1.3. Seiso (Limpiar)	65
4.5.1.4. Seiketsu (Estandarizar)	65
4.5.1.5. Shitsuke (Autodisciplina)	65
4.5.2. SMED	66

4.5.3.	Mantenimiento Productivo Total (TPM)	67
4.5.4.	KANBAN	68
4.5.5.	VSM (Value Stream Mapping)	69
4.5.6.	Control Visual	71
4.5.7.	Sistemas de participación de personal	71
4.5.8.	Mejora continua o Kaizen	72
4.5.9.	Estandarización	72
4.5.12.	Heijunka	74
5.	COMPARATIVA ESCUELAS LEAN	75
5.1.	KART FACTORY (ITALIA)	76
5.2.	ATLAS COPCO LEAN ACADEMY (SUECIA)	82
5.3.	LEAN FACTORY GROUP (VIETNAM)	86
5.4.	LEAN LAB (NORUEGA)	92
5.5.	LEAN LEARNING FACTORY. UNIVERSIDAD DE SPLIT (CROACIA)	94
5.6.	LEAN FACTORY SCHOOL (ITALIA)	99
5.7.	ESCUELA LEAN RENAULT CONSULTING (ESPAÑA)	104
5.8.	ELEMENTOS COMUNES VS ELEMENTOS DIFERENCIALES	110
6.	ESTUDIO ECONÓMICO	113
6.1.	PERSONAL INTERVINIENTE EN EL PROYECTO	113
6.2.	FASES DEL PROYECTO	114
6.3.	COSTES DE PERSONAL	116
6.3.1.	Costes de consumibles	118
6.3.2.	Costes material informático	118
6.3.3.	Costes indirectos	119
6.3.4.	Costes Totales	119
7.	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	123
8.	BIBLIOGRAFÍA	127
8.1.	LIBROS	127
8.2.	PÁGINAS WEB	128
8.3.	VÍDEOS	132

Agradecer a mi tutor por su tiempo y dedicación en este trabajo,
a mi familia por estar ahí siempre y a mis amigos por ser un constante apoyo.

1. Introducción

A lo largo de la historia, numerosos cambios económicos, culturales y sociales han generado una constante evolución hasta llegar al mundo que conocemos hoy en día, donde las nuevas tecnologías son las protagonistas de nuestras vidas. Sin embargo, la educación ha permanecido inmóvil como mera espectadora sin formar parte de un desarrollo que ha forjado unos consumidores más exigentes, unos mercados mucho más competitivos y unas empresas que luchan por sobrevivir intentando adaptarse rápidamente.

La educación sigue anclada en un modo de enseñanza propio de la Revolución Industrial, donde se formaban a futuros trabajadores de fábrica. En este caso, los alumnos son meros sujetos pasivos que tienen que escuchar interminables lecciones teóricas de unos profesores que son los protagonistas del proceso de aprendizaje. Por consiguiente, una nueva modalidad de enseñanza debe empezar a impartirse en las aulas como ya han comenzado algunos profesores de Universidad, donde el alumno no aprende escuchando o tomando apuntes, sino haciendo.

Un aprendizaje experiencial basado en la resolución de problemas y en la toma de decisiones por parte del alumno que experimenta por sí mismo las consecuencias de sus actos. Roger Schank o Ken Robinson en la actualidad son firmes defensores de esta forma de enseñar, que permite a los alumnos emocionarse y aprender aquello que les interesa, mediante un aprendizaje enfocado en la vivencia de experiencias con sus correspondientes fracasos. No obstante, el filósofo estadounidense John Dewey lo intentó unos cuantos años antes cuando, preocupado por la educación de su época, creó la “progressive school” donde los niños adquirirían conocimientos mediante la experiencia.

Sin embargo, Hermann Ebbinghaus (1885) con la curva del olvido, Edgar Dale (1946) con su cono de la experiencia o David Kolb (1984) con su teoría del aprendizaje experiencial han demostrado que aprender memorizando, mirando y escuchando no sirve de nada, sino que debe realizarse mediante experiencias concretas. Así, en 1994 surgió un nuevo concepto como fue las “learning factories” o factorías de aprendizaje, fruto de una beca que la National Science Foundation (NSF) otorgó a las Universidades de Pennsylvania, Washington y Puerto Rico para que construyeran en sus instalaciones factorías de formación.

El objetivo era mejorar la formación de los ingenieros vigente en aquella época, tratando de hacer llegar la realidad de las empresas al plan de estudios de los alumnos, mediante unas instalaciones de aprendizaje activo, un plan de estudios basado en la práctica y una colaboración con la industria. La variedad de factorías de aprendizaje a lo largo de estos años ha sufrido un constante crecimiento, basando su aplicación no sólo en el ámbito académico, sino también en la formación y entrenamiento de nuevos empleados de fábricas, tareas de investigación de nuevas metodologías de trabajo, demostraciones o servicios de consultoría.

Asimismo, las factorías de aprendizaje digitales están cobrando cada vez más protagonismo debido a las ventajas que ofrecen como la poca necesidad de infraestructuras, una rápida velocidad de simulación o la capacidad para simular estudios

simultáneos en poco tiempo. Sin embargo, la metodología Lean que tuvo su origen tras la Segunda Guerra Mundial en la factoría japonesa Toyota, más en concreto con la figura de Taiichi Ohno, está empezando a propagarse y cada vez más factorías de aprendizaje centran su formación en esta filosofía.

De esta forma, permite enseñar unas técnicas y herramientas Lean mediante la práctica, utilizando líneas de montaje de productos reales o a escala. Así, un proceso productivo tradicional caracterizado por estaciones de trabajo aisladas, una producción en lotes y un sistema push, da lugar mediante la aplicación de herramientas como 5S's, sistema pull o kanban a una línea de montaje síncrona, balanceada y de flujo continuo. Como resultado, la reducción de despilfarros como tiempos de espera, movimientos innecesarios o almacenamiento de gran cantidad de elementos son eliminados.

1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es conocer el concepto “Factorías de Aprendizaje Lean” y realizar una comparativa de las diferentes escuelas que existen en el mundo. Para ello, el proyecto se divide en un primera parte donde se describe la metodología de “aprender haciendo” mediante aportaciones teóricas, seguido de la historia y antecedentes que dieron origen al concepto “Factoría de Aprendizaje”.

Posteriormente, una ilustración del panorama actual y varios ejemplos de fábricas de formación, junto a una descripción de la filosofía Lean con sus técnicas y herramientas necesarias, da lugar al concepto que conocemos de “Factorías de Aprendizaje Lean”. La principal finalidad de este trabajo es sentar las bases para una futura línea de investigación, en la que pueda conocerse mejor el panorama actual y evolucione hacia otros enfoques.

Así pues, aprender sobre diferentes escuelas Lean, qué tipo de productos utilizan para formar a sus alumnos y cómo orientan la formación es el objetivo buscado con este proyecto. Realizar una comparativa y ver qué elementos comunes y diferenciadores tienen entre ellas es consecuencia de todo ese trabajo previo mencionado anteriormente.

1.2. Alcance

Para realizar este proyecto, se ha obtenido información de numerosas factorías de aprendizaje, y más en concreto de aquellas que enseñan técnicas y herramientas Lean. Sin embargo, al ser un proyecto introductorio que permita conocer qué es y cómo se caracterizan las escuelas, se ha establecido un criterio de elección escogiendo aquellas que ofrecen una formación completa e íntegra, tanto en la práctica como en la teoría. Es decir, la calidad en su formación ha sido el criterio escogido para ejecutar el principal objetivo de este trabajo.

2. Learning by doing

2.1. Concepto y escenario actual

A lo largo de la historia, personajes con gran trascendencia en nuestras vidas como Aristóteles, Platón, Confucio o Einstein han sido partidarios de la experiencia como método de aprendizaje y conocimiento. En la actualidad, Roger Schank o Ken Robinson son firmes defensores de la metodología “Learning by doing”, que tuvo su origen con el filósofo estadounidense John Dewey mediante su filosofía centrada en los problemas de la educación de su época.

El concepto “Learning by doing” no es más que su traducción literal al castellano, “aprender haciendo” o “aprender mediante la práctica”. Este método promueve que el alumno sea un individuo activo e implicado en la resolución de problemas, la interacción con otros compañeros, el desarrollo de tareas prácticas, establecer sus propias metas mediante una adecuada autonomía y permitir la investigación e indagación de cierta temática, su reflexión y posterior puesta en práctica.

Si nos fijamos en actividades tan cotidianas como andar en bicicleta, nadar o conducir, todas ellas tienen un elemento común; se aprenden experimentando. Se pueden leer muchos libros acerca de cómo andar en bicicleta, cómo meter las marchas de un coche y mover el volante o que alguien nos diga cómo se deben mover los brazos a la hora de nadar; sin embargo, de ninguna de las maneras aprenderemos estas actividades si no las experimentamos de primera mano. Es imposible que una persona se tire a la piscina y empiece a nadar correctamente simplemente observando cómo otra persona lo hace o le ha contado.

En pleno siglo XXI, uno de los grandes problemas existentes en la educación actual es la desmotivación (Programa Redes TVE, 2005). Los alumnos acuden a clase, se sientan y escuchan durante largas horas a una persona, en este caso el profesor, sobre un tema que ni les interesa y quizá no apliquen en su futuro profesional. En este caso, el alumno no es un individuo activo, si no todo lo contrario, un sujeto pasivo el cual recibe una información de alguien que está siendo el centro del proceso de aprendizaje, el profesor.

Los sistemas educativos se encuentran estancados en el pasado donde el aprendizaje se mide por la actividad del profesor y no por la del alumno (Redes (Nº89), 2011). Estos sistemas surgieron con la Revolución Industrial, con el objetivo de preparar a los trabajadores que posteriormente estarían a cargo de las cadenas de montaje de las fábricas; es decir, la educación enseñaba para conseguir un trabajo en el mundo industrializado, pero no educaba para conseguir personas creativas e innovadoras. Por tanto, esa forma de enseñar que se creó en el pasado para responder a los retos de la época sigue vigente, en un mundo que en los últimos años ha tenido enormes cambios económicos, sociales y culturales.

Según argumenta Ken Robinson en el programa Redes (Roman R, 2011): “Actualmente, las asignaturas tienen una jerarquía en función de su importancia en la

economía y su relevancia en el mundo. De esta manera, las matemáticas o las ciencias están en la cúspide por ser importantes a la hora de buscar trabajo, sin embargo, las humanidades, filosofía o disciplinas artísticas se encuentran en la base de la pirámide por ser irrelevantes para la economía, aunque están bien consideradas para el entretenimiento debido a su asociación con la emoción”.

Por consiguiente, la educación actual tiene tres objetivos principales:

- Económico: si alguien tiene estudios, tendrá un mejor trabajo y la economía se beneficiará de ello.
- Personal: la educación debe permitirnos conocer nuestros talentos y la mejor versión de nosotros mismos.
- Cultural: los países tienen la finalidad de que se conozca mejor su cultura y el mundo que nos rodea.

Sin embargo, ninguno de estos objetivos se cumple totalmente. En primer lugar, la economía se basa en un mundo de innovación y nuevas tecnologías, mientras que la actual formación se centra en la producción y educar a trabajadores de fábricas, un hecho que cada vez más se concentra en países asiáticos. Igualmente, muchos alumnos terminan su formación sin conocer aquello que realmente se les da bien hacer, en un mundo donde la transformación cultural genera una sociedad más compleja y menos tolerante.

Por ende, los profesores se centran en aquello que saben y no en lo que los estudiantes pueden hacer; siguen la metodología de ensayo y error mediante una formación centrada en la teoría y no en la práctica. Además, la preocupación de los estudiantes no es otra que aprobar los exámenes semanales, es decir, se memoriza una información temporalmente sobre algo que ha contado el profesor en clase para pasar una prueba que al día siguiente posiblemente hayan casi olvidado.

En este caso, el motivo principal es que el alumno no es parte activa de dicha actividad, y por tanto, no es posible ser receptor de toda la información que tiene que escuchar, y a la vez poder ser recordada en su totalidad. Roger Schank lo explica muy bien en una conferencia que dio en México sobre el rol del profesor: “Cuando una persona habla, la otra persona tiene la necesidad de responder y decir algo porque le surgen ideas y preguntas. Si el profesor sigue hablando, esas ideas que se tienen no pueden ser expresadas y por tanto, se olvidan puesto que la persona está pensando lo que quiere decir, y por ello, no escucha lo que el profesor dice” (‘Roger Schanck’, 2013).

Si volvemos en el tiempo hacia la prehistoria, nuestros antepasados aprendían a cazar, hacer fuego o recolectar mediante la repetición, realizando dichas tareas y guiados por los más sabios, así pues, el contacto con los demás era fundamental. En este caso, si realizamos la comparativa con la educación de hoy en día, el profesor no es alguien que debería contar y transmitir lecciones, si no ayudar y guiar a los alumnos en su aprendizaje. A través de la experimentación, al alumno le deberían surgir preguntas que el profesor debería responder, y no al revés como ocurre hoy en día, donde el profesor se pone delante de un aula a contar algo.

Cuando un profesor enseña, está realizando un proceso de enseñanza, y no un proceso de aprendizaje que debería protagonizar el alumno. En realidad, un docente está contando una lección a los alumnos sin saber ni siquiera si está produciendo aprendizaje; es verdad que el profesor enseña, pero el alumno no aprende (Programa Redes YVE, 2005). Cada persona es distinta, y por tanto, tiene distintas formas de aprender mejor. Si una misma lección se cuenta a treinta alumnos, con la mejor de las suertes cinco estarán atendiendo y escuchando porque les interesa, pero eso no implica que estén aprendiendo. Todos somos diferentes y por tanto no todos debemos aprender lo mismo ('Roger Schank', 2013).

Las personas aprendemos unas de las otras mediante la comunicación; cuando un individuo mantiene una conversación, se produce un feedback en el que se generan preguntas y respuestas, y por tanto un entendimiento entre varios sujetos. En los colegios, los alumnos aprenden experimentando por sí mismos o de sus compañeros, así pues, el profesor debe ser el guía que les motive en el aprendizaje. Cuando a un alumno le interesa algo, tiene curiosidad por hacerlo y para ello debe aprender cómo se hace; la necesidad de explorar surge de forma natural porque el alumno no entiende y quiere saber más acerca de ello, tiene emoción por aprender.

Un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT) en el año 2010 realizó el experimento de colocar un sensor electrodérmico en la muñeca de un universitario para medir durante una semana, las 24 horas del día, la actividad eléctrica de su cerebro. El resultado que mostró fue que la actividad cerebral del alumno cuando atendía en clase era la misma que cuando veía la televisión, casi nula. De esta forma, los científicos pudieron mostrar cómo el modelo actual, donde el alumno es un receptor de información pasivo, no funciona.

José Ramón Gamó, neuropsicólogo infantil y director del Máster en Neurodidáctica de la Universidad Rey Juan Carlos, identificó junto a su equipo como resultado de un estudio que en España, el 50% del tiempo dedicado a las clases primarias es para transmitir información verbal; sin embargo, este porcentaje se incrementa en un 10% en secundaria, alcanzando el 80% del tiempo en bachillerato (El País, 2016). Según palabras textuales, "el cerebro necesita emocionarse para aprender. El cerebro es un órgano social que aprende haciendo cosas con otras personas."

El conocimiento y la emoción son inseparables; cuando un alumno tiene una pregunta y quiere buscar una respuesta para ello, tiene esa alegría de buscar lo que espera, de encontrar una solución al problema existente, y para ello debe experimentar. Las personas somos expectativas, nos imaginamos algo de una forma por hechos y experiencias que ya hemos vivido, sin embargo, no siempre la respuesta es como esperamos (Programa Redes TVE, 2005). Establecemos unas metas que deben ser alcanzadas, para ello lo intentamos y experimentamos, pero no siempre se consiguen; sabemos lo que va bien o lo que no, y aprendemos de esos fracasos.

Cuando se produce un fracaso es porque algo no ha ido bien, nuestro plan para alcanzar un objetivo ha fallado y por tanto necesitamos una explicación. En ese momento, el profesor es el que debe guiar en el camino, respondiendo al alumno a las preguntas que le hayan surgido para que este pueda volver a trazar un nuevo plan e intentarlo de nuevo.

La figura del profesor ya no existe como tal, si no la de mentor; el profesor no acude al alumno, si no es este el que acude al profesor para que le ayude (‘Roger Schank, 2013).

Aprender significa comprender el orden que suceden las cosas y tener la capacidad para reaccionar y actuar frente a las excepciones. En general, la vida no es una fórmula perfecta, si no que está llena de excepciones, y para ello hay que experimentarlas (Programa Redes TVE, 2005). Cuanta más experiencia tengamos, más sabiduría y recursos tendremos para resolverlas, pero no existe otra forma de aprenderlas que haciéndolas personalmente. Cuando un empresario crea por primera vez una empresa, lo normal es que fracase; de media, se fracasa 3,8 veces antes de tener éxito. Esa decepción es el inicio del proceso de aprendizaje; el fracaso se almacena en la memoria para un futuro. Por tanto, hay que enseñar cosas que los alumnos van a tener que enfrentarse en la vida real.

Los cambios acontecidos en los últimos años han dado lugar a nuevos avances científicos y tecnológicos que han supuesto nuevos retos; los desafíos de hace años ya no sirven, teniendo que buscar nuevas formas de educar. Las innovaciones que actualmente tienen lugar hacen que la tecnología de hace pocos años quede obsoleta, y por tanto, esa rapidez en la innovación requiere nuevas soluciones a través de las ideas y la creatividad. De esta forma, la formación no debe enfocarse en repetir las cosas como hemos hecho a lo largo de los años, si no haciendo; la educación debe dirigirse hacia la personalización de cada alumno, fomentando y estimulando su creatividad, pasión y talento, es decir, permitiendo a las personas descubrir aquello que las motiva y que saben hacer bien.

En palabras de José Ramón Gamó nuevamente, “las direcciones de los centros están enrocadas en los métodos tradicionales basados en clases magistrales, memorización y exámenes escritos”. De hecho, cree que el principal problema de las escuelas y universidades es que no saben hacia dónde quieren innovar, y por tanto, no toman esa decisión (El País, 2016).

Por el contrario, existen profesores que se dirigen hacia eso, una educación centrada en el alumno y que cree emoción. Tanto María Acaso, profesora de la Universidad Complutense de Madrid como Xavier Giménez, profesor de la Universidad de Barcelona experimentan y realizan un tipo de enseñanza diferente al resto de profesores de las universidades del mundo. En ambos casos, el protagonista de sus clases es el alumno que experimenta, debate y aprende de forma activa (El País, 2015).

Según Xavier, las carreras científicas tienen mayor dificultad que otras carreras, y por ello, si un alumno no entiende o no sigue al profesor en lo que dice, desconecta de las clases; el 75% de éstos lo hacen. El motivo de este problema lo tiene claro, “el estudiante que por su estructura mental se concentra con facilidad, entra en un circuito de alimentación positiva y te sigue siempre. El que no, entra en un círculo vicioso negativo y cuánto más se pierde, menos te escucha. No tienen ni edad ni formación suficiente para detectarlo, la enseñanza tradicional no les prepara para ello” (El País, 2015).

Además, María Acaso no cambia el discurso y tiene el mismo enfoque de enseñanza que Xavier, dónde la opinión del alumno tiene la misma validez que la del profesor, a través de una formación horizontal que permite a los alumnos interactuar con los profesores, y no ser sólo una comunicación unidireccional o monólogo. En palabras de María, la educación y

la sociedad no han ido de la mano en su desarrollo, mientras la sociedad ha evolucionado y se ha ido modernizando, la educación ha seguido igual. “La Universidad se ha convertido en una fábrica de certificación donde el aprendizaje no sucede y todo conduce a sacar una nota” (El País, 2015).

El mundo actual requiere conocimientos menos importantes debido a su mayor volatilidad, y por tanto, la capacidad de las personas para aprender, desaprender y reaprender deberá ser innata. Los estudiantes no van a tener que aprender gran cantidad de información, sino que van a tener que hacer mejor su trabajo y tener la aptitud para desenvolverse. Para ello, la educación deberá ser más práctica y aprender haciendo cosas más que estudiando (Programa Redes TVE, 2005).

La tecnología y los ordenadores son herramientas al servicio de las personas, es decir, permiten el aprendizaje investigando y experimentando aquello que al alumno le puede interesar, además de comunicarse con personas al otro lado del mundo que les permita trabajar en equipo. Por consiguiente, las personas tienen distintas formas de aprender a través de un aprendizaje individualizado, ayudado por una tecnología que permita adaptarse a los cambios que la sociedad requiere (‘Roger Schank, 2013’). Según María Acaso, “ahora el conocimiento no sólo se produce en la Academia, sino en la Wikipedia, en las redes sociales y en las plataformas online”. Por tanto, nuevos desafíos requieren nuevas formas de pensar para estar a la altura de las circunstancias (El País, 2015).

2.2. La curva del olvido

Como ya se ha mencionado anteriormente, memorizar una lección para adquirir un determinado conocimiento no sirve de nada. Hermann Ebbinghaus (1885) estableció la curva del olvido a través de un experimento que realizó durante treinta años (Romero I, 2015), llegando a la conclusión de que si memorizamos algo, el olvido de esa información o conocimiento ocurrirá de manera progresiva a lo largo del tiempo.

De esta forma, resalta que una experiencia cuanto más intensa y significativa es, más tiempo permanecerá en nuestra memoria (Romero I, 2015). Si retenemos una información que hemos estudiado y memorizado, se irá perdiendo la mitad de la misma con el paso de los días y semanas si no se repasa. No obstante, el interés y motivación influyen enormemente a la hora de estudiar, además de la diferencia en la capacidad retentiva de las personas. Por ello, Hermann fue el protagonista de su propio experimento, consistente en memorizar sílabas de tres palabras sin sentido, para no tener influencia de su aprendizaje previo o factor ya conocido; así pues, memorizaba letras como MIG, XFY ó CEF.

El procedimiento consistió en memorizar la lista de dichas letras hasta que consiguió repetirla varias veces sin ningún tipo de error, en intervalos que iban desde los veinte minutos hasta un mes. Las observaciones que pudo obtener fueron que incluso en los intervalos más cortos de tiempo el olvido se producía, incrementándose a lo largo del

tiempo, siendo el olvido más pronunciado al principio y más lento posteriormente (Sánchez M, 2015).

Como se puede observar en la Figura 2.1, la curva que obtuvo Hermann fue la siguiente:

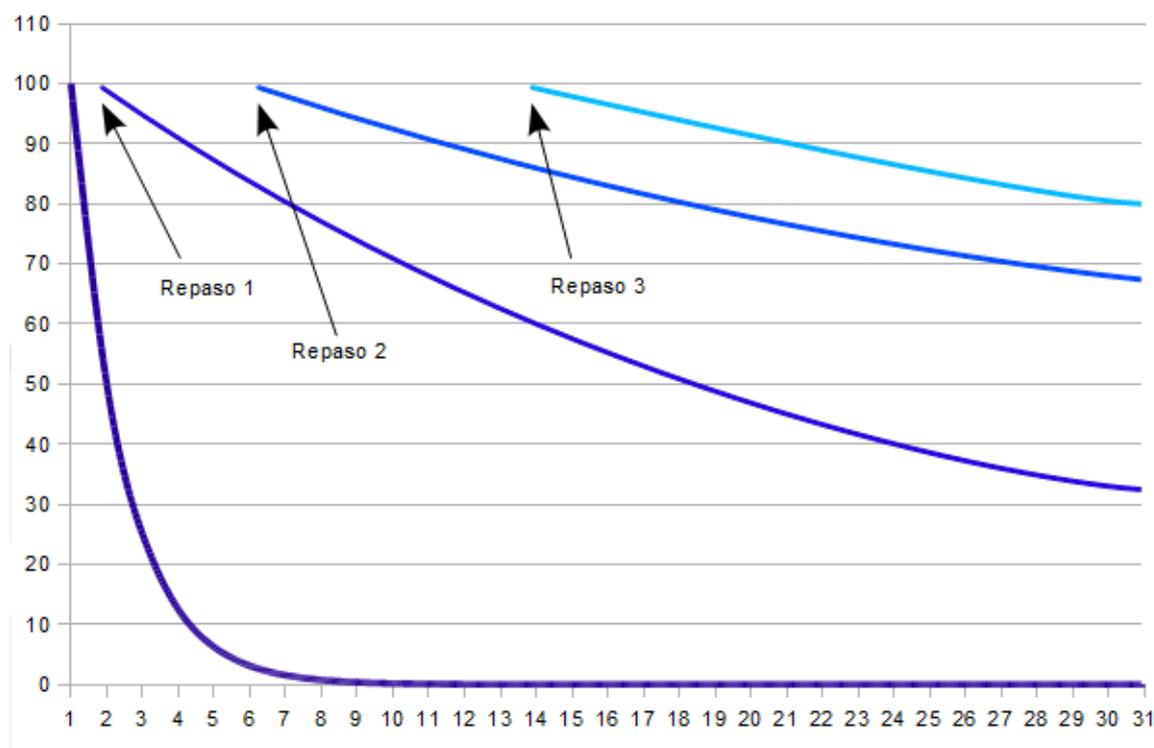


Figura 2.1: Curva del olvido (Del Rio C, 2014).

Si se analiza la gráfica, se puede observar como memorizando cierta información al 100%, sólo en un día recordamos el 50% de lo que tuvimos el día anterior, perdiendo casi la totalidad de la información a la semana, recordando únicamente el 3%. De esta forma, lo que mostraba Hermann con este gráfico era que si repasábamos al día siguiente, la pendiente de la curva era menos pronunciada, es decir, que los conocimientos que volvíamos a estudiar o repasar tardaban más tiempo en olvidarse, y así sucesivamente a lo largo del tiempo (Martinez P, 2013).

Si lo extrapolamos a la educación actual, los alumnos estudian para pasar un examen que serían incapaces de aprobar al día siguiente, puesto que han olvidado la mitad de lo que han estudiado el día anterior. Por tanto, esta teoría muestra como aprender no significa memorizar unos conocimientos, sino experimentarlos teniendo interés y emoción por lo que se aprende.

Cuando una persona empieza a realizar una actividad, por ejemplo, jugar al fútbol o al billar, las primeras partidas que juegue perderá, ya que su experiencia es nula. No sabrá cómo coger el palo con el que golpear la bola de billar, ni cómo colocar las manos para apuntar a la bola, ni la intensidad con la que mover el palo para realizar una carambola

perfecta; son aspectos del juego que se van aprendiendo a medida que se experimenta y se realiza múltiples veces (Fontirroig E, 2014).

Desde el punto de vista empresarial, un nuevo trabajador en una cadena de montaje tendrá el mismo comportamiento que un jugador de billar. Al principio no sabrá cómo colocar bien los tornillos, seguidamente irá mejorando pero a un ritmo lento, y posteriormente dominará el acto de poner tornillos. En este caso, lo que ha ocurrido es una curva de rendimiento, donde el trabajador ha ido mejorando su eficiencia a medida que pasaba el tiempo, y por tanto, el periodo necesario para realizar la actividad ha ido descendiendo (Gore E, 2006).

Si lo representamos en la Figura 2.2, se puede observar como la tendencia de la curva es ascendente a lo largo del tiempo, al incrementarse su rendimiento:

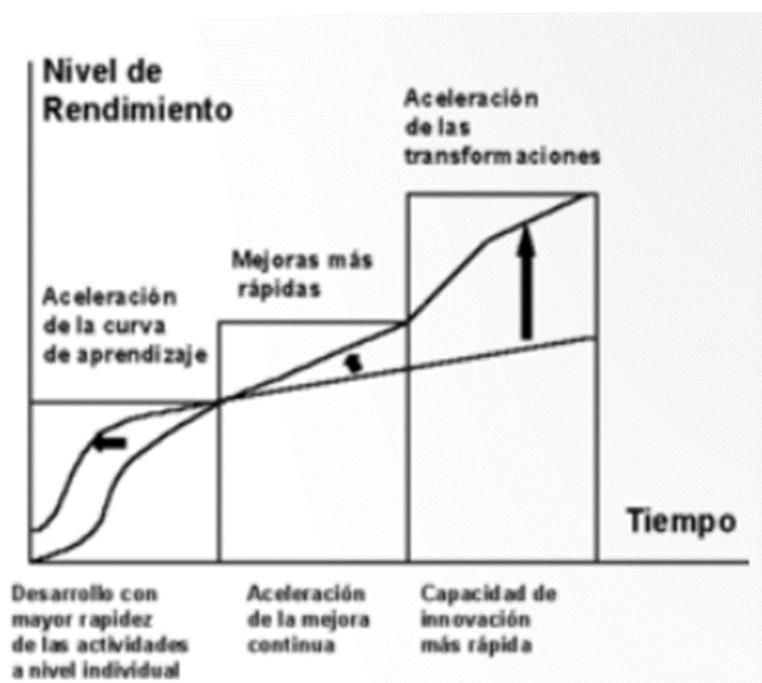


Figura 2.2: Curva de Rendimiento (Romero I, 2015).

Si se compara esta curva con la representada por Ebbinghaus en 1885, se puede observar que ambas curvas tienen una tendencia opuesta; si una persona que memoriza algo, olvida esa información de manera exponencial y una persona que experimenta una acción incrementa su rendimiento a medida que aprende haciendo, ¿no son comportamientos opuestos pero ambos complementarios?. De esta forma, la debilidad del modelo de enseñanza memorístico puede ser suplementada por un aprendizaje experiencial.

Antes de la Segunda Guerra Mundial, la industria aeronáutica observó que la necesidad de operarios disminuía a medida que aumentaba el número acumulado de aviones. Este comportamiento se producía por el simple hecho de que, a medida que los operarios adquirían experiencia, el tiempo para su actividad disminuía considerablemente; de esta forma, cuando la producción duplicaba la cantidad de aviones producidos, el

tiempo de producción se reducía en un 20%. Por tanto, diseñaron una curva de aprendizaje como la representada en la Figura 2.3, con las siguientes características (Gore E, 2006):

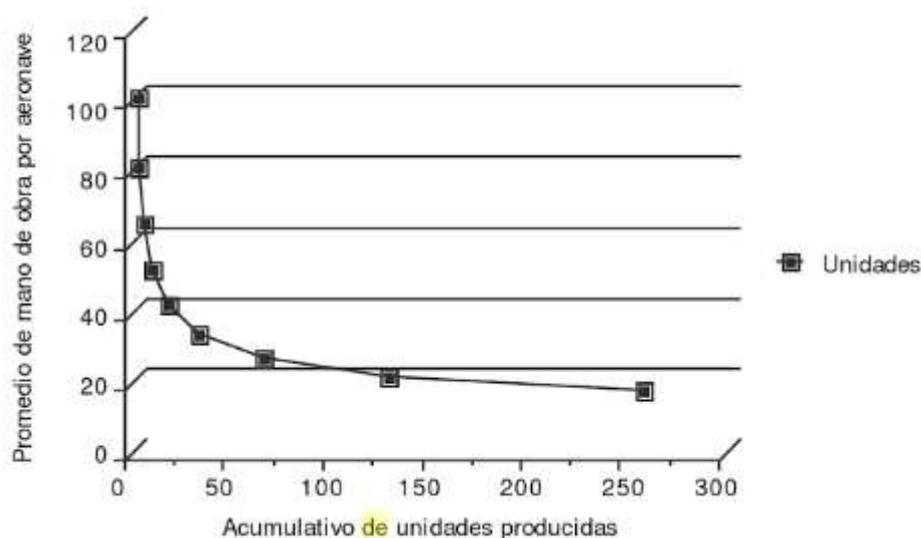


Figura 2.3: Curva de aprendizaje (Gore E, 2006).

Así pues, tanto la curva de aprendizaje como la del olvido tienen el mismo comportamiento exponencial, pero diferentes resultados. Si la curva del olvido pierde información a medida que pasa el tiempo, la curva de aprendizaje lo adquiere a medida que se obtiene experiencia y práctica. De esta forma, aprender haciendo permite adquirir un conocimiento que memorizando se olvidaría al día siguiente.

2.3. Cono de la experiencia

Edgar Dale (1946) plasmó en un cono las diferentes formas de aprendizaje, que iban progresivamente desde la más concreta ubicada en la base del cono, hasta la más abstracta en la cúspide del mismo. De esta forma, trataba de explicar cómo las personas retenían información dependiendo de la forma en la que la encontraban y memorizaban. Por tanto, Dale exponía cómo los métodos ubicados en la base de la pirámide eran los más efectivos en cuanto a aprendizaje, siendo los menos aquellos ubicados en la cúspide de ésta.

Para Dale, el cono estaba dividido en diferentes niveles de abstracción, siendo las palabras o símbolos los más abstractos para este modelo, ubicados en la cúspide. Por el contrario, tanto las experiencias reales como los problemas que habían sido resueltos, se ubicaban en la parte baja del cono por ser más concretos, ya que en realidad las personas hacían cosas. En el medio, se ubicaban actividades como demostraciones, visitas o vídeos, los cuales podían ser observados por las personas pero no probados ni sentidos (ACRlog, 2014).

Así pues, el cono que Dale ideó fue el mostrado en la Figura 2.4:

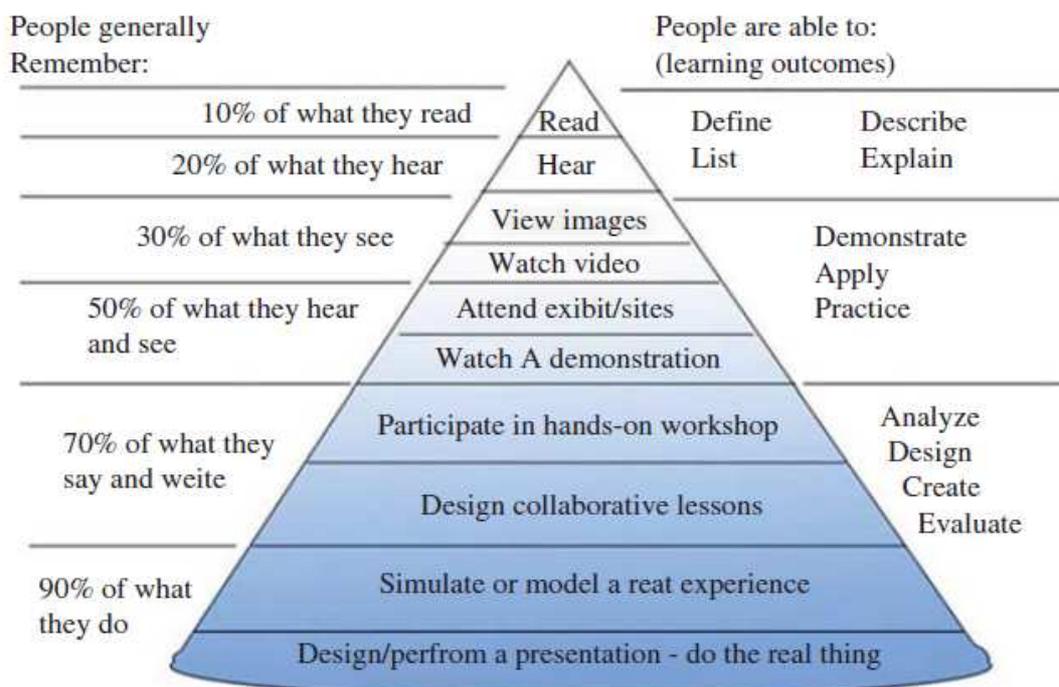


Figura 2.4: Cono de la experiencia (David B, 2014).

Como se puede observar en el gráfico, recordamos el 90% de lo que hacemos, siendo por el contrario, el 10% lo que leemos, el 20% lo que escuchamos y el 30% lo que vemos. Es decir, que si asistimos a una clase normal en la que se encuentra un conjunto de alumnos, donde el profesor se pone enfrente de estos a dar una clase, según el cono de la experiencia posiblemente recordemos el 10% o el 20% de las cosas que ha contado el profesor. De esta forma, se hace evidente que el aprendizaje haciendo o experiencial es el mejor estilo de aprendizaje a largo plazo.

De esta forma, la experiencia permite al alumno percibir y sentir las cosas, pudiendo realizar posteriormente un análisis y evaluación de lo que ha experimentado, para poder ser aplicado en siguientes ocasiones. Si vemos la mitad de la pirámide hacia arriba, las modalidades representadas se caracterizan por ser pasivas, es decir, el alumno es el que recibe la información, pero no es el protagonista del proceso. Por tanto, podrá definir, describir y explicar diferentes conceptos, pero no aplicarlos a la vida real ya que carece de capacidad analítica o de resolución de problemas.

No ocurre lo mismo cuando éste cuenta y transmite un conocimiento o realiza una acción, ambas situadas en la base de la pirámide, ya que el alumno podrá aplicar y demostrar los conceptos que ha adquirido, teniendo la capacidad de análisis y resolución ante problemas que puedan acontecer. Es decir, la persona es el sujeto activo del proceso, y por tanto, receptora y generadora de conocimiento (Milia H, 2016).

2.4. Técnicas activas de enseñanza. Estudio empírico

2.4.1. Enseñanza Activa

Actualmente, la mayoría de profesores dan sus lecciones transmitiendo información oralmente a toda una clase, mientras que los alumnos toman apuntes y escuchan de forma pasiva. Sin embargo, algunos docentes tratan de captar la atención del alumnado interactuando y manteniendo conversaciones en determinados momentos, con la finalidad de que estos piensen y puedan aplicar dichos conceptos tratados posteriormente.

Por el contrario, la enseñanza activa va más allá de eso, tratando de involucrar al alumnado en su propio aprendizaje, siendo los protagonistas de dicho proceso. Su finalidad es la de motivar e implicar, además de captar la atención y percepción de los alumnos, para que estos puedan aplicar los conceptos adquiridos posteriormente; así, su capacidad de análisis, síntesis y evaluación mejora enormemente. De esta forma, los alumnos pueden identificar los conceptos adquiridos en la vida real mediante su comprensión de formas distintas, permitiendo una mejor memorización y retentiva.

2.4.2. Estudio Empírico

2.4.2.1. Descripción

El presente estudio (Hackathornal J, 2011) fue realizado en un curso de psicología social, con un total de 51 alumnos, 18 hombres y 33 mujeres, con una media de edad de 19,36 años. El formador fue el mismo durante todo el semestre que duró dicho curso y tal experimento. El objetivo de este estudio era evaluar diferentes técnicas activas de enseñanza y su efectividad en el alumnado. Para ello, se midieron tres variables como fueron conocimiento, comprensión y aplicación, que en mayor o menor medida tendrían un mayor grado de profundidad o consideración en las diferentes técnicas. Dichas técnicas eran: lecciones, discusiones, demostraciones y actividades en clase.

- **Lección:** permite dar una determinada información en la totalidad del tiempo que dura una clase, esperando que los estudiantes dominen dicha información en el escaso tiempo que dura un examen. Por consiguiente, se impiden las interacciones entre los alumnos para evitar interrupciones, además de dar una gran cantidad de información a un amplio número de alumnos. La ventaja es que permite dar información a alumnos que no prestan atención en clase, usan el móvil o duermen; por contra, los alumnos retienen menos información.
- **Debate:** esta técnica de enseñanza permite a los estudiantes dar y recibir información; una vez que los alumnos recogen tal información, la tienen que pensar y procesar para emitir una respuesta y dar su propia opinión. De esta manera los estudiantes son sujetos activos, ya que deben estar atentos e

involucrados en dicha tarea, a la vez que motivados para ejercer su turno y dar su punto de vista.

- **Demostración:** actividades que se realizan en el aula para manifestar cómo un fenómeno ocurre. Sin embargo, sólo unos pocos alumnos son los partícipes de este experimento, mientras los demás miran. Por consiguiente, sólo unos pocos están involucrados en tal actividad experimentando activamente, siendo el resto de los alumnos sujetos pasivos. Es una metodología de enseñanza algo más activa que las lecciones.
- **Actividades en clase:** es la técnica más activa de enseñanza por involucrar a todos los alumnos en la resolución de problemas. Cuando un fenómeno ocurre, ellos están presentes, manipulándolo de primera mano. Permite una mayor ventaja en el aprendizaje porque los alumnos deben entender aquello que están manipulando entre sus manos.

2.4.2.2. Hipótesis

Las diferentes hipótesis que planteó dicho experimento, todas ellas siguiendo la lógica teórica de lo que aportan cada una de las técnicas de enseñanza son:

- **Hipótesis 1:** como lección, los estudiantes deberían ser capaces de retener y comprender el concepto, pero no la aplicabilidad de los diferentes fenómenos.
- **Hipótesis 2:** la discusión tiene una probabilidad de ser más efectiva en cuanto a comprensión, ya que los estudiantes deben estar involucrados para contestar y debatir con sus compañeros.
- **Hipótesis 3:** la demostración posiblemente sea más efectiva en cuanto a comprensión, pero no necesariamente en cuanto a conocimiento ni aplicabilidad, ya que son unos pocos alumnos los que se encuentran involucrados en la demostración, actuando los demás como sujetos pasivos.
- **Hipótesis 4:** en cuanto a las actividades en clase, los alumnos manipulan y aplican la información por sí mismos; de esta manera, deberían ser mejores en cuanto a comprensión y aplicación de los conceptos, porque deben entender lo que están haciendo.

2.4.2.3. Resultados

La Figura 2.5 representa los diferentes resultados del experimento realizado al grupo estudiado. Estos muestran las diversas técnicas activas de enseñanza, las distintas variables medidas, y sus correspondientes puntuaciones y desviaciones:

	Knowledge		Comprehension		Application	
	M	SD	M	SD	M	SD
Lecture	.760**	.169	.878	.109	.919	.100
Demonstrations	.678	.212	.698	.285	.808 ¹	.157
Discussions	.820	.180	.621**	.267	.856	.098
In-Class Activity	.789**	.163	.872	.142	.900	.088

Figura 2.5: Resultados estudio empírico (Hackathornal J, 2011).

Todas las técnicas activas de enseñanza tenían sus correspondientes hipótesis, en función de lo que se esperaba de ellas. Sin embargo, los resultados en algunos casos son realmente sorprendentes:

- **Lección:** comparado con las demás técnicas de enseñanza, fue la segunda que menos respuestas correctas obtuvo en cuanto a conocimiento, y significativamente menor en comprensión y aplicación. Pese a que las lecciones tienen ejemplos para su mejor comprensión, la memorización de los conceptos no fue la adecuada. Por tanto, la hipótesis no se cumplió en su totalidad, ya que se esperaba fuera el método más efectivo en cuanto a conocimiento.
- **Discusión:** los resultados en comprensión fueron inferiores que los de conocimiento y aplicabilidad. En este caso, se debe a que los estudiantes tienen una opinión sobre un determinado aspecto, que necesitan expresar. Puede que otro compañero haya dicho y mostrado abiertamente su opinión respecto a un tema que otro compañero tenga en su mente para comentar; por tanto, esos alumnos no pueden aportar nada y no entran a formar parte como sujeto activo. Así pues, la segunda hipótesis tampoco fue cumplida.
- **Demostración:** en este caso, los niveles de conocimiento y aplicación fueron superiores a los de comprensión. Particularmente, se debe a que sólo unos cuantos alumnos forman parte de la demostración, y por tanto, no todos son capaces de comprender la misma ni de adquirir los conocimientos necesarios. Por el contrario, y lo que resulta sorprendente, es que los resultados en aplicación fueron superiores, lo que demuestra que aunque sólo unos pocos realizan el experimento, con el sólo hecho de ver el resto de los alumnos como se realiza, sirve para la comprensión de su aplicabilidad. Así pues, la tercera hipótesis tampoco fue apoyada, ya que no tuvo buenos niveles de respuesta en comprensión.
- **Actividades en clase:** fue la única hipótesis que se cumplió, ya que los niveles de comprensión y aplicación fueron superiores a los de conocimiento, aunque este a su vez fue superior al resto de técnicas en cuanto a puntuación. De esta manera se muestra como, si se hace partícipe a todos los alumnos, se permite conocer, entender y aplicar los conceptos de clase, convirtiéndose en la técnica más efectiva de todas las técnicas activas.

Por tanto, dicho experimento aporta una vez más una muestra de que el aprender haciendo es mucho más efectivo que diferentes técnicas de dar clase, ya que todos los alumnos se muestran motivados, con interés de realizar las actividades, además de adquirir conocimientos y conocer su aplicabilidad en la vida real. Aspectos como las lecciones y demostraciones fueron realmente sorprendentes, ya que los resultados no fueron los esperados y por tanto, generaban mejores capacidades en otras variables diferentes; por el contrario, tanto el debate como las actividades en clase (aprender haciendo) cumplieron con su pronóstico.

2.5. John Dewey. La teoría de la experiencia

Uno de los personajes más influyentes en la historia y que más apoyaron la metodología de aprender haciendo fue John Dewey, filósofo estadounidense partidario del pragmatismo y miembro del grupo de los progresistas. Basó su filosofía en los problemas de la educación, tratando de imponer sus principios en las escuelas con la finalidad de que los niños aprendieran mediante la experiencia, y no fueran sujetos pasivos que iban a clase simplemente a escuchar. Para él, el pensamiento se genera por experiencias reales y situaciones problemáticas que deben ser resueltas. Por tanto, una frase que plasma muy bien lo que pensaba es “una onza de experiencia es mejor que una tonelada de teoría” (Blanco R, nd).

Según Dewey, las personas aprendemos a través del ensayo y error, y por tanto, la aplicación de una teoría o idea debía ser medida en función de su aplicabilidad y resolución de problemas reales. No por ello la experiencia y pensamiento debían ser opuestos, si no todo lo contrario, ambos iban juntos. Así, la sabiduría de las personas se creaba en función de las consecuencias de sus actuaciones, y por tanto, la resolución o no de los problemas, favoreciendo la actitud activa del alumno en el aprendizaje. De esta forma, Dewey era partidario de que las personas “no pensamos por pensar sino que pensamos para obrar”, permitiendo que de una acción concreta se derivara la comprensión global; es decir, cuando se soluciona un problema, se concibe una idea que sirve de conocimiento para próximas experiencias (Ruiz G, nd).

Dewey era muy crítico con la educación vigente de su época, caracterizada por la imposición, memorización de contenidos y disciplina, además de preparar al niño para la vida adulta como un fin estático y prefijado. Sin embargo, proponía una escuela totalmente diferente, donde el protagonista fuera el alumno y no el profesor que pasaba a un segundo plano. Así, la dotaba de flexibilidad y dinamicidad, fomentando el desarrollo individual con programas en función de las necesidades del alumnado, unificando el saber y hacer, además de la adquisición de destrezas como medio y no como fin. Por tanto, esta nueva escuela se basaba en dos principios (Blanco R, nd):

- **Principio de continuidad:** se supeditan las experiencias anteriores con las presentes y futuras, permitiendo a la educación ser un proceso continuo de desarrollo de la personas en todas sus dimensiones.
- **Principio de interacción:** el individuo se relaciona con la realidad y el medio actual.

Dicho filósofo comparaba a los alumnos con pizarras limpias, donde los profesores escribían las lecciones, actuando como meros sujetos pasivos. Sin embargo, expresaba que éstos llegaban de sus casas con las ganas de indagar, comunicar, construir y unos intereses y experiencias ya adquiridas en sus casas que podían utilizar para obtener buenos resultados. Criticaba a los conservadores por no adaptar los programas de estudios a los intereses del alumno. La escuela que proponía era aquella en la que los profesores seleccionaran experiencias que tuvieran significado para el alumnado, generadoras de conocimiento para futuras experiencias mediante actitudes reflexivas y empíricas, utilizando conocimientos tanto teóricos como prácticos de ciencia, historia o arte en problemas reales.

Como progresista que era, defendía unos principios por los que debía regirse esa escuela progresista que proponía (Blanco R, nd):

- “La escuela debe fomentar más la cooperación que la competencia”.
- “El papel del maestro consiste en asesorar, y no en dirigir”.
- “El pensamiento educacional debe ser analítico”.
- “El material para el proceso de desarrollo se adquiere de las circunstancias de la vida”.
- “La educación debe ser un proceso socializado. La personalidad se desarrolla mediante las relaciones humanas”.
- “La educación debe ser activa y relacionada con los intereses de los niños”.
- “El aprendizaje mediante la solución de problemas debe sustituir a la inculcación de la materia”.

Dewey definía la educación como “aquella reconstrucción o reorganización de la experiencia que da sentido y que aumenta la capacidad para dirigir el curso de la experiencia siguiente”. Las enciclopedias las consideraba como fuente de información y no de conocimiento, ya que se fundamentaban en experiencias pasadas cuando el presente y futuro eran probabilidades. Por tanto, se debía partir de la experiencia que tenía el alumno, y permitirle que se socializara con el resto de sus compañeros, además de fomentar la observación, reflexión y comprobación de sus experiencias prácticas, incentivando a los alumnos a transformar algo mediante la libertad, iniciativa y espontaneidad (Fermoso P, nd).

Tras mucho esfuerzo, recogió todos sus ideales y construyó la escuela de sus sueños, a la que denominó la “progressive school”. En ella, los niños aprendían haciendo, y a través de la experiencia adquirían conocimientos. Como ejemplo, los niños de seis años construían una maqueta de una granja al igual que sembraban trigo. De esta forma, las dimensiones y la división del campo en diversas partes para la siembra de diferentes elementos permitían adquirir conocimientos como las unidades de medida, la división, superficie; así pues, a medida que iban progresando, las equivocaciones iban disminuyendo progresivamente a la vez que el trabajo ganaba en precisión y rapidez. Además, otras competencias como el

trabajo en equipo, comunicación, cooperación o liderazgo, además de la resolución de problemas, se fomentaban de igual manera (Westbrook R, 1993).

Por consiguiente, lo que las escuelas tradicionales seguían realizando, como era un mismo libro para todos, la repetición de lecciones para la adquisición de conocimientos y la consideración del alumno como un sujeto pasivo, Dewey le había dado la vuelta a todo para que los alumnos adquirieran competencias a través del “learning by doing” o “aprender haciendo”.

2.6. David Kolb. El aprendizaje experiencial

Otro de los grandes defensores del “learning by doing” fue David Kolb, siguiendo los pasos de John Dewey con su teoría del aprendizaje experiencial (1984). Según él, las personas aprendemos a base de las experiencias, a través de un ciclo de cuatro etapas, representadas en la Figura 2.6:

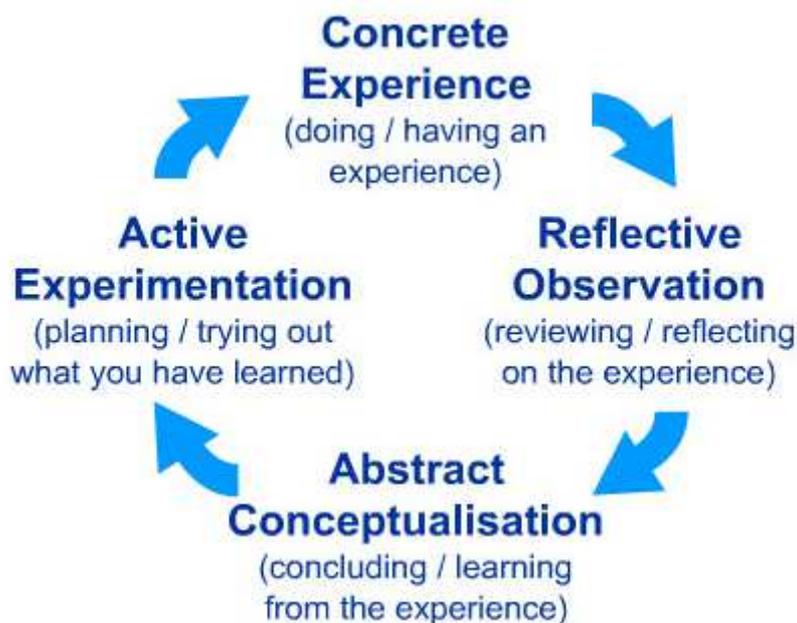


Figura 2.6: Ciclo de aprendizaje experiencial (McLeod S, 2010).

1. Tener una experiencia concreta seguido de una observación.
2. A través de la observación, el individuo reflexiona y genera una teoría general.
3. La persona genera una serie de conceptos abstractos y generalizaciones.
4. Esos conceptos los aplica en nuevas experiencias para ver la repercusión de sus hipótesis en experiencias concretas.

Kolb establecía que el ciclo podía empezarse por cualquier etapa del proceso, no obstante, para que el aprendizaje se produjera debía completarse todo el ciclo. De esta forma, la acción concreta podía darse en diferentes circunstancias, sin embargo, si una

determinada acción se generaba en las mismas circunstancias, la persona que aprendía era capaz de anticipar los posibles efectos de la acción. Así pues, si este ciclo se extrapola a la formación, los docentes deberían ofrecer experiencias concretas, ayudando en el análisis y la reflexión y su posterior generación de conclusiones (Barbero A, 2010; Educación en movimiento, 2016; CAS, 2016; Smith M, 2001).

2.7. Aprendizaje experiencial vs Aprendizaje tradicional

Hoy en día, las tecnologías han facilitado la vida de las personas en cuanto a eficiencia, por ejemplo, en guardar un montón de números de teléfono en un smartphone al cual sólo tienen que acudir para encontrar el contacto y llamar ó comunicarse con personas al otro lado del mundo con las redes sociales como Facebook o Twitter. Sin embargo, esa eficiencia ha generado cambios en nuestras formas de aprender; posiblemente los estudiantes actuales sean la generación que más han leído, pero su capacidad de concentración se basa en 140 caracteres solamente. De esta forma, los métodos de aprendizaje tradicionales no sirven porque nuestra capacidad de atención y memorización ha cambiado; por ende, la forma de enseñar a los estudiantes actuales también debe variar.

De esta forma, se exponen 7 razones por las cuales el aprendizaje experiencial o aprender haciendo será el futuro de la educación, frente a la educación tradicional (Kishore G, nd):

- **Acelera el aprendizaje:** esta forma de aprender desarrolla habilidades como la resolución de problemas, toma de decisiones o análisis crítico. Por el contrario, el aprendizaje tradicional tiene poco impacto en el individuo y la tasa media de absorción de conocimiento se reduce considerablemente al haber una ausencia de interés en lo que se explica.
- **Aporta un ambiente de aprendizaje seguro:** este tipo de aprendizaje permite que el estudiante, a través de simulaciones dentro del aula, pueda poner en práctica todos sus conocimientos sin ningún tipo de riesgo ni consecuencia. De esta forma, esa capacidad de reaccionar ante problemas reales que los estudiantes van a encontrarse en el día a día no va a ser posible en un aprendizaje tradicional, donde los conocimientos aprendidos en clase sólo son aplicados cuando se termina la universidad, una vez que el alumno debe enfrentarse a la vida real sin saber cómo y qué consecuencias van a tener sus decisiones.
- **Construye un puente entre la teoría y la práctica:** el aprendizaje experiencial permite obtener una primera experiencia práctica que sirva para el mundo laboral una vez que el estudiante ha salido de la Universidad; es la unión entre la teoría de la Universidad y la práctica laboral. Por contra, un aprendizaje tradicional genera conocimiento y luego se espera que el alumno lo ejerza en su primera experiencia laboral.

- **Produce un cambio de mentalidad:** el liderazgo o el trabajo en equipo no son habilidades que se puedan aprender con los libros, sino con la experiencia. Así, las destrezas adquiridas generan una serie de recursos que permiten al alumno tener una mentalidad mucho más real de la vida.
- **Incrementa los niveles de involucración:** con este tipo de aprendizaje, los alumnos van a tener que resolver problemas y estar en contacto con otras personas, generando unos resultados que asumen como propios. De esta forma, sus propias decisiones van a tener unas consecuencias relevantes e importantes en determinados aspectos. No así con las clases tradicionales, las cuales requieren grandes niveles de motivación para que los estudiantes se sientan partícipes de éstas.
- **Provee una precisa evaluación de resultados:** a través de las simulaciones realizadas en clase, los alumnos obtienen una serie de resultados que deben examinar, recogiendo datos en primer lugar, analizándolos y posteriormente realizando informes que miden sus consecuencias. Por ende, los métodos de aprendizaje tradicional no permiten ese tipo de análisis, ya que las lecciones en clase no dan ni generan datos al alumnado.
- **Facilita el aprendizaje personalizado:** si observamos las clases tradicionales, todos los alumnos están sentados en clase, en aulas que rondan los 30 alumnos; de esta forma, el enfoque educativo que se da es una educación destinada a las masas. Por el contrario, un aprendizaje experiencial depende de las habilidades previas del individuo, que traza un camino con su propio ritmo y objetivos, combinando simulaciones con tecnología.

3. Factorias de Aprendizaje

3.1. Escenario actual

Los cambios acontecidos en los últimos años en los aspectos culturales, económicos y políticos han generado un cambio de tendencia en el mercado donde el factor tiempo ha cobrado mucho peso (Abele E, 2015). Los desafíos a los que se enfrentan las empresas en la actualidad como una rápida evolución tecnológica y unos clientes mucho más exigentes que quieren las últimas tendencias y productos específicos, genera un mercado mucho más competitivo que exige la máxima capacitación de las mismas. Adaptarse rápidamente a las nuevas y cambiantes condiciones del mercado en un corto periodo de tiempo requiere la máxima preparación y habilidad de los empleados en todos los niveles jerárquicos.

Por tanto, unos empleados que sepan reaccionar a los actuales desafíos encontrando soluciones creativas a situaciones desconocidas, actuando de forma organizada y autónoma, además de una capacidad multidisciplinar, requiere una nueva forma de enseñar que la enseñanza tradicional y actual no satisface. De esta forma, nuevos enfoques de aprendizaje son necesarios para:

- Permitir enseñar y entrenar a los estudiantes en un ambiente de producción realista.
- Modernizar el proceso de aprendizaje y dirigirlo hacia una cercana práctica industrial.
- Hacer uso práctico de los conocimientos tecnológicos y de fabricación.
- Estimular la innovación en la producción mediante la mejora de capacidades, como capacidad de resolución de problemas, creatividad o talento basado en la innovación.

Uno de los grandes problemas de la educación actual es el hueco existente entre los conocimientos que se imparten en clase y aquellos que necesitan los estudiantes en la vida real. El abismo existente entre aprender y trabajar es muy grande, puesto que aprender supone un concepto abstracto y académico basado en clases, mientras que el trabajo es visto como algo concreto, donde existen problemas, maquinaria, beneficios y pérdidas, jefes y clientes, etc. Aprender en las universidades genera conocimientos inertes que no permiten a los graduados resolver problemas reales y complejos en su vida laboral; así pues, aplicar las lecciones explicadas mediante ejemplos a la práctica supone un enorme desafío.

La mayoría de empresas tienen que lidiar con una gran variedad de productos, con un ciclo de vida muy corto que necesita soluciones innovadoras y una complejidad tanto dentro como fuera de las empresas provocada por una competencia del mercado local e internacional, que requiere desarrollar continuamente sus procesos productivos y su operatividad, además de su capacidad de adaptación. Los profesionales demandados por

las empresas necesitan esa capacidad para entender la organización en su totalidad, identificar las relaciones causa-efecto dentro de la cadena de valor y si es necesario aplicar sus conocimientos para la reingeniería.

Sin embargo, son muchos estudiantes los que pierden una oportunidad de empleo porque la formación de las universidades no se adapta a los requerimientos del mercado, como el trabajo en equipo o la necesidad de habilidades comunicativas. Por ende, tanto los estudiantes como las empresas piden a gritos una formación más enfocada en la práctica y la experiencia. En primer lugar, los estudiantes ansían tener sus primeras experiencias prácticas, y no estar en una clase donde el profesor cuenta lo que viene en los libros de texto o las diapositivas, que requiere poca involucración e imaginación del alumno. No es posible enseñar en cuatro años las habilidades que son demandadas si no se ejerce una enseñanza práctica.

Por contra, es la industria como cliente de las universidades la que quiere y demanda un cambio en la forma de enseñar. Esta no necesita conocimientos teóricos si no habilidades para ser aplicadas, como perspectiva del sistema, pensamiento crítico y creativo, curiosidad y deseo de aprender, análisis o ética, trabajo en equipo, liderazgo y comunicación. Así, un escenario tan pesimista necesita la colaboración de la industria con las universidades para realizar un cambio de paradigma en la enseñanza, donde los estudiantes aprendan de forma activa, colaborando de forma interdisciplinar y un aprendizaje basado en la resolución de problemas.

Como resultado de diversos estudios, sugieren que es posible incrementar la eficacia de la educación en comparación con las clases tradicionales, mediante una educación orientada a la práctica interdisciplinar. Las factorías de aprendizaje pueden ser utilizadas para desarrollar los conceptos necesarios y educar a los estudiantes para un futuro, mediante un ambiente académico basado en la práctica, transmitiendo conocimientos teóricos con habilidades productivas; es decir, en las factorías de aprendizaje los estudiantes experimentan un producto, su proceso productivo y su proceso de ensamblaje en escenario simulado pero realista. Por tanto, juegan un papel fundamental en el desarrollo de nuevas soluciones y su transferencia a la industria, mediante la formación de los futuros profesionales.

No sólo las factorías de aprendizaje están empezando a utilizarse para enseñar a los alumnos sobre determinadas materias, si no también casos de estudio o juegos de negocio son muy comunes para simular situaciones de la vida real que impliquen una disposición de los conocimientos teóricos de los estudiantes en la práctica. Una sólo acción no puede cubrir todas las competencias existentes, sin embargo, varias acciones independientes generan una variedad de situaciones de trabajo que implican la comprensión y aplicación del conocimiento. Cuando ambas se unen, y se obtiene la habilidad para la aplicación de conocimiento, se puede hablar de competencia, donde las factorías de aprendizaje juegan un papel importante.

3.2. Concepto de las “learning factories”

El concepto “learning factory” tiene dos palabras bien definidas que si las desglosamos y realizamos su traducción al castellano, comprenden los términos “aprendizaje” y “fábrica”; así pues, incluye los elementos de aprendizaje y enseñanza en un ambiente de producción real. El tipo de aprendizaje que se realiza es experiencial, respondiendo a la metodología previamente explicada de “learning by doing”, donde los alumnos aprenden haciendo activamente sin la mínima distracción. De esta forma, dichas fábricas de aprendizaje están basadas y ambientadas en fábricas reales donde los estudiantes puedan experimentar, cometer fallos y aplicar sus conocimientos sin ningún tipo de riesgo (Abele E, 2015).

Una factoría de aprendizaje es una réplica de una fábrica real, que permite una inmersión en un ambiente real de producción y experimentación, basado en el aprendizaje de competencias y entrenamiento para la producción, además del desarrollo de habilidades en la optimización de procesos productivos. De esta forma, permite aplicar los conocimientos teóricos a líneas de producción y conocer las consecuencias de determinadas acciones, mediante una toma de decisiones previa. Así pues, las factorías de aprendizaje se alinean con los problemas e intereses de la industria, reflejados en los procesos productivos.

Dicha factoría provee una cadena de valor de un producto real donde los estudiantes pueden desempeñar determinadas acciones en un enfoque de aprendizaje y evaluar sus consecuencias. Estas instalaciones no son elementos estáticos, si no que están en constante desarrollo y evolución, adaptadas a las necesidades de la industria y a las tendencias sociales o tecnológicas, al igual que las investigaciones educativas; por tanto, su adaptación y actualización es constante. No sólo debe ser una instalación dedicada al aprendizaje, si no que debe crear valor mediante la capacitación del personal de las fábricas del hoy y del mañana, unido a un modelo de negocio aplicado a diversos sectores económicos (Matt D, 2014).

La metodología utilizada que combina teoría y práctica en condiciones reales, introduce elementos prácticos y problemas cercanos a las condiciones reales de la fábrica. Sin embargo, este ambiente de aprendizaje permite que los alumnos colaboren unos con otros trabajando juntos, utilizando diferentes herramientas y recursos de información para el cumplimiento de objetivos y la resolución de problemas. De esta forma, la autenticidad de resultados permite un impacto positivo en la experiencia y motivación de los alumnos, además de un conocimiento enfocado hacia la acción que la educación convencional no ofrece (Jaeger A, nd).

También, la factoría de aprendizaje no es un ente aislado de la realidad, si no que las nuevas soluciones que se plantean y generan en las mismas permiten su intercambio y transferencia hacia la industria. Por tanto, su disponibilidad no es sólo hacia los alumnos de las universidades, si no también investigaciones para la industria y el entrenamiento de empleados de todos los niveles de la organización; por eso, las factorías de aprendizaje constituyen un binomio escuela-industria. Por consiguiente, los objetivos de las factorías de aprendizaje son (Jaeger A, nd):

- Investigación para innovaciones tecnológicas u organizacionales.
- Desarrollo efectivo de competencias y habilidades de los futuros empleados y estudiantes si es utilizado para educación y entrenamiento.
- Implementar los principios de “aprender haciendo” o “aprender mediante fallo”.
- Establecer una aproximación entre los procesos reales y simulados.

La diversidad de escuelas de aprendizaje en el mundo es inmensa, sin embargo, se concentran en el estudio de varios temas principales: concepción de la metodología Lean, consumo y eficiencia energética y procesos de optimización. Todos ellos tienen cuatro elementos comunes, que constituyen realmente la base de las factorías de aprendizaje (Goerke M, 2015):

- Proceso de producción o ensamblaje.
- Producto para producir o ensamblar.
- Infraestructura en la que realizar dicho proceso.
- Métodos de enseñanza y enfoque.

Aprender en una factoría de aprendizaje supone llevar las acciones de un proceso productivo a cabo, desde la planificación, fabricación y ensamblaje, supervisión, procesos logísticos internos, análisis y dirección de calidad y la mejora de los procesos existentes, entendiendo por completo el ciclo de vida del producto. Las actividades físicas toman un papel importante sin ninguna presión en cuanto a costes y riesgos que puedan acontecer, posibilitando una rápida reconfiguración de los procesos productivos de diferentes productos o diferentes tamaños de lotes, soportado por su gran flexibilidad.

Por ello, los resultados buscados con las “learning factories” en el marco actual son (Jaeger A, nd):

- Aplicar el conocimiento teórico para resolver problemas reales del mundo.
- Desarrollar el sentido común y juicios de valor.
- Aprender a trabajar de manera autónoma en todos los niveles motivacionales.
- Desarrollar conocimientos de otras disciplinas.
- Aprender de los propios errores y fallos.
- Descubrir que la mayoría de los procesos llevan más tiempo y mayores costes de lo planeado.

- Ganar experiencia de los diferentes conceptos y principios de los sistemas productivos.
- Ganar experiencia en la manipulación de maquinaria, herramientas o equipo físico de la fábrica.
- Obtener experiencias sociales como trabajo en equipo.
- Obtener la habilidad para enfrentarse a los desafíos actuales.
- Ganar experiencia de trabajo en ambientes de producción reales.

A través de la experiencia de los participantes en las factorías de aprendizaje, la creatividad y dinamicidad será mayor a través del ensayo y error que han experimentado, favoreciendo el entendimiento y la aplicabilidad de ideas revolucionarias que supongan el futuro de la industria.

3.3. Historia de las “learning factories”

Antes de 1950, la práctica era la base de la educación, con el objetivo de producir graduados que pudieran ser útiles a las empresas; por tanto, las visitas a empresas, prácticas en fundiciones y laboratorios de prueba y trabajos químicos componían la formación de los universitarios, permitiendo el conocimiento de las máquinas y sistemas (Lamancusa J, 2008). Con el lanzamiento del Sputnik en 1957, nada volvió a ser igual para la educación estadounidense; se puso énfasis en las ciencias y el cálculo, los laboratorios se convirtieron menos prácticos y se llenaron de ordenadores y las clases se volvieron masificadas donde se daban lecciones. Como resultado, los estudiantes pasaban menos tiempo haciendo ingeniería y dependían de los ordenadores mucho más.

Fue en 1994 cuando la National Science Foundation (NSF) becó una colaboración de la Pennsylvania State University, University of Washington y la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, junto con la ayuda de Sandia National Laboratories y 24 corporaciones socias con fondos del Estado para crear una “Learning Factory”. Por consiguiente, cuando las universidades recibieron los fondos, el proyecto que empezó se llamó Manufacturing Engineering Education Partnership (MEEP), con el objetivo de desarrollar un curriculum de ingeniería basado en la práctica: crear una experiencia práctica en el diseño, producción, materialización del producto en colaboración con la industria y crear el compromiso de otras instituciones académicas, gobierno e industria.

Los socios del MEEP contribuyeron de diversas formas, como el diseño de proyectos, la donación y préstamos de equipamiento, prácticas, expertos para ayudar en el desarrollo de las instalaciones y cursos, además de guía en materia de dirección.

3.3.1. Misión de la colaboración

El principal objetivo por el que esta colaboración fue becada y se creó fue para mejorar la formación de ingeniería, evaluando previamente el estado vigente de la educación y proponiendo mejores prácticas. Así, la misión conjunta de todos los socios fue integrar el diseño, la producción y la realidad de las empresas en el plan de estudios. Para ello, las tareas que se establecieron fueron (Lamancusa J, 2008):

- Instalaciones de Aprendizaje Activo: el alumno debía ser el centro del aprendizaje en un ambiente dinámico, permitiendo su involucración, interés y mejorando su motivación, aprendiendo por sí mismo a través de diversos proyectos. La experiencia personal en problemas reales le permite desarrollar habilidades y memorizar y transmitir conocimientos de mejor forma. Además, las instalaciones deben ser seguras, estar bien equipadas y accesibles en todo momento para los alumnos.
- Plan de estudios basado en la práctica: los objetivos del plan de estudio fueron establecidos por todos los socios participantes en la colaboración (accionistas, facultades, industria y estudiantes), dirigidos a crear un plan de estudios práctico que tuviera un equilibrio entre el conocimiento teórico y práctico, además de requerir habilidades de comunicación y trabajo en equipo. Dichos requerimientos fueron:
 - Análisis minucioso del producto: realizar una ingeniería inversa del producto y los procesos, analizando las consideraciones sociales del mercado.
 - Ingeniería simultánea: aplicar métodos de desarrollo de productos y procesos, capturando la demanda de los clientes para su fabricación.
 - Tecnología basada en el emprendimiento: la innovación tecnológica debía ir junto con un plan de negocio y desarrollo.
 - Proceso de calidad: utilización de métodos estadísticos para la mejora de procesos de ingeniería.
 - Diseño interdisciplinar: estudiantes de diversos departamentos de ingeniería debían resolver desafíos de diseño para los clientes.
- Colaboración con la industria: el éxito de este modelo de educación se basa en la colaboración con la industria, donde los representantes de la misma ayudan y asesoran a los estudiantes en aspectos técnicos de proyectos reales, además de clases magistrales en aquellos campos donde son expertos. Esto permite un valor añadido a la formación y un nexo de unión de la ingeniería con la industria.

Teniendo en cuenta los objetivos y la misión de la colaboración, las características de las diferentes universidades que formaron parte del consorcio y sus factorías de aprendizaje fueron las expuestas a continuación (Hadlock H, 2008).

3.3.2. Pennsylvania State University

La factoría de aprendizaje fue establecida en 1995 con los fondos de la NSF y actualmente sigue teniendo éxito. Las instalaciones se encuentran separadas del edificio de la universidad y tienen un horario amplio desde las 8 de la mañana hasta las 10 de la noche, para facilitar a los alumnos su asistencia debido a los horarios de clases y trabajo, permitiendo a los estudiantes la flexibilidad horaria que ellos necesitan.

En total, son 9 empleados los que trabajan en dicha factoría, un miembro de la plantilla junto a 8 asistentes que trabajan a tiempo completo, lo que favorece a los estudiantes para encontrar los recursos que estos necesitan. Tim Simpson es el actual director de la factoría, responsable de entre 600 y 1200 estudiantes que están diseñando y construyendo sus proyectos, y una media de 120 proyectos por año. Además, clientes únicos han diseñado sus productos en la factoría de aprendizaje.

Por otra parte, cada final de semestre la factoría realiza una demostración de un proyecto maduro y permitir así la interacción de los alumnos con la industria. Actualmente ha puesto en marcha cuatro nuevos cursos, a parte de los ya presentes, además de haber recibido numerosos premios importantes y reconocimientos de instituciones de gran renombre como el Gordon Prize.

Cuando dicha factoría fue creada, la superficie de la misma era de 3500 pies cuadrados, con la siguiente distribución en planta representada en la Figura 3.7:

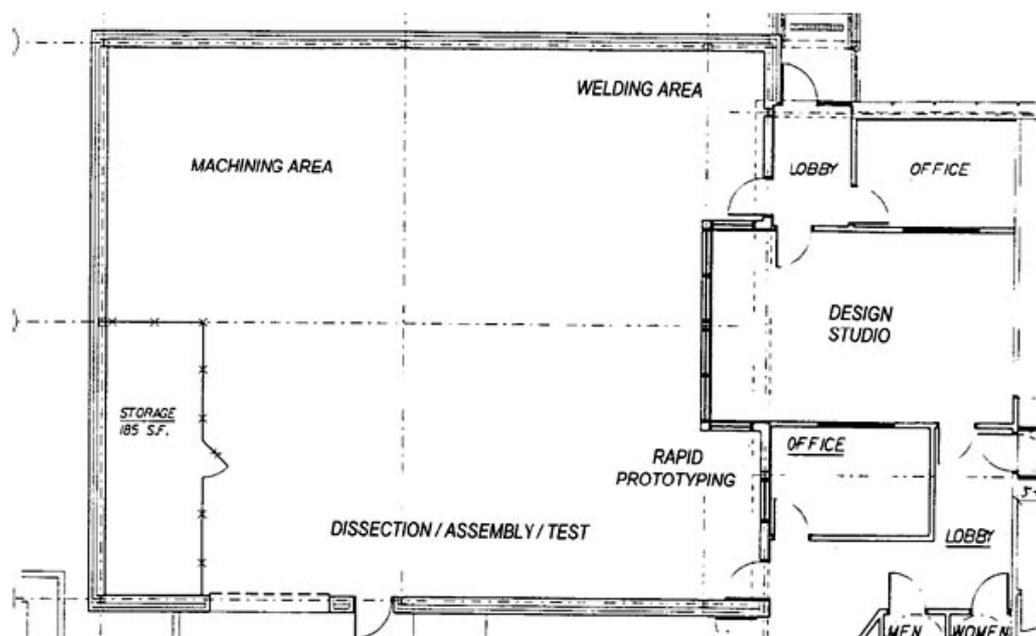


Figura 3.7: Plano distribución planta Pennsylvania University (Hadlock H, 2008).

Dentro de las instalaciones, los estudiantes pueden asistir a clases dentro de la factoría de aprendizaje, además de tener una sala de maquinas, un área de soldadura, otro destinado al montaje, un estudio de diseño, un almacén y diversas características que permiten al alumno estar motivado. Sin embargo, una ampliación de la factoría va a permitir tener además un laboratorio para la investigación de ingeniería de diseño, dando la oportunidad de diseñar, construir y probar un producto, proceso o servicio real. La distribución que seguirá esta nueva factoría de aprendizaje será la plasmada en la Figura 3.8, con una superficie de 6500 pies cuadrados.

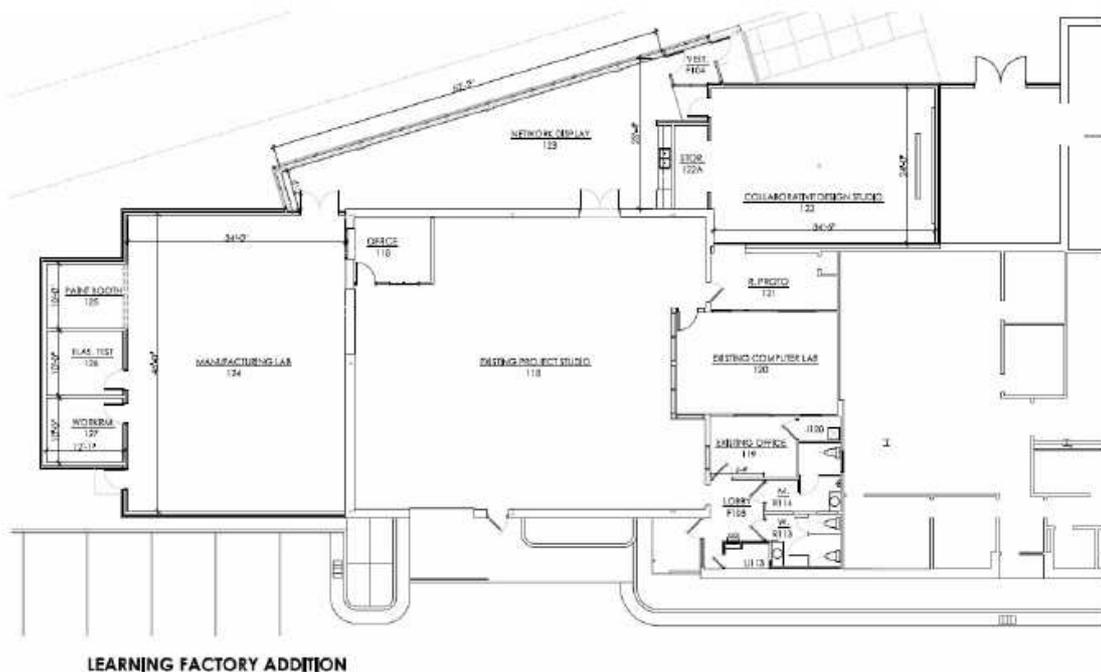


Figura 3.8: Plano ampliación Pennsylvania University (Hadlock H, 2008).

3.3.3. University of Washington

La factoría de aprendizaje de la Universidad de Washington es un laboratorio semiindependiente dirigido por los departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial. Su origen fue en el año 1994, al recibir cierta cantidad de la beca concedida por el NSF. Al contrario que la Universidad de Pennsylvania, su horario es más reducido, de 8 de la mañana a 5 de la tarde, y es utilizado por los estudiantes de la universidad, al igual que la facultad y el personal. El entrenamiento impartido es de la clase de Introducción a los procesos de fabricación. En cuanto a superficie, tiene unas dimensiones de 6600 pies cuadrados.

Actualmente, la factoría tiene diversos cursos, como Ingeniería simultánea, ingeniería de procesos de calidad, emprendimiento y análisis minucioso del producto; sin embargo, un nuevo plan de estudios has sido aceptado para la Ingeniería Mecánica e

Industrial. Durante los 16 primeros meses, 450 estudiantes formaron parte del programa del MEEP en dicha factoría. Numerosos esponsors participan con la factoría, por tanto, los cursos no son sólo por la facultad, si no también por las empresas colaboradoras.

Las características de la factoría vienen representadas por la siguiente distribución en planta en la Figura 3.9:

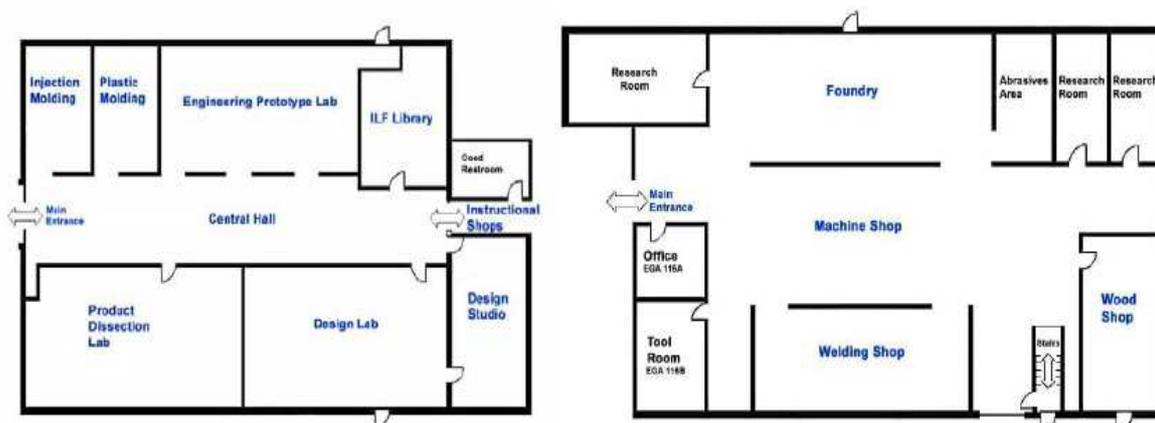


Figura 3.9: Plano escuela Universidad de Washington (Hadlock H, 2008).

El taller de máquinas está compuesto por 5 tornos, 6 máquinas de fresado, 3 taladradoras, 3 sierras de banda, una picadora, una lijadora de banda, un horno de tratamiento de calor y varias herramientas manuales de potencia. El taller de soldadura tiene sopletes y una máquina de presión hidráulica. El taller de piezas de fundición consiste en un horno, varios morteros, coladores y diversos equipamientos requeridos. El taller de madera tiene mesa de serrado, un ensamblador, una lijadora de disco y cilíndrica, un torno y sierra de contrachapado.

3.3.4. Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

La Universidad de Puerto Rico en Mayagüez (UPRM) es la única que ofrece el Grado de Ciencias de la Ingeniería. En esta Universidad, la mayoría de operaciones de investigación han sido desarrolladas para las empresas farmacéuticas, biotecnológicas y electrónicas de la isla. La factoría de aprendizaje fue desarrollada con el objetivo de dar apoyo a la fabricación industrial local de Puerto Rico. Para ello, el equipo desarrollo una red centrada en el Departamento de Ingeniería Industrial enfocándose en el moldeo de plástico y electrónica. Otra instalación fue llevada a cabo en el Departamento de Ingeniería Química con un enfoque en la producción farmacéutica.

La evolución que ha tenido la factoría de aprendizaje demuestra su importancia en la fuerza de trabajo y el desarrollo económico, capaz de desarrollarse en una instalación de producción electrónica madura debido al apoyo de las industrias locales. Una línea de producción de vanguardia fue incorporada para proveer servicios a las compañías locales

en el sector electrónico. Esta aporta a los estudiantes una experiencia de producción en términos de calidad, entrega, mejora continua, y productividad. Los estudiantes que quieren trabajar en la línea de producción, primero tienen que pasar un curso de montaje, para después ser contratados por la factoría, y darles la oportunidad de hacer prácticas posteriormente en las compañías locales de electrónica.

Los estudiantes que trabajan en la línea están a cargo de ella, y por tanto, son los responsables de que la calidad de las especificaciones son las correctas; por consiguiente, tienen la oportunidad de experimentar una experiencia práctica que les da ventaja en el mercado de trabajo. La factoría está abierta de 7 de la mañana a 7 de la tarde de lunes a viernes. Los fondos que aportan los clientes son suficientes para pagar a los alumnos que trabajan en la línea y para mantener las instalaciones y maquinaria de la factoría.

Su plano de distribución es el mostrado en la Figura 3.10, que consta de 4000 pies cuadrados, con diversas salas y talleres para realizar las actividades correspondientes:

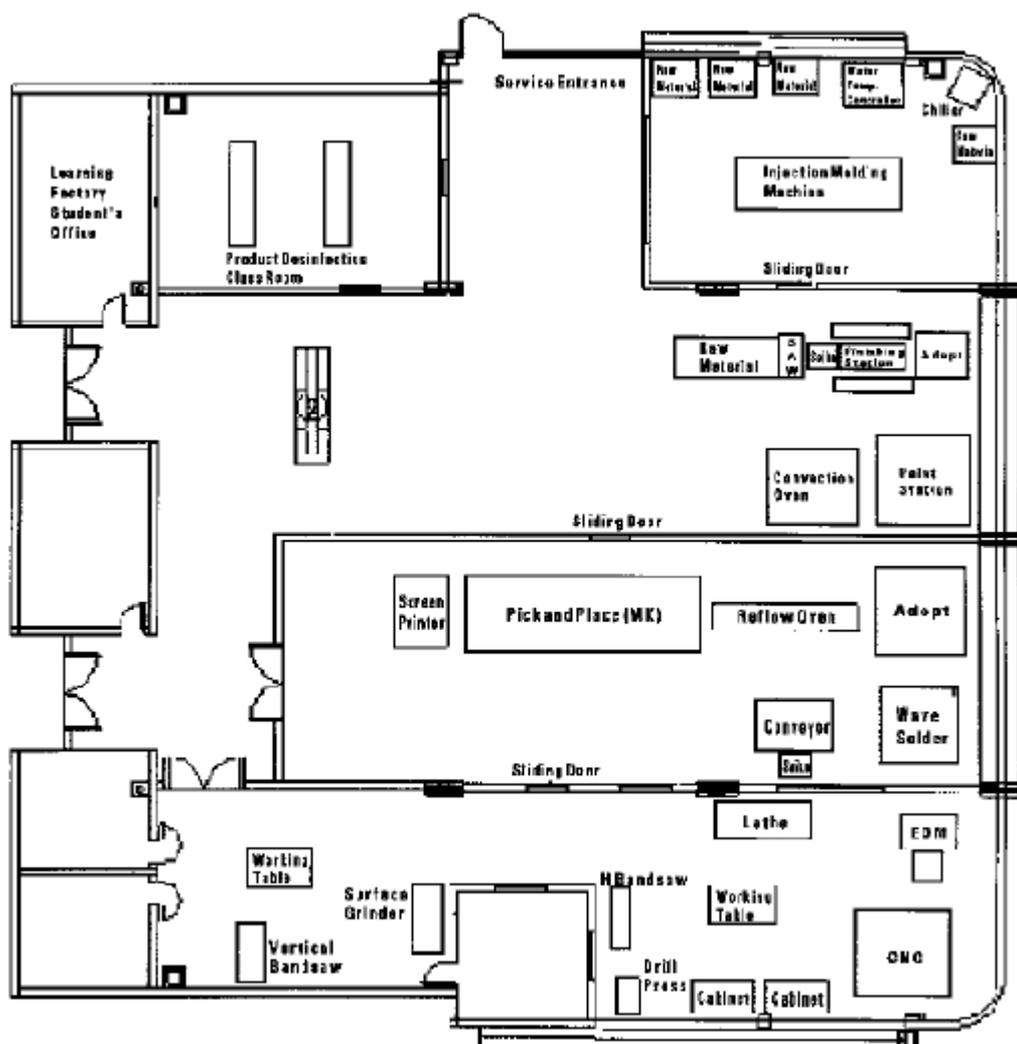


Figura 3.10: Plano escuela de aprendizaje Universidad de Puerto Rico (Hadlock H, 2008)

3.4. Variedad de factorías de aprendizaje

Ninguna factoría de aprendizaje es utilizada con la misma finalidad o del mismo modo que otra, puesto que el número de variantes es enorme. En cuanto a su propósito, una factoría de aprendizaje depende del grupo objetivo al que se dirige, qué competencias son las que busca y quiere mejorar y desarrollar, o el sector al que pertenece. Múltiples dimensiones dan lugar a una gran variedad de ambientes de aprendizaje, que pueden reflejarse en diferentes supuestos según su aplicación (Abele E, 2015):

- **Aplicación Industrial:** previamente, un pequeño número de empresas han incrementado el valor hacia sus clientes y empleados mediante la orientación de su proceso y aplicando métodos y técnicas Lean. Sin embargo, no todas han tenido éxito, y las que lo han tenido, no ha sido por los métodos utilizados si no por su facilidad para permitir a los empleados emplear sus nuevas habilidades y competencias. De esta forma, las factorías de aprendizaje han permitido a estudiantes y trabajadores adquirir esas competencias para impulsar la sostenibilidad productiva de las empresas.
- **Aplicación de consultoría:** la finalidad empleada para estos fines ha sido la misma que las factorías de aprendizaje de aplicación industrial.
- **Investigación variable:** un proceso productivo integrado por módulos que permiten fácilmente reconfigurar y cambiar el layout, además de su funcionalidad. Así, las factorías de aprendizaje permiten un aprendizaje integrado por módulos de montaje, diseño de producto, personalización e inspección.
- **Aplicación académica:** permite a los estudiantes vivir experiencias reales a través de un proceso productivo, que incluye los procesos de planificación y diseño del producto, producción, ensamblaje y control de calidad. De esta manera, el alumno aprende a analizar, planificar, generar y optimizar un producto real y su proceso productivo. No sólo las factorías de aprendizaje incluyen una formación presencial, si no también semipresencial y formación online autónoma.
- **Demostración:** exponer ideas fundamentales que cobrarán protagonismo en los futuros procesos productivos. De esta forma, los trabajadores entienden lo que se va a implantar, tienen interacción con los diferentes elementos y entre los propios trabajadores.
- **Aprendizaje remoto:** existe un concepto, como es el de “Teaching Factory” o factoría de enseñanza, que integra los conceptos de innovación, investigación y educación. Este paradigma proviene de los laboratorios médicos quirúrgicos, que permite introducir la fábrica en las clases. De esta forma, se produce un canal bidireccional donde el ambiente y los problemas reales se llevan a las clases con la finalidad de mejorar el aprendizaje, permitiendo los ingenieros proponer soluciones a problemas reales. Por el

contrario, la comunicación clases hacia las empresas permite que los estudiantes e investigadores prueben nuevos conceptos tecnológicos o productivos y su posterior validación, para transmitirlo a la industria y permita mejorar su gestión o sus procesos productivos.

3.5. Caso de estudio real

Las factorías de aprendizaje permiten a los estudiantes enfrentarse a situaciones reales y aplicar las técnicas aprendidas, diferenciándose entre el conocimiento y su capacidad para aplicarlo. El siguiente caso de estudio tiene el objetivo de evaluar la efectividad del aprendizaje orientado a la acción con respecto a los métodos de enseñanza convencionales. De esta forma, dos grupos compuestos aleatoriamente con experiencias similares, fueron establecidos para realizarles diferente tipo de métodos de enseñanza. En este caso, las características de los grupos fueron las mostradas en la Figura 3.11 (Cachai J, 2012):

Table 2. Composition of investigative and comparison groups (none = 1; middle = 2; high = 3).

Attribute	Investigative group	Comparison group
Number of	16	9
Average age	22,8	22,2
Share of womankind	31%	22%
Course of studies	engineer, industrial engineer	engineer, industrial engineer
Grade point average	2,0	2,1
Work experience	0	0
Assess their own knowledge	1,4	1,6

Figura 3.11: Características grupo de objeto de estudio (Cachai J, 2012).

Antes de realizar dicho experimento, ambos grupos realizaron un test para determinar su nivel de conocimiento en la producción Lean y el proceso de análisis. El grupo de investigación, al que se le aplicaría la metodología de aprendizaje mediante la experiencia, estaba compuesto por 16 personas divididas en 3 grupos, al contrario que el grupo de comparación formado por 9 personas, que recibiría una formación convencional. Ambos grupos recibieron una formación teórica de 30 minutos sobre el proceso de análisis y producción Lean, para posteriormente recibir durante 60 minutos su formación específica. El grupo que recibió la formación teórica, el análisis del proceso productivo fue ilustrado con un ejemplo, el ensamblaje de un eje.

Por el contrario, el grupo experimental o de investigación, pudo experimentar el proceso de análisis mediante la práctica de un ejemplo real, cometiendo fallos y observando las consecuencias, acompañados de supervisores que les orientaban en el proceso. Una vez finalizada la formación, ambos grupos fueron evaluados nuevamente con las mismas preguntas del test preliminar. Además, con la finalidad de no sólo evaluar los

conocimientos adquiridos, si no su aplicación para conocer si éstos habían sido comprendidos, se realizó un test real en que tuvieron que realizar un proceso de análisis con un caso más complejo que el experimentado o aprendido en clase. El proceso de análisis estaba constituido por siete pasos:

- Determinar los requerimientos del cliente, como el takt time, el tiempo que el cliente demanda el producto en segundos.
- Plantear los pasos del proceso de montaje e identificarlos visualmente para facilitar su posterior optimización.
- Grabación de inventario: todos los stocks relativos al proceso deben estar identificados.
- Grabación del flujo de información y material: los movimientos de material e información ayudan a entender el proceso.
- Grabación de datos del proceso: el dato más importante en este caso es el tiempo de ciclo, el tiempo necesario para ensamblar una pieza.
- Evaluación posterior del análisis: se debe tener la habilidad para conocer las fortalezas y debilidades de todo el proceso.
- El proceso de análisis debe ser debatido por todo el grupo, según sus resultados.

Por consiguiente, los resultados cualitativos que se obtuvieron de los diferentes grupos después del test fueron, según su grado de acción, comportamiento y resultados los reflejados en la Tabla 3.1:

CRITERIO	GRUPO DE INVESTIGACIÓN	GRUPO DE COMPARACIÓN
- Determinar pasos del proceso.	La determinación ocurre completa y satisfactoriamente.	La determinación se produce parcialmente.
- Grabar flujos de inventario, material e información.	Un grupo: Grabación completa. Otros dos grupos: olvidaron escribir los nombres y cantidades de stock.	No grabación flujo información, parcial flujo material, inventarios localizados pero parcialmente cuantificados.
- Grabar datos del proceso.	Completo.	Completo.
- Evaluación de realización de PA.	Un grupo: completado. Otros dos grupos: pequeña investigación pero no en aspectos claves.	Parcialmente evaluado.
- Presentación proceso de análisis.	Sólo en parte.	Sólo en parte.

Tabla 3.1: Resultados cualitativos investigación (Cachai J, 2012).

Una vez finalizado ambos, los resultados de los test posteriores obtuvieron los siguientes resultados representados en la Figura 3.12:

Table 3. Results of overall analysis.

Total analysis				
Comparison group				
Pretest	Posttest	Absolute increase	Relative increase	Absolute difference
32,0%	56,8%	24,8%	77,5%	
Investigative group				
Pretest	Posttest			24,8%
29,2%	59,1%	29,9%	102,3%	

Figura 3.12: Resultados estudio empírico (Cachai J, 2012).

Como se puede observar, en el test preliminar ambos grupos tenían un conocimiento similar de los conceptos a estudiar, sin embargo, fue en el test posterior donde se pudo observar que el grupo de investigación obtuvo unos resultados mejores, y por tanto, un proceso de aprendizaje significativamente mayor. Resulta evidente que las habilidades de comprensión del grupo de investigación mediante el aprendizaje orientado a la acción en la factoría de aprendizaje tuvieron mayor impacto. Ambos grupos resolvieron bien el proceso de análisis, sin embargo, el grupo de investigación realizó el proceso estructurado en los 5 pasos indicados, mientras que el grupo de comparación realizó las tareas parcialmente, siendo necesaria la intervención del instructor en varias ocasiones.

Así, el porcentaje de mejora relativa del grupo de investigación fue espectacular, con un 102,3%; por el contrario, el grupo que recibió la formación convencional, tuvo un porcentaje de mejora muy alto, pero no tanto como el grupo experimental. Por lo tanto, se puede decir que el grupo que asistió a la escuela de aprendizaje, fue capaz de entender los problemas y proponer soluciones para mejorarlos y estabilizar la línea de producción, siendo su proceso de aprendizaje excepcional.

3.6. Factorías de aprendizaje digitales

En el campo de la ingeniería, las tecnologías de realidad virtual han posibilitado la creación de talleres virtuales donde los sistemas productivos, máquinas y diferentes prototipos de productos podían ser modelados, simulados, visualizados y verificados. De esta forma, favorecía una evaluación previa de la producción, el layout o los procesos de optimización antes de que estos cobraran sentido en la vida real, comprendiendo el sistema productivo como un todo donde numerosos datos y análisis podían ser obtenidos en un corto periodo de tiempo (Haguigui A, nd).

Los ambientes de aprendizaje virtual tienen como base un ordenador, que permite enseñar y aprender conceptos de ingeniería sin que sea necesario un proceso productivo real porque este no se pueda llevar a cabo, sea caro o porque implique un gran consumo de tiempo. Por tanto, una factoría de aprendizaje digital se contempla como una opción importante a la factoría de aprendizaje física, donde procesos de producción reales tienen lugar.

Así pues, las ventajas y desventajas de cada una de las opciones se encuentran recogidas en la Tabla 3.2, en función de cinco parámetros, como son inversión, estudio del escenario, estudio del proceso, estudio de los resultados y experiencia de los aprendices. Las ventajas y desventajas de cada una de las opciones se encuentra indicada por los signos + y - :

FACTORÍA DE APRENDIZAJE DIGITAL	FACTORÍA DE APRENDIZAJE FÍSICA
Inversión	
Inversión en infraestructuras de IT y parcial inversión en instalaciones	Inversión en instalaciones de producción y limitada en IT.

productivas.	
Definición del escenario de estudio	
+ Una más rápida velocidad de simulación de diferentes escenarios.	- Tiempo limitado para realizar la simulación.
+ No es necesario presupuesto ni espacio limitado debido a un escenario virtual.	- Coste y espacio limitado debido a las limitaciones físicas.
+ Facilidad de simulación de incertidumbre y fallos.	- Difícil, caro y consumo de tiempo modelar incertidumbre.
+ Análisis global de la cadena de suministro.	- Limitado alcance de estudio.
+ Mayor escenario de estudio debido a su variabilidad en ambientes virtuales	- Limitados escenarios de estudio.
Proceso de estudio	
+ No necesaria presencia física del instructor y el aprendiz. Aprendizaje a distancia.	- Presencia física del instructor y participante es requerida.
+ Probar tantos escenarios posibles sin limitación de presupuesto y espacio.	- Limitada libertad para participantes de manipular escenarios por curiosidad.
+ Acortar el periodo de estudio para una mayor rapidez de simulación	- Largos periodos de estudio en diferentes escenarios.
+ No existe riesgo ni problemas de seguridad.	- Los riesgos son posibles y realistas.
+ Permite simultáneos estudios y al mismo tiempo comparar diferentes escenarios.	- Imposible realizar varios experimentos simultáneamente.
- Se necesita experiencia en softwares de simulación.	+ Ningún conocimiento de software es necesario previamente.
+ Permite un mayor número de participantes.	- Limitado número de participantes por capacidad limitada.
Resultados del estudio	
+ Mayor rapidez de análisis en un menor	- Mayor tiempo de análisis si la información

tiempo de análisis.	es recogida manualmente y luego analizada.
+ Menor número de errores humanos durante el proceso de análisis.	- Mayores errores humanos en la recogida y grabación de datos.
+ Permite un mayor análisis estadístico.	- Limitado número de análisis estadísticos.
+ Mayor número de posibilidades y herramientas de visualización.	- Limitadas herramientas de visualización para visualizar resultados y compararlos.
Experiencia de los participantes	
- Experiencia con máquinas o trabajo en equipo no es posible.	+ Experiencia física es obtenida debido a presencia física de los participantes.
- La experiencia obtenida puede ser olvidada pronto si no se pone en práctica.	+ Los conocimientos en la memoria pueden ser recordados al haber sido practicado.
- La tasa de aprendizaje a largo plazo puede ser decreciente por ser aburrido.	+ El proceso de aprendizaje es más práctico y divertido.

Tabla 3.2: Diferencia escuela experimental vs digital (Haguigui A, nd)

En ambos, a pesar de sus ventajas y desventajas, es necesaria una determinada inversión en función de sus necesidades. Las factorías de aprendizaje digital necesitan inversión en cuanto a nuevas tecnologías, como una infraestructura, ciertos requerimientos de software, tecnología de la información personal, además de evitar inversiones en instalaciones innecesarias. Sin embargo, las factorías de aprendizaje física, necesitan una inversión en la planta, maquinaria, técnicos y sus costes relacionados.

3.6.1. Pasos para implantar una factoría de aprendizaje

Independientemente si queremos implantar una factoría de aprendizaje física o digital, deberemos hacerlo de forma eficiente. No existen unos pasos estipulados que digan cómo hay que hacerlo, pero sí una metodología general que establezca una determinada orientación a aquellos que quieren implantar una factoría de aprendizaje (Wagner U, 2012):

- Identificar la categoría: el concepto estudiado en la factoría puede variar desde el consumo de energía, bajo coste de automatización, metodología lean u otros temas relevantes.
- Identificar los módulos de aprendizaje: los temas relativos a las diferentes categorías de estudio.
- Identificar limitaciones: una vez establecidos los módulos de aprendizaje, se analiza qué recursos se tiene en cada uno de éstos.

- Asignar herramientas para dar forma al escenario definido.
- Hacer realidad el escenario establecido.
- Empezar con el modelo y recibir un feedback para su posterior mejora.

Los métodos de aprendizaje pueden variar, en función de si es una factoría física o digital, por lo tanto, hay que definir una serie de parámetros en función de su formato. Igualmente, los métodos de aprendizaje son muy diversos, pudiendo ser físicos, digitales o una combinación de ambos. Asimismo, el grupo al que se dirige la formación debe tenerse en cuenta, en su mayoría estudiantes, aunque pueden ser también trabajadores de fábrica o directivos, y adaptar la formación en función de sus características y experiencia previa.

3.6.2. Learning Factories. Ejemplos.

Cada uno de los ejemplos siguientes de factorías de aprendizaje genéricas tiene una finalidad diferente según las competencias que quiere desarrollar en sus estudiantes, ya sea formación en logística, eficiencia energética, desarrollo de nuevas tecnologías o enseñanza de la metodología Lean.

3.6.2.1. Factoría de Aprendizaje e Innovación (TU de Viena)

En 2011, esta factoría de aprendizaje fue creada, desarrollada y operada por tres institutos de esta Universidad, para una formación superior y avanzada. En 2013, el equipo de proyecto decidió incorporar aspectos integradores de sistemas de producción tecnológicos, con la finalidad de responder a los actuales desafíos de futuros escenarios de producción de la Industria 4.0. El objetivo que tiene es que los estudiantes desarrollen habilidades de comunicación mediante el trabajo en equipo, a través de una experiencia real que genere un amplio conocimiento de los procesos de desarrollo de los productos (TU Wien, 2014).

Incluye pasos como el diseño y planificación del producto, ingeniería, producción, ensamblaje al igual que garantía de calidad. En este caso, el entrenamiento práctico consiste en un ejercicio de análisis, planificación, construcción y optimización de un producto real, como es un coche de scalextric, y su proceso productivo. Los alumnos estudian la reducción de costes y los ahorros potenciales existentes como reducción de piezas, optimización del proceso productivo, además del cumplimiento de las especificaciones del CAD mediante el montaje de un producto representado en la Figura 3.14:



Figura 3.14: Producto escuela TU de Viena (TU Wien, 2014)

La planificación consiste en la selección de equipos, determinación de la secuencia de operaciones y desarrollo de dispositivos, además del premontaje, montaje final y herramientas necesarias. Posteriormente, los alumnos generan los documentos de producción necesarios como listas de materiales u hojas de ruta para el cálculo de los costes de producción y establecen el producto desarrollado en la fábrica de aprendizaje representada en la Figura 3.15:



Figura 3.15: Plano Escuela de Aprendizaje TU de Viena (TU Wien, 2014)

El flujo de material de la escuela de aprendizaje es transportado mediante un AGV, que permite el traslado de materiales entre el almacén y los puestos de trabajo. La producción se encuentra automatizada, mediante un marcado RFID en los palets que genera una lectura y su posterior traslado desde la zona del almacén hasta la célula de fabricación. La célula lee el RFID del palet, esta lo transmite al programa y se genera el mecanizado de la pieza; una vez finalizado, se transmite información al chip, que solicita el traslado de la pieza de nuevo como indica la representación en la Figura 3.16:

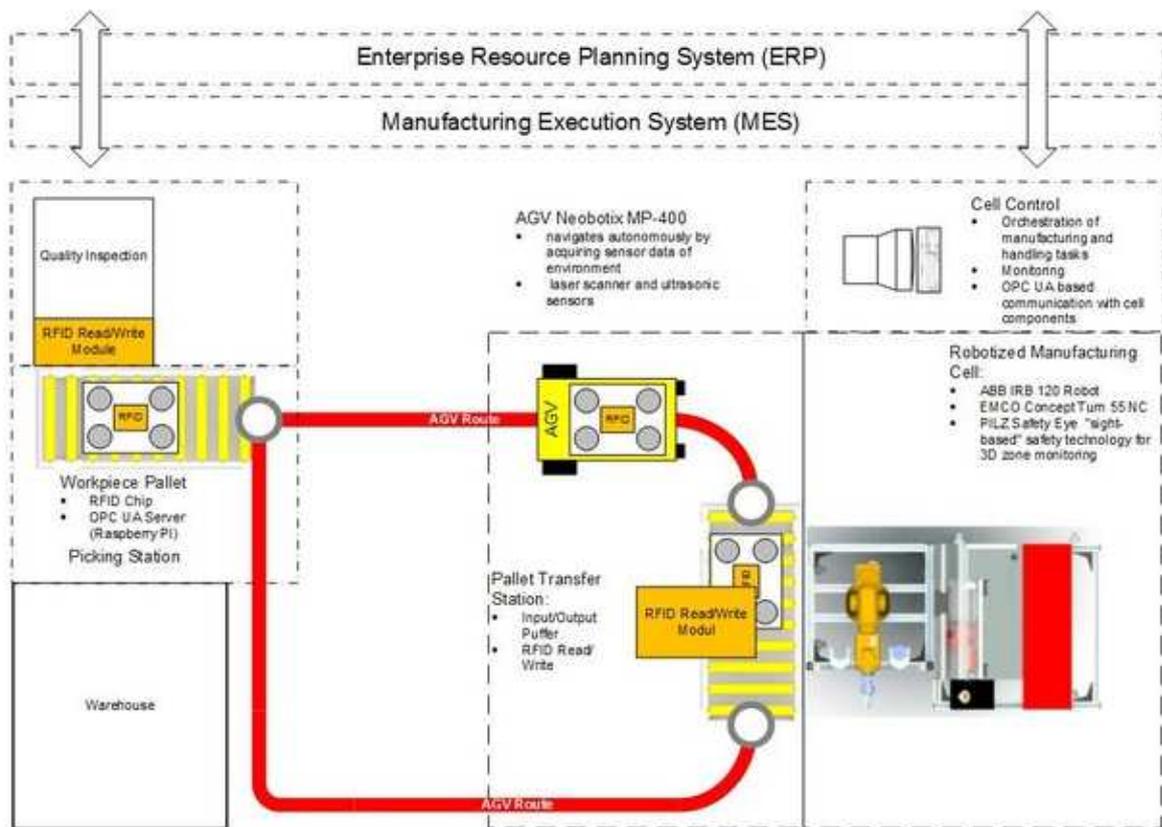


Figura 3.16: Recorrido AGV en Escuela TU de Viena (TU Wien, 2014)

Los estudiantes en esta escuela de aprendizaje no sólo aplican los procesos operativos, si no que también configuran diferentes interfaces que son utilizados en componentes de Tecnología de la Información (IT), para planificar el software y otras herramientas el sistema ERP, para construir y consolidar fuentes de datos. Además, diferentes enfoques didácticos son utilizados, especialmente la enseñanza semipresencial, una combinación de aprendizaje online, aprendizaje presencial y un entrenamiento práctico.

3.6.2.2. Centro de Sistemas de Producción Inteligente (Universidad de Windsor)

En 2011, fue creada como la primera iFactory en Norte América, compuesta por una plataforma de producción transformable que incluye módulos de ensamblaje e inspección robotizados, que pueden fácilmente reconfigurarse para cambiar el layout del sistema y su funcionalidad (University of Windsor, nd). La factoría de aprendizaje representada en la Figura 3.17, se centra en sistemas de aprendizaje que integran diseño de producto, customización y personalización. En este caso, es una factoría dentro de un laboratorio, que permite ante una necesidad de cambio exigido por el mercado en 6 meses, reconfigurar el layout entero en sólo un hora.

SAMPLE PROJECTS USING THIS FACILITY

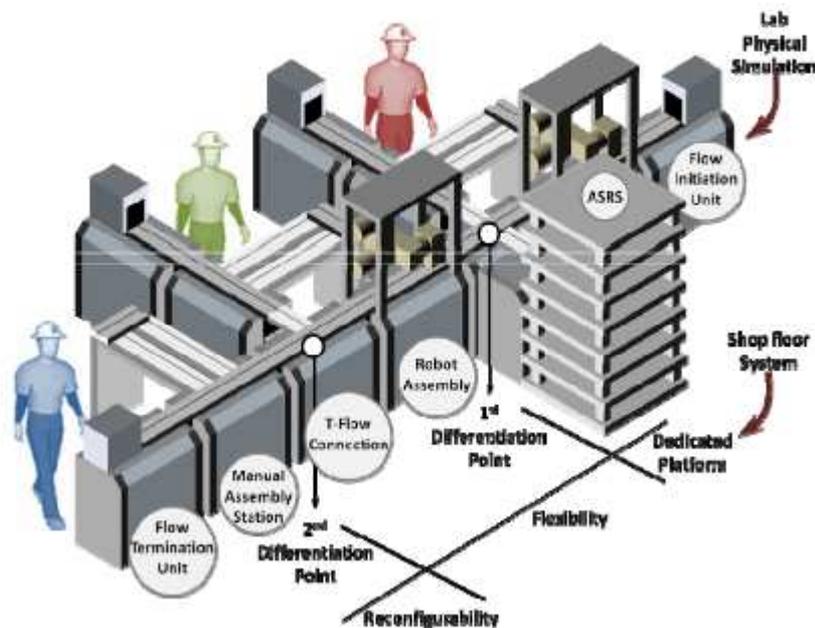


Figura 3.17: Proceso Productivo en iFactory. (University of Windsor, nd)

Así, este ambiente favorece el diseño y desarrollo de productos y procesos de producción, mediante unas tecnologías facilitadoras que permiten incrementar la competitividad productiva, agilidad, flexibilidad y adaptabilidad, además de reducir la complejidad y costes de productos, procesos y sistemas productivos.

De esta forma, los objetivos de esta escuela de aprendizaje son:

- Desarrollo de nuevo conocimiento, para una mejor comprensión del diseño y planificación de la producción bajo cambiantes condiciones.
- Desarrollo de metodologías de diseño de innovación de ingeniería para fortalecer el diseño de complejos productos y sistemas productivos.
- Desarrollo y aplicación de innovadores facilitadores del cambio y herramientas de productividad dirigidas a las necesidades del sector de la producción.
- Desarrollo y entrenamiento de investigadores cualificados y personal con conocimiento y habilidades necesarias para transferir tecnología a la industria.
- Mejora de la competitividad y productividad de los productores canadienses.

3.6.2.3. Factorías de aprendizaje Mckinsey

La consultora Mckinsey tiene diversas factorías de aprendizaje repartidas por el Mundo, cada una de ellas dedicada a un enfoque de formación diferente, con unas características comunes (Mckinsey & Company, 2014-2016):

- Aprendizaje experiencial.
- Ambiente libre de riesgos.
- Ambientes de trabajo real.
- Expertos que guíen el trabajo.

Así, las factorías de aprendizaje que esta consultora tiene repartidas por el Mundo son:

1. Centro de Capacitación en Atlanta (EE.UU.)
2. Instituto Lean Nyenrode en Amsterdam (Holanda).
3. Factoría Modelo en Salavador (Brasil).
4. Centro de Capacitación Karlsruhe (Alemania).
5. Centro de Productividad Industrial en Darmstadt (Alemania).
6. Factoría de Aprendizaje para la Productividad Energética en Darmstadt (Alemania).
7. Centro de Capacitación Mckinsey en Munich (Alemania).
8. Factoría de Experiencia Lean en Venecia (Italia).
9. Centro de Capacitación Mckinsey en Gurgaeon (India).
10. Factoría Modelo Lean en Yekaterinburg (Rusia).
11. Centro para la Excelencia Operativa en Beijing (China).

Como se puede observar, cada una de ellas tiene un objetivo diferente, en función de las capacidades y habilidades que se quieren desarrollar. En este caso, existen dos factorías de aprendizaje donde la metodología Lean cobra protagonismo:

Factoría de Experiencia Lean en Venecia (Italia)

Dentro de este centro de formación, existen varios ambientes de trabajo real como una línea de producción, un laboratorio de calidad, un modelo oficina y un centro de llamadas. Para aquellos trabajadores que no son personal de producción, existen múltiples ambientes en los cuales los participantes pueden aplicar los principios Lean como bancos, seguros o administración pública.

Además, la línea de manufactura produce un compresor como el de la Figura 3.18 utilizado en aplicaciones domésticas, que genera desafíos operativos muy familiares para alguien que ha trabajado en una planta de producción. Por otra parte, dicha factoría incluye módulos donde los participantes pueden mejorar procesos de calidad a la vez que fomentan el trabajo en equipo y el liderazgo en un ambiente Lean. Estos últimos modos son útiles para personas que buscan un cambio radical en sus empresas, aprendiendo a eliminar desperdicios, diseñar un mapa de procesos y un ideal estado de las operaciones, al igual que resolver problemas.



Figura 3.18: Producto de la McKinsey Escuela Lean en Venecia. (McKinsey & Company, 2014-2016).

Factoría Modelo Lean en Yekaterinburg (Rusia)

En este caso, los participantes aplican los principios Lean en los procesos de producción y ensamblaje de un cilindro neumático. Además, debido a la maquinaria que interviene, los participantes pueden aplicar herramientas y técnicas Lean como VSM o SMED en diferentes situaciones. Por la peculiaridad del país, esta factoría de aprendizaje está dirigida a trabajadores de empresas del metal y la minería que pueden entrenarse con este proceso productivo.

Al igual que la Factoría de Venecia, para los trabajadores que se dedican a desempeñar sus funciones en empresas manufactureras, existen también escenarios como las operaciones de un banco o una oficina donde poder aplicar los principios Lean.

4. Metodología Lean

4.1. Concepto

La metodología Lean es una filosofía que tuvo su origen en Japón, la cual se enfoca en la creación de valor eliminando todas aquellas actividades que supongan un despilfarro o que no aporten valor al producto. De esta forma, el cliente es el que determina el valor del mismo al establecer unos determinados requerimientos en función de sus gustos, en el momento y lugar que él dice, y a un precio por el que está dispuesto a pagar (Hernandez JC, 2013).

Así, los empleados de todos los niveles jerárquicos de la compañía deben estar involucrados en la materia y motivados para resolver problemas, además de proponer mejoras para eliminar ese despilfarro. Desde el primero hasta el último de los empleados de la compañía son responsables de su trabajo, y por tanto, nadie mejor que ellos para desempeñarlo y supervisarlo por sí mismos. Cada empleado debe ser capaz de conocer si su trabajo se está realizando de forma adecuada y detectar aquellos problemas de calidad que sean generados, para resolverlos por sí mismo.

Los trabajadores tienen que tener la autonomía suficiente, además de estar formados correctamente para solucionar cualquier problema de calidad que pueda producirse en el mismo instante que es detectado. No obstante, los trabajadores no son especialistas de una sola modalidad, es decir, no desempeñan una única actividad durante toda su carrera en una empresa, sino que deben ser lo suficientemente flexibles para conocer todas las actividades del proceso productivo, y desempeñarlas adecuadamente.

Lean no sólo se centra en la autonomía de las personas y en la eliminación de despilfarro para generar valor hacia el cliente, sino también busca la perfección a través de la mejora continua y la optimización de todos sus recursos, haciendo las cosas de forma más ágil, flexible y económica. No es una entidad aislada que consiga una mejora y ya es suficiente, sino que la búsqueda de la perfección es infinita, y por ende, debe ejercerse una dinamicidad constante y sin fin; siempre existe una forma mejor de hacer las cosas.

Para ello, Lean promulga una cultura donde exista comunicación y trabajo en equipo, además de disponer de una serie de técnicas que permiten a la empresa realizar mejoras en el sistema productivo, en búsqueda de la excelencia. Los objetivos que estas empresas deben tener al asumir el desempeño de la metodología Lean son:

- Diseñar para fabricar.
- Reducir tiempos de preparación de máquinas para incrementar flexibilidad y disminuir plazos de ejecución.
- Lograr una distribución en planta que permita una minimización de recorridos, bajos niveles de stock y una visualización total de la producción.
- Conseguir fabricar un producto fácilmente y sin errores.
- Formar a los trabajadores para conseguir motivación, polivalencia y multidisciplinariedad.

- Incrementar la frecuencia de entregas de los productos.
- Generar mecanismos que detecten los problemas cuando se produzcan y sea el personal de línea el primero que intente solucionarlos.
- Usar el mantenimiento preventivo implicando a todos los empleados.

4.2. Antecedentes Históricos

A lo largo de la historia, las empresas han desempeñado distintas modalidades de producción en función de la época, sin embargo, es la industria automovilística la que ha ejercido un papel esencial que ha dado lugar a todos estos cambios que han variado la forma de trabajar. Tanto Henry Ford y Alfred Sloan tras la Primera Guerra Mundial, al transformar la forma de producir artesanal a una producción en masa, y posteriormente Eiji Toyoda y Taiichi Ohno tras la Segunda Guerra Mundial, hacia una producción ajustada, generaron cambios de gran relevancia en nuestras vidas (Womack J, 1992).

Previamente a estos cambios, la manera de producir era de forma artesanal, donde una persona se encargaba de la totalidad del proceso productivo desde su origen hasta su finalización. En este caso, el empresario era el centro del proceso, el cual ejercía de nexo entre los patronos, suministradores y clientes, con la finalidad de generar un producto adecuado. Así pues, las características de esta modalidad eran:

- Fuerza laboral altamente cualificada. Los trabajadores entraban en los talleres como aprendices e iban adquiriendo competencias gradualmente.
- Organización descentralizada en extremo.
- Volumen de producción muy reducido.
- Escasez de recursos para generar innovaciones.
- Sistema con fallos frecuentes en la calidad de los productos.

A principios del siglo XX, tanto F.W. Taylor como Henry Ford empezaron a introducir una nueva concepción de fabricación, como fue la producción en serie. Las aportaciones de Taylor en cuanto a la aplicación de procesos, equipos, tiempos, personas y movimientos, y las de Ford con la cadena de fabricación mediante la normalización de los productos, utilización de máquinas para tareas elementales, simplificación de tareas y recorridos, sincronización entre procesos, especialización del trabajo y formación especializada, generaron una nueva forma de producir en serie.

Los avances que promulgó Ford al principio fueron la intercambiabilidad de las partes, es decir, el ensamblador se movía de un coche a otro a lo largo de la planta para realizar la tarea destinada a su especialización. Como consecuencia, el trabajador tenía un mejor conocimiento de su actividad mediante la repetitividad lo que generaba un incremento de productividad. Sin embargo, pronto se percató que el simple hecho de que un trabajador tuviera que andar de un lado a otro, repercutía en el tiempo, y creaba una serie de problemas como que los trabajadores más rápidos alcanzasen a los más lentos.

De esta forma, Ford creó la cadena de montaje móvil, donde los operarios permanecían en el mismo sitio durante su jornada laboral, y lo que se movían eran los coches. Así, no existían obreros lentos ni rápidos, ya que todos se tenían que adaptar al

ritmo de la secuencia; además, los problemas de calidad no se detectaban hasta el final de la cadena por el especialista destinado a tal labor. La inversión en maquinaria que sólo podía hacer una cosa, permitía generar elementos intercambiables baratos en grandes volúmenes, lo que desencadenaba en una reducción de tiempo considerable.

Sin embargo, el poder cambiar una máquina para realizar otra tarea diferente dedicaba mucho tiempo y era caro, dotando a la cadena de inflexibilidad. Todo esto permitía incrementar el volumen de producción a la vez que se reducían los costes. Por consiguiente, este tipo de producción se caracterizaba por trabajadores poco cualificados, que manejaban máquinas costosas y producían productos estandarizados, con un objetivo de número de defectos aceptables.

Tras la Segunda Guerra Mundial, Japón quedó desolado y sumido en una crisis donde escaseaban los recursos, y las empresas automovilísticas japonesas debían competir en un mercado doméstico avasallado e internacional. Como consecuencia, el Ministerio de Comercio de Industria Japonés (MITI) ordenó a éstas unirse y fusionarse para aprovechar la producción a gran escala y competir con las grandes del sector a nivel internacional, mediante la especialización en un determinado tamaño de coche.

Después de varios viajes a EE.UU. para observar la producción de las plantas automovilísticas americanas y tras una crisis en 1949 que desencadenó en una oleada de despidos en Toyota, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno concluyeron que la forma de producir americana no congeniaba con su estrategia y el futuro inmediato reclamaba pequeños coches a un bajo coste, y modelos variados. De esta forma, ambos pensaron que la mejor manera era afianzar una forma de producir que mezclase la producción artesana con la producción en masa.

Las bases de la nueva forma de producción respondían al principio de producir sólo lo que se demandaba y cuando el cliente lo solicitaba. Al mismo tiempo, el volumen de fabricación se elevó tras la Segunda Guerra Mundial, y la capacidad de producción de Toyota se limitaba sólo a unas cuantas prensas para producir una gran variedad de coches, lo que requería rapidez en el cambio de prensas, algo que se ralentizaba enormemente por su complejidad. Tras varios ajustes, Ohno consiguió reducir el tiempo de cambio de máquinas de un día a tres minutos, acción que realizaban los propios operarios de línea.

La concepción de producir en masa fue transformada en generar pequeños lotes, que reducía el coste de su transporte y permitía identificar los errores casi al instante, lo que eliminaba costes de grandes cantidades de piezas defectuosas. De esta forma, los trabajadores debían adelantarse a los problemas de calidad, y para ello cobraba sentido la capacitación de los mismos para dotarles de conocimiento y experiencia. Igualmente, les agrupó en equipos designando a un líder, para que trabajaran conjuntamente en una serie de operaciones de montaje asignadas, y buscaran el mejor modo de hacerlo sugiriendo modos de mejorar los procesos.

Además, instaló una cuerda encima de cada estación de trabajo, para que los trabajadores de la línea de montaje la detuvieran en el momento que detectasen algún problema que pudiera surgir y que no fueran capaces de arreglar por sí mismos. Así, a medida que los trabajadores iban adquiriendo experiencia en detección de fallos, los

errores empezaron a descender, al igual que los trabajos de retoque, y la calidad empezó a mejorar.

La forma de suministro a la fábrica de Toyota cambió completamente, mediante un flujo diario denominado Just in Time. El proceso consistía en pedir aquello que se necesitaba y cuando se necesitaba; cada vez que se vaciaba un contenedor, se lanzaba una señal automática al paso previo, lo que provocaba una disminución considerable de existencias y que el sistema de producción se parase si fallaba un elemento del proceso. Por lo tanto, todos los miembros del circuito trataban de anticiparse a los problemas antes de que surgieran, suministrando a las fábricas a intervalos horarios de tiempo.

El objetivo de Toyota no era otro que generar relaciones a largo plazo entre el fabricante y el cliente, por lo que ideó el sistema de fabricación bajo pedido, fabricando únicamente lo que el cliente pedía, y no lo que Toyota producía para un cliente desconocido. Simultáneamente, el espacio entre los trabajadores se redujo enormemente para mejorar la comunicación entre estos, trabajando en equipo para responder a problemas tan rápido como estos surgieran, y dotarles del máximo número de tareas y responsabilidades para añadir valor al coche.

Como resultado, se creó un sistema donde las operaciones se realizaban en flujos continuos, sin interrupciones, con la finalidad de proporcionar al cliente lo que necesitaba focalizándose en la reducción de tiempos de preparación de las máquinas. El sistema JIT generado por Taiichi Ohno ganó protagonismo con la crisis de 1973 y las consecuentes pérdidas de las empresas japonesas.

4.3. Principios Lean

Una empresa que quiere realizar su transformación hacia una cultura Lean necesita conocer una serie de principios para aplicar correctamente. La premisa básica de esta cultura es la de hacer más y más con menos y menos, por tanto, los principios Lean ayudan en esta tarea de transformación. Estos principios son: especificar el flujo de valor para cada producto específico, identificar el flujo de valor para cada producto, hacer que el valor fluya sin interrupciones, hacer que el consumidor atraiga hacia sí el valor proveniente del fabricante y perseguir la perfección (Womack J, 2003).

4.3.1. Especificar el valor

Quien establece el valor de un producto es el consumidor o cliente, pagando un precio por un bien o servicio que va a satisfacer una serie de necesidades en un momento determinado. Sin embargo, es tarea del productor en este caso generar ese valor. Hace tiempo, los ingenieros diseñaban productos de una gran complejidad creyendo que un producto con un espectacular diseño satisfacía las necesidades del cliente; si no se satisfacían, se rediseñaba el producto para crear una imagen más atractiva o se bajaba el precio.

Sin embargo, los consumidores prefieren un producto menos atractivo, pero que satisfaga sus necesidades sin importar donde se ha diseñado; el cliente quiere un producto

exactamente como lo ha pedido y de manera inmediata. Así, el pensamiento Lean define el valor de manera precisa como un producto específico, con capacidades específicas a precios específicos mediante un diálogo con unos consumidores específicos.

4.3.2. Identificar el flujo de valor

Se puede definir el flujo de valor como el conjunto de acciones específicas que van desde la concepción del producto hasta la entrega de este al cliente final. Si se tiene una concepción global de la cadena de valor del producto, se puede identificar aquellas acciones que no crean valor y por tanto, que pueden ser eliminadas. Así, el análisis del flujo de valor muestra una serie de acciones:

- Pasos cuya creación de valor es inequívoca.
- Pasos que no crean valor pero que son inevitables para la concepción del producto (Muda tipo I).
- Pasos que no crean ningún valor en absoluto y pueden ser eliminados (Muda tipo II).

Examinar el flujo de valor supone analizar no sólo las acciones de la empresa, sino ir más allá de la misma mediante el estudio del conjunto: desde su concepción y diseño detallado hasta su disponibilidad real, pasando por su venta y posterior programación y producción hasta ser entregado, desde que es materia prima hasta que el producto final es recibido por el consumidor. Así, todas estas acciones pueden englobarse en una serie de tareas de gestión:

- Tarea de solución de problemas: concepción de la idea, diseño detallado, lanzamiento a producción.
- Tarea de gestión de la información: recepción del pedido y entrega.
- Tarea de transformación física: materia prima y producto acabado.

Lo importante del flujo de valor es generar un canal que permita identificar el muda existente, para su posterior eliminación, mediante una continua comunicación de todas las partes del flujo.

4.3.3. Flujo sin interrupciones

El pensamiento Lean no permite la concepción de grandes lotes de producción, ya que estos generan largas colas de espera hasta que se modifica el utillaje de las máquinas y se adapta a su producción específica, generando una gran cantidad de muda o desperdicio susceptible de ser eliminado. Por el contrario, esta metodología sugiere la producción mediante un flujo continuo, en pequeños lotes o pocas unidades, mediante un cambio rápido de utillaje para adaptarse a los requerimientos del producto siguiente.

La idea de que todo puede realizarse mejor y de forma más eficiente, permite trabajar de forma continua desde la materia prima hasta el producto final sin interrupciones, concentrándose en el producto y sus necesidades. Por lo tanto, el conjunto de actividades desde el diseño hasta la producción debe realizarse en flujo continuo, regular, sin interrupciones ni colas. El gran problema existente es que los ingenieros no

toman al conjunto de actividades en su totalidad, si no que se enfocan en procesos inconexos que no permiten una visión global del flujo de valor, y por ende, la fluidez del mismo.

Una vez asumido este enfoque, todo cambia, desde la forma de trabajar en equipo hasta el tipo de instrumentos que ayudan en el trabajo de los empleados. Los pasos que se llevan a cabo para asumir este enfoque son:

1. Concentrarse en el objeto real y no perderlo de vista desde el principio hasta el fin.
2. Ignorar límites de puestos de trabajo, funciones y empresas que elimine los impedimentos al flujo continuo.
3. Replantear prácticas y herramientas que eliminen flujos hacia atrás, desechos e interrupciones para que se pueda seguir avanzando de forma continua.

En este caso, el concepto takt time cobra protagonismo, ya que adapta el ritmo de producción al ritmo de ventas de los clientes, sincronizando a ambos. Si el volumen de pedidos aumenta o disminuye, el takt time se reajusta para que la producción se sincronice de forma precisa con la demanda. Así, dividiendo el número de productos vendidos, por ejemplo, impresoras, entre el tiempo disponible de producción, se obtiene el número de bicicletas por hora, y por tanto, cada cuanto debe salir una impresora del proceso productivo; las fases de producción se organizan de forma secuencial, y el producto avanza de una fase a otra sin interrupción.

4.3.4. Pull (Atracción)

Una de las premisas básicas en la metodología Lean es producir aquello que el cliente necesita, resumida en una frase de Taiichi Ohno cuando ideó esta forma de trabajar, "No fabriquemos nada hasta que sea necesario; a partir de ahí fabriquémoslo muy rápido". Si crean productos que el cliente no necesita, se creará muda en forma de stock. Por ello, hay que dejar que sea el cliente el que atraiga el producto en función de sus necesidades, y no producir y empujar ese producto hacia el cliente, que es un producto no deseado.

Pull significa que nadie debe producir un bien o servicio hasta que el consumidor aguas abajo lo solicite. Cada actividad tira de la anterior, de manera que la planificación y el takt time actúan como el marcador del ritmo de producción. Así, una vez que una reserva se agota, se solicita mediante unas tarjetas kanban al paso anterior como indicativo de que se debe empezar a producir porque se necesita. Por ejemplo, si un operario que monta ruedas de bici se queda sin ellas, solicitará al paso anterior de que produzca esas ruedas; de otra manera, si el paso anterior le surtiera de ruedas sin haberlas solicitado, posiblemente tendría amontonadas un montón de ruedas sin ningún tipo de uso.

Como consecuencia, el periodo de pedidos debe realizarse más frecuentemente, pero en menor cantidad; simplemente hay que pedir aquello que se necesita. Librarse de plazos de entrega y existencias, supone que la demanda se refleje instantáneamente en una nueva oferta, en lugar de emitir una oferta equivocada que busca la demanda. Las máquinas deberían estar en disposición de producir el 90% del tiempo y paradas para

efectuar el cambio entre modelos el otro 10%.

4.3.5. Perfección

La perfección se puede definir como la eliminación total de muda, algo que es absolutamente imposible; siempre se puede buscar una mejor forma de hacer las cosas, y por tanto, mejorar constantemente hasta el infinito. Independientemente del número de veces que un trabajador mejora una determinada actividad para hacerla más lean, siempre puede encontrar nuevas formas de eliminar muda reduciendo tiempo, espacio, esfuerzo y errores.

En busca de la perfección, se debe establecer una imagen clara de esta para que todos los implicados puedan tenerla en cuenta y el objetivo de mejora sea visible. Los flujos de valor pueden mejorarse de dos formas diferentes: una primera donde la mejora es radical, de forma que se obtienen enormes resultados en un corto periodo de tiempo (kaikaku) y una segunda donde la mejora es constante a lo largo del tiempo; son pequeñas mejoras que van produciendo resultados incrementales (kaizen). La diferencia estriba en que el kaikaku es una mejora que debe ser realizada de forma inmediata cambiando todo, y el kaizen es una mejora permanente y progresiva.

El principio general que defiende Lean es hacer una sola cosa a la vez, y trabajar sobre ella constantemente hasta que la hemos terminado. Las actividades de perfeccionamiento deben realizarse con la misma intensidad con que se realizan otras actividades como el diseño, producción o la gestión de pedidos.

Como resumen, se puede identificar los cinco principios Lean en una serie de premisas que ayuden en su entendimiento:

- Crear una organización que aprenda mediante la reflexión y la mejora continua.
- Desarrollar personas que sigan la filosofía de la empresa, asumiendo liderazgo y desempeñando la enseñanza hacia otros.
- Promover equipos multidisciplinares que trabajen en planta para comprobar las cosas in situ.
- Obtener el compromiso total de la dirección, además del de los suministradores y colaboradores.
- Integrar funciones y sistemas de información.
- Crear un flujo de proceso continuo que saque los problemas a la superficie, utilizando un control visual.
- Identificar y eliminar funciones y procesos que no son necesarios.
- Utilizar sistemas pull para impedir la sobreproducción.
- Reducir los ciclos de fabricación y diseño.
- Nivelar la carga de trabajo para equilibrar las líneas de producción.
- Estandarizar las tareas para poder implementar la mejora continua.
- Conseguir la eliminación de defectos.

4.4. Tipos de despilfarro

Se puede definir despilfarro como aquello que no añade valor al producto y por tanto, no es esencial para fabricarlo. De esta forma, el valor son todas aquellas actividades indispensables para generar un producto desde la materia prima hasta su formato final para venderlo. Numerosas ocasiones, el desperdicio que se ha identificado en una operación o proceso por no añadir valor tiende a ser eliminado; sin embargo, esa operación es necesaria para la concepción del producto aunque no añada valor. En esas ocasiones, el despilfarro tiene que ser asumido.

El proceso para identificar el despilfarro y su posterior eliminación tiene una serie de pasos indispensables:

1. Reconocer el desperdicio y valor añadido en los procesos.
2. Aplicar la técnica Lean más adecuada para eliminar el desperdicio.
3. Estandarizar el trabajo con valor añadido para a continuación iniciar el proceso de mejora.

Existen tres tipos de desperdicios que deben ser identificados y distinguidos, y a raíz de ahí eliminados; en este caso, son Muri, Mura y Muda (Perona L, 2011):

4.4.1. Muri

Este tipo de desperdicio se produce porque no existe un adecuado flujo de procesos, ya que las personas ralentizan su trabajo por encontrar las herramientas adecuadas, la comunicación entre las zonas es mala y las instrucciones no son claras o existe falta de entrenamiento. En este caso, ese tiempo que podía no producirse si existiera estandarización se contempla como desperdicio, teniendo como consecuencia sobrecarga de trabajo para los trabajadores.

4.4.2. Mura

El traducción literal de Mura es variabilidad, que se produce en los mercados, el entorno o en nosotros mismos, trayendo como consecuencia una sobreproducción o stocks generados por tener una seguridad ante esto (Vallejo C., 2013). Existen dos tipos de variabilidades: la interna debido a causas de la empresa o, externa debido al mercado. En este caso, esta sobreproducción genera un conjunto de despilfarros que se conocen como muda.

4.4.3. Muda

Como resultado de ambos desperdicios, muri y mura, se generan un conjunto de despilfarros que no agregan valor y que pueden identificarse de siete formas diferentes (Perona L, 2011):

- **Sobreproducción:** este tipo de desperdicio se produce por la fabricación de más cantidad que la necesaria o por la inversión en maquinaria que tiene mayor capacidad que la requerida. Como resultado de tal acción, se produce

un consumo innecesario de material que genera gran cantidad de movimientos y stocks. Muchas veces, los objetivos de las empresas de llegar a una determinada cantidad de producción mensual generan muda en forma de stock que no es necesario.

- **Exceso de stocks:** tener un gran número de inventarios es el resultado de producir más cantidad de la realmente necesaria. Así, la acumulación de materiales antes y después del proceso productivo indica que no es un flujo continuo, que da lugar a una fábrica ineficiente. Como resultado, se encubren productos muertos (caducados, rotos, obsoletos, defectuosos) que son descubiertos una vez al año en la realización del inventario anual, y que generan costes innecesarios.
- **Tiempo de espera:** el transcurso de tiempo que ocurre cuando un operario está parado mientras otro está desbordado de trabajo es lo que se denomina tiempo de espera. Este tipo de desperdicio se caracteriza por un exceso de colas de material en el proceso, provocadas por paradas no planificadas o porque el tiempo de ejecución en distintas estaciones es diferente. Al igual que las causas previas, también puede deberse a tiempos de preparación de máquinas elevados, producción en grandes lotes, layout deficiente o baja coordinación entre operarios.
- **Transporte y movimientos innecesarios:** la importancia de una buena disposición de las máquinas estriba en un conjunto de movimientos que no deberían realizarse, lo que conlleva artículos de un lado hacia otro sin ningún sentido, incrementándose las probabilidades de sufrir algún daño. Las causas que derivan en este tipo de desperdicio son un layout obsoleto, con programas de producción no uniformes, baja eficiencia de los operarios y máquinas y frecuentes reprocesos.
- **Defectos, rechazos y reprocesos:** el resultado de realizar un producto deficiente conlleva un retrabajo en el proceso productivo que ralentiza el tiempo de entrega al cliente. Las causas que originan este tipo de desperdicio son errores de los operarios por su baja motivación o poca experiencia, proveedores no capaces, técnicas o utillajes inapropiados y planificación inconsciente.
- Actualmente, existe un octavo desperdicio que se genera en la práctica pero que no se encuentra contemplado en la teoría, como es el **personal no aprovechado**. Los trabajadores son el recurso más útil, el más costoso y el menos aprovechado, ya que no se le involucra en la mejora continua ni se saca el máximo rendimiento de sus conocimientos o experiencia.

4.5. Estructura y herramientas Lean

La creación de la metodología Lean tuvo lugar en la fábrica de Toyota, constituyendo el Sistema de Producción Toyota como base de esta filosofía. De esta forma,

la representación de dicho sistema se personifica mediante una casa como en la Figura 4.19, expresando la robustez del mismo si las columnas y los cimientos se mantienen fuertes, a través de un proceso estructurado (Hernández JC, 2013).

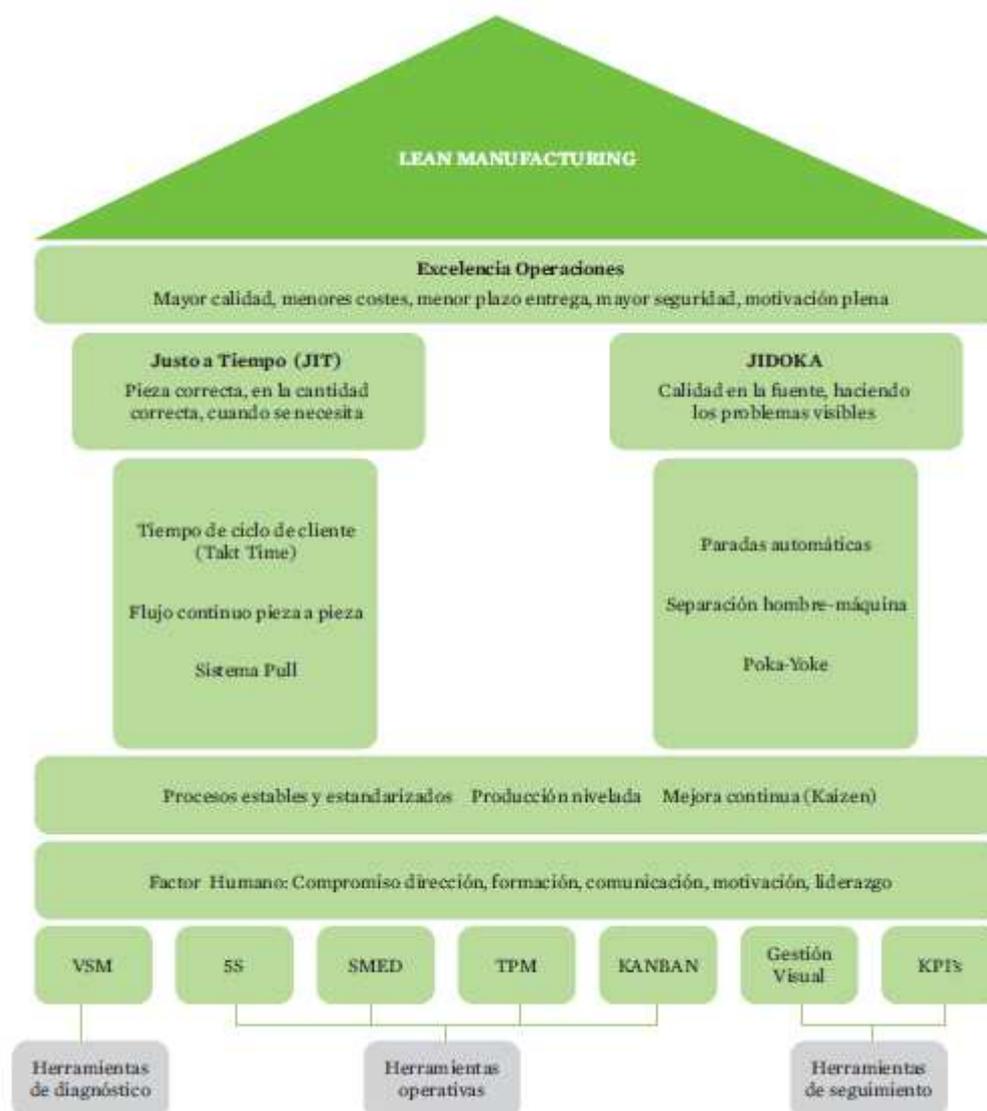


Figura 4.19: Casa de la Metodología Lean (Hernández JC, 2013)

En la parte alta de la casa se recogen los objetivos que busca esta metodología, como es una mayor calidad de los productos, a un menor coste, con un tiempo de entrega o Lead time que sea el menor posible, generando una mayor seguridad y motivación de todos los empleados. A raíz de ahí, esta búsqueda de objetivos se sustenta por un Just In Time que sirve el producto correcto, en el tiempo correcto y cuando es necesario, basándose a su vez en un takt time, sistema pull y un flujo continuo pieza a pieza. Por el otro lado, el otro cimiento que sostiene estos objetivos es el Jidoka, en búsqueda de calidad y haciendo los problemas visibles, se sustenta con paradas automáticas en caso de detección de problemas, la separación del hombre y la máquina y Poka Yoke para que no se produzcan fallos.

Sin embargo, la base de esta casa no sería posible si no se produjera una mejora continua o Kaizen y no intervinieran las personas para realizarlo. Para ello, se dota de unas herramientas que componen las piedras que aguantan toda la casa, y que sin ellas no sería posible dotar al sistema de estabilidad. Así pues, las herramientas necesarias para que este sistema funcione son:

4.5.1. 5S

Herramienta que permiten implementar y establecer procedimientos para conseguir espacios de trabajo ordenados que mejoren la eficacia de las actividades. Cuando se implanta la filosofía Lean, es la primera técnica que debe utilizarse en la empresa. Los beneficios a alcanzar a través de esta técnica son: eliminar desperdicios, reducir materiales en los procesos, mejorar calidad, seguridad y productividad laboral, evitar accidentes, optimizar espacios y disminuir el tiempo de trabajo.

Para aplicar 5S's es necesario tener en la organización un estilo de motivación de supervisión interiorizada, que reporte resultados en su aplicación en un corto periodo de tiempo, con un gran impacto visual. Además, debe realizarse en un área piloto que sirva como ejemplo y punto de aprendizaje para su instalación en toda la empresa.

4.5.1.1. Seiri (separar)

Proceso de clasificación en el que se define qué es realmente necesario para realizar tareas y qué no es, en función de su utilidad. Las personas que determinan su uso son las que realizan las tareas diarias y por tanto, las que están en contacto con los materiales. El proceso que se realiza es generar una lista de elementos innecesarios y marcarles con una tarjeta roja como en la Figura 4.20, de ahí se efectúa el descarte que debe contemplar: si se descarta o no, importancia, responsable, fecha de eliminación y cantidad.

TARJETA ROJA			
NOMBRE DEL ARTÍCULO			
CATEGORÍA	1. Maquinaria	6. Producto terminado	
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina	
	3. Equipo de medición	8. Limpieza	
	4. Materia Prima		
	5. Inventario en proceso		
FECHA	Localización	Cantidad	Valor
RAZÓN	1. No se necesita	5. Contaminante	
	2. Defectuoso	6. Otros	
	3. Material de desperdicio		
	4. Uso desconocido		
ELABORADA POR		Departamento	
FORMA DE DESECHO	1. Tirar	5. Otros	
	2. Vender		
	3. Mover a otro almacén		
	4. Devolución proveedor		
FECHA DESCHECHO			

Figura 4.20: Ejemplo Tarjeta para tarea separación en 5S (Hernández JC, 2013)

4.5.1.2. Seiton (Organizar)

Despejada el área de todo lo innecesario, sólo queda lo que se debe guardar. Por tanto, es tener un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar, colocando cada objeto en el lugar que le corresponda, manteniendo la ubicación para que esté listo en el momento en que sea necesario como en la Figura 4.21. El procedimiento para llevar a cabo esta fase es: definir y preparar los lugares de almacenamiento, determinar la localización en función de su uso, establecer un código para el lugar de almacenamiento e identificar a cada objeto con el mismo código de identificación.

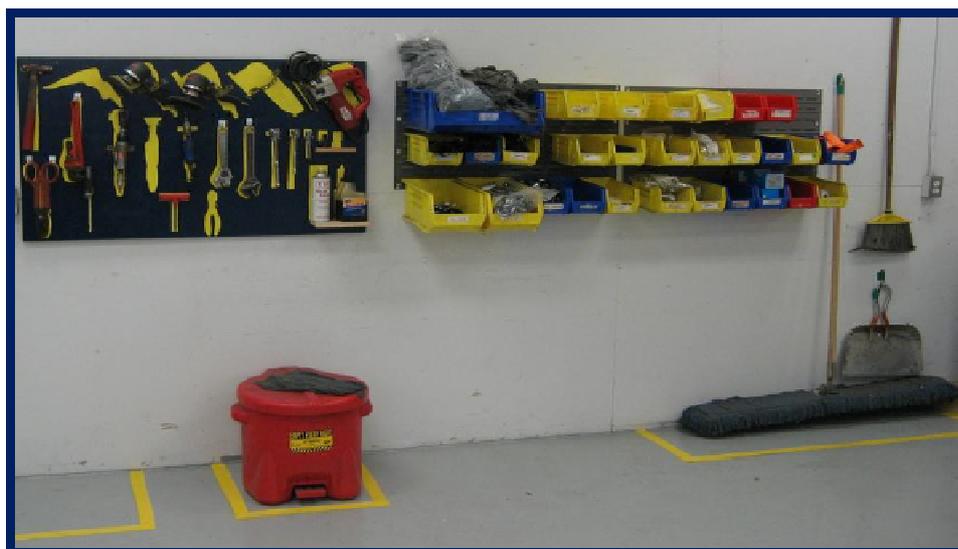


Figura 4.21: Ejemplo resultado tarea organización (Zeineris, P; 2015)

4.5.1.3. Seiso (Limpiar)

La limpieza implica mantener los equipos ordenados y con una estética agradable a lo largo del tiempo, inspeccionar e identificar las fuentes de suciedad y desorden para realizar acciones preventivas que las eliminen. Limpiar implica mantener en óptimas condiciones de uso las máquinas, mesas de trabajo, pasillos y cadena de montaje, como si se tratase del primer día de uso. Integrar la limpieza como parte del trabajo diario y asumir la limpieza como una actividad de mantenimiento, permite detectar focos de suciedad y su posterior eliminación.

4.5.1.4. Seiketsu (Estandarizar)

Despejada, ordenada y limpia el área de trabajo, se crean normas que mantengan esta situación de forma adecuada. Si no existe estandarización, el lugar de trabajo pierde el orden y la limpieza, impidiendo mantener la situación alcanzada con las tres primeras S's. Por consiguiente, debe enseñarse al operario a aplicar las normas con un adecuado entrenamiento y el apoyo de la dirección, además de la sistematización de formas de actuación verificables dotando de capacidad de decisión al empleado para que tome decisiones en su búsqueda. Para su mantenimiento, se realizan controles visuales que sean entendibles por todo el mundo y se realizan auditorías.

4.5.1.5. Shitsuke (Autodisciplina)

Convertir en hábito el empleo y utilización de los métodos establecidos, mediante la incorporación de normas establecidas a nuestra conducta habitual. Para ello, se deben depositar los desperdicios en los lugares indicados, guardar en su lugar las herramientas después de usarlas, dejar limpias las áreas de uso común una vez terminada la actividad, hacer cumplir las normas a las personas en su área de responsabilidad, respetar las normas de otras áreas y tratar en el grupo los casos de incumplimiento.

4.5.2. SMED

Esta técnica Lean contempla un conjunto de actividades que permitan reducir los tiempos de preparación de las máquinas. La forma de actuar es estudiar detalladamente el proceso e incorporar cambios substanciales en la maquinaria, utillaje, herramientas o en el producto que permitan disminuir los tiempos de preparación. Esta actuación implica estandarización de nuevos dispositivos de ajuste rápido, que elimina la posibilidad de errores.

La relevancia que tiene esta técnica en los costes y tiempos genera una mayor capacidad de la máquina, sin necesidad de comprar otras más potentes para producir más. En este caso, lo que se busca es un tiempo de cambio insignificante que deje producir casi diariamente, sin generar los enormes inventarios que se producirían si se fabricase en grandes lotes por la dificultad del cambio de utillaje de las máquinas.

Un ejemplo de este tipo de técnica se puede encontrar en la Fórmula 1, cuando los coches entran a repostar y cambiar ruedas. Lo que podría tardar casi horas, se realiza en pocos segundos debido a un cambio de utillaje rápido (cambio de ruedas, repostaje, regulación de alerones). Para realizar este tipo de técnica, se deben cumplir una serie de fases:

- Diferenciar preparación externa e interna

El objetivo de esta fase es identificar aquellas acciones que necesitan realizarse con la maquinaria parada, y aquellas cuyo desempeño puede realizarse con esta funcionando. Para reducir el mayor tiempo posible, es interesante convertir el mayor número de acciones de preparación interna a externa, y reducir el tiempo que la máquina está parada lo máximo posible. Además, disminuir el tiempo de la preparación externa se contempla indispensable para esta técnica.

- Reducir tiempo de preparación interna con la mejora de operaciones

Aquellas que no hayan podido convertirse en preparación externa, deberán tenerse en cuenta diferentes aspectos: estudiar las necesidades de personal para cada operación, reducir los reglajes de la máquina, facilitar la introducción de parámetros de proceso, establecer un estándar de registro y reducir la necesidad de comprobar la calidad del producto.

- Reducir tiempo de preparación interna con la mejora del equipo

En este caso, las mejoras deben hacerse al equipo modificando la estructura del mismo, incorporando dispositivos que permitan fijar posiciones mediante la automatización u organizando las preparaciones externas de forma asistida.

- Preparación cero

Es el objetivo número uno de esta técnica, generando una mayor capacidad de respuesta a los cambios de la demanda y dotando al sistema de flexibilidad, a través del diseño de dispositivos flexibles.

4.5.3. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Esta modalidad técnica promueve que los empleados participen en el mantenimiento básico de sus equipos, para conservarlos en buen estado de funcionamiento y así poder detectar anomalías antes de que produzcan averías mediante un control visual. Esta idea pretende que la mejora y el buen funcionamiento de los activos sean responsabilidad de todos los empleados de la empresa, desde los operarios de la cadena hasta los directivos de las fábricas.

Así, los operarios deben tener la habilidad de detectar anomalías, tratarlas y constituir las condiciones óptimas de la maquinaria permanentemente. Para ello, se establecen cuatro objetivos:

- Maximizar la eficacia del equipo.
- Desarrollar un plan de mantenimiento para el total de vida útil de la maquinaria.
- Implicar a todos los departamentos en esta labor.
- Implicar a todos los empleados de la fábrica.

Para desempeñar correctamente estos cuatro objetivos citados anteriormente, se establecen una serie de etapas:

Fase preliminar

Establecer un modelo de información congruente con el mantenimiento, identificación y codificación de equipos, averías y acciones preventivas.

Fase 1. Situar la línea en su estado inicial

Las condiciones de ésta deben ser iguales o lo más parecidas posibles a cuando el proveedor la entregó y fue puesta en marcha, sin ningún tipo de averías, manchas o residuos.

Fase 2. Eliminación de fuentes de suciedad

Debe considerarse este hecho como anomalía o mal funcionamiento del equipo.

Fase 3. Inspeccionar el equipo

Los operarios de producción deben ser responsables del mantenimiento del equipo, trabajando de forma autónoma mediante la formación del funcionamiento de las máquinas. Estos conocimientos cada vez son más detallados y abarcan un mayor número de tareas.

Fase 4. Mejora continua

Una vez adquiridas las competencias de mantenimiento autónomo de maquinaria, los operarios deben ser capaces de proponer mejoras en el equipo. Por otra parte, el uso de indicadores permite medir y mejorar dichos parámetros, como puede ser el OEE (Eficiencia Global de Equipos Productivos), indicador que calcula a diario para un equipo el

número de piezas que podrían haberse producido si todo hubiera ido correctamente, y las unidades sin defectos que realmente se producen.

4.5.4. KANBAN

Sistema de programación sincronizada y control de la producción mediante tarjetas, que utiliza el sistema pull para tirar de la producción y generar un flujo continuo, sincronizado y en pequeños lotes. Este procedimiento consiste en demandar los elementos necesarios de los procesos anteriores para su producción, a través de unos envases que contienen las tarjetas y refleja la cantidad necesaria.

El objetivo principal de este tipo de tarjetas es el reaprovisionamiento de material vendido, reduciendo los stocks no deseados. Estas tarjetas recogen diferentes aspectos como: denominación y código de la pieza, denominación del centro de trabajo de procedencia de la pieza, lugar donde se fabrica, cantidad de piezas a producir, lugar donde se almacena, y todas las características que se quieran introducir.

Existen dos tipos de tarjetas kanban:

Kanban de producción: establece qué y cuánto debe fabricarse para el siguiente proceso como en la Figura 4.22.

TARJETA KANBAN DE PRODUCCIÓN				
 Apariencia	Parte Nº	17643 - 22631 - 12		Proceso
	Nombre del Producto	Anillo de Pistón		Maquinado MC - 12
	Tipo de Contenedor	S 10C	Nº Emisión	
	Capacidad del Contenedor	200	2 / 5	

Figura 4.22: Ejemplo Tarjeta Kanban de Producción (Hevia C., 2011)

Kanban de transporte: indica qué y cuánto debe retirarse del proceso anterior como representa la Figura 4.23.

Supplier: PU1	Customer: PU2
Description: Production Unit 1	Location: Loc02
Kanbans: 9	Container: Box 1
Qty: 100	
created: 10/12/2013 22:33:00	Description: Item 012345
printed: 11/12/2013 12:10:11	
 iks INTEGRATED KANBAN SYSTEM	
Item ID: 012345	Kanban ID:  1090

Figura 4.23: Ejemplo Tarjeta Kanban de Transporte (Manufactus GmbH, 2016)

4.5.5. VSM (Value Stream Mapping)

Esta técnica Lean plasma en un papel el total de la cadena de valor, desde los proveedores hasta el cliente final, representando los flujos tanto de material como de información. El objetivo de esta técnica es detectar aquellas actividades que añaden valor añadido y aquellas que no lo aportan, susceptibles de ser eliminadas para ganar eficiencia. El VSM se realiza para cada tipo de producto que produce la empresa, recogiéndose todos los datos sobre el terreno para reflejar la realidad.

Las ventajas que recogen este tipo de técnicas son: vinculación del flujo de material con el de información, mayor visualización del proceso, confección de un sistema estructurado sobre el que generar mejoras y visión de cómo debería ser el sistema. En este caso, el VSM recoge una línea de tiempos, distinguiendo entre tiempos “VA” aquellos que generan valor añadido y tiempos “NVA” de no valor añadido.

El VSM debe contemplarse en tres estados diferentes:

- Estado actual: se representan los porcentajes de aquellas actividades que añaden valor y las que NO, además de aquellas que NO pero necesarias para el funcionamiento del proceso.
- Estado futuro: actividades que se desglosan una vez eliminadas aquellas que NO añaden valor al cliente.
- Estado ideal: se establece una futura mejora si no existieran actividades de NO valor añadido.

Si vemos un ejemplo de una empresa que produce componentes de coches para su

posterior ensamble, en este caso brackets de acero, se puede observar su VSM en la Figura 4.24 y su VSM futuro en la Figura 4.25:

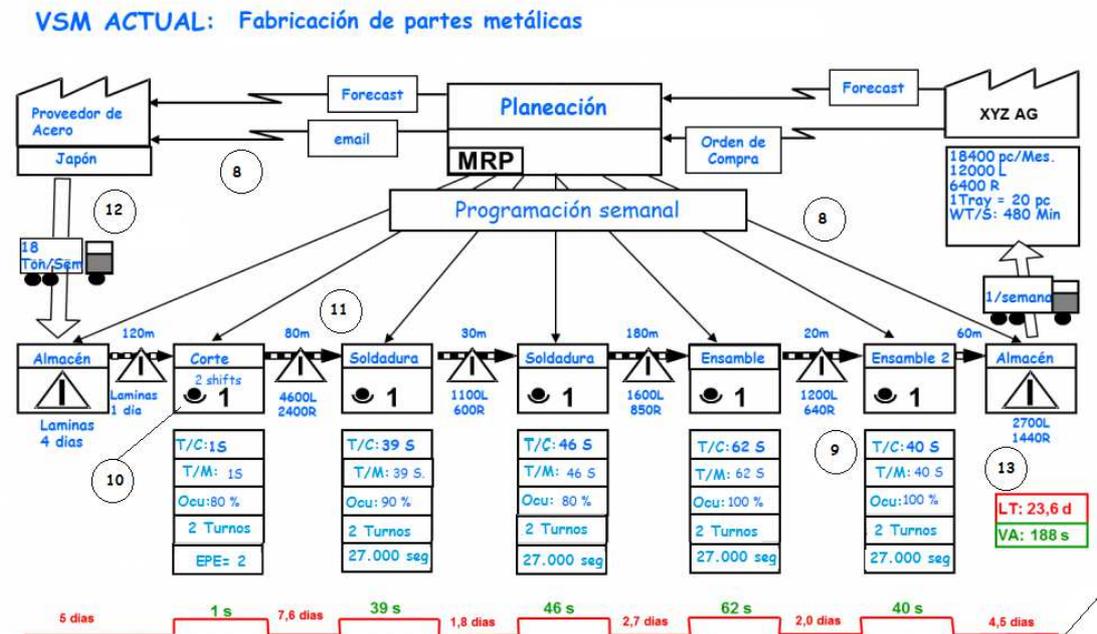


Figura 4.24: Ejemplo VSM Situación Actual (Fajardo C., nd)

En este caso, se recoge todas las actividades concernientes a dicho proceso de producción, contemplando tanto los flujos de materiales como de información, desde el proveedor de acero en otro país, hasta que llega al cliente, en esta caso la empresa ensambladora. Si vemos el VSM futuro, se puede analizar los cambios acontecidos y la eliminación de todas aquellas actividades que NO añaden valor:

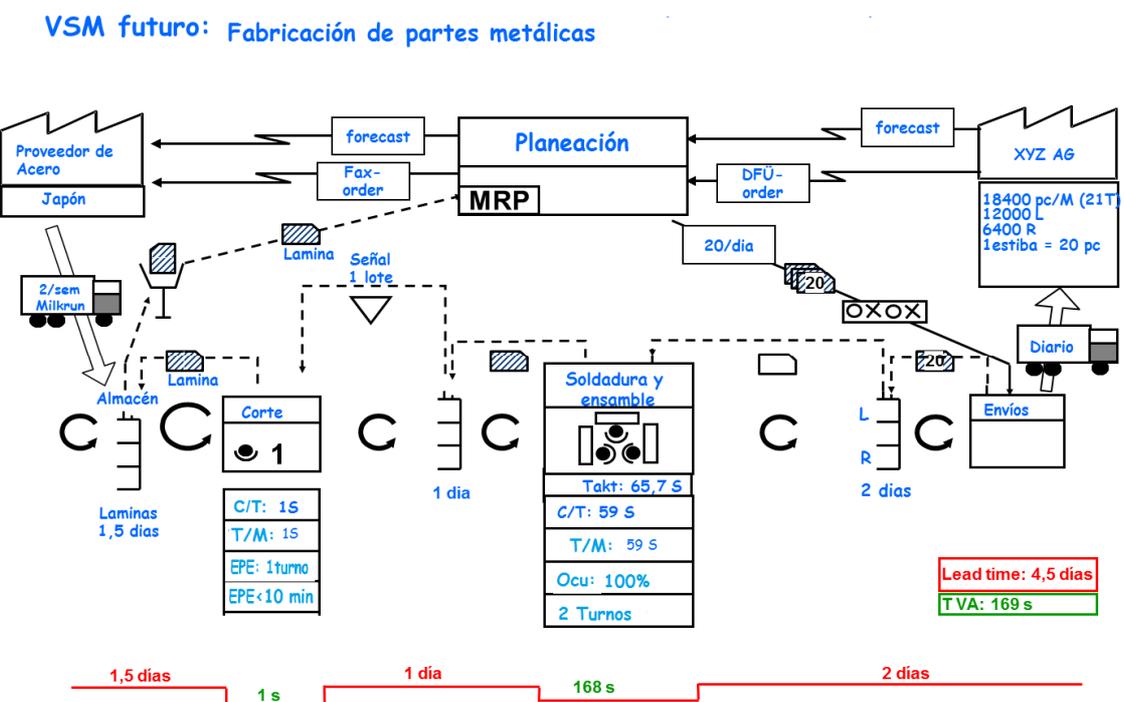


Figura 4.25: Ejemplo VSM Situación Futura (Fajardo C., nd)

La reducción del Lead Time es enorme, modificándose el flujo de material y los plazos y tiempos considerablemente, realizando entregas diarias al cliente.

4.5.6. Control Visual

Uno de los requisitos fundamentales en la metodología Lean es que todos los empleados estén involucrados y motivados para actuar de forma autónoma. Pese a que los directivos de las empresas tradicionales guardan con absoluto secretismo diversos datos como indicadores, Lean establece un sistema transparente donde todos los empleados deben estar informados de lo que ocurre en la empresa en todo momento.

Una de las mayores ventajas que ofrece este tipo de técnica es la rápida captación de mensajes y la rápida difusión de información, que permita a los trabajadores conocer cómo sus esfuerzos repercuten en los resultados corporativos. Existen distintos tipos de ejemplos de control visual, como son:

- Control visual de espacios y equipos: marcas sobre el suelo, áreas de comunicación y descanso, identificación de espacios y equipos.
- Documentación visual en el puesto de trabajo: hojas de instrucciones, procedimientos de seguridad, descripción de procesos y tecnologías, requerimientos de empaquetado, especificaciones de productos.
- Control visual de la producción: programa de producción, indicadores de productividad, identificación de reprocesos.
- Control visual de la calidad: control estadístico de procesos, registros de problemas, señales de monitorización.
- Gestión de indicadores: actividades de mejora, sugerencias, proyectos en marcha.

4.5.7. Sistemas de participación de personal

Uno de los pilares fundamentales en la filosofía Lean son las personas, puesto que de ellas depende en gran medida el éxito o fracaso de esta metodología, contemplándose como uno de los temas más controvertidos. En este caso, las personas deben ser personal activo que trate de expresar sus ideas relativas a la identificación de problemas o de oportunidades de mejora.

Para la empresa, implica una serie de ventajas:

- Mejora de relaciones y comunicación entre diferentes niveles jerárquicos.
- Fomento de la creatividad y conciencia de grupo.
- Incremento de la motivación del personal.

Para las empresas, los sistemas de participación más utilizados son:

- Equipos de mejora (equipos Kaizen): son equipos multidisciplinares de diferentes niveles de responsabilidad, formados y con conocimientos en

técnicas de análisis y resolución de problemas, para la búsqueda y eliminación de muda.

- Grupos autónomos de producción (GAP): personas que trabajan en un área determinada organizando el trabajo enfocado a los procesos y que persiguen la mejora continua. Implantada y estabilizada esa mejora, son importantes para mantener el sistema y perseguir el control.

4.5.8. Mejora continua o Kaizen

Este concepto se basa en la búsqueda y eliminación constante del desperdicio, lo que significa actuar en equipo utilizando las capacidades de todo el personal. Su implantación en las empresas es complicada, ya que implica un cambio de pensamiento hacia una cultura de cambio constante en busca de mejores prácticas. El procedimiento de mejora consiste en la aparición de un problema, la detención del proceso productivo para el análisis de las causas y la utilización de medidas correctoras, aumentando la eficiencia del sistema.

El factor clave para llevar a su máximo esplendor esta técnica es que el establecimiento de diferentes herramientas sea constante en el tiempo. Para ello, existen una serie de puntos clave que propugnan su implantación:

- Rechazo del estado actual de las cosas.
- Reflexionar sobre cómo hacerlo.
- Realizar buenas propuestas de mejora.
- Corregir un error inmediatamente.
- Buscar la causa real, plantearse 5 porqués y buscar la solución.
- Probar y después validar.
- La mejora es infinita.

4.5.9. Estandarización

Esta técnica es una de las claves de la filosofía Lean, ya que es el fundamento del resto de técnicas, junto a SMED y 5S. Se puede definir la estandarización como una descripción escrita y gráfica que ayuda a comprender las técnicas más eficaces y suministran unos determinados conocimientos sobre máquinas, métodos e información, con la finalidad de hacer mejores productos o realizar mejores servicios.

Los pasos a seguir para implantar una buena estandarización son: primero se establece un estándar sobre cómo hacer las cosas, después se mejora y se evalúa su efecto, para después volver a estandarizarse en un nuevo método. Por ello, se sigue la premisa de que un estándar se crea para mejorarlo. Este tipo de técnica comprende una serie de principios:

- Deben ser descripciones simples y claras.
- Se parte de mejoras hechas con las mejores técnicas.
- Se garantiza su cumplimiento.

- Son puntos de partida para mejoras posteriores.

4.5.10. Técnicas de calidad

Este conjunto de actividades permiten que todas las unidades cumplan con las especificaciones y se haga bien a la primera para satisfacer a los clientes. Para ello, son los operarios de la línea los que deben realizar este tipo de actividades, mediante su propia autonomía. De esta manera, los empleados actúan como operarios de calidad que necesitan formación, y que deben actuar en función de una serie de fases:

- Conocer los estándares y permitir el reconocimiento de anomalías.
- Registrar los problemas.
- Observar más allá del propio entorno.

En este caso, existen diferentes tipos de técnicas de calidad:

Matriz de Autocalidad (MAQ)

A través de la hoja de registros de defectos, los fallos acontecidos se detectan allí donde se generan, para saber en qué lugar se han producido y quién los ha realizado. Una vez introducidos todos estos datos, se llevan a la Matriz de Autocalidad y se elabora un plan de acción para cada tipo de defecto.

Ciclo PDCA

Este tipo de herramienta se utiliza para ejecutar la mejora continua en cuatro fases: planificar (diagnosticar problemas, establecer objetivos y estrategias para conseguirlos), ejecutar (llevar a cabo el plan), verificar (analizar los resultados) y actuar (aprender de la experiencia y sacar conclusiones).

Seis Sigma

Técnica estadística que pretende reducir o eliminar los defectos o fallos de entrega reduciendo la variabilidad de los procesos. Para ello, busca actuar sobre la causa raíz y evitar su repetición. Para ejercer este tipo de técnica, las personas deben estar formadas específicamente, para cumplir con los estándares propios mediante la recopilación de datos.

4.5.11. Jidoka

Esta técnica Lean promueve que cuando ocurra un fallo en alguna pieza, el proceso se detenga manualmente por el operario o automáticamente por las máquinas, permitiendo así que el fallo ocurrido no llegue a una fase posterior. De esta forma, la responsabilidad de que no se produzcan fallos es de los operarios, actuando en la prevención de estos, y realizando una tarea más enfocada en el control del proceso y no del producto.

En este caso, la posibilidad de que una máquina pare el proceso automáticamente

permite la separación del operario y la máquina, pudiendo hacerse responsable de varios equipos a la vez. Una vez que el operario para la máquina, una señal luminosa se activa (andon), permitiendo la comunicación a todos los operarios de la fábrica que un fallo ha ocurrido. Además, existen los sistemas a prueba de errores o poka-yoke, que tienen como principio impedir defectos en la pieza aunque se produzca un fallo humano.

4.5.12. Heijunka

Consiste en un conjunto de técnicas para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un periodo de tiempo. Requiere un buen conocimiento de la demanda de clientes para generar una producción suavizada, nivelada y en pequeños lotes para producir el menor despilfarro posible. Para ello, las técnicas utilizadas son:

Células de trabajo

Son estaciones de trabajo con una secuencia que permite un movimiento continuo siguiendo las fases del proceso productivo. La forma física que adquieren es la de forma de “U”, caracterizado porque la entrada y salida de la línea se encuentran en la misma posición.

Flujo continuo pieza a pieza

Implica producir en una operación “aguas abajo” lo que requiere una operación “aguas arriba”, mediante un flujo continuo y fluido desde el proveedor hasta el cliente para impedir su interrupción lo menos posible y producir en el menor tiempo.

Producir respecto al Takt time

Este procedimiento implica ajustar el tiempo de producción con el de ventas, para que exista una sincronización entre ambos, permitiendo alertar a los operarios cuando están atrasados o adelantados respecto al ritmo que se marca.

Nivelar el volumen de producción

Permite al proceso productivo generar pequeños lotes, incrementando el número de cambios y manteniendo la variedad de componentes en función de los requerimientos de los clientes.

5. Comparativa Escuelas Lean

Actualmente, el número de factorías de aprendizaje en las instalaciones de institutos, universidades y empresas está incrementándose de forma progresiva con una orientación hacia la ingeniería mecánica y los estudios económicos. El panorama de las factorías de aprendizaje se encuentra en una fase de expansión, donde cada vez más empresas apuestan por tener su propia factoría de aprendizaje para la formación de sus empleados. Sin embargo, en su apuesta por cambiar la formación actual, las Universidades están cobrando un papel fundamental en la creación de factorías de aprendizaje en sus propias instalaciones para la formación de sus alumnos (Goerke M, 2015).

Al mismo tiempo, son las consultoras las que cobran protagonismo, ofreciendo a aquellas empresas o Universidades que no pueden permitirse tal inversión, un servicio de formación a medida en sus propias factorías de aprendizaje. La característica fundamental de esta figura es una red de escuelas de formación experiencial que ofrece servicios en distintos países, con un modelo de negocio parecido o en muchas ocasiones idéntico en todos ellos.

No obstante, las otras entidades contempladas como son empresas, universidades y consultoras, se unen como socias en un intento de crear una figura más fuerte y un negocio mucho más potente, con el objetivo de tener un público objetivo más amplio y un modelo de negocio diversificado y con distintas finalidades. Así pues, el mapa actual de las factorías de aprendizaje en el Mundo se encuentra distribuido como representa la Figura 5.26:



Figura 5.26: Mapa Escuelas de aprendizaje del Mundo (Veza I, 2016)

De acuerdo a un reciente estudio, el contenido de la formación está cada vez más enfocado en la producción y filosofía Lean y el pensamiento Lean es utilizado con éxito en

la optimización de los procesos productivos. Sin embargo, la finalidad de este estudio es comparar qué elementos comunes tienen todas ellas y cuáles son diferentes. En la actualidad, un gran número de factorías de aprendizaje existen alrededor del mundo, sin embargo sólo unas pocas están abiertas a mostrar qué enseñan, cómo lo hacen y qué las caracteriza.

El criterio elegido para escoger las Escuelas Lean descritas a continuación ha sido su integridad y variedad teórica y práctica, y su complementariedad para llevar a cabo la formación. Es decir, las factorías de aprendizaje han sido elegidas por la completa formación que ofrecen y su realismo a la hora de formar a los participantes.

Además, se ha intentado ofrecer un estudio completo de diferentes productos para mostrar cómo la divergencia en estos no importa, sino la finalidad y el enfoque que se da a su formación; es decir, no importa qué producto es ya que en todos los procesos productivos pueden aplicarse herramientas y técnicas Lean para optimizar sus líneas de montaje.

5.1. KART FACTORY (ITALIA)

- **Ubicación:** Castellaza, Varese, Italia.
- **Años de actividad:** 6 años
- **Colaboradores:**
 - Universidad de Carlo Cattaneo: desde 1991, ha dotado a la provincia de Varese de una formación superior a través de tres facultades: Facultad de Economía, Facultad de Derecho y Facultad de Ingeniería de Gestión. Su modelo educativo es multidisciplinar, con el objetivo de dotar a los estudiantes de una visión unificada de la empresa, sus funciones y sus problemas. Además, su gestión de la información le permiten adaptarse de manera rápida y eficaz a las demandas específicas de sus socios, mediante el diseño e implementación de soluciones a medida.
 - JMAC (Japón Management Consultants Association) Europa: fundada en 1988, es la primera empresa de consultoría de gestión. Su alianza italo-japonesa le permite tener una red de consultoría de gestión en Europa, Asia y América, caracterizada por una cultura italiana creativa y con gran flexibilidad y una cultura japonesa, rigurosa en sus análisis en base a unos métodos estructurados. Tiene como misión el desarrollo de las empresas junto a la consultoría, formación e investigación.
- **Patrocinadores:** para que la escuela pueda tener forma, se necesita una serie de sponsors que donen material para el correcto funcionamiento de la misma:
 - INDEVA: empresa italiana que tiene como modelo de negocio la venta de material Lean como perfiles tubulares, juntas, accesorios para la construcción de rodillos dinámicos, carros, vagones y AGV's. Además, ofrece



servicios de formación Lean a sus clientes, siendo capaz de responder con rapidez ante los desafíos de una búsqueda de eficiencia en la producción.

- SAS: es el mayor fabricante del mundo de envases de plástico reutilizable como los de la Figura 5.27, que ofrece una amplia gama de productos capaces de ofrecer soluciones logísticas que favorecen la eficiencia y sostenibilidad de la cadena de suministro.



Figura 5.27: Producto SAS (SAS, 2016)

- PROLUX SRL: tiene como producto franquicia los karts de pedal, destinados a todas las edades. Es el distribuidor oficial en Italia de la marca Berg Toys.
- **Modelo de entrenamiento:** esta factoría de aprendizaje Lean se basa en una serie de principios para desarrollar su actividad (Kart Factory, 2016):
 - Principio de experiencia:
 - Entrenamiento mediante la experiencia (aprender intentando).
 - Simulación bajo un ambiente realista.
 - Teoría después de práctica.
 - Principio de aprendizaje por error:
 - Aprender realizando errores.
 - Utilizar los fallos como oportunidad para empezar la mejora.
 - Principio de trabajo en equipo:
 - Aprender mediante el trabajo en equipo.
 - Aprender mediante el intercambio de ideas.
- **Objetivos de la escuela:** la Kart Factory tiene como principales objetivos los siguientes:
 - Fiabilidad de comportamientos.
 - Excelencia de comportamientos.
 - Mejora continua: resolución de problemas y kaizen.
 - Continua participación.

- **Público objetivo:** ingenieros de procesos, responsables de línea y jefes de producción, al igual que supervisores de producción en las posiciones más altas.
- **Kart Factory en el Mundo:** pese a que la escuela de aprendizaje Lean objeto de estudio se encuentra en Italia, esta pertenece a una red Kart Factories con el mismo modelo de negocio. La colaboración con la consultora JMAC posibilita que la formación ejercida se realice en distintos países del Mundo. En este caso, las Kart Factories del Mundo se encuentran representadas en la Figura 5.28:
 - Centro de Entrenamiento Lean (Suecia).
 - Factoría Kart (República Checa).
 - Factoría Kart (Japón).
 - Centro de Entrenamiento Lean (Finlandia).
 - Factoría Kart (España).

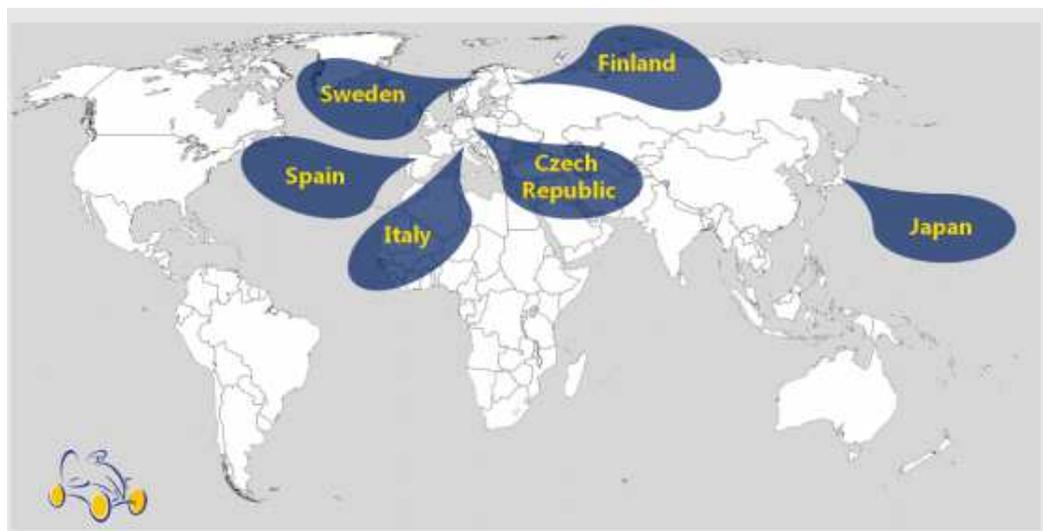


Figura 5.28: Mapa Kart Factories en el Mundo (Kart Factory, 2016)

- **Cursos:** actualmente, la Kart Factory únicamente tiene un programa de dos días denominado “Lean Básico”, el cual trata de explicar los primeros pasos hacia la transformación Lean. Busca responder a las preguntas de: ¿cómo trabaja Lean?, ¿por qué trabaja así?, ¿por qué se hacen mejoras?, ¿por qué la sincronización del trabajo es esencial?. Mediante una situación de partida de “caos” normalizado, los participantes actúan como empleados de la fábrica realizando pequeñas mejoras de manera continuada.

De esta forma, en sólo dos días el grupo mejora el proceso productivo mediante la práctica, generando un proceso de cero errores con una calidad intrínseca, a través de un trabajo estandarizado, mediante la unión entre el entendimiento y trabajo en equipo. Los consultores muestran el camino para realizar esas mejoras, mediante la eliminación de despilfarro que realizan únicamente los operarios.

El conjunto de actividades que se realizan en este curso son las reflejadas en la Tabla 5.3:

PRIMER DÍA (de 9 a.m. a 17 p.m.)	SEGUNDO DÍA (de 8 a.m. a 16 p.m.)
Introducción al Lean.	3º test de producción.
Objetivos para el entrenamiento.	Proceso de cero errores.
¿Qué es el despilfarro y dónde lo reconocemos?.	Flujo de una sola pieza (Sistema pull).
Fluctuación y despilfarro en la práctica.	Takt time.
1º test de producción en la factoría.	Debate de los resultados y siguiente paso.
Reconocer los primeros pasos de desarrollo.	Test de nuestro proceso.
Construir una línea.	Nuevos operadores en cada estación en la línea de ensamblaje.
Primeros pasos de 5 S.	Cómo asegurar que la estandarización y el proceso están en los cambios.
Enfocarse en calidad y seguridad.	Takt time.
Reducir la variación.	4º test de producción.
¿Por qué tenemos que medir?	Final del curso
2º test de producción de la factoría.	
Crear un estándar – herramienta de calidad.	
Hojas de elementos.	
Desarrollar métodos de trabajo (seguridad y calidad)	
Crear estándares de operaciones para cada operador.	

Tabla 5.3: Programa Curso Kart Factory (Kart Factory, 2016)

- **Producto:** el elemento principal de esta escuela es un coche de kart a pedales.
 - Medidas:
 - Largo: 1330 mm
 - Ancho: 790 mm
 - Alto: 800 mm
 - Peso: 33 kg
 - Elementos que lo componen:
 - Esqueleto: formado por los pedales y la base para montar el resto de elementos.

- Columna de volante: constituye el soporte donde se va a colocar el volante y que va a manejar la dirección del coche.
- Varillas de dirección: se unen con la columna del volante para posibilitar que el volante se mueva.
- Pivotes de dirección: une las varillas con el esqueleto.



Figura 5.28: Parte coche (Kart Factory, 2016)

- Soportes de ruedas: se unen al esqueleto y es donde van a ir las ruedas metidas para posibilitar su movimiento.
- Asiento: tiene una pieza auxiliar que se le debe incorporar para facilitar su unión con el esqueleto.
- Carcasa: compone la carrocería del coche, que va enganchada a la columna del volante y a su vez a una pieza de plástico en forma de tubo que se une al esqueleto del kart.



Figura 5.29: Parte inferior coche (Kart Factory, 2016)

- Volante
 - Ruedas
- Variedades de producto: el proceso productivo se caracteriza por tener un kart que responde a unos requerimientos del cliente. De esta forma, no existe una sola variedad de producto, sino varias en función de los gustos del cliente. Así pues, las variedades que se pueden obtener de este producto son:
- Esqueleto del coche:
 - Amarillo
 - Rojo
 - Asiento y carcasa:
 - Negro
 - Azul
 - Naranja
 - Rojo

En este caso, se pueden producir únicamente cuatro combinaciones, ya que el esqueleto amarillo sólo va con el asiento y la carcasa azul y naranja (ambas tienen que ser del mismo color), y el esqueleto rojo con el asiento y la carcasa roja y negra.

- Proceso productivo: constituido por diversas actividades que tratan de construir el coche descrito en función de las características requeridas por los clientes. A medida que se realizan los distintos procesos productivos, en concreto cuatro, el conjunto de las actividades se va optimizando según se avanza. Se parte de una situación de caos, y se acaba con una línea de montaje en flujo continuo.

En concreto, se divide en 6 puestos donde se produce el desmontaje del coche en los tres primeros como en la Figura 5.30, realizándose el montaje del mismo en los tres siguientes como en la Figura 5.31. El esqueleto del coche se mete en una base metálica a la cual queda fijada, realizándose todas las maniobras necesarias en el coche como la Figura 5.32.



Figura 5.30: Parte línea montaje (Kart Factory, 2016) Figura 5.31: Continuación línea montaje (Kart Factory, 2016)



Figura 5.32: Línea de Montaje total (Kart Factory, 2016)

5.2. ATLAS COPCO LEAN ACADEMY (SUECIA)

- **Ubicación:** Estocolmo, Suecia.
- **Años de actividad:** 3 años
- **Colaboradores:**
 - Atlas Copco: la mayor empresa sueca establecida en Estocolmo. Su negocio se encuentra en cuatro líneas de negocio: sector de compresores, sector industrial, construcción y minería y excavaciones. Además, ofrece servicios de consultoría Lean para la mejora de procesos a través de la cadena de suministro, actuando como socio que asegure y acelere el negocio de sus clientes.
 - KTH Royal institute of Technology: uno de los institutos de ingeniería líderes en el mundo. Su finalidad en esta colaboración es ofrecer a la academia alumnos para que sean formados en la metodología Lean.
- **Objetivos** (Far O, 2014):
 - Encontrar e identificar los problemas típicos de un ambiente de producción.
 - Incrementar el conocimiento de la mejora continua en los estudiantes universitarios.
 - Evaluar los impactos de las mejoras realizadas y observar los resultados de aplicar los principios Lean.
 - Hacer el proceso de aprendizaje divertido.
- **Características:** la academia de formación Lean está dirigida por Atlas Copco Lean Consulting, en la figura de sus expertos Lean. Más de 120 estudiantes pasan por esta academia cada año para adquirir una experiencia práctica en Lean.
 - Instalaciones:
 - Línea de montaje en forma de “U”.
 - Compuesta por 6 estaciones de trabajo iniciales.
 - Total de estudiantes participantes en la formación: 12.
 - 3 rondas de producción para formar a los alumnos.
 - El tiempo de cada ronda son 12 minutos.
 - Participantes y funciones (The Atlas Copco Group, 2014):
 - Operarios: cada uno de ellos se encuentra repartido en una estación específica, realizando las tareas específicas de ese puesto. El número de operarios iniciales es 6.



- Logística: realiza el transporte entre las estaciones y, entre el almacén y las mesas de suministro. El número de participantes en esta tarea son dos, cada uno de ellos a ambos lados de la línea de montaje.
 - Trazador de gráficos: realiza el seguimiento de los logísticos para conocer todos los movimientos que hacen mediante el dibujo de un spaghetti flow. No tiene una posición fija, ya que debe ir donde le demanda su tarea. Una única persona realiza esta actividad.
 - Observador: el número de participantes para este puesto son 3, los cuales realizan grabación de tiempos de cada estación. Cada uno de estos es responsable de dos estaciones cada uno.
- **Producto:** el producto utilizado para esta actividad es el montaje de un templo Lean como el de la Figura 5.34. Dicho templo está constituido por bloques de metal unidos entre sí por tornillos. Cada bloque lleva una etiqueta, que debe ser unida al mismo de la misma forma que entre bloques, es decir, mediante tornillos.



Figura 5.34: Producto Templo Lean (The Atlas Copco Group, 2014)

- **Objetivos previos al proceso productivo:** el objetivo de la línea de ensamblaje es aplicar los principios Lean para pasar de un proceso lleno de despilfarros a uno optimizado. En cada una de las rondas, se trata de aprender determinados contenidos:
 - Ronda 1:
 - Métodos de estandarización de trabajo.
 - 7+1 tipos de despilfarro.

- Producción push.
 - Ronda 2:
 - 5S's.
 - Eliminación de despilfarros.
 - Control de producción pull.
 - Flujo de una sola pieza.
 - Ronda 3:
 - Balanceo de líneas.
 - Construir en calidad
 - Takt time
 - SMED
- **Funcionamiento del proceso productivo:** cada una de las rondas de montaje tiene diferentes características:
 - Ronda 1: la línea de montaje representada en la Figura 5.35 está basada en los métodos estándares de trabajo de la producción en masa. Se caracteriza por un ritmo asíncrono con almacenes que actúan como amortiguadores para actuar ante este ritmo con altos niveles de inventario. La forma de trabajar es mediante una producción push en lotes que pasan de una estación a otra. La línea está diseñada para estar desequilibrada y desestructurada con estaciones de trabajo desordenadas y de mala calidad. La demanda exigida en la primera ronda es de 6 templos dentro de los 12 minutos estipulados, con un takt time de 120 segundos. Los metros cuadrados utilizados para esta actividad son 66 m².

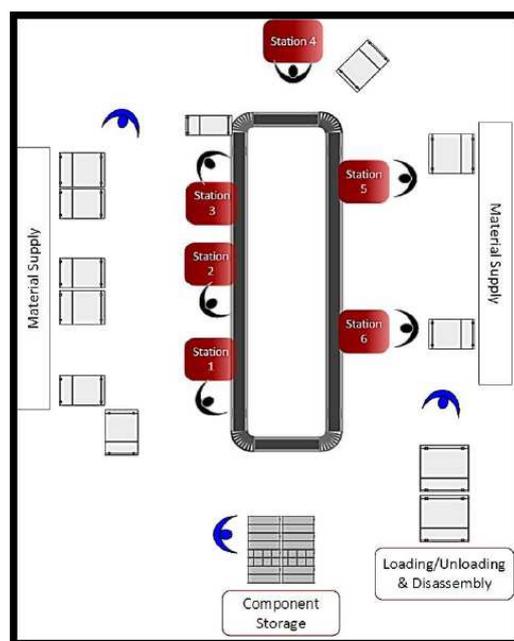


Figura 5.35: Situación inicial línea de montaje (The Atlas Copco Group, 2014)

- **Ronda 2:** en esta fase se han ejecutado varios cambios que han permitido realizar una serie de mejoras. En primer lugar, han ordenado su lugar de trabajo de acuerdo a la técnica de 5S's. Además, ya no se produce en lotes sino en flujo continuo (pieza a pieza), mediante un sistema pull a través de un Kanban visual. Los 7 despilfarros detectados en la primera ronda han sido eliminados mediante las mejoras realizadas. Sin embargo, debido a una línea todavía sin balanceo entre las estaciones, existe cuellos de botellas en el medio de esta generando un despilfarro de espera. El número de operarios en este caso siguen siendo los mismos, con una demanda que permanece estable y un takt time que continúa siendo de 120 segundos. El espacio ocupado en este caso se ha reducido hasta los 44 m² como muestra la Figura 5.36.

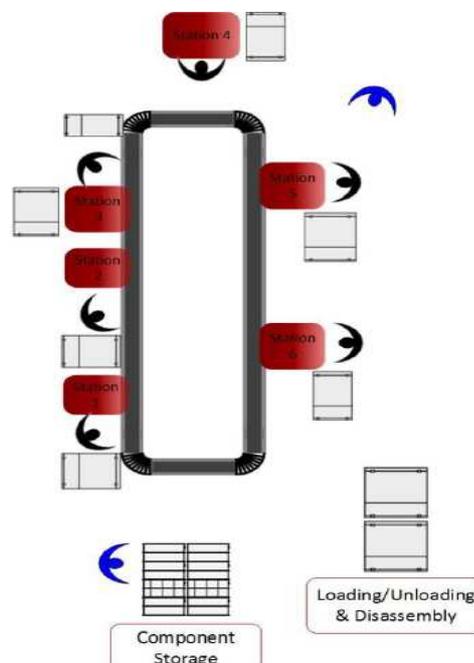


Figura 5.36: Situación intermedia línea de montaje (The Atlas Copco Group, 2014)

- **Ronda 3:** en este proceso productivo los cambios empiezan a hacerse patentes, mediante la eliminación del personal de logística y la reducción de estaciones de trabajo de 6 a 4. El control de calidad que había al final del proceso se ha eliminado, inculcando una forma de trabajar de hacerlo bien a la primera, siendo los responsables de calidad los propios operarios de las estaciones de trabajo. El transporte del material entre los puestos ya no se realiza de forma manual, sino mediante una cinta transportadora que permite un ritmo síncrono de la línea. Además, se ha producido el balanceo de línea, alisando la carga de trabajo y repartiéndose entre los diferentes puestos. Por otra parte, los operarios son surtidos con kits que contienen los

elementos necesarios en su estación de trabajo, eliminando todos los movimientos de búsqueda de material necesario o transporte. El takt time sigue permaneciendo constante, sin embargo, la demanda es satisfecha por primera vez. El área utilizada para esta tercera ronda es de 22 m², es decir, la tercera parte del área inicial como la Figura 5.37.

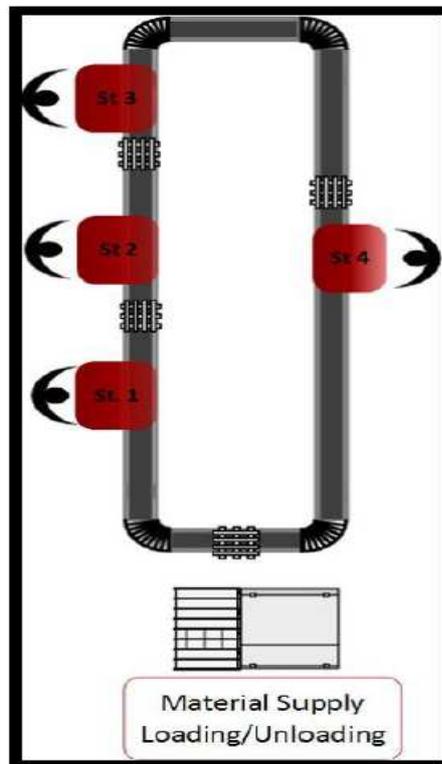


Figura 5.37: Situación final línea de montaje (The Atlas Copco Group, 2014)

5.3. LEAN FACTORY GROUP (VIETNAM)

- **Ubicación:** Ho Chi Minh City, Binh Duong, Vietnam.
- **Años de actividad:** 2 años
- **Colaboradores:**
 - Leonardo Group: grupo líder europeo en consultoría Lean y producción eficiente. Desde 1999, ofrece seminarios, talleres y consultoría de métodos Lean mediante el apoyo a empresas en 9 lenguas diferentes.
 - Vietnamese–German University: desde 2008, esta Universidad ejerce una colaboración entre la República Socialista de Vietnam y el Estado alemán de Hesse. Su objetivo es



construir una Universidad que una a las instituciones vietnamitas y alemanas en función del modelo de éxito alemán y los estándares académicos vietnamitas. Por tanto, su estrategia es importar los excelentes programas de estudio alemanes desde las áreas fuertes de ingeniería y personalizarlos según las necesidades de la educación vietnamita.

- **Socios:**

- DEG: inversora que ofrece financiación internacional a empresas privadas en aquellos países con mercados emergentes y en desarrollo.



En este caso, el proyecto fue financiado por DEG con fondos públicos del Ministerio para la Cooperación y Desarrollo Económico.

- ORGATEX: empresa que ofrece herramientas y soluciones visuales Lean para organizaciones productoras y de servicios que aplican los principios y procesos Lean.



- **Lean Factory Group:** el Grupo Leonardo es el artífice y director de este proyecto, aportando sus expertos en metodología Lean. En este caso, esta factoría de aprendizaje Lean no es la única del Grupo, sino que existen otras con el mismo modelo de negocio en todas ellas. Así, las factorías de aprendizaje se encuentran en (Leonardo Group, 2016):
 - Langenfeld (Alemania).
 - Urdorf (Suiza).
 - Buchanan, Michigan (EE.UU.).
 - Shanghai (China).
- **Objetivos:** dar apoyo a las empresas e instituciones del Estado para ser más productivas con los mismos recursos.
- **Público objetivo:** estudiantes de la Universidad, además de ingenieros y técnicos vietnamitas.
- **Características de las instalaciones** (Lean Factory Group, 2012-2016):
 - Superficie: 500 m² de factoría de aprendizaje.
 - Localización: en el campus de la Vietnamese-German University.
 - Aspectos técnicos: la línea de montaje constituye un proceso flexible y multimodal para producir diferentes productos. En este caso, incluye las actividades de ensamblaje, prefabricación, almacenamiento y logística, al igual que control de calidad. Su distribución en planta se encuentra en forma de U.

- Números de estaciones: en total existen 7 estaciones de trabajo iniciales en las que cada operario realiza una actividad concreta dentro del proceso productivo.
- Almacén: aparte de las estaciones de trabajo, existe un almacén contiguo a la célula de trabajo, del cual se recogen las piezas necesarias para el ensamblaje del producto.



Figura 5.38: Proceso de montaje Lean Factory Group (Lean Factory Group, 2012-2016)



Figura 5.39: Escuela Lean Factory Group (Lean Factory Group, 2012-2016)

- **Producto:** el ensamblaje en la línea de montaje se debe a una plataforma móvil con ruedas, característica base de un trolley estantería como la Figura 5.40. La base de la plataforma tiene dos modelos, en función de las características requeridas por el cliente, además de variar el color de las ruedas en:

- Rojas
- Blancas
- Verdes
- Azules
- Negras



- **Proceso productivo:** la línea de montaje se caracteriza por tener 7 estaciones de trabajo, realizándose en cada una de ellas las funciones específicas como en las Figuras 5.41, 5.42 y 5.43:

- Puesto 1: al operario de este puesto se le es entregado una tarjeta con el producto específico que se debe producir. Según la información de la tarjeta, el operario coge la base metálica que es requerida, y se monta en una bandeja para su fijación; sobre ella, el producto viajará a lo largo de todas las estaciones de trabajo. En esta primera estación, el operario coloca simplemente los soportes sobre los que se deberán montar las ruedas.
- Puesto 2: el encargado de este puesto fija el soporte de la primera rueda mediante tornillos, además de acoplar la rueda requerida y su posterior atornillamiento según las especificaciones de la tarjeta kanban.



Figura 5.41: Puestos 1 y 2 (Lean Factory Group, 2012-2016)

- Puesto 3, 4 y 5: los trabajadores de estos puestos realizan las mismas acciones que en el puesto anterior con la rueda correspondiente siguiendo el orden.



Figura 5.42: Puestos 3 y 4 (Lean Factory Group, 2012-2016)

- Puesto 6: la funcionalidad de este operario es valorar que las plataformas coinciden con los requerimientos de las tarjetas kanban que les acompañan, además de realizar el control de calidad y la instalación de una placa identificativa.
- Puesto 7: en el último puesto, el operario mete la base metálica en una caja de cartón, la cierra y la envía a través de los rodillos hacia el operario de logística.



Figura 5.43: Puestos 6 y 7 (Lean Factory Group, 2012-2016)

- **Cursos:** la forma de trabajar en esta factoría de aprendizaje es mediante exhibiciones de producción, donde las personas pueden ir a ver y participar, o mediante cursos específicos para los clientes. En este caso, los cursos y talleres que imparte la factoría de Vietnam son:
 - Conocimiento de Dirección: este taller de dirección trata sobre los principios y herramientas Lean, oportunidades que estas dan a las organizaciones y su impacto en las mismas. Adaptado de las características de la empresas. Duración: 2 días en casa del cliente.
 - Lean Básico: trata sobre los principios y las bases necesarias para su cálculo. Además, se inculcan los conocimientos para implantar procesos síncronos con el mínimo desperdicio, un modelo de producción mixto y sus ventajas. Incluye parte práctica, con un ejercicio de flujo continuo analizando los problemas existentes. Duración: 2 días.
 - Proyecto guía avanzado Lean: el objetivo del curso es la implementación de las estructuras lean mediante ejercicios prácticos, con varios ciclos de trabajo. Ofrece los métodos de cálculo necesarios para implantar una línea de montaje mixta, junto a intensos debates con experimentados formadores. Duración: 2 días.
 - Heijunka y EPEI: el objetivo de este taller es conseguir un proceso productivo nivelado y regular, en función de las fluctuaciones de la demanda del cliente, con óptimo material como Heijunka o Kanban. El taller tiene lugar en la empresa del cliente, donde los trabajadores aplican los principios Lean en el mismo proceso productivo. Los participantes aprenderán a calcular el EPEI (cada pieza, cada intervalo) y estructurar un tablero heijunka sin ayuda externa. Duración: 2 días.
 - 5S's: este taller se realiza en la casa del cliente, mediante básicas actividades que hacen incrementar la productividad inmediatamente, inspirar a la gente a unirse al cambio y cambiar los procesos. Duración: 2 días en casa del cliente.
 - Diseño y VSM: el objetivo es aprender a ver el flujo mediante la visualización de aquellas acciones que aportan valor añadido y aquellas que no desde las materias primas hasta que llega el producto al cliente. Mediante un seminario práctico, los trabajadores aprenderán a dibujar un VSM y crear un futuro mapa de valor bajo de desperdicios. Duración: 2 días.
 - Equipo de reducción de tiempo: maximizar la flexibilidad debido a la reducción de tiempos. Una vez terminado el taller, el operario será capaz de producir en pequeños lotes, mediante procesos rápidos y flexibles. La finalidad de este taller es enseñar a reducir el tiempo y el lead time, respondiendo de manera rápida y flexible a la demanda del mercado. Duración: 1 día.

5.4. LEAN LAB (NORUEGA)

- **Ubicación:** Raufoss, Noruega
- **Años de actividad:** 7 años.
- **Colaboradores:** esta escuela de aprendizaje Lean surge de la colaboración entre varias empresas de Raufoss y la Universidad de Gurgaon. Supone el primer centro de formación a gran escala de Noruega.
- **Filosofía y Objetivos:** enseñar la metodología Lean mediante talleres y seminarios adaptados a las necesidades de los clientes. En un principio surgió como formación para la industria automovilística, aunque posteriormente se han enfocado en otras empresas que quieren incrementar el valor de sus clientes tanto empresas productoras como de servicios. El objetivo es que los participantes apliquen la teoría en la práctica, mediante equipos multidisciplinares que aportan distintos puntos de vista según su formación a la mejora de procesos (Lean lab, 2013).
- **Producto:** el proceso productivo de esta actividad consiste en la mejora continua de la terminación de casas de madera a gran escala. En este caso, los participantes se dividen en grupos de cuatro personas, con una persona aparte que las abastece en la labor logística. Todos los miembros del grupo deben montar y desmontar cierto número de casas, en función de los requerimientos del cliente. Las características del producto y los elementos que deben poner son los representados en la Figura 5.43:
 - Parte lateral 1: dos ventanas con cuatro tornillos cada una.
 - Parte lateral 2: dos ventanas con cuatro tornillos cada una y una pieza rectangular en la parte baja con sus respectivos cuatro tornillos.
 - Parte frontal 1: está compuesto por una pieza que simula la puerta con cuatro tornillos y una pieza auxiliar que debe ponerse como picaporte de la misma. Además, dos ventanas con dimensiones más grandes que las anteriores con sus respectivos tornillos.
 - Parte frontal 2: en esta ubicación, existen dos ventanas y una puerta con cuatro tornillos cada pieza.
 - Chimenea: todas las casas llevan una chimenea de diferente color, en función de los requerimientos del cliente. Es esta pieza la que origina la variabilidad del proceso productivo, pudiendo elegir entre:
 - Blanco
 - Negro
 - Rojo
 - Gris



El proceso productivo tiene tres rondas, en las que posteriormente el grupo debate y analiza las posibles mejoras para generar un proceso productivo óptimo.



Figura 5.43: Producto Lean Lab Noruega (Lean Lab, 2013)

- **Cursos:** en total, el laboratorio Lean de Noruega ofrece tres cursos de diferente duración y con objetivos diversos. Por tanto, los cursos existentes son:
 - Taller Lean: este curso tiene una duración y tiene como objetivo la introducción a la filosofía y herramientas Lean, combinando la teoría con ejercicios prácticos en el simulador. El curso está destinado para aquellas empresas que están pensando iniciar su proceso de transformación hacia la filosofía Lean o ya están en proceso y desean fomentar el trabajo en equipo y entender la filosofía Lean. El precio por participante en este curso es de 800 €. El contenido del curso está compuesto por:
 - Introducción a Lean.
 - Sistema Pull.
 - Estandarización.
 - Equilibrado y suavizado.
 - Takt time.
 - Relaciones con proveedores y clientes.
 - Simulación práctica Lean: la duración de este curso es de tres días y está dirigido para aquellas empresas que independientemente del sector, tienen algo de experiencia en la filosofía Lean. Se empieza con un proceso productivo caracterizado por la producción en lotes en procesos separados, almacenamiento de piezas entre puestos, problemas de calidad, etc. Una vez analizado el flujo de valor, la empresa empieza a utilizar las herramientas Lean. El precio del curso es de 1325 €. El contenido del curso recoge:
 - Filosofía Lean. ¿Qué es y por qué se debería utilizar?.

- Análisis del flujo de valor.
 - Estandarización.
 - Cuadro de Mando.
 - Sistema Pull.
 - Suavizado y equilibrado.
 - Resolución de problemas mediante el ciclo PDCA.
 - Trabajo en equipo.
- Escuela Lean: existen dos modalidades de este curso. La primera modalidad es un curso seguido de cinco días de duración con un precio de 2450 €, o un curso de 3+3 días de 2650 €. El objetivo de este curso es formar a aquellos que dirigen negocios con filosofía Lean, como gestores o trabajadores que realizan el seguimiento de las mejoras, mediante una comprensión más profunda de dicha cultura a través de constantes desafíos, en una empresa de acogida que forma al alumno. La semana de formación termina con un examen escrito. El contenido del curso está compuesto por:
- Filosofía Lean y liderazgo.
 - Organización Lean.
 - Cuadro de Mando.
 - Lean y la calidad.
 - Suavizado y balanceo.
 - Sistema pull.
 - Takt time.
 - Estandarización.
 - Relaciones con proveedores y clientes.

5.5. LEAN LEARNING FACTORY. UNIVERSIDAD DE SPLIT (CROACIA)

- **Ubicación:** Split, Croacia.
- **Años de actividad:** 7 años
- **Colaboradores:** la factoría de aprendizaje se encuentra ubicada en la Facultad de Ingeniería eléctrica, mecánica y arquitectura naval (FESB). Como tal, no tiene colaboradores aunque participa activamente en diferentes proyectos con la red de innovación de factorías de aprendizaje (NIL) y el proyecto INSENT para desarrollar un modelo distintivo de las empresas croatas (Mladineo M, nd).
- **Visión:** convertir la escuela Lean en un lugar donde las empresas, las universidades y el gobierno compartan sus necesidades y expectativas, trabajando en proyectos colaborativos.



- **Misión:** llevar el mundo real a las clases mediante una experiencia práctica para los estudiantes, ayudar a compartir las últimas investigaciones a la industria mediante proyectos colaborativos y ayudar al gobierno a identificar las necesidades de las empresas. Establecer un laboratorio donde se pueda investigar, desarrollar y transmitir conocimiento.
- **Características:**
 - Organización: Universidad
 - Tipo de uso: investigación, educación, entrenamiento, desarrollo y transmisión de conocimiento.
 - Grupo objetivo: ingenieros, estudiantes, personal operativo y especialistas lean.
 - Proceso productivo: ensamblaje y logística.
 - Contenido del módulo: mejora de procesos, flujo de material, optimización de tecnología, control de calidad y transferencia lean.
 - Duración de los módulos: entre 2 y 5 horas.
- **Características técnicas:**
 - Superficie de 114 m².
 - Personal: 2 profesores, 2 asistentes de investigación y 1 técnico.
 - Layout: representado en la Figura 5.44.

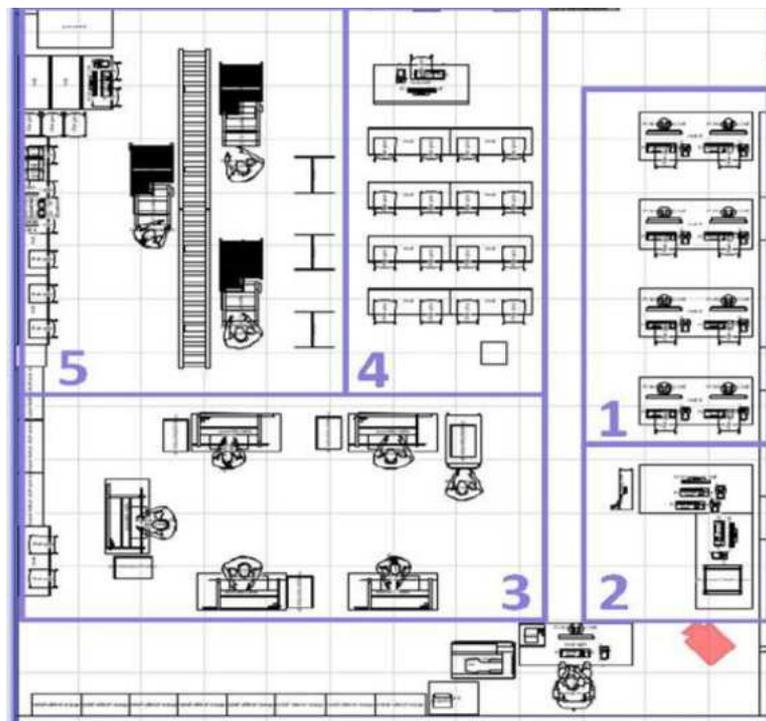


Figura 5.44: Layout Escuela Lean Universidad de Split (Mladineo M, nd)

1. Servidor con 8 ordenadores.
 2. Escáner e Impresora 3D
 3. Línea de producción y ensamblaje para “Karet”.
 4. Clase con los métodos Lean.
 5. Línea de ensamblaje de caja de cambios.
- **Productos:** la actual factoría de aprendizaje de la Universidad de Split utiliza diferentes modos de enseñar la filosofía Lean, ya sea mediante juegos o líneas de ensamblaje de productos reales. Entre ellos podemos encontrar:
 - Juego de la cerveza: tiene como objetivo mostrar a los alumnos cómo se comporta una cadena de suministro, mediante herramientas de dirección de operaciones, aprendiendo mediante la práctica y el tablero kanban para planificar y reaccionar como refleja la Figura 5.45.

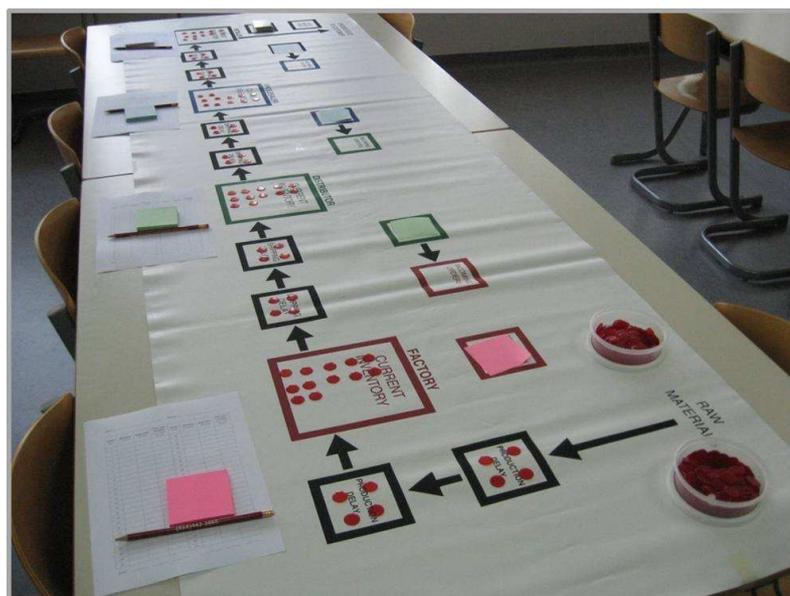


Figura 5.45: Juego de la cerveza Universidad de Split (Veza I, 2016)

- Flujo de coches LEGO: tiene la finalidad de enseñar a los alumnos métodos de eficiencia en el almacenaje y los sistemas logísticos, además del balanceo de carga de trabajo en las diferentes estaciones de montaje para diferentes escenarios y conocimiento del flujo como en las Figuras 5.46 y 5.47. Los elementos utilizados son lotes de coches o camiones de juguete.

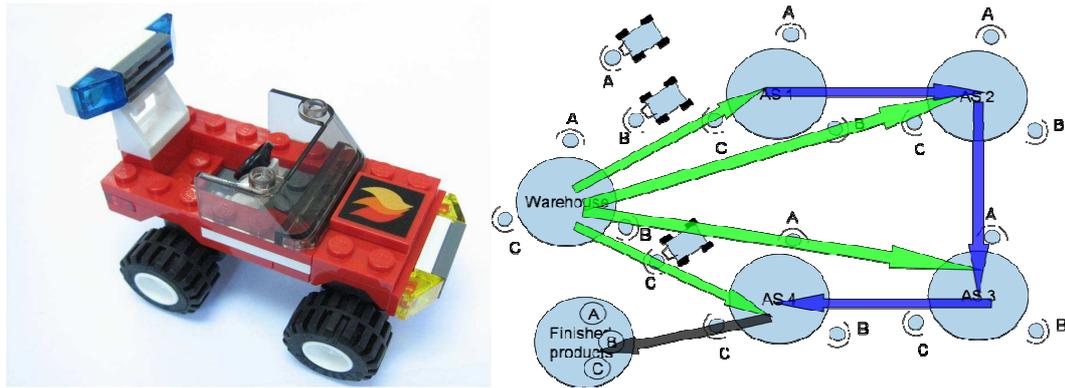


Figura 5.46: Camión Lego U. de Split (Veza I, 2016) Figura 5.47: Flujo Camión Lego U. de Split (Veza I, 2016)

- Ensamblaje de caja de cambios: cajas de cambio pertenecientes al modelo Fiat 128 son utilizadas para mostrar cómo un producto real es montado en una línea de ensamblaje como la Figura 5.48 y las numerosas herramientas y métodos de mejora y resolución de problemas de ensamblaje, almacenamiento y logística. Debido a la complejidad de su montaje, sólo una parte de estas es utilizada para el proceso de aprendizaje.



Figura 5.48: Proceso de Montaje Universidad de Split (Veza I, 2016)

- “Karet”: es el producto estrella y la gran apuesta de esta factoría de aprendizaje para enseñar a los alumnos la metodología Lean. Este juguete de la Figura 5.49 es utilizado por los niños croatas para descender colinas a gran velocidad, que ofrece múltiples variantes para realizar un proceso productivo multi-producto.



Figura 5.49: "Karet" producto Universidad de Split (Veza I, 2016).

Este producto ofrece una gran variedad de características posibles, como pueden ser las mostradas en la Figura 5.50:

- Ruedas de rodamiento, ruedas para patines en línea o ruedas de cajas de transporte.
- Sistema de frenado o no.
- Chasis extensible para el apoyo de piernas o chasis fijo.
- Respaldo con motor eléctrico para conducir colina arriba o respaldo sin motor eléctrico.
- Partes de diferentes materiales para conseguir diferentes pesos.



Figura 5.50: Tipos "Karet" Universidad de Split (Veza I, 2016)

Su línea de producción y ensamblaje se caracteriza por lugares de trabajo móviles con mesas de trabajo flexibles y sistemas de almacenamiento modo supermercado, con una situación inicial de producción en lotes. El objetivo es conseguir:

- Producción altamente flexible de diferentes productos.
- Línea de producción en lotes equilibrada para cada tipo de producto.
- Sistema simple de planificación y control.
- Una configuración y tiempo de cambio reducido, en comparación con las estaciones de ensamblaje universal

- Proceso y lead time reducido debido a la optimización de los procesos productivos, logísticos y de almacenaje.

5.6. LEAN FACTORY SCHOOL (ITALIA)

- **Ubicación:** Bolonia, Italia.
- **Años de actividad:** 9 años
- **Colaboradores:**



- **Bonfiglioli Consulting:** consultoría que desde 1973 ofrece soluciones funcionales a las empresas para el crecimiento del negocio. Con sede en Italia, permite a los clientes conocer un amplio know-how centrado en la innovación y en enfoques prácticos. Uno de sus lemas es “aprender haciendo”, aplicando el pensamiento Lean Thinking en la escuela Lean que reproduce la filosofía de la empresa.
- **Easysae:** empresa italiana que produce mesas de trabajo ergonómicas y líneas de ensamblaje manuales, proveyendo soluciones a medida con el objetivo de mejorar la seguridad, eficiencia y calidad de sus clientes, todo ello en línea con la filosofía Lean.



- **Objetivos** (Lean Factory School, 2016):
 - Comprensión de los conceptos Lean mediante la práctica.
 - Trabajo en equipos multifuncionales para lograr resultados.
 - Experiencia de mejora continua en el campo de trabajo.
 - Responder a las nuevas necesidades de las empresas.
- **Producto:** el producto que utiliza la factoría de aprendizaje es un motor eléctrico como el de la Figura 5.51 que debe montarse en todos los cursos que se imparte, independientemente de la modalidad de los mismos.

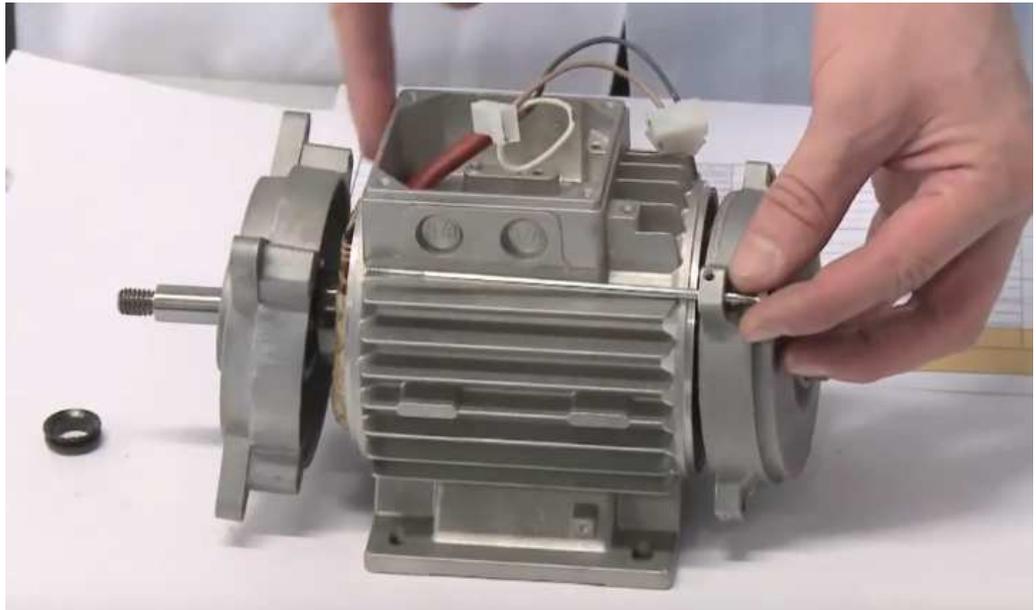


Figura 5.51: Motor eléctrico (Lean School Factory, 2016)

- **Cursos:**

- Lean Básico: tiene una duración de dos días con el objetivo de formar sobre los principios y herramientas Lean. La modalidad de enseñanza es práctica con sólo el 20% del tiempo impartido en clases teóricas. El desglose de actividades que se realizan son:
 - Sesión de entrenamiento para conocer los objetivos y el conocimiento técnico del producto, además de adquirir destreza en el montaje y desmontaje del mismo.
 - 1ª ronda de producción: la modalidad de montaje es en estaciones separadas, donde un solo operario monta la totalidad del producto como en la Figura 5.52.



Figura 5.52: Situación inicial proceso de montaje (Lean School Factory, 2016)

- Tras esta primera sesión de montaje, se realiza un trabajo en equipo donde se proponen mejoras.
 - 2ª ronda de producción: la línea de montaje se realiza en línea, constituida por 5 estaciones de trabajo, en la que cada operario monta diferentes elementos del motor eléctrico.
 - Se valoran los resultados a través de KPI's y se proponen nuevas líneas de mejora.
 - 3ª ronda de producción: el proceso de montaje se realiza en forma de "U", reduciéndose el número de trabajadores de línea de 5 a 3.
- Lean Avanzado: en un curso de dos días de duración, tiene como objetivo identificar los residuos que se producen mediante el mapa de valor, establecer mejoras a través del estudio de indicadores y establecer las técnicas de sincronización, kitting y kanban. El procedimiento que sigue este curso es el siguiente:
- Al igual que el curso anterior, los trabajadores estudian el producto y cogen habilidad para su montaje.
 - 1ª ronda de producción: la línea de montaje parte de una situación en línea con 5 operarios de cadena, donde se observan los problemas que surgen en la misma como ausencia de calidad o falta de reposicionamiento.
 - Sesión de formación teórica y propuesta de mejoras favorecida por la experiencia previa, evaluando la productividad y existencias.
 - 2ª ronda de producción: el proceso productivo actúa de forma síncrona favorecido por una línea de montaje balanceada en la carga de trabajo de los operarios como la de la Figura 5.53.

- Propuesta de mejora y 3ª ronda de producción con todas las mejoras hechas en su máximo esplendor.



Figura 5.53: Flujo continuo (Lean Factory School, 2016)

- 5S's: la duración de este curso es de 1 día, en el que la simulación realizada parte de la situación inicial de producción tradicional, donde un solo operario monta todo el producto en una estación de trabajo con problemas de orden y limpieza en los puestos. Tras una breve sesión teórica, se comentan los resultados obtenidos en la primera prueba y se aplican las herramientas 5S en el puesto de trabajo. Un ejemplo de la aplicación de este curso se encuentra reflejado en los indicadores de comportamiento de la Figura 5.54:

KPI	Run 1	Run 2	Δ
Volumi (numero di pezzi prodotti benestarati)	3	10	+233%
Tempo NVA % (per spostamenti, picking e ricerca attrezzi)	22,6%	6,4%	-71%
Spostamenti (I contapassi/volumi)	310 m 103,3m/pz	130 m 13m/pz	-58% -87%
B1C % (pezzi non rifavorati/ volumi totali)	(5) 37,5%	(1) 83%	+122%
Spazio Occupato (superficie in m ²)	60m ²	15m ²	-75%

Figura 5.54: Tabla Resultados Técnica 5S (Lean Factory School, 2016)

- **VSM**: con una duración de un día, los asistentes realizan un mapa de flujo de valor de un proceso, lo analizan y discuten los problemas encontrados, para posteriormente evaluar las posibilidades de mejora y aplicar las acciones necesarias concluyendo con un mapa de valor futuro.
- **Curso de Montaje**: este curso es un mix del curso Lean básico, Lean avanzado y VSM, con un total de 5 jornadas en las que se realizan paso a paso todas las actividades desde un comienzo básico de Lean hasta un final donde se tiene una perspectiva global de todo el proceso.

5.7. ESCUELA LEAN RENAULT CONSULTING (ESPAÑA)

- **Ubicación:** Valladolid, España.
- **Años de actividad:** 2 años
- **Colaboradores:**
 - **Renault Consulting:** una de las marcas de la conocida multinacional Renault desde 2008. Realiza servicios a sus clientes con el objetivo de ofrecer soluciones rápidas y sostenibles, en una garantía de confidencialidad absoluta y compromiso con sus clientes, mediante la innovación y un método característico: “I do, we do, you do”.
 
 - **Universidad de Valladolid:** una de las Universidades españolas más importantes, considerada incluso la primera Universidad de España, actualmente tiene una oferta académica de 77 titulaciones diferentes. En esta colaboración, es la Escuela de Ingenieros Industriales la que toma protagonismo, ubicando dicha escuela Lean en una de sus sedes.
 
- **Escuela Lean en el mundo:** actualmente Renault Consulting tiene diversas escuelas de aprendizaje Lean ubicadas en Markina (España) y Flins (Francia). En las tres factorías Lean, el proceso productivo es prácticamente idéntico, variando únicamente las características del coche en la escuela francesa (Escuela Lean, 2014).
- **Objetivos:**
 - Poner un útil pedagógico innovador, real y eficaz para obtener resultados a disposición de responsables y agentes del cambio.
 - Otorgar las competencias Lean necesarias para ayudar a las empresas en su transformación hacia la excelencia operativa.
 - Mejorar y reforzar la enseñanza práctica de la metodología Lean.
- **Características:**
 - **Superficie:** 280 m².
 - **Layout:** representado en la Figura 5.55.

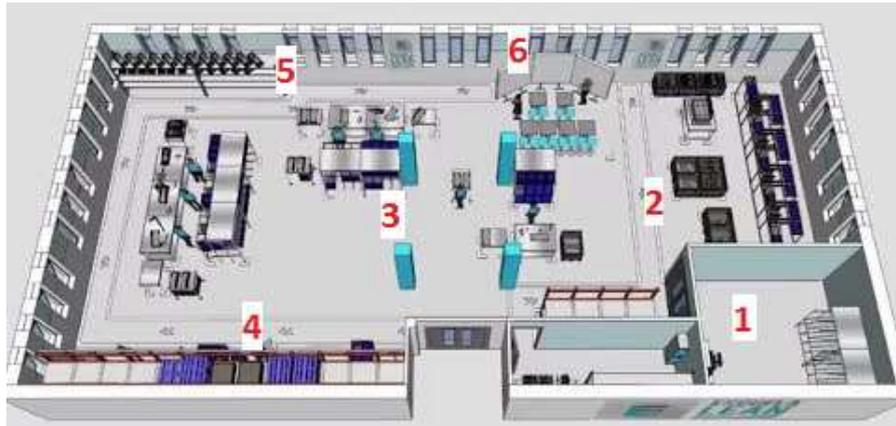


Figura 5.55: Layout Escuela Lean Renault Consulting (Escuela Lean, 2014)

- Zona 1: almacén utilizado para guardar distinto material, aparte de utilizarse como oficina.
 - Zona 2: constituye la parte más versátil de la distribución en planta, ya que se utiliza como zona para realizar las pocas clases teóricas existentes, además de albergar una primera parte del proceso productivo de uno de los productos.
 - Zona 3: constituye la parte central del proceso productivo de uno de los productos, y donde más cambios se realizan para ejercer una optimización de la línea de montaje.
 - Zona 4: alberga el almacén de las distintas piezas que componen los dos productos característicos de esta escuela Lean.
 - Zona 5: almacén de producto acabado de uno de los procesos productivos.
 - Zona 6: espacio que alberga la producción del segundo producto de esta factoría de aprendizaje Lean.
- **Productos:** la escuela Lean tiene como metodología de enseñanza dos productos con los que poder mejorar sus procesos productivos:
 - Coche: este producto a escala está diseñado para generarse en diferentes estaciones de trabajo a través de un proceso productivo. Según sus características, se pueden realizar múltiples variables en función de los requerimientos del cliente, un total de 8 combinaciones que modifican su producción. Las variables que pueden recogerse son:
 - Ruedas:
 - Normal
 - Todoterreno

Afecta también a la producción de la base del coche, variando las medidas de referencia de los huecos donde deben ser introducidas.

- Modelo:
 - Pick up
 - Monovolumen

Esta variable es la que más afecta a la producción, puesto que un gran número de elementos dependen de esta. Según se fabrique un modelo u otro, los parachoques se ven afectados al utilizarse diferentes medidas para cada uno de ellos; además, el número de puertas que lleva el monovolumen, un total de 7 (3 laterales a cada lado y una trasera) se diferencia de la pick up que sólo tiene 4 (2 laterales a cada lado), los techos también sufren cambios al igual que los parachoques traseros y el tubo de escape, diferente en sus medidas según el modelo como los mostrados en las Figuras 5.56 y 5.57.

- Color
 - Oscuro: verde
 - Claro: azul



Figura 5.56: Pick up (Escuela Lean, 2014)

Figura 5.57: Monovolumen (Escuela Lean, 2014)

- Solectrón: este elemento se caracteriza por tener diferentes dimensiones y una estructura totalmente divergente respecto al coche. En este caso, el producto está formado por una base de metal, sobre la que se deben ir montando un total de 4 capas. En cada capa, existen 4 piezas distinguidas por las letras A,B,C y D; caracterizadas cada una de ellas por su enganche a la pieza contigua. Cada capa es de un color diferente, y por tanto, las 4 piezas que forman la misma deben coincidir en color. La segunda y cuarta capa se caracterizan por tener un hueco en su interior, que debe ser rellenado con un elemento de la misma forma. Todas ellas, deben atornillarse a la capa inferior o a la base si se corresponde con la primera capa, y la pieza interior además por la parte exterior del solectrón como en la Figura 5.58 y 5.59.



Figura 5.58: Base y capa de solectrón despiezado (Escuela Lean, 2014)



Figura 5.59: Solectrón montado (Escuela Lean, 2014)

Al contrario que ocurre con el coche, donde sólo 8 variables son posibles, en el solectrón son un total de 256. Según el color, el solectrón puede ser:

- Naranja
 - Azul
 - Verde
 - Amarillo
 - Rosa
 - Marrón
 - Azul claro
 - Morado
- **Procesos Productivos:** ambos productos tienen distintas líneas de montaje, en función de las características y la finalidad de la formación. En ambos casos, los

procesos de montaje divergen entre ellos, al igual que las mejoras que pueden ser realizadas:

- Proceso productivo 1: es el correspondiente al montaje del coche. Se parte de una situación inicial donde existen un total de 6 puestos, donde realizándose una actividad diferente en cada uno de ellos, y un proceso de fabricación previo para los parachoques y bases del coche como muestra la Figura 5.60.

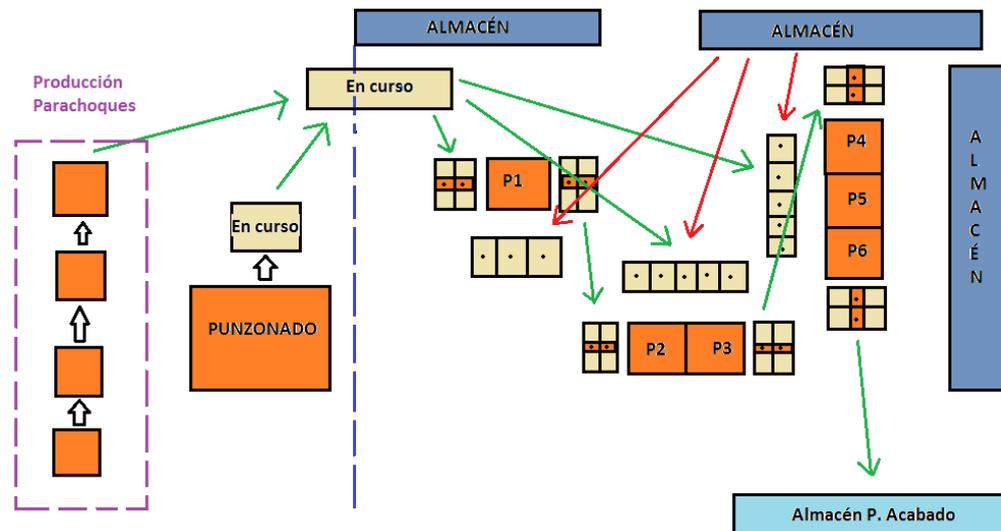


Figura 5.60: Proceso Productivo coche Escuela Lean

Se parte de una situación inicial donde las estaciones de trabajo se encuentran separadas ciertos metros, teniendo que realizarse un transporte entre puesto y puesto. Para que ese transporte se realice, tiene que haber en un primer proceso productivo un lote de 4 coches, finalizando con un flujo continuo de un solo elemento una vez optimizada la línea de montaje tras varias producciones. No sólo se eliminan los despilfarros existentes, sino que la distribución en planta varía para mejorar el proceso, reduciéndose el número de estaciones de trabajo y trabajadores.

Además, el picking se modifica hacia un kitting, donde los elementos necesarios para el operario no deben ser elegidos por este, sino que le llegan a su puesto de trabajo según el modelo que debe ser montado, y el sistema característico de la producción en masa como es el push, se convierte en un sistema pull mediante tarjetas kanban.

- Proceso productivo 2: la situación inicial del proceso productivo del solectrón se caracteriza por tener un total de 8 puestos de trabajo, un mecanizado previo a todo este proceso para generar las piezas, y un proceso intermedio de lavado. En los primeros 4 puestos, cada operario monta una capa del solectrón, siendo en los 4 puestos siguientes la tarea contraria de desmontaje. En las posiciones intermedias entre cada puesto, existen 3 cajas con 3 huecos para cada solectrón, de manera que para mover el producto de un puesto a otro, deben completarse todas las cajas. La secuencia de fabricación son lotes de 4, 3 y 2 sucesivamente, que deben completar las

cajas anteriormente descritas. Una vez que las capas se han desmontado, las piezas deben ser recogidas por logística, que las envía al proceso de lavado, para volver a ser montadas en el siguiente proceso productivo reflejado en la Figura 5.61.

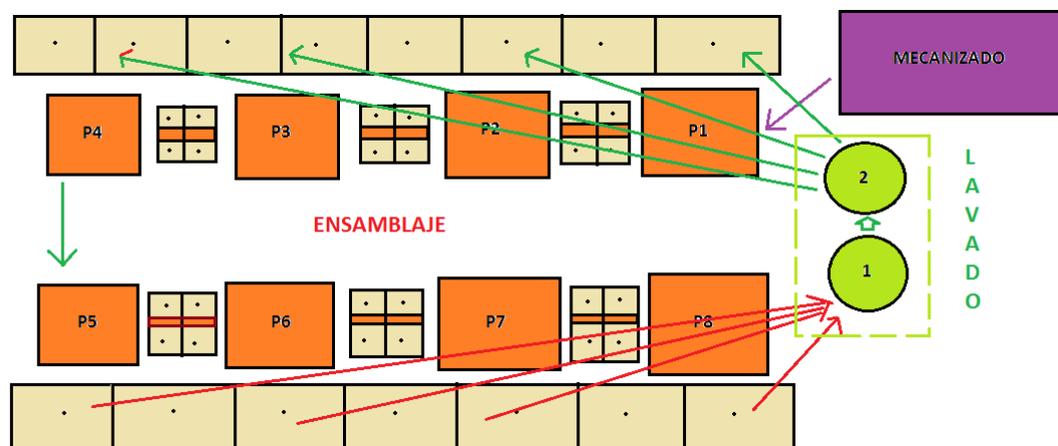


Figura 5.61: Proceso productivo Solectrón Escuela Lean

Una vez optimizada la línea de montaje, el balanceo de los puestos, un flujo continuo y síncrono, además de abastecimiento a los puestos mediante kitting, permite reducir el tiempo de montaje del solectrón considerablemente.

- **Cursos:** la Escuela Lean tiene una variada oferta formativa en función de las necesidades de sus clientes. Se diferencian en dos aspectos, una serie de módulos o cursos de dos días de duración, que buscan la especialización, y entrenamientos con mayor duración de días.
 - Cursos especializados:
 - Estandarización de las operaciones. Genba Kanri.
 - Metodología de Resolución de Problemas (A3-QCStory)
 - Mantenimiento Productivo Total (TPM). Dominio de Medios de Producción.
 - Justo a Tiempo Avanzado (JIT). Dominio de Flujos de Producción.
 - JIT Síncrono. Sistemas de aprovisionamiento sincronizado.
 - Cursos completos:
 - Gold Training: 220 horas de duración. Los módulos por los que está compuesto:
 - Introducción.
 - Hoshin Kanri.
 - Genba Kanri.
 - Quality Control I.

- Quality Control II.
- Dominio Medios de Producción.
- Dominio Flujos (JIT) – I
- Dominio Flujos (JIT) – II
- Transformación Lean.
- Team Leaders Training: 9 días de duración. Formado por los siguientes módulos:
 - Introducción.
 - Genba Kanri.
 - Dominio Medios de Producción/ Justo a Tiempo.
- JAT Advanced: formación de 4 días de duración. Módulos que se enseñan:
 - Justo a Tiempo (JAT) piezas con baja diversidad.
 - Justo a Tiempo (JAT) piezas con gran diversidad.

5.8. Elementos comunes vs elementos diferenciales

Una vez descritas las escuelas lean más importantes, conviene realizar un análisis para comparar todas ellas y sacar conclusiones sobre sus características, qué elementos tienen en común y cuáles diferentes. A pesar de que todas las Escuelas Lean divergen entre ellas por el modelo de negocio, por su producto o por el país en el que se encuentran, tienen bastantes elementos comunes entre ellas.

En cuanto a las diferencias, se puede encontrar que de las 7 escuelas Lean descritas, 4 tienen productos reales para su formación, como motores o juguetes. Por el contrario, las otras 3 restantes son productos a escala como casas, templos o coches, que sirven para plasmar igualmente la metodología Lean pero añadiéndole un enfoque más virtual.

Además, existe una diferencia en el número de productos para la formación y estudio. Es verdad que todas las escuelas tienen al menos un producto ya sea real o a escala, pero algunas factorías de formación invierten en otros productos para variar su oferta y enfocar su formación a uno u otro según los objetivos. Sólo dos escuelas Lean tienen varios productos, y las dos tienen en común que se realiza su formación en Universidades, como son la de Split en Croacia y la de Valladolid en España.

Asimismo, la superficie que se tiene para albergar las Escuelas Lean diverge de una a otra considerablemente, siendo la menor de estas de 114 m² frente a los 500 m² de la más amplia. No obstante, la disponibilidad de espacio no es un problema si se quiere formar en Lean ya que influye más cómo reducir espacio con pocos recursos que tener un espacio grande donde realizar muchas actividades.

También, uno de los elementos diferenciales más importantes es que organizaciones o instituciones intervienen y gestionan las Escuelas Lean. El elemento

común son consultoras con varias Escuelas Lean repartidas por el Mundo, que realizan colaboraciones con las Universidades locales donde se ubican estas factorías. Sin embargo, en varias de ellas las colaboraciones se separan, y son las Universidades por sí solas o las consultoras las que albergan y gestionan la Escuela por sí mismas. No obstante, todas ellas tienen elementos comunes como la participación de socios en la donación de material o la financiación para llevarlas a cabo.

Por el contrario, pese a la diferencia existente en su gestión, todas ellas tienen en común que las Escuelas son un modelo de negocio con el que ganar dinero. Todas ellas tienen una finalidad, como es la de dar formación e inculcar la filosofía Lean a gran número de personas ya sean estudiantes o personal de empresas, sin embargo, su existencia no sería posible si no reporta un beneficio económico. Así pues, pese a que su público objetivo es variado y sus principios son los de formar a personas, la finalidad principal es la de ganar dinero para poder continuar con dicha actividad.

Uno de los elementos comunes más relevantes es que en todas las escuelas Lean la formación que se realiza es casi en su totalidad práctica. Los cursos tienen una duración mínima de 2 días, variando en el enfoque que se le da a cada tipo según las técnicas Lean que se quieren enseñar; en la gran mayoría de escuelas existen cursos completos de varios días donde se enseñan diferentes herramientas Lean y cursos de especialización de las diferentes técnicas.

En su formación, todas ellas se caracterizan por partir de una situación inicial donde existe una línea de producción tradicional, con varias estaciones de trabajo (en general 6) donde las herramientas Lean optimizan el proceso productivo y se finaliza con una producción en forma de U en la mayoría de ellas tras haber pasado por un estado intermedio en línea. Es decir, la formación y sus objetivos son comunes a todas ellas, partiendo de un escenario tradicional y finalizando con una organización Lean. La mayoría de las escuelas tienen tres rondas de producción, realizándose la formación teórica entre estas.

Otro de los elementos comunes es la variabilidad que tienen los productos destinados a la formación, ya que la finalidad de Lean es acabar produciendo según los requerimientos del cliente. Por tanto, los productos divergen en función de los colores en la mayoría de las veces, aunque pueden también añadirse o eliminarse piezas auxiliares.

Pese a que la filosofía Lean hace tiempo que se implantó en Toyota, su expansión sigue un ritmo constante aunque no suficiente para que todo el mundo la conozca. Así pues, las factorías de aprendizaje tienen todas ellas una vida menor a 10 años, variando su actividad desde los 2 años hasta los 9, caracterizándose por su carácter moderno y adaptado a las exigencias actuales del mercado.

6. Estudio económico

Este proyecto tiene como objetivo la investigación del concepto “Lean Learning Factories” o Escuelas de formación Lean en todo el mundo, qué relevancia tiene y el conocimiento de las diferentes Escuelas Lean que actúan en el mundo presente. Por consiguiente, este proyecto no va a tener una rentabilidad económica en cuanto a su aplicación, pero sí en cuanto a los conocimientos adquiridos.

La particularidad del mismo no genera unos ingresos, pero sí tiene estipulados unos costes influenciados por el tiempo dedicado a esta actividad, además del material utilizado para dicha labor. En este caso, los costes están imputados a la persona que dedica su tiempo a la elaboración del proyecto, materiales consumibles y mobiliario utilizado, además de los gastos generados por la realización de tales actividades.

La elaboración de este trabajo se ha realizado por un equipo de proyecto compuesto por el Gerente de proyecto, un técnico financiero, un técnico de proyectos y un auxiliar administrativo. La implicación de cada una de estas personas ha sido diferente, en función de los cargos que desempeñan dentro de la empresa.

6.1. Personal interviniente en el proyecto

Gerente de Proyectos: esta persona tiene la misión de gestionar varios proyectos a la vez dentro de la empresa. En este caso, las funciones que tiene que realizar dentro de un proyecto es la gestión del mismo, establecimiento de objetivos y asignación de tareas para su consecución, análisis y evaluación de plazos y tareas, aprobación de presupuestos y evaluación del cumplimiento de resultados y objetivos. Esta persona es Licenciada en Ingeniería de Organización Industrial y tiene 12 años de experiencia en gestión de proyectos.

Técnico Financiero: la labor de esta persona es gestionar los presupuestos de determinados proyectos. Su labor, al igual que la del Gerente de Proyecto, es simultánea a varios proyectos a la vez, y su función es planificar y asignar gastos a las partidas que surgen, además de asegurarse del cumplimiento del presupuesto asignado. Dentro de la empresa, tiene una experiencia de 4 años gestionando proyectos con presupuestos de tamaño medio y es Licenciada en Economía.

Técnico de Proyectos: esta persona tiene 2 años de experiencia en la empresa y es Graduada en Comercio, realizando diversos proyectos de tamaño pequeño en este tiempo. Sus funciones son exclusivas a un determinado proyecto, que tiene como tareas la búsqueda de información y su posterior análisis. En función del presupuesto asignado, debe ser capaz de cumplir con los objetivos establecidos y obtener los resultados esperados.

Auxiliar Administrativo: con 7 años en la empresa redactando proyectos y una Formación Profesional de Secretariado, las tareas de esta persona es la redacción de la información que el técnico de proyectos le entrega, para plasmar dichas ideas en un documento a papel con el formato y las estipulaciones requeridas.

6.2. Fases del proyecto

En este apartado se describen cada una de las actividades que se han desempeñado en las fases que componen el proyecto. En total, el número de fases son 5, que responden a lo siguiente:

1. **Elección del tema:** el encargado de esta parte es el Gerente de Proyectos, que elige de los diferentes proyectos aquel que le resulta más interesante en cuanto a aportación económica o de conocimiento. Además, debe establecer junto con el técnico financiero la cantidad de dinero destinada a tal finalidad, y desglosarla en función de las partidas necesarias. Asimismo, se deben instaurar los plazos destinados a cada fase del proyecto.
2. **Investigación:** este tramo del proyecto comprende todo el tiempo dedicado a la búsqueda de información frente a un ordenador. El procedimiento seguido se ha efectuado a través de Internet el 100% del tiempo, sin embargo, esta actividad se puede desglosar en búsqueda activa de información, lectura de artículos y documentación, visión de vídeos e imágenes, además de escribir correos a personas de interés.
3. **Recopilación de información:** toda esta información ha sido evaluada una por una, dando lugar a más información a medida que se avanzaba. La recopilación de información se distingue por su dependencia con la actividad previa, al solaparse una con otra. Recopilar información supone generar nuevas vías de investigación a medida que se avanza.
4. **Análisis de información:** una vez recopilada y clasificada toda la información, comienza la labor de volver a leer a conciencia toda la información para seleccionar aquella que resulta más relevante para el posterior desarrollo del proyecto. Junto con la primera fase del proyecto, la parte analítica absorbe la mayor parte del tiempo por su dificultad a la hora de escoger esa información que aporte valor al trabajo. Las fases de investigación, recopilación y análisis de la información han sido llevadas a cabo por el técnico de proyectos.
5. **Desarrollo del proyecto:** el broche final a todo un conjunto de fases, que supone la redacción del trabajo, su posterior revisión y corrección, además del establecimiento del formato estipulado. En este caso, la última fase tiene dependencia con las demás, ya que la falta de comprensión en un determinado ámbito a la hora de escribir supone volver a buscar y recopilar información, analizarla y escribirla; por consiguiente, la comunicación entre la auxiliar administrativo y el técnico de proyectos debe ser constante. Es la fase más importante porque se plasma en unas pocas hojas todo el trabajo de largas horas de dedicación de lectura y clasificación de datos e información. La última fase depende en gran medida de las demás, ya que su facilidad para la redacción se verá influida por un buen trabajo previo.

Así pues, las distintas actividades llevadas a cabo se plasman en la Tabla 6.4, representadas mediante horas y número de días empleados para las mismas:

FECHA	RAZÓN	Nº horas/día	Nº días totales	Nº Total Horas
01/04/16	Búsqueda información TFM	6	21	126
29/04/16				
30/04/16	Búsqueda información TFM	3	24	72
29/07/16				
02/08/16	Análisis de información encontrada	10	13	130
14/08/16				
15/08/16	Redacción TFM	10	30	300
13/09/16				

Tabla 6.4: Actividades relevantes proceso desarrollo TFM

Como se puede observar, un gran número de días y horas fueron empleadas en la redacción del TFM realizado por la auxiliar administrativo, posteriormente la búsqueda de información y por último el análisis de la información encontrada. Representado en la Tabla 6.5, los días efectivos empleados en dichas actividades fueron los siguientes:

RAZÓN	Nº días
Días desde comienzo de actividad	163
- Días de vacaciones u ocio	- 14
- Días realizando otros proyectos	- 61
Días efectivos de TFM	88
+ Días búsqueda de información	+ 45
+ Días análisis de información	+ 13
+ Días redacción TFM	+ 30

Tabla 6.5: Porcentajes dedicación días a actividades

Si nos centramos en desglosar el número de horas efectivas por actividad dentro del proyecto y su porcentaje sobre el total, podremos obtener el peso que tienen estas actividades dentro del total del proyecto. En función del número de horas dedicadas, los porcentajes obtenidos han sido los representados en la Tabla 6.6:

RAZÓN	Nº horas	% sobre total
Búsqueda de información TFM	198	31,53%
Análisis de información encontrada	130	20,70%
Redacción TFM	300	47,77%
Nº total de horas efectivas	628	100%

Tabla 6.6: Porcentajes dedicación horas a actividades

Como se puede observar, la redacción del proyecto es la actividad que tiene más peso en el proyecto por la dificultad que entraña mostrar y expresar toda la información recogida para que sea de utilidad, cumpliendo una serie de requisitos formales. En segundo lugar es la tarea de búsqueda de información, lo que supone investigar por Internet y recabar información de personas responsables de cierta información necesaria. En último lugar, el análisis de información ha sido la actividad que menos horas ha necesitado, pero igualmente importante por la capacidad de síntesis y selección necesaria para centrarse en lo realmente importante y que añade valor al proyecto.

6.3. Costes de Personal

Según un estudio de Page Personnel, los sueldos imputados a las distintas personas que intervienen en el proyecto son los reflejados en la Tabla 6.7:

RAZÓN	Gerente de Proyecto	Técnico Financiero	Técnico de Proyectos	Auxiliar Administrativo
Sueldo bruto	42.000 €	35.000 €	24.000 €	18.000 €
- Cotización Contingencias Comunes (4,7%)	- 565,6 €	- 565,6 €	- 565,6 €	565,6 €
- Cotización Formación Profesional (1,55%)	- 186,53 €	- 186,53 €	- 186,53 €	- 186,53 €
- Cotización Desempleo (0,1%)	- 12,03 €	- 12,03 €	- 12,03 €	- 12,03 €
- IRPF (28%)	- 11.760 €	- 9.800 €	- 6.720 €	- 5.040 €
TOTAL A PERCIBIR (AÑO)	29.475,84 €	24.435,84 €	16.515,84 €	12.195,84 €
TOTAL A PERCIBIR (MES)	2105,42 €	1745,42 €	1.179,7 €	871,13 €
TOTAL A PERCIBIR (HORA)	13,16 €	10,91 €	7,37 €	5,45 €

Tabla 6.7: Desglose Sueldos Personas del Proyecto

Para el cálculo de la base sobre la que aplicar los porcentajes, se ha establecido una media entre la base del mayor sueldo y la del menor, estableciéndose para todas las personas participantes del proyecto una cantidad de 12.034 €. Del mismo modo, el porcentaje de deducción del IRPF se ha establecido del mismo modo, contemplándose un 28% resultado de la media entre el 37 y 19%. Las horas dedicadas por cada miembro del personal a cada fase del proyecto son las mostradas en la Tabla 6.8:

RAZÓN		Gerente de Proyectos	Técnico Financiero	Técnico de Proyectos	Auxiliar Administrativo
1	Búsqueda de información (198 h)	30 h	40 h	120 h	8 h
2	Análisis información encontrada (130 h)	15 h	10 h	100 h	15 h
3	Redacción TFM (300 h)	15 h	10 h	25 h	250 h
Nº horas totales (628 h)		60 h	60 h	245 h	273 h

Tabla 6.8: Desglose Horas Personal del Proyecto

Según la Tabla 6.8, el Gerente de Proyectos dedica gran parte de su actividad en este proyecto, aportando experiencia y sentando las bases para el desarrollo del proyecto. Del mismo modo, el técnico financiero reporta un gran número de horas en la primera fase del proyecto, al tener que planificar y dotar de presupuesto todas las fases del mismo. Las horas del técnico de proyectos se encuentran más repartidas entre la primera y la segunda fase, por ser el protagonista del proyecto al tener que realizar las tareas operativas de búsqueda y análisis de información. La auxiliar administrativo, se encuentra como apoyo en las dos primeras fases, pero no es hasta la tercera cuando dedica casi la totalidad de sus horas a la redacción y diseño del proyecto. De esta manera, los costes imputados a cada persona en cada una de las fases son los reflejados en la Tabla 6.9:

RAZÓN	Gerente de Proyectos	Técnico Financiero	Técnico de Proyectos	Auxiliar Administrativo
Fase 1. Búsqueda información	394,8 €	436,4 €	884,4 €	43,6 €
Fase 2. Análisis de información	197,4 €	109,1 €	737 €	81,75 €
Fase 3. Redacción TFM	197,4 €	109,1 €	184,25 €	1362,5 €
Coste total por persona	789,6 €	654,6 €	1.805,65 €	1.487,85 €

Tabla 6.9: Costes Personal imputados a cada fase.

6.3.1. Costes de consumibles

El material consumible para este proyecto se contempla en la Tabla 6.10, que recoge todo el material que ha sido necesario para el conjunto de fases del mismo:

CONCEPTO	Coste Unitario	Cantidad	Coste Total
Folios (paquete)	5 €	1	5 €
Cartucho tinta	19 €	4	76 €
Bolígrafo	0,8 €	4	3,2 €
Subrayador fluorescente	1,95 €	1	1,95 €
Fotocopias	0,0417 €	741	30,9 €
Grapadora y grapas	12 €	1	12 €
Libro "LEAN THINKING"	19,68 €*	1	19,68 €*
Libro "The machine that changed the world"	15,74 €*	1	15,74 €*
USB Silverhit 16GB	3,23 €	1	3,23 €
TOTAL			167,7 €

Tabla 6.10: Costes Material Consumible

* Los libros fueron comprados en Londres, durante ese tiempo. El tipo de cambio estaba en 1 £ = 1,31 €.

6.3.2. Costes material informático

Se entiende por esto los ordenadores utilizados, los programas informáticos y la impresora. El coste por hora de la Tabla 6.11, se ha generado como la Tabla 6.10, considerando únicamente las horas dedicadas al TFM (628 horas):

CONCEPTO	Coste Unitario	Cantidad	Coste Total	Coste Total/hora
Microsoft Office 2007	29,9 €	2	59,8 €	0,1 €
Toshiba Satellite A500-18R	834 €	1	834 €	1,33 €
Pc Sobremesa Intel Celeron CPU G1840 2.80 GHz	768,20 €	1	768,20 €	1,22 €

HP Deskjet 2050 J510 Series	380 €	1	380 €	0,61 €
Windows 7 Professional	17,99 €	2	35,98 €	0,06 €
TOTAL			2077,98 €	3,32 €

Tabla 6.11: Costes Material Informático

6.3.3. Costes indirectos

La peculiaridad de estos costes es que tanto la luz como Internet se encuentran duplicados, ya que se necesita un desglose al haberse realizado tal actividad en varios países. Al contrario que las tablas anteriores, el coste unitario se obtiene al dividir el mes en 30 días, y a su vez en 24 horas. De esta forma, una vez se multiplique las horas dedicadas al proyecto por el coste por hora, conoceremos el gasto que ha supuesto la dedicación al proyecto en estos elementos de la Tabla 6.12:

CONCEPTO	Coste Total/Mes	Coste Total/hora
Internet (Router y Wifi) España	36,23 €	0,05 €
Internet (Router y Wifi) Inglaterra	15,41 €	0,02€
Luz (España)	68,57 €	0,1 €
Luz (Inglaterra)	21,16 €	0,03 €
TOTAL	141,37 €	0,2 €

Tabla 6.12: Costes Indirectos del TFM

6.3.4. Costes Totales

Si se establece un desglose con las horas dedicadas específicamente a cada actividad, se obtiene la Tabla 6.13:

FASES DEL PROCESO	Nº FASE	Nº HORAS
Búsqueda y recopilación de información	1	198 h
Análisis de información	2	130 h
Redacción TFM	3	300 h

Tabla 6.13: Desglose horas dedicadas a TFM.

Así pues, los costes asignados a cada una de las etapas del proceso se corresponden con la Tabla 6.14:

CONCEPTO	Coste/hora	Nº FASE DEL PROCESO			TOTAL
		1 (198 h)	2 (130 h)	3 (300 h)	
<i>Sueldo Gestor de Proyectos*</i>	13,16 €*	394,8 €*	197,4 €*	197,4 €*	789,6 €
<i>Sueldo Técnico Financiero*</i>	10,91 €*	436,4 €*	109,1 €*	109,1 €*	654,6 €
<i>Sueldo Técnico de Proyectos*</i>	7,37 €*	884,4 €*	737 €*	184,25 €*	1805,65 €
<i>Sueldo Auxiliar Administrativo*</i>	5,45 €*	43,6 €*	81,75 €*	1362,5 €*	1487,85 €
Consumibles	167,7 €	55,9 €	55,9 €	55,9 €	167,7 €
Material Informático	2,32 €/h	459,36 €	301,6 €	696 €	1456,96 €
Costes Indirectos	0,2 €/h	39,6 €	26 €	60 €	125,6 €
TOTAL		2314,06 €	1508,75 €	2665,15 €	6487,96 €
		35,67%	23,25%	41,08%	100%

Tabla 6.14: Desglose Costes en etapas del TFM.

Las celdas contempladas con un *, son aquellas que contienen los sueldos del personal. En este caso, no dependen directamente de las horas dedicadas a cada fase del proyecto, sino a las horas imputadas dentro de cada fase en función del grado de responsabilidad de cada etapa como se contempla en las Tablas 6.8 y 6.9. Si observamos la tabla, la fase 3 que comprende la actividad de redacción es la que tiene mayor peso dentro del desarrollo del proyecto, seguido de la búsqueda de información. Desde otro punto de vista, los costes totales según su concepto son los siguientes mostrados en la Tabla 6.15:

CONCEPTO	COSTE TOTAL FASES DEL PROCESO	% SOBRE TOTAL
Sueldo Gestor de Proyectos	789,6 €	12,17%
Sueldo Técnico Financiero	654,6 €	10,09%
Sueldo Técnico de Proyectos	1805,65 €	27,83%

Sueldo Auxiliar Administrativo	1487,75 €	22,93%
Consumibles	167,7 €	2,58%
Material Informático	1456,96 €	22,46%
Costes Indirectos	125,6 €	1,94%
TOTAL	6487,96 €	100%

Tabla 6.15: Costes Totales TFM.

Por tanto, los salarios del técnico de proyectos y el de auxiliar administrativo, además del coste de material informático son los que tienen mayor peso en el desarrollo del proyecto.

7. Conclusiones y Futuras Líneas de Trabajo

Los cambios acontecidos en los últimos años han dejado patente como la educación es un ente estático que no se ha adaptado a las circunstancias y por tanto, la formación se ha llenado de teoría sin un aprendizaje práctico acorde al momento actual. La experimentación tiene que llenar las clases y convertir a unos alumnos pasivos en sujetos activos, desapareciendo la figura del profesor y creándose una nueva como es la de mentor.

La educación debe dar lugar a su propia personalización donde el alumno descubra aquello que le motive y le guste, y las nuevas tecnologías deben ser aprovechadas para esta labor. La rápida evolución que está sufriendo el mundo en los últimos años está generando una gran cantidad de información muy volátil y que queda obsoleta en poco tiempo, así pues las personas deben ser capaces de aprender mediante la experiencia, desaprender y reaprender nuevamente.

Además, el conocimiento está cobrando un papel secundario para las empresas y la demanda de nuevos trabajadores se refiere a habilidades como liderazgo, trabajo en equipo, capacidad crítica, observación, innovación y autonomía. Así, las clases magistrales no pueden aportar estos requerimientos que sí lo puede hacer un aprendizaje experiencial que tiene lugar en las factorías de aprendizaje.

Estas últimas son el puente que une ese hueco existente entre la industria y las clases, y que permite la colaboración entre ambas generando un binomio capaz de responder a las exigencias del mercado, mediante la formación de estudiantes y empleados en problemas reales y la transmisión de información como resultado de investigaciones desde las escuelas experienciales hasta la industria en general. De esta forma, todos ganan en experiencia y nuevos conocimientos.

Las factorías de aprendizaje no son un ente aislado que sólo tiene la finalidad de formar y entrenar a trabajadores o futuros trabajadores de empresas, sino que su utilidad se refiere a ámbitos distintos como consultoría, investigación de nuevos conceptos y demostración de nuevas técnicas o ideas. Además, una nueva figura surge uniendo tecnología y experiencia, como son las factorías de aprendizaje digitales, cada vez con mayor protagonismo.

Las factorías de aprendizaje digital ganan protagonismo y se contemplan como una opción real frente a las factorías de aprendizaje físicas, ya que no necesitan grandes presupuestos ni espacios limitados, permiten una gran variabilidad de escenarios de estudio, los fallos son fácilmente simulables sin la existencia de riesgos físicos y permiten una mayor capacidad de análisis en un menor tiempo.

No sólo las factorías de aprendizaje digitales son el futuro y cobran mayor protagonismo, sino una filosofía Lean cada vez más instaurada en las empresas y que necesita mayor formación en los empleados para su aplicación, está propiciando un

crecimiento constante de este tipo de escuelas de aprendizaje que une una metodología de “aprender haciendo” junto a las características de las factorías de aprendizaje.

Debido a que es un concepto relativamente nuevo, la identificación del número de factorías de aprendizaje no se conoce con exactitud debido a su constante expansión y la creación de nuevas figuras cada año en el panorama internacional. De esta forma, la información de todas ellas es muy limitada, y más en concreto las específicas de la filosofía Lean.

Sin embargo, se pueden extraer una serie de conclusiones como son una común forma de enseñar, mediante productos reales o a escala que se ensamblan en una línea de producción y montaje, partiendo de una situación inicial para posteriormente ser optimizada aplicando una serie de herramientas y técnicas Lean. La formación es casi en su totalidad práctica, y todas ellas ofrecen cursos especializados en función de sus clientes.

La expansión de la filosofía Lean y sus factorías de aprendizaje es cada vez mayor, al igual que las colaboraciones entre empresas y universidades para conseguirlo. Sin embargo, se puede observar como todas ellas tiene una vida no superior a 10 años, y por tanto, se encuentran en una fase entre la introducción y expansión. Como consecuencia, algunas factorías de aprendizaje se están uniendo en proyectos conjuntos, pero no así aquellas que se dedican a formar en una cultura Lean que tiene aún mucho que crecer; sin embargo, las colaboraciones entre estas no van a tardar en aparecer a medida que la información vaya fluyendo alrededor del Mundo.

Dificultades encontradas

Como conclusión a este trabajo, conviene hacer un análisis y una serie de conclusiones sobre las dificultades encontradas a lo largo de la investigación. En primer lugar, la ausencia de información que existe en este ámbito es considerable, provocado por la etapa prematura de expansión en la que se encuentra, al ser un concepto relativamente nuevo. Debido a esto, la línea de investigación se ha basado en el contacto con personas responsables de las diferentes escuelas Lean.

Uno de los impedimentos que surgen es la ausencia de respuesta, frente a las reiteradas peticiones de información realizadas a los formadores de las distintas escuelas. Además, muchas de ellas quieren mantener la privacidad y confidencialidad de sus factorías de aprendizaje, como los productos que utilizan, los pasos que emprenden en su formación o su diferenciación a la hora de enfocar sus enseñanzas.

Seguidamente, la barrera del idioma ha sido un impedimento, puesto que la información visible en las páginas web con gran utilidad no se han podido expresar lo suficiente por estar en el idioma del país de origen, y no en el idioma oficial del mundo como es el inglés. Así, las traducciones realizadas a través de diferentes herramientas no han sido todo lo adecuadas posibles.

Futuras líneas de trabajo

Este trabajo se ha enfocado en una introducción a las factorías de aprendizaje, y más en concreto en la figura de las escuelas de aprendizaje Lean. No obstante, únicamente

se ha recogido en este trabajo sólo una pequeña parte del trabajo de investigación realizado, ya que el criterio de elección se ha establecido en función de la integridad entre formación teórica y práctica, es decir, aquellas que en conjunto tienen una formación más completa.

Las bases establecidas con este proyecto suponen el primer paso para buscar nuevas líneas de investigación, como pueden ser:

- Conocer más en profundidad los productos que tienen las diferentes escuelas actuales, qué finalidad tiene cada elemento que les compone así como sus dimensiones.
- Aprender más sobre los procesos productivos y líneas de montaje, conocer más en profundidad qué piezas se instalan en los diferentes puestos y hasta donde llega la optimización de los mismos y los resultados que pueden obtenerse.
- Estudiar proyectos y acciones que se realizan para promover este tipo de factorías, como foros anuales, tours o redes de cooperación.
- Conocer mayor número de escuelas Lean del Mundo y qué procesos productivos realizan.
- Conocer más en profundidad la formación de las diferentes escuelas Lean, y qué tienen en común y se diferencian entre ellas.
- Conocer más acerca de las factorías de aprendizaje digitales, y qué correlación pueden tener con las factorías de aprendizaje Lean.

8. Bibliografía

8.1. Libros

1. Abele E et al. Learning Factories for research, education, and training: The 5th Conference on Learning Factories 2015. En: ScienceDirect. ELSEVIER, 2015.
2. Blanco R. Un clásico del s.XX: J. Dewey. En: revista de educación nº311. p. 397-411
3. Cachai J et al. Study on action-oriented learning with a Learning Factory approach: International conference on new horizons in education inte2012. En: SciVerse ScienceDirect. ELSEVIER, 2012.
4. David B, Summers M. Applying Dale's Cone of Experience to increase learning and retention: A study of student learning in a foundational leadership course. En: Qscience proceedings; 2014.
5. Fermoso P. Bibliografía sobre John Dewey: Filosofía de la educación. p. 165-178
6. Goerke M et al. Holistic Approach of Lean Thinking in Learning Factories: The 5th Conference on Learning Factories 2015. En: scienceDirect. ELSEVIER, 2015.
7. Hackathornal J et al. Learning by Doing: An Empirical Study of Active Teaching Techniques. En: The Journal of Effective Teaching, nº2; 2011. p. 40-54.
8. Hadlock H et al. From Practice to Entrepreneurship: Rethinking the Learning Factory Approach. Utah; 2008.
9. Haguigui A et al. Digital Learning Factories: conceptualization, review and discussion. [Stockholm, Sweden]
10. Hernández JC, Vizán A. *Lean manufacturing: conceptos, técnicas e implantación. Madrid; EOI, 2013*
11. Jaeger A et al. The "Learning Factory": An immersive learning environment for comprehensive and lasting education in industrial engineerin. [Vienna, Austria]
12. Lamancusa J et al. The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning. En: Journal of Engineering Education. January 2008

13. Matt D, Rauch E, Dallasega P. Mini-factory – A Learning Factory Concept for Students and Small and Medium Sized Enterprises. En: ScienceDirect. ELSEVIER. December 2014.
14. Ruiz G. La teoría de la experiencia de John Dewey: significación histórica y vigencia en el debate teórico contemporáneo. Foro de Educación, p. 103-124.
15. Veža Ivica. *Triple Helix Model of Innovation: The 16th International Scientific Conference on Economic and Social Development*. Split, 2016.
16. Westbrook R. John Dewey (1859-1952). En: *Perspectivas: revista trimestral de educación comparada*. Paris, UNESCO; 1993. p. 289-305
17. Wagner U et al. The State-of-the-Art and Prospects of Learning Factories: 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2012. En: Sciverse ScienceDirect. ELSIVIER, 2012.
18. Womack J, Jones D, Roos D. *La maquina que cambió el mundo*. M.I.T (Massachusetts Institute of Technology). 1992.
19. Womack J, Jones D. *Lean thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon&Schuster. 2003.

8.2. Páginas Web

20. Barbero A. El CAE: cuando formación no es transmisión de conocimientos (FF1). 2010. Consultada el 24 de julio 2016. Página web: <http://www.albarbero.com/2010/03/el-cae-cuando-formacion-no-es.html>
21. Del Rio C. Educación: Curva del olvido. Salamanca; 2014. Consultada el 28 de mayo 2016. Página web: <http://psicologacristinadelrio.com/blog/curva-olvido/>
22. El aprendizaje experiencial. Creatividad, Actividad y Servicio (CAS). Consultada el 24 de julio 2016. Página web: http://ies.rosachacel.colmenarviejo.educa.madrid.org/cas/?page_id=58
23. El cerebro necesita emocionarse para aprender. En: El País; 2016. Consultada el 20 de agosto 2016. Página web: http://economia.elpais.com/economia/2016/07/17/actualidad/1468776267_359871.html
24. Escuela de Ingenierías Industriales, Uva. *Escuela Lean: Renault consulting*. 2014. Consultado el 3 de Agosto 2016. Página web: <http://escuela-lean.es/>

25. Fajardo C, Rueda J, Katherine. *Value stream mapping (VSM)*. Consultado el 6 de Agosto 2016. Página web: http://mapadelflujodevalor.blogspot.com.es/2013/11/ejemplo_21.html
26. Far O. *Simulation modelling of atlas copco, learning factory*. Prezi, 10 noviembre 2014. Consultado el 28 de Abril 2016. Página web: <https://prezi.com/bxq8zsciyqja/presentation-edited/>
27. Fontirroig E. *Sistemas de clasificación, eficiencia y curvas de aprendizaje y olvido*. En: La Ludoteca de Pampala; 2014. Consultada el 10 de julio 2016. Pagina web: <https://ludotecapampala.wordpress.com/2014/07/16/sistemas-de-clasificacion-eficiencia-y-curvas-de-aprendizaje-y-olvido/>
28. Gore E. *Aprendizaje y organización: Una lectura educativa de teorías de la organización*. Ediciones Granica S.A; 2006. Consultada el 23 de julio 2016. Página web: https://books.google.es/books?id=LyQdBgAAQBAJ&pg=PA56&lpg=PA56&dq=curva+de+aprendizaje+organizacional&source=bl&ots=XtDEaj1IAat&sig=Xz0q4g2Bto3HcX9DnV8_JQLJNNw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiNi-yYg9fOAhWKIMAKHUfnA-E4ChDoAQhEMAg#v=onepage&q=curva%20de%20aprendizaje%20organizacional&f=false
29. Hevia C. Presentación KANBAN. Publicado 4 de noviembre de 2011. Consultado el 10 de Agosto 2016. Página web: <http://es.slideshare.net/krmn01/presentacion-kanban1>
30. JMAC Europe. *Kart Factory*. Consultado el 24 de Julio 2016. Página web: <http://www.kartfactory.it/>
31. Kishore G. *Experiential Learning vs Traditional Learning Methodologies*. KNOLSKAPE. Consultada el 24 de julio 2016. Página web: <https://www.knolskape.com/blogs/experiential-learning-methodologies-vs-traditional-learning-methodologies/>
32. La teoría de los estilos de aprendizaje. Educación en movimiento: Formando agentes de cambio. Publicado el July 17, 2016. Consultada el 24 de julio 2016. Página web: <http://www.educacionenmovimiento.org/single-post/2016/07/16/La-teor%C3%ADa-de-los-estilos-de-aprendizaje-de-Kolb>
33. “La universidad se ha convertido en una fabrica de certificación”: Maria Acaso, profesora de la Complutense, emplea una metodología disruptiva para acabar con las clases magistrales. En: El Pais; 2015. Consultada el 20 de agosto 2016. Página web: http://economia.elpais.com/economia/2015/10/23/actualidad/1445599771_649955.html?rel=mas

34. Lean factory group. *Die Facetten von Lean erleben – praxisnah und auf allen Ebenen*. Consultado el 2 de Agosto 2016. Página web: <http://www.lean-factory.com/de/unternehmen-lean-factory-group/die-lernfabrik.html>
35. Lean factory group. *Lernen Sie uns kennen: Praxisveranstaltung*. Consultado el 2 de Agosto 2016. Página web: <http://www.lean-factory.com/de/roadshow.html>
36. Lean factory group. *Rundgang*. 2012-2016. Consultada el 2 de Agosto 2016. Página web: <http://www.lean-factory.ch/index.php?id=5>
37. Lean factory group. *Unsere Partner*. Consultado el 2 de Agosto 2016. Página web: <http://lean-factory.com/de/partner/die-lean-partner.html>
38. Lean factory school. *Consulenza e competenza per favorire lo sviluppo competitivo*. 2016. Consultado el 25 de Junio 2016. Página web: <http://www.leanfactoryschool.it/>
39. Lean lab. *Vi gir deg trening og veiledning i Lean gjennom teori og praksis*. 2013. Consultado el . Página web: <http://www.leanlab.no/>
40. *Learning factories... The atlas copco group, Thomas Dahlgren*. May 28, 2014. Consultado el 28 de Abril 2016. Página web: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.481978!/Perception%20of%20Lean%20Philosophy-full.pdf
41. Leonardo group. *Lean Praktiker: Für Mitarbeiter der gesamten Organisation*. 2016. Consultado el 28 de Agosto 2016. Página web: <http://www.leonardo-group.com/de/lean-praktiker.html>
42. Leonardo group: *Your Partner in Lean Excellence*. 2016. Consultado el 28 de Agosto 2016 . Página web: <http://www.leonardo-group.com/>
43. Manufactus GmbH. *Sistema kanban y control de inventario Pull*. 2016. Consultado el 9 de Agosto 2016. Página web: <http://www.kanban-system.com/es/sistema-kanban-y-control-de-inventario-pull/>
44. Martinez P. *La curva del olvido y la importancia del repaso espaciado. It's Your Day-Estudia!*; 2013. Consultada el 14 de mayo 2016. Página web: <http://itsyourdayestudia.blogspot.com.es/2013/02/la-curva-del-olvido-y-la-importancia.html>
45. McKinsey&Company. *McKinsey Capability Center Network: Locations: Lean Experience Factory (LEF) Venice*. 2014-2016. Consultada el 14 de abril 2016. Página web: <https://capability-center.mckinsey.com/lean-experience-factory-lef-venice>

46. McKinsey&Company. McKinsey Capability Center Network: Locations: Model Lean Factory (MLF) Yekaterinburg. 2014-2016. Consultada el 14 de abril 2016. Página web: <https://capability-center.mckinsey.com/model-lean-factory-mlf-yekaterinburg>
47. McKinsey&Company. McKinsey Capability Center Network: Locations overview. 2014-2016. Consultada el 14 de abril 2016. Página web: <https://capability-center.mckinsey.com/locations>
48. McLeod S. Kolb – Learning Styles. SimplyPsychology. (2010, 2013) Consultada el 23 de julio 2016. Página web: <http://www.simplypsychology.org/learning-kolb.html>
49. Milia H. Dale's Cone of Experience. Kentucky. Consultada el 29 de mayo 2016. Página web: http://www.queensu.ca/teachingandlearning/modules/active/documents/Dales_Cone_of_Experience_summary.pdf
50. Mladineo M. *Lean Learning Factory @ FESB: Smart Factory Project*. Consultado el 3 de Julio 2016. Página web: https://bib.irb.hr/datoteka/830336.Smart_Factory_2016_1.pdf
51. Perona L. *Muda = desperdicio. Excelean: excellence in logistics consulting; 2011*. Consultada el 17 de Julio 2016. Página web: <http://leanlogisticsexecution.blogspot.com.es/2011/04/muda-desperdicio.html>
52. ¿Pueden las matemáticas y la física huir de las clases magistrales? En: El País; 2015. Consultada el 20 de agosto 2016. Página web: http://economia.elpais.com/economia/2015/10/30/actualidad/1446206875_723926.html?rel=mas
53. Romero I. Curva de aprendizaje. 2015. Consultada el 11 de junio 2016. Página web: https://issuu.com/ignaciromero6/docs/curva_de_aprendizaje._trabajo_seme
54. Sánchez M. Curva del olvido de Ebbinghaus. Mini Freuds; 2015. Consultada el 14 de mayo 2016. Página web: <http://minifreuds.blogspot.com.es/2015/02/curva-del-olvido-de-ebbinghaus.html>
55. Smith M. David A. Kolb on experiential learning. La enciclopedia de la educación informal. (2001, 2010) Consultada el 23 de julio 2016. Página web: <http://infed.org/mobi/david-a-kolb-on-experiential-learning/>

56. Tales of the Undead... Learning Theories: The Learning Pyramid. ACRlog: blogging by and for academic and research librarians; 2014. Consultada el 29 de mayo 2016. Pagina web: <http://acrlog.org/tag/learning-theories/>
57. Technische Universität Wien. (TU Wien). Learnfabrik. 11. August 2014. Consultada el 21 de abril 2016. Página web: <http://institute.tuwien.ac.at/lif/home/>
58. University of Windsor. Intelligent Manufacturing Systems: IMS Centre Laboratories. Consultada el 17 de julio. Página web: <http://www1.uwindsor.ca/imsc/laboratories>
59. Vallejo C. *Reducción del MURA = Aumento de la flexibilidad*. Renault consulting; 2013. Consultada el 7 de Agosto 2016. Pagina web: <http://www.renault-consulting.es/blog/lean/reduccion-del-mura-aumento-de-la-flexibilidad/>
60. Zenieris, P. *The application of 5S technique in achieving a Lean & Sustainable warehouse environment*. 2015. Consultado el 7 de Agosto 2016. Página web: <https://meetlogistics.com/archivos/the-application-of-5s-technique-in-achieving-a-lean-sustainable-warehouse-environment>

8.3. Vídeos

1. [delfinespro]. Redes (Nº 89) - Los secretos de la creatividad. (Emitido el 27 marzo 2011, actualizado el 4 jul. 2011). Consultado el 7 de mayo 2016. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=TOHaSdZfwP4>
2. [Fundación Telefónica]. "Roger Schank". Tema 5: El rol del profesor. De Faro a Guía. (publicado 1 feb. 2013). Consultado el 11 de junio 2016. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=klquall9HjM>
3. [henryelsucio]. Programa Redes TVE: ¿Crisis educativa? (2005, actualizado el 1 jul. 2011). Consultado el 14 de mayo 2016. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=9MmPr79sRug>
4. Lean factory. *Zu Besuch auf der Lean Factory Roadshow*. Publicado 13 marzo 2013. Consultado el 25 de Junio 2016. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=tspGaWoHhtQ>
5. Roman R. [emprendefuturo]. Redes 87 - El sistema educativo es anacrónico. (2011, publicado 23 may. 2012). Consultado el 7 de mayo 2016. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=UIAs4wPtBEU>