




La Fábrica de Aviones – Un juego de simulación virtual

Lucía C. Díaz-Pérez^a, José Antonio Yagüe Fabra^b y Sergio Aguado Jiménez^c

^aUniversidad de Zaragoza, email de contacto: lcdiaz@unizar.es  ORCID: 0000-0003-3823-7903

^bUniversidad de Zaragoza, email de contacto: jyague@unizar.es  ORCID 0000-0001-7152-4117

^cUniversidad de Zaragoza, email de contacto: saguadoj@unizar.es  ORCID 0000-0001-8689-6482.

How to cite: Lucía C. Díaz Pérez, José Antonio Yagüe Fabra y Sergio Aguado Jiménez. 2023. La Fábrica de Aviones – Un juego de simulación virtual. En libro de actas: IX Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red. Valencia, 13 - 14 de julio de 2023. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2023.2023.16510>

Abstract

Lean Manufacturing philosophy is a methodology that consists in continuous improvement by eliminating non-value-adding activities (referred as waste) from a manufacturing process, while maximizing productivity. A proper lesson in Lean Manufacturing requires more than an expositive lesson, where knowledge is transmitted in a conceptual mode, due to the fact that it is eminently practical. Its application demands transversal competencies and soft skills, such as the ability to solve problems, communication, and teamwork. Thus, active learning methodologies in which the students take an active part in the learning process through exploration, critical thinking, discussion, problem-solving and collaboration are more adequate. This work presents a virtual training activity for teaching Lean Manufacturing, based on the methodology of game-based learning, and which can be implemented as professional training within the companies as well as in Engineering courses at the University, and in a computer room or in a virtual session. The activity has already been implemented in an Engineering course of the University of Zaragoza with excellent results.

Keywords: *Lean Manufacturing, serious games, virtual simulation games, game-based learning.*

Resumen

En este trabajo se presenta una actividad de enseñanza-aprendizaje que usa la metodología del aprendizaje basado en juegos para la enseñanza de la filosofía Lean Manufacturing y herramientas de calidad. Se ha diseñado un juego de simulación virtual en el que, en un software de simulación se ha modelado la situación inicial de un sistema productivo. Los alumnos tienen que analizar la situación inicial para, posteriormente, ir implementando mejoras basadas en la filosofía Lean, hasta llegar a una versión optimizada de la fábrica. El software de simulación permite ir observando los efectos de cada una de las mejoras según se van implementando, lo que favorece el pensamiento crítico y la toma de decisiones por parte del alumnado. La actividad está diseñada para ser usada tanto en cursos

universitarios, como para formación en empresas. Además, se han diseñado tres versiones distintas de la actividad, de distinta duración, que permiten tratar los conceptos con más o menos profundidad. Por otra parte, la actividad puede llevarse a cabo tanto de manera presencial en una sala de ordenadores, como de manera telemática. Los resultados de la implantación de esta actividad en una asignatura del Máster de Ingeniería Industrial de la Universidad de Zaragoza han sido muy satisfactorios.

Palabras clave: *Lean Manufacturing, juegos serios, juegos de simulación virtual, aprendizaje basado en juegos.*

Introducción

La filosofía Lean Manufacturing es una metodología que consiste en la mejora continua mediante la eliminación de las actividades que no tienen valor añadido (llamadas muda o desperdicio) de un proceso productivo, mientras que se maximiza la productividad (Womack, Jones, & Ross, 1990). En los últimos años, la demanda de profesionales con formación en Lean Manufacturing ha aumentado, y, por lo tanto, la demanda de actividades de formación, no sólo en Universidades, sino también dentro de las empresas. Una actividad de formación en Lean requiere más que una clase magistral, en la que el conocimiento es transmitido de manera conceptual, debido al hecho de que Lean Manufacturing es una metodología eminentemente práctica. Su aplicación requiere competencias transversales y profesionales, como, por ejemplo, la habilidad para resolver problemas, la comunicación o el trabajo en equipo (F. Badurdeen, 2010). De esta manera, para la enseñanza de Lean Manufacturing son adecuadas las metodologías activas en las que los estudiantes toman un papel activo en el proceso de enseñanza-aprendizaje a través de la exploración, el pensamiento crítico, la discusión con los compañeros, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo.

Es patente la dificultad de enseñar la filosofía Lean Manufacturing de forma teórica sin que los alumnos la vean aplicada en un sistema productivo real. Ante la imposibilidad de disponer de un sistema productivo real, se puede crear un entorno que lo simule, a modo de “juego de simulación”, usando la metodología del Aprendizaje Basado en Juegos (ABJ o GBL de “game-based learning” en inglés). El uso de estas técnicas comenzó en el mundo empresarial a modo de talleres para potenciar el liderazgo y reforzar la conducta para solucionar un problema. En el ámbito educativo se lleva aplicando muchos años, pero sobre todo en educación infantil y primaria. Sin embargo, los adultos también pueden aprender jugando y en los últimos años se ha demostrado su éxito en ámbitos de educación superior (Cortizo, Carrero, & Monsalve, 2010). Estos juegos confrontan a los alumnos con problemas complejos que simulan situaciones reales, por esta razón, también se conocen como juegos de simulación (F. Badurdeen, 2010). Los juegos de simulación proporcionan a los alumnos una experiencia cercana a la realidad que se podrían encontrar en el mundo laboral. Por lo tanto, además de potenciar el aprendizaje y tener un efecto motivante en el alumnado (Gómez, Gómez, & González, 2004), estos juegos promueven la adquisición de competencias transversales, como son la toma de decisiones, la comunicación interpersonal, la gestión del tiempo, el liderazgo, la creatividad, solución de problemas, y el trabajo en equipo. Todas estas competencias son muy valoradas en el mundo profesional por las empresas del sector industrial. La metodología de la gamificación y el ABJ ya se usan en universidades para enseñar principios básicos de calidad y Lean Manufacturing (Escudero-Santana, Aparicio-Ruiz, Muñozuri, & Madrigal, 2019).

Por otra parte, en estos últimos años, la pandemia del COVID-19 ha irrumpido en la educación, obligándonos a pasar, de manera repentina y sin previa planificación, a la educación a distancia u online.

En el curso actual, 2022-2023, en la mayoría de ámbitos, ya se ha vuelto a la enseñanza presencial. Sin embargo, tanto alumnos como profesores, después de haber comprobado las ventajas que presenta la educación a distancia (García Aretio, 1997), estamos más dispuestos a transitar a un aprendizaje semipresencial, que combina el aprendizaje cara a cara, con las clases a distancia.

Lo que este proyecto de innovación docente propone es realizar una simulación de una fábrica en la que se pueda implantar la filosofía Lean, de forma que permita “aprender haciendo”, usando la metodología del ABJ, con el reto añadido de que sea una actividad virtual, que se pueda desarrollar tanto en una sala de ordenadores, como a distancia. En principio, esta actividad se ha diseñado para ser implantada dentro de las prácticas de 3 horas de la asignatura Sistemas Integrados de Fabricación, del primer curso del Máster en Ingeniería Industrial que se imparte en la Universidad de Zaragoza, aunque podría implantarse en cualquier curso de Grado o Máster en el que se vieran conceptos de Lean Manufacturing. Además, se pretende que esta actividad no solo pueda ser implementada en Grados y Másteres en las Universidades, sino que pueda ser también utilizada por empresas que estén interesadas en la formación en Lean Manufacturing.

En este artículo, primero, se analiza el estado del arte en las actividades de formación en Lean Manufacturing. Después, se desarrolla el juego de simulación virtual partiendo de un juego “cara a cara” ya existente. Por último, se presentan los resultados de la implantación de esta actividad y se extraen conclusiones.

1. Estado del arte en actividades de formación en Lean Manufacturing

Actualmente, la filosofía Lean Manufacturing es impartida en los cursos universitarios de ingeniería, así como en formación en las empresas, siendo esta última la más común. Hay una amplia oferta de cursos de formación dirigidos a empresas que aspiran a introducir la filosofía Lean en su sistema productivo. La mayoría de estas actividades están basadas en metodologías activas de aprendizaje, específicamente, en el ABJ, en la que juegos “serios” se usan para involucrar a los alumnos en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Se ha realizado un estudio de las actividades de formación en Lean Manufacturing existentes. Estas actividades son en su mayoría juegos de simulación, que pueden ser “cara a cara” (abreviadas como f2f, de “face to face” en inglés), o virtuales, siendo las primeras las más comunes en la literatura. Como se observa en el estudio, la mayoría de las actividades cara a cara utilizan componentes modulares, como bloques de LEGO, para simular el proceso de ensamblaje de productos terminados en un proceso de fabricación. Los juegos virtuales de Lean Manufacturing también simulan un proceso de fabricación, mediante el uso de software de simulación de procesos. Uno de los principales desafíos de los juegos de simulación, tanto cara a cara como virtuales, es crear un entorno y un contexto lo más cercano posible a la realidad (Dukovska-Popovska, 2008), para que los alumnos se involucren en el juego y aprendan conceptos que, más adelante, puedan aplicar en un sistema productivo real.

En la Tabla 1, se han resumido algunos de los juegos de simulación revisados. Cabe mencionar que hay otros tipos de actividades que no simulan procesos productivos y que se centran en un número reducido de herramientas Lean, como el 5S. Sin embargo, no se han incluido en este resumen. De manera similar, las fábricas de aprendizaje también están fuera del alcance de este estudio, debido a la alta complejidad de su implementación.

Tabla 1. Juegos de simulación f2f y virtuales para la enseñanza de Lean Manufacturing.

Nombre	Qué simula	Herramientas Lean y de Calidad	Modalidad
Learning Lean with Lego (Leal, 2017)	Proceso de montaje de tres productos distintos	5S Flujo tirado/empujado TPM	SMED Kanban Takt Time f2f
Jujetex Shirt Factory (Cardona Parra & Forero, 2014)	Proceso productivo de una fábrica textil	Kanban Poka-yoke 5S	Heijunka JIT Kaizen f2f
La Fábrica de Papel (Gil Vilda, s.f.)	Proceso productivo de un avión de papel	VSM Flujo empujado Kanban 5S	Producción celular Poka-yoke Nivelado de línea TPM f2f
Lean Board Game (Constantino, Casarini, Machado, Andrade, & Oliveira, 2016)	Proceso productivo de dos tipos de productos con cuatro tipos de materias primas	VSM 5S SMED	Kaizen Flujo empujado f2f
Escuela Lean (Pastor Maeso, 2014)	Proceso productivo de coches en lotes	5S SMED TPM	Jidoka Heijunka Kanban Virtual (Software: Witness)
Lean Board Game (Constantino, Casarini, Machado, Andrade, & Oliveira, 2016)	Versión visual de la versión f2f: Proceso productivo de dos tipos de productos con cuatro tipos de materias primas	VSM 5S SMED	Flujo empujado Estandarización Kaizen Virtual (Software: FlexSim)
Tri-Star Manufacturing (Shannon, Krumwiede, & Street, 2010)	Proceso productivo de un proveedor de partes de coche	VSM Flujo unitario Kanban	SMED Flujo empujado TPM 5S Virtual (Software: ProModel)

2. Desarrollo de la innovación

El diseño del juego de simulación virtual objeto de este trabajo se ha llevado a cabo siguiendo la metodología definida en (Ozelkan & Galambosi, 2016). Los pasos que se han seguido se muestran en la Figura 1. A continuación, se describe el trabajo desarrollado en cada uno de estos pasos.

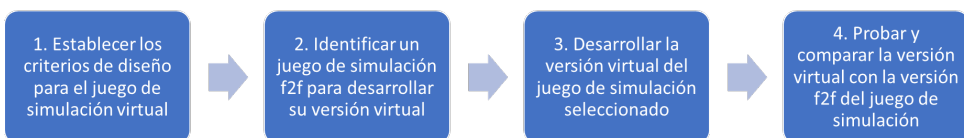


Fig. 1 Pasos seguidos para el desarrollo del juego de simulación virtual.

2.1. Definición de los objetivos y los criterios de diseño

Con este proyecto de innovación docente en el que se usa la gamificación virtual para el diseño de una actividad de enseñanza-aprendizaje se espera alcanzar los siguientes objetivos generales:

- Aprendizaje de calidad por parte del alumnado: Se hace uso de una metodología activa en la que el alumnado es el protagonista de su aprendizaje. Se espera que esto les motive y ayude a aprender los conceptos de la filosofía Lean y herramientas de calidad. Además, de esta manera, no sólo adquieren conocimiento sobre los conceptos teóricos de la filosofía Lean, sino que también trabajan su aplicación, análisis y evaluación (niveles más altos de aprendizaje en la taxonomía de Bloom).
- Representación de un caso cercano al "mundo real". El alumnado aplica herramientas de calidad y la filosofía Lean en una fábrica virtual que se asemeja a un sistema productivo real. Además, al usar un programa de simulación, los alumnos pueden ver de manera inmediata los resultados que tienen las decisiones que toman para mejorar el sistema productivo.
- Conocer y aprender a usar un software de simulación de procesos productivos que les pueda ser de utilidad en su futuro laboral.
- Adquisición de competencias transversales como la toma de decisiones, la capacidad de análisis y síntesis, la resolución de problemas, el trabajo en equipo, y la capacidad de aplicar conocimientos teóricos en la práctica.

En el primer paso del diseño de la actividad, teniendo estos objetivos generales en cuenta, se han definido los siguientes criterios de diseño del juego de simulación virtual: criterios del juego, objetivos de aprendizaje, ámbitos de aplicación y conocimientos previos necesarios para poder aprovechar la actividad.

2.1.1. Criterios del juego

Con el objetivo de evaluar los criterios más relevantes del juego, se llevó a cabo una encuesta a un total de 36 alumnos del primer curso del Máster en Ingeniería Industrial de la Universidad de Zaragoza. En la encuesta se preguntaba a los alumnos que aspectos en los juegos consideraban más importantes, a elegir entre una lista con los criterios más relevantes según la literatura. Los cinco criterios más importantes para los alumnos fueron: la temática del juego, los objetivos, el nivel de compromiso y la emulación de situaciones del mundo real.

2.1.2. Objetivos de aprendizaje

Es primordial tener definidos los objetivos de aprendizaje de la actividad, antes de comenzar con el desarrollo de la actividad. En este caso, el objetivo de aprendizaje es proporcionar a los alumnos la oportunidad de tener un primer contacto con la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing en un proceso productivo. Específicamente, los conceptos de Lean Manufacturing que los alumnos deben aprender a aplicar son: el flujo tirado o “pull flow”, el flujo unitario o “one-piece-flow”, “takt time”, muro de calidad o “quality wall”, flexibilidad en la fabricación, nivelado de línea, “work in progress” y “lead time”. Además, los alumnos deben aprender a identificar los 7 tipos de desperdicios definidos en la filosofía Lean, y aplicar las siguientes herramientas Lean: 5S, Jidoka, Kanban, Total Productive Maintenance (TPM), Value Stream Mapping (VSM) y producción celular. Por otra parte, ya que el juego se va a hacer usando un software de simulación, se añade el objetivo de que los alumnos aprendan a usar un software de simulación de procesos productivos que sea útil en su futuro laboral.

2.1.3. Ámbitos de aplicación y conocimientos previos necesarios

Con respecto al ámbito de aplicación, como se ha mencionado, se desea implantar el juego de simulación a diseñar en las prácticas de la asignatura Sistemas Integrados de Fabricación, del Máster en Ingeniería Industrial, que se imparte en la Universidad de Zaragoza. En esta asignatura, en las clases teóricas se presenta la filosofía Lean Manufacturing y sus principales herramientas, por lo que se pretende que en las prácticas los alumnos puedan aprender a aplicar las herramientas Lean que han visto en las clases teóricas. Adicionalmente, se espera diseñar un juego de simulación que sea aplicable como actividad formativa, tanto en cursos universitarios, como de formación en empresas o profesionales que quieran dirigir, o participar en la mejora continua de un proceso productivo aplicando herramientas de Lean Manufacturing. El conocimiento inicial que se necesita para poder aprovechar la actividad es una base teórica de los conceptos de Lean Manufacturing. En cualquier caso, el objetivo es diseñar una actividad con diferentes modalidades que varíen en duración y complejidad, para poder ser aplicados con alumnos de diferentes niveles y dependiendo de la profundidad con la que se quiera trabajar los conceptos.

2.2. Elección de un juego de simulación f2f para desarrollar su versión virtual

A la hora de diseñar un juego de simulación virtual, se puede empezar este desde el inicio, o puede basarse su diseño en un juego de simulación ya existente en versión f2f, como se propone en (Ozelkan & Galambosi, 2016). La segunda opción tiene la ventaja de que permite aprovechar las ideas y la experiencia del desarrollo del juego f2f. En este trabajo se ha optado por hacer la versión virtual de un juego de simulación f2f ya existente. El juego f2f elegido es “La Fábrica de Papel” (Gil Vilda, s.f.), desarrollado por la empresa LeanBox, una consultoría que se especializa en la implantación de Lean Manufacturing en empresas industriales. Entre sus servicios se incluyen actividades de formación y para ello han diseñado varias actividades usando la metodología del ABJ. La razón por la que se ha elegido este juego es que sus objetivos didácticos coinciden con los de la actividad que se quiere diseñar. Además, este juego se usaba en la asignatura Sistemas Integrados de Fabricación del Máster en Ingeniería Industrial antes de la pandemia del COVID para trabajar los conceptos de Lean Manufacturing. Por lo que ya se cuenta con experiencia en su implementación durante varios años y esta ha sido muy satisfactoria, obteniendo resultados excelentes (Yagüe-Fabra & Gil-Vilda, 2016).

En el juego “La Fábrica de Papel” los alumnos descubren los beneficios de una producción celular y de la implantación de técnicas Lean como las 5S, Kanban, poka-yoke, VSM y el TPM. La Fábrica de Papel simula una fábrica en la que se producen aviones de papel de dos tipos distintos: verdes o blancos. Se parte de una hoja de papel de un color u otro, a la que se le van aplicando los procesos productivos necesarios hasta obtener el producto final. La fábrica debe ser capaz de satisfacer la demanda del cliente, que puede pedir un avión de un color u otro cada 30 segundos (takt time). Inicialmente, la fábrica tiene una organización tradicional por talleres en la que se han intentado exagerar los derroches que produce esta distribución. La distribución inicial de la fábrica se muestra en la Figura 2.

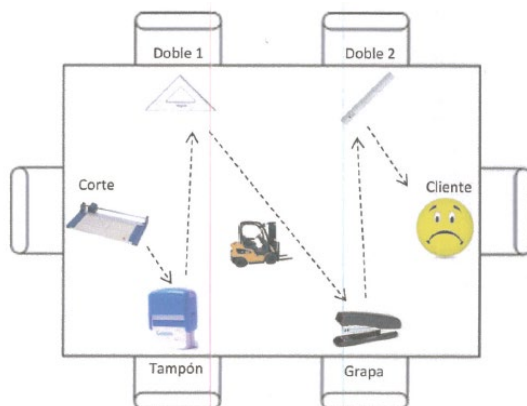


Fig. 2. Distribución inicial de La Fábrica de Papel (ilustración sacada de la guía del formador de LeanBox).

Como se puede ver hay cinco procesos, con un “operario” (alumno) por proceso. Los procesos son: corte, tamponado del logo de la empresa, primer doble de las alas, grapado de la cola del avión y segundo doble de las alas. La actividad consiste en la simulación del proceso productivo en tres rondas de fabricación en la que se debe satisfacer la demanda del cliente. Después de la primera y segunda ronda, se analizan los KPIs (Key Performance Indicators) de la fábrica y se identifican los desperdicios. Después, se realizan mejoras en la fábrica, aplicando herramientas de Lean Manufacturing, de forma que los resultados se hagan patentes en la ronda siguiente. La implantación de la producción celular y las herramientas Lean se traduce en todos los casos en un mejor funcionamiento de la fábrica, que, en la tercera ronda ya es capaz de proporcionar productos de buena calidad, en el tiempo requerido y que, además, responde a cambios bruscos en la demanda. Según la guía del formador de LeanBox, esta actividad está diseñada para ser jugada en un mínimo de 5 horas, pero dependiendo los conceptos que se trabajen y la profundidad con la que se traten, la actividad se puede alargar hasta 12 horas, para ser realizada en dos días. Para poder incorporarla en las prácticas de la asignatura de Sistemas integrados de fabricación, la actividad se ha adaptado a una duración de 3 horas.

2.3. Desarrollo del juego de simulación virtual

Una vez se ha seleccionado el juego f2f en el que se va a basar el juego de simulación virtual, se puede comenzar con el desarrollo del mismo. El primer paso ha sido la selección del programa de simulación del proceso productivo, después se ha diseñado la distribución y el proceso productivo de la fábrica, y, seguidamente, se ha diseñado el desarrollo de la actividad. Finalmente, se proponen tres versiones distintas de la actividad, para ser usadas dependiendo de los conceptos que se quieran enseñar y del tiempo que se disponga.

2.3.1. Selección del software

El principal criterio de selección del software ha sido que sea visual, para que sea cautivador, además de que la interfaz de usuario sea intuitiva, para que los alumnos lo puedan usar, aunque no tengan ningún conocimiento previo sobre el software. Para cumplir con el objetivo didáctico de que los alumnos aprendan a usar un software de simulación de procesos productivos que sea útil en su futuro laboral, se han descartado todos los softwares que tienen uso simplemente educativo o de ocio. Por todo ello, el software FlexSim ha sido el seleccionado, ya que permite modelar, simular y visualizar en 3D cualquier proceso productivo. Además, aunque sea necesaria la licencia para poder modelar la distribución inicial de la fábrica, una vez modelada, es posible realizar la actividad sin licencia.

2.3.2. Diseño del sistema productivo de la fábrica

La distribución en planta de la fábrica ha sido modelada en FlexSim considerando el mismo sistema productivo que en La Fábrica de Papel, aunque en este caso, la materia prima en vez de ser papel es chapa de metal, y la fábrica se ha llamado “La Fábrica de Aviones”. La distribución en planta de la Fábrica modelada en FlexSim se presenta en la Figura 3. La Fábrica de Aviones está formada por cinco talleres, uno por proceso productivo: corte de chapa (llamado T1_MarcadoyCorte en la Figura 3), serigrafiado (T2_Serigrafiado en la Figura 3), primer doblado (T3_Plegado1), soldadura (T4_Soldadura), y segundo doblado (T5_Plegado2). Además, para hacer patentes los problemas de calidad, se ha añadido un tercer taller en el que se ha simulado un muro de calidad (T6_ControlCalidad). La Fábrica de Aviones también incluye una tienda, donde los clientes acuden cada cierto tiempo a comprar los aviones acabados (T7_Venta de Productos). Los materiales en la fábrica se transportan con una carretilla en lotes paletizados. Se ha puesto un operario por taller, además del conductor de la carretilla y el supervisor de la producción. Adicionalmente, se han programado eventos de fallo de las máquinas en ciertos talleres. Se generan productos defectuosos en todos los talleres, de manera que, al llegar al muro de calidad, el 30% de los productos son rechazados. Aun así, el 5% de los productos que llegan al cliente siguen siendo defectuosos, ya que la empresa no conoce en su totalidad los requisitos de calidad del cliente.

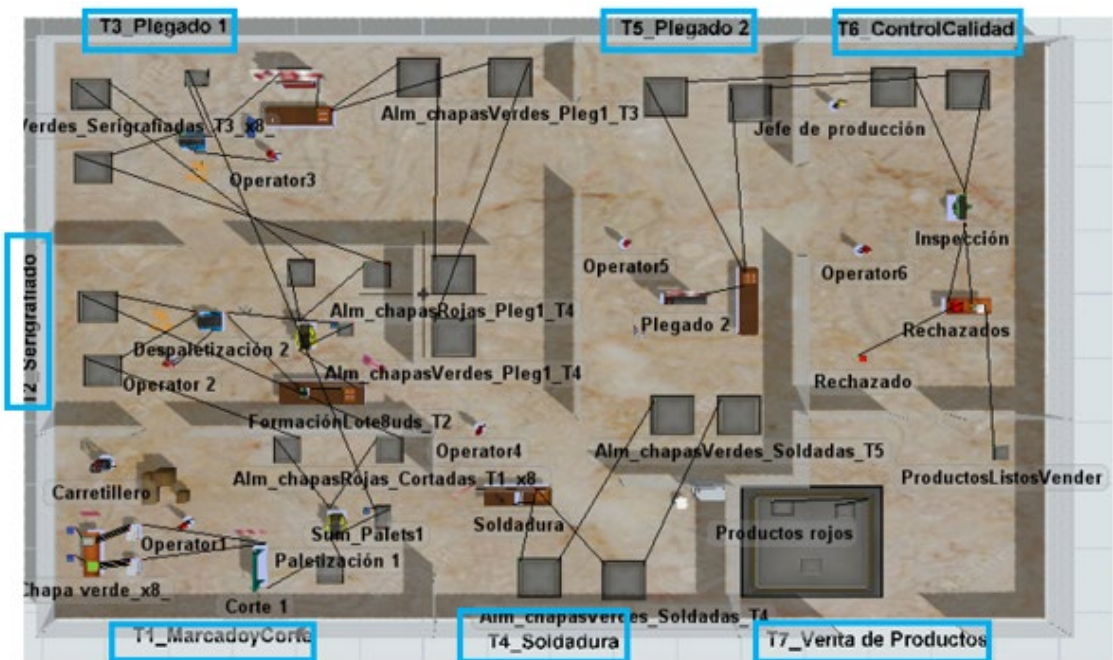


Fig. 3. Distribución en planta de la situación inicial de la fábrica, modelada en FlexSim.

2.3.3. Desarrollo de la actividad

La actividad ha sido pensada para ser desarrollada en grupos de 3 personas. Cada grupo trabaja en un mismo ordenador, sobre el programa de FlexSim con la fábrica ya modelada, y con todos los talleres configurados excepto uno. Se entrega a los alumnos el guion de la práctica en el que se cuenta en detalle el funcionamiento de cada uno de los talleres de La Fábrica de Aviones y los problemas de calidad que presenta. Lo primero que tendrá que hacer cada grupo es configurar el taller que falta siguiendo un tutorial, de manera que puedan familiarizarse con el software. Una vez que la fábrica está completamente configurada, los alumnos pueden correr la simulación, que simula su funcionamiento durante una jornada laboral de 8 horas, en la que el cliente demanda un avión cada 7 minutos (takt time). Durante la simulación,

los alumnos pueden observar cómo funciona la fábrica, y, al finalizar la simulación, el programa saca unas gráficas con los KPIs a analizar. Para analizar la situación inicial, los alumnos harán uso de los KPIs y, además, dibujarán el VSM, sobre él, identificarán los desperdicios que se producen tanto en cada taller, como en la fábrica en su conjunto. A continuación, los alumnos podrán pensar en formas de mejorar el proceso productivo de La Fábrica de Aviones aplicando herramientas Lean. En esta fase, se aconseja empezar aplicando herramientas que requieren poca inversión de recursos y que tienen resultados rápidos, como pueden ser las 5S y el poka-yoke. Para, después, pasar a hacer cambios de mayor calado, como puede ser pasar de una producción en talleres por lotes, a una producción celular con flujo unitario. El programa de simulación permite comprobar los efectos de cada uno de los cambios implementados en la fábrica, de forma que la optimización de la Fábrica debería ser un proceso iterativo, siguiendo la filosofía de la mejora continua. Una posible situación final de la fábrica se muestra en la Figura 4, en la que se ha implantado una producción celular con distribución en U, flujo unitario y empujado, usando la herramienta Kanban. Además, se han implantado medidas para evitar el fallo de las máquinas y la producción de defectos.

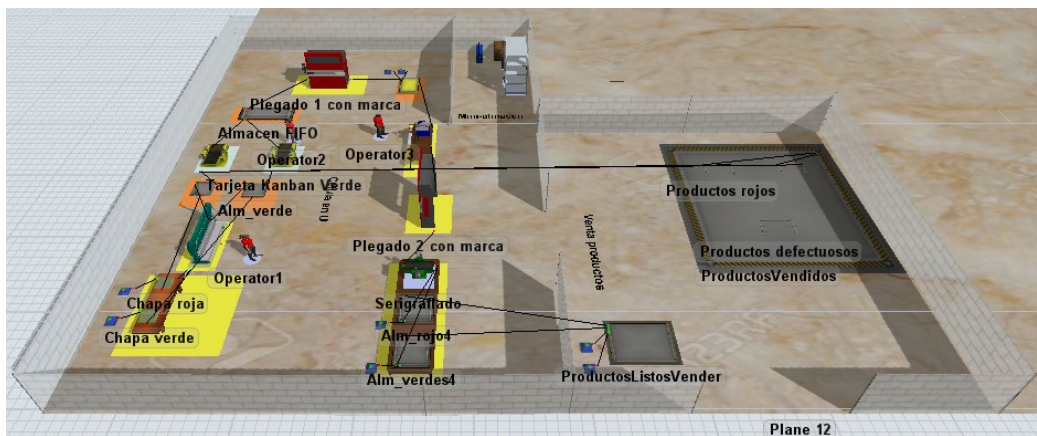


Fig. 4. Distribución en planta de la una posible situación final de la fábrica, modelada en FlexSim.

2.3.4. Propuesta de distintas versiones

Se ha diseñado tres versiones distintas de la Fábrica, para diferentes niveles de conocimiento y tiempo disponible para realizar la actividad. En la versión más corta sólo se fabrica un tipo de producto: aviones de color rojo, y, además, se omite el proceso de paletizado (aunque sí se trabaja en lotes). En la segunda versión se incluye el proceso de paletizado de los lotes, con la dificultad añadida de que, a parte de los lotes paletizados, el carretillero tiene que mover los pallets vacíos por la fábrica. La tercera versión, además del proceso de paletizado, incluye aviones no sólo de color rojo, sino también de color verde, de forma que el cliente puede comprar aviones de un color u otro, aleatoriamente. La Fábrica de Aviones, en todas sus modalidades, presenta muchos desperdicios en su sistema de fabricación, y no es capaz de satisfacer la demanda del cliente. En la Tabla 2 se muestran las herramientas Lean y de calidad que deberían ser implementadas para reducir los desperdicios del sistema productivo en cada versión. Además, el desarrollo de la actividad se puede modificar o extender según los objetivos de aprendizaje, por ejemplo, para enfatizar los costes de cada optimización, priorizando las más baratas y efectivas. Por lo tanto, la duración de la actividad es variable, y depende de la versión elegida y de los objetivos de aprendizaje, pudiendo durar de 3 a 8 horas.

Tabla 2. Herramientas Lean y de calidad usadas en cada versión del juego de simulación virtual

Version	Herramientas Lean y de calidad			
1ª versión (3 h)	5S	Poka-yoke Kanban	VSM	Nivelado de línea
	Pull flow		Análisis de precedencia	Producción unitaria
	TPM KPIs	Takt Time	Producción celular	Jidoka
2ª versión (4 h)	Las mismas que en la primera versión, pero permite analizar el desperdicio introducido por el proceso de paletización			
3ª versión (6-8 h)	Las mismas que en la segunda versión, pero se añade el concepto de flexibilidad en la producción, al incluir dos tipos de producto final, lo que lleva a diseñar una célula de producción multi-producto en la versión optimizada de la fábrica.			

2.4. Comparación entre el juego de simulación f2f y el virtual

La Fábrica de Papel diseñada por LeanBox es un juego de simulación f2f que hace que los alumnos se involucren desde el comienzo de la actividad. Interactuar físicamente con otros participantes fomenta la adquisición de competencias profesionales como el trabajo en equipo. Sin embargo, al tratarse de un juego en el que los alumnos son los que simulan los procesos de fabricación, los problemas que pueden surgir en el sistema productivo simulado (necesidad de mantenimiento de las máquinas, producción de defectos, tiempo de cada proceso, etc.) dependen en gran parte de los propios alumnos, y de su destreza e interés al simular el proceso. De esta manera, el desarrollo de la actividad está menos controlado y puede tener resultados distintos con grupos distintos.

La Fábrica de Aviones diseñada en este trabajo es un juego de simulación virtual. El sistema productivo de la fábrica está modelado en el software de simulación, y los alumnos comienzan a trabajar sobre la fábrica con su configuración inicial dada. Es decir, en este caso, los problemas que ocurren en el sistema productivo están definidos desde el inicio y van a ser los mismos siempre, independientemente del grupo de alumnos. Por lo que, los profesores tienen más control sobre la situación inicial. Aun así, cada alumno aplicará las herramientas de calidad que crea conveniente y en el orden que quiera, por lo que se conserva la autonomía del alumno. La actividad virtual de La Fábrica de Aviones puede ser llevada a cabo en una sala de ordenadores de manera presencial. Sin embargo, no siempre es posible reunir a todos los alumnos en el mismo lugar físico, ya sea porque se trate de un curso a distancia, o por la situación epidemiológica. En estos casos, la actividad virtual de La Fábrica de Aviones puede ser llevada a cabo de manera telemática, de forma que los participantes estén en distintos lugares, siempre y cuando tengan conexión a internet. Además, como ventaja adicional, con esta actividad, los alumnos aprenden a usar un software de simulación de procesos, muy utilizado en empresas.

3. Resultados de la implementación de la actividad

La versión corta del juego de simulación diseñado en este trabajo ha sido implantada en una de las prácticas de 3 horas de duración de la asignatura de Sistemas Integrados de Fabricación durante los cursos 2020-2021, 2021-2022 y 2022-2023. En estas clases de prácticas suele haber una media de 13 alumnos por sesión. En el curso 2020-2021, y en la primera mitad del curso 2021-2022, debido a la pandemia del COVID, la actividad se realizó de manera telemática, de forma que los alumnos se tenían que instalar el software de FlexSim en sus ordenadores, y después trabajaban en grupos de 3 personas en una sesión de Google Meets, en la que uno de ellos era el que manejaba el programa y compartía pantalla, mientras que los demás le daban indicaciones. En la segunda mitad del curso 2021-2022 y en el curso 2022-2023 la actividad ya se ha realizado de manera presencial en una sala de ordenadores, los alumnos se juntan en grupos de 3 personas y cada grupo trabajaba con un ordenador. Antes de cada una de las sesiones, los alumnos han tenido que

rellenar una encuesta en la que se les pregunta por sus conocimientos iniciales sobre Lean y sobre la metodología de enseñanza-aprendizaje de los juegos de simulación virtuales. Después de cada una de las sesiones, los alumnos han respondido a otra encuesta en la que se les pregunta sobre los conocimientos adquiridos y su impresión sobre la actividad. En total, 77 alumnos han respondido a las encuestas durante estos tres cursos. A continuación, se analizan los resultados.

Con respecto a los conocimientos iniciales sobre la filosofía Lean Manufacturing, antes de la actividad, sólo el 29 % de los alumnos consideraba tener conocimientos suficientes, aunque la mayoría de ellos se refería a los conceptos teóricos recién adquiridos en las clases magistrales de la asignatura. Se les pidió también que evaluaran su nivel de conocimiento sobre herramientas Lean como las 5S, la producción celular, Kanban, etc. Ningún alumno consideró tener un nivel alto de las herramientas, siendo en la mayoría el nivel considerado medio, bajo o muy bajo. Además, sólo el 10 % de los alumnos dijo haber visto la metodología Lean Manufacturing aplicada en algún sector de la industria. Pese a no tener experiencia, el 100 % de los alumnos consideraba interesante la implantación de la filosofía Lean en las empresas. Después de la actividad, se pidió a los alumnos que evaluaran su nivel de conocimiento de las herramientas Lean y de calidad que habían utilizado, en la mayoría de los casos, evaluaron su conocimiento como alto, e incluso como muy alto. Sólo un 5% de los alumnos evaluó su nivel de conocimiento de las herramientas como bajo, después de la actividad, y ningún alumno evaluó su nivel de conocimiento como muy bajo. Además, el 98,7 % consideró que el juego de simulación les había ayudado a comprender mejor las herramientas Lean, su implementación y el análisis de resultados.

Con respecto a la metodología utilizada, antes de la actividad, el 70 % de los alumnos no había jugado nunca a un juego de simulación virtual o f2f. Se les preguntó a los alumnos qué expectativas tenían con respecto al juego de simulación virtual que iban a realizar y la mayoría expresó que deseaban tener un mejor entendimiento de la filosofía Lean Manufacturing, y que esperaban aprender a usar las herramientas para la optimización de procesos productivos que habían visto en clase. Al finalizar la actividad, el 98,7 % de los alumnos consideró que el juego había cumplido sus expectativas. Al 100% de los alumnos el juego les pareció interesante, y reconocen que ha despertado su interés por la mejora continua y la filosofía Lean. El 89 % de los alumnos manifiesta haber mantenido un grado de motivación alto durante toda la actividad, el 98,7 % reconoce haberse esforzado durante la actividad para “hacerlo bien”, y el mismo porcentaje considera que haber tenido un papel activo durante la actividad le ha ayudado a aprender. Además, el 97,4 % de los alumnos considera que el juego ha puesto a prueba sus habilidades, y que les ha ayudado a desarrollar competencias profesionales. El 97,4 % considera haber tomado decisiones durante la actividad. Con respecto al escenario propuesto, el 84,4 % considera que es realista y el 93,5 % considera que el juego contribuirá a su desempeño en la práctica profesional. Por último, el 100 % de los alumnos dice que le gustaría que este tipo de actividades se usara más, tanto para formación en Universidades, como para capacitación de personal en la empresa. Después de la actividad, también se preguntó a los alumnos su opinión sobre el software usado, la mayoría considera que es adecuado y sólo el 3,9 % no lo considera visual e intuitivo.

Al ser preguntados por los aspectos de la actividad que más les habían gustado, algunas de las respuestas más repetidas fueron: “la relación de la simulación con la realidad”, “poder aplicar la teoría a un caso práctico”. En resumen, la opinión general sobre el juego de simulación virtual ha sido buena, y se han recibido comentarios como los siguientes:

- “Me ha parecido una herramienta excelente para debatir con los compañeros la aplicación de los conocimientos teóricos.”

- “Me ha gustado mucho, pues es diferente y permite aplicar a un entorno casi real lo estudiado en clase teórica. Además, permite interactuar con los compañeros mientras se realizan cambios en el entorno de simulación, y testear los resultados de cambiar cosas.”

Al ser preguntados por aspectos de la actividad que se podrían mejorar, la respuesta más repetida fue que les gustaría poder dedicar más tiempo a esta actividad. Si bien es cierto, que cuando la actividad se realizó de manera telemática, algunos alumnos manifestaron que hubieran preferido que la actividad se realizara de manera presencial para interactuar mejor con sus compañeros de grupo.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha diseñado un juego de simulación virtual para enseñar la filosofía Lean Manufacturing, partiendo de un juego ya existente en modalidad cara a cara. La actividad, llamada La Fábrica de Aviones, consiste en optimizar el sistema productivo de una fábrica a partir de una situación dada, modelada en el software de simulación FlexSim.

En esta actividad, los alumnos toman un papel activo en el aprendizaje, y aprenden “jugando”. El objetivo principal de esta actividad es ser implantada en Grados y Másteres de Ingeniería en los que se ven conceptos de Lean Manufacturing, aunque también podría ser utilizada por empresas que desean formar a sus empleados en el uso de herramientas Lean. Teniendo esto en cuenta, se han diseñado distintas modalidades de la actividad, en función del tiempo disponible y del nivel de los participantes. Es importante indicar que la actividad diseñada se puede extender sin necesidad de modificarla en función de los objetivos de aprendizaje establecidos. Es decir, se trata de un trabajo modular que luego cada formador o profesor puede modelar y extender según sus intereses. Además, se ha diseñado de tal manera que no sea necesario el uso de licencias de software para llevarla a cabo, lo que ofrece más oportunidades de implementación, permitiendo incluso la realización de pruebas previas a la adquisición de las licencias, para comprobar el correcto y adecuado funcionamiento de la actividad.

El diseño de La Fábrica de Aviones está basado en un juego de simulación cara a cara llamado “La Fábrica de Papel”, diseñado por la empresa LeanBox. Al comparar estas dos actividades, se concluye que cada una tiene sus ventajas y desventajas. Por un lado, una actividad cara a cara, en la que los alumnos interactúan físicamente, es siempre más inmersiva que una actividad virtual. Sin embargo, una actividad que se puede llevar a cabo de manera virtual es más versátil en cuanto a la presencialidad de los alumnos. Por otra parte, el juego de simulación cara a cara tiene más factores aleatorios que hacen que el desarrollo de la actividad sea más difícil de predecir y de controlar por el profesor o formador. Mientras que, en el juego de simulación virtual, la situación inicial de la Fábrica está completamente definida y acotada desde el principio, por lo que es más fácil para el profesor controlar el desarrollo de la actividad. Adicionalmente, en la modalidad virtual, los alumnos aprenden a usar un software de simulación que les puede ser útil en su futuro laboral. En cualquier caso, ambas modalidades acercan a los alumnos a una situación cercana a un sistema productivo real en el que pueden aplicar la filosofía Lean Manufacturing, además, ambas modalidades contribuyen a la adquisición de competencias transversales

La versión más corta de la La Fábrica de Aviones, de una duración de 3 horas, se ha implantado en una asignatura del Máster en Ingeniería Industrial de la Universidad de Zaragoza. Se han realizado encuestas antes y después de la actividad para evaluarla. Antes de comenzar la actividad, la mayoría de los alumnos (74 %) no conocía los juegos de simulación virtual como actividad de enseñanza. Sin embargo, al acabar la actividad, el 100 % de los alumnos manifestó que le gustaría que más organizaciones utilizaran este tipo de actividades, tanto para formación como para captación de personal en empresa. A los alumnos, el juego

les ha parecido entretenido y motivante, mientras jugaban han estado inmersos y sentían que tomaban sus propias decisiones. Por otra parte, el 98,7 % de los alumnos considera que el juego de simulación les ha ayudado a comprender mejor las herramientas Lean, su implementación y el análisis de resultados. De la misma manera, el 93,5 % de los alumnos considera que el juego contribuirá a su desempeño en la práctica profesional.

En resumen, la implantación de la actividad ha sido satisfactoria, por lo que se va a seguir impartiendo para enseñar conceptos de Lean Manufacturing. Además, se va a seguir trabajando para mejorarla y difundirla, de forma que pueda ser usada por más organizaciones.

5. Referencias

- Cardona Parra, J., & Forero, J. (2014). *Implementación de los conceptos Lean Manufacturing en la lúdica "Fábrica de camisas" para mejorar y optimizar el proceso de producción en las organizaciones con base a las normas técnicas de calidad ISO 9001:2008*. Pereira: Facultad de Ingeniería Industrial.
- Constantino, L., Casarini, G., Machado, M., Andrade, M. d., & Oliveira, F. (2016). Learning Lean Philosophy Through 3D game-based Simulation. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, (págs. 3385-3392). Brasil.
- Cortizo, J., Carrero, F., & Monsalve, B. (2010). Gamificación y docencia: lo que la universidad tiene que aprender de los videojuegos. *VII Jornadas Internacionales de Innovación Universitaria*. Madrid, España: Universidad Europea de Madrid.
- Dukovska-Popovska, I. H.-M. (2008). Teaching lean thinking through game: Some challenges. *36th European Society for Engineering Education (SEFI) on Quality*.
- Escudero-Santana, A., Aparicio-Ruiz, P., Muñuzuri, J., & Madrigal, C. (2019). Gamificación en el aprendizaje de "lean manufacturing". *Dirección y Organización*, 51-65.
- F. Badurdeen, P. M. (2010). Teaching Lean Manufacturing With Simulations and Games: A Survey and Future Directions. *Simulation & Gaming*, 465-486.
- García Aretio, L. (1997). La enseñanza abierta a distancia como respuesta eficaz para la formación laboral. *Materiales para la educación de adultos*(8-9), 15-20.
- Gil Vilda, F. (s.f.). *LeanBox*. Recuperado el 5 de Marzo de 2021, de <https://leanbox.es/>
- Gómez, M. A., Gómez, P. P., & González, P. A. (2004). Aprendizaje basado en juegos. *Revista de comunicación y nuevas tecnologías*, 2(4).
- Leal, F. M. (2017). Learning lean with lego: developing and evaluating the efficacy of a serious game. *Production* 27, e20162227.
- Ozelkan, E., & Galambosi, A. (2016). How to Design Lean Six Sigma Simulation Games for Online Learning. *Jazzed about Engineering Education*. Nueva Orleans.
- Pastor Maeso, M. (2014). *Modelo de simulación del proceso de producción de la Escuela Lean: Configuración por lotes. Taller de chasis*. Master Thesis, University of Valladolid.

- Shannon, P., Krumwiede, K., & Street, J. (2010). Using Simulation to Explore Lean Manufacturing Implementation Strategies. *Journal of Management Education*, 2(34), 280-302.
- Womack, J., Jones, D., & Ross, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: MacMillan.
- Yagüe-Fabra, J.-A., & Gil-Vilda, F. (2016). "Gamification" para el aprendizaje de calidad y Lean. *Evaluación de la Calidad de la Investigación y de la Educación Superior: Libro de Resúmenes XIII FECIES*, (pág. 393).