



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness
*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

ENSEÑANZA - APRENDIZAJE DEL *LEAN MANUFACTURING* SOBRE LA BASE DEL PENSAMIENTO SISTÉMICO: UN MICROMUNDO COMPUTACIONAL

Jorge Pérez Rave, Daniel Restrepo Rico, Sebastián Cortés Zapata, Carlos Parra Mesa, Laura Quiceno Gil

Universidad de Antioquia
Medellín Colombia

Jovani Jiménez Builes

Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Resumen

La ponencia presenta los principales elementos, de cara al usuario, de un micromundo computacional, el cual puede constituirse en medio apoyo para la iniciación del estudiante en el Lean Manufacturing, permitiéndole además explorar estrategias de mejoramiento (5S, 5 por qué y balanceo de línea) apoyadas en el pensamiento sistémico. El micromundo incorpora cuatro subsistemas: producción, mejoramiento, finanzas y cliente, los cuales se interrelacionan por la producción de aviones de papel, propios de la lúdica "El avión de la muda". La primera prueba del micromundo en un grupo de 7 usuarios (un docente y seis estudiantes) fue de carácter exploratorio y reflejó percepciones favorables y resultados prometedores sobre las bondades del mismo como posible herramienta de apoyo a la docencia. Se comenta sobre los trabajos futuros para mejorar el micromundo y para obtener resultados concluyentes con respecto al aprendizaje del usuario.

Palabras clave: micromundo; lean manufacturing; pensamiento sistémico

Abstract

The paper presents the main elements of a micro-computer interface, which can be a means for initiating the student in the Lean Manufacturing. Also allows you to explore improvement strategies (5S, 5 Why and line balancing) relying on systems thinking. The microworld has four subsystems: production, improvement, finance and client, which are interrelated by the production of paper planes, typical of the playful "Airplane of

the muda". The first test of the microworld in a group of 7 users (one teacher and six students) was exploratory and perceptions reflected favorable and promising results on the benefits of microworld as a possible tool to support the teaching. We comment on future work to improve the microworld and to obtain conclusive results with respect to user learning.

Keywords: *microworld; lean manufacturing; system thinking*

1. Introducción

Una de las filosofías de mejoramiento empresarial más posicionadas de la actualidad es el *Lean Manufacturing*; en su enseñanza se llama cada vez más a la vinculación de estrategias de aprendizaje activo; comienzan a notarse esfuerzos por emplear lúdicas que permitan al estudiante sentir la práctica de entornos simulados de trabajo, incorporando elementos de los aprendizajes colaborativo y basado en problemas (Pérez, 2012; Porras, 2011; Mejía, 2009; Almeida, Almeida y Meriguetti, 2008). Una de las lúdicas para ello es “El avión de la muda” (Pérez, 2011), que simula un proceso de elaboración de aviones de papel ante un escenario de los 7 desperdicios de manufactura, donde el estudiante puede interiorizar y aplicar conceptos y herramientas *Lean*. A pesar de las bondades de esta lúdica, su alcance está delimitado a decisiones de corto plazo y a enfoques de despliegue operativo, pero no estratégico, en el sentido de que no hace viable comprender las complejidades de la mejora continua a lo largo del tiempo, analizando relaciones causales, posibles soluciones contraproducentes y patrones de comportamiento.

En el caso de los futuros dirigentes empresariales, lúdicas como esta ameritan complementarse con escenarios más cercanos a la toma de decisiones estratégicas. Ante ello, la ponencia pretende divulgar la versión inicial de un micromundo computacional de “El avión de la muda”® como apoyo a la enseñanza – aprendizaje del *Lean Manufacturing* sobre la base del pensamiento sistémico; permite probar técnicas de: 5S, balanceo de línea y 5 porqué en el nombrado caso lúdico y observar, estudiar y comprender el comportamiento y las estructuras subyacentes a lo largo del tiempo. Al estudiar algunos escenarios de prueba, los de mejor desempeño no ocurren ante la implementación desarticulada de estas tres herramientas, sino cuando se toman como una amalgama que depende de la búsqueda de puntos de apalancamiento. La primera validación en un grupo de estudiantes reflejó percepciones satisfactorias hacia el propósito que motivó el desarrollo del micromundo, así como también permitió recolectar diversas oportunidades de mejora: vincular videos, animaciones, entre otros. A futuro se espera lograr una versión del micromundo que contribuya a una mejor comprensión de las complejidades empresariales a la hora de implementar estrategias de mejoramiento continuo y, en consecuencia, a una mejor formación de los futuros dirigentes empresariales.

2. Métodos

En la figura 1 se precisa el procedimiento seguido para construir el micromundo computacional.

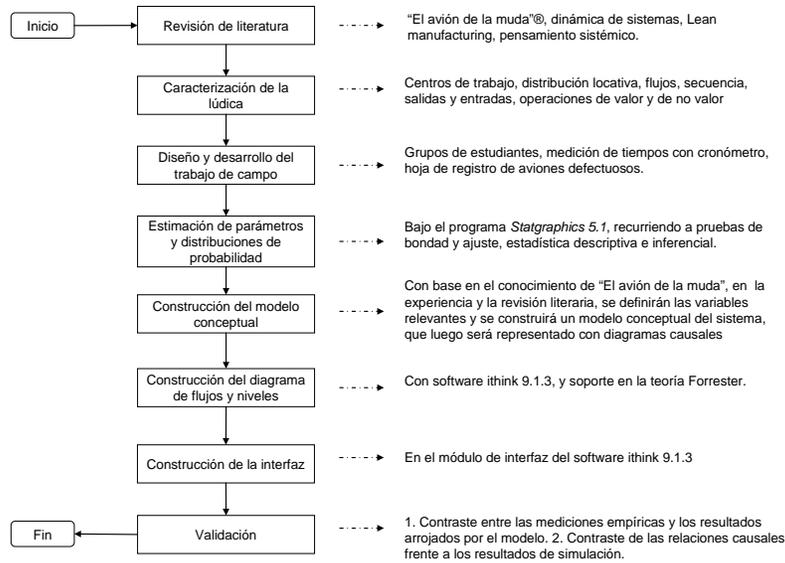


Figura 1. Procedimiento seguido para la elaboración del micromundo

3. Resultados

Módulos: El micromundo está compuesto por varios módulos; algunos de ellos internos y otros de cara al usuario. Los primeros corresponden al diagrama de flujos y niveles, y a las ecuaciones que relacionan los elementos de cuatro subsistemas. Los segundos van desde el caso propuesto como reto al estudiante hasta el módulo de retroalimentación, luego de que se han culminado las simulaciones por parte del estudiante. A continuación se describen los módulos de cara al estudiante:

Caso: La primera experiencia del estudiante con el micromundo comienza dándosele a conocer el caso retador a superar, el cual se enfoca, en términos generales, en que el estudiante asuma el rol del gerente de planta, comprenda el funcionamiento de la empresa y halle la forma de maximizar el flujo de caja, para lo cual se formará en tres herramientas *Lean*. En la figura 2 se muestran extractos del inicio de la experiencia del usuario con el micromundo.



Figura 2. Extractos de la primera experiencia del usuario con el micromundo: el caso

Desarrollo conceptual: Este módulo consta de un marco conceptual, apoyado también en figuras, sobre tres elementos fundamentales para la iniciación en el *Lean manufacturing*: 5S, análisis de causas (5 por qué) y balanceo de línea. Esto con el fin de que el estudiante se familiarice con el tema y vea ejemplos concretos de sus posibles usos (véase un ejemplo en la figura 3).

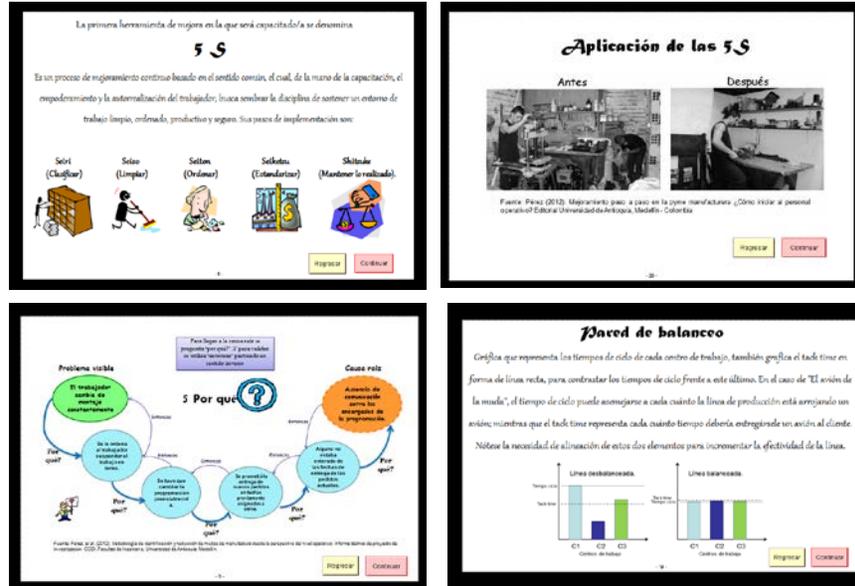


Figura 3. Extractos del material de familiarización de usuario con conceptos y usos de 5S, 5 por qué y balanceo de línea

Ilustración de la interfaz. El estudiante podrá probar sus hipótesis en un lapso de 25 años. Este módulo le explica sobre las componentes de la interfaz de operación y sobre cómo usarla (véase figura 4). Para cada uno de los cinco puestos de trabajo el usuario puede decidir si implementar o no 5S, y modificar la mano de obra (balanceo). También puede implementar o no los 5 por qué.

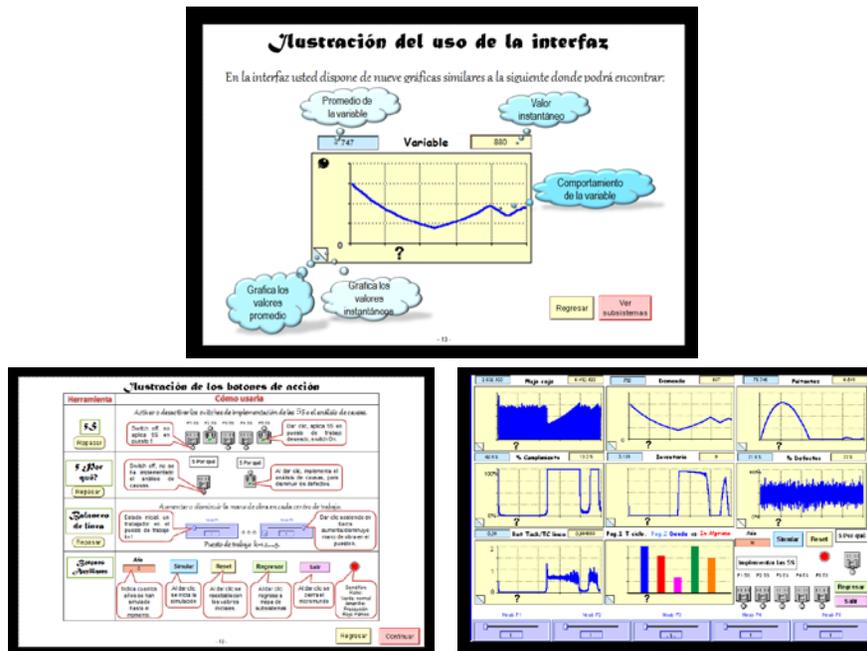


Figura 4. Extractos de la explicación del uso de la interfaz de operación

Módulos de retroalimentación: Una vez el estudiante ha probado sus hipótesis, etc., el micromundo tiene la posibilidad de ofrecer retroalimentación sobre las interrelaciones entre los subsistemas. Esta explicación puede hacerse a través de la lectura de diagramas causales (Véase figura 5).

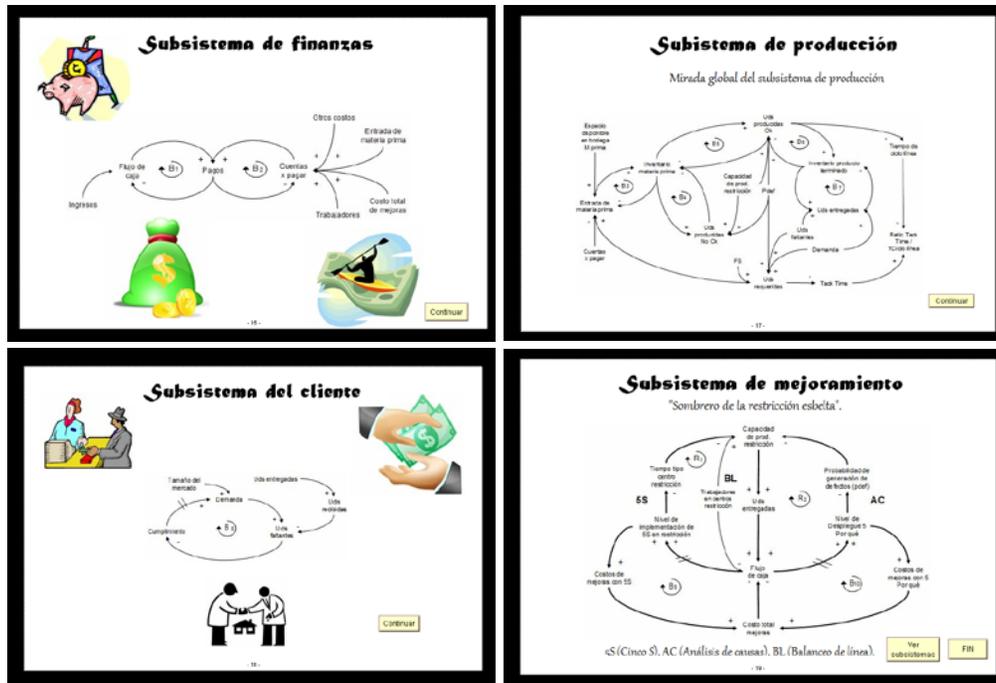


Figura 5. Pantallazos de retroalimentación sobre los subsistemas

El principal hallazgo obtenido al estudiar el comportamiento de los subsistemas frente a las herramientas *Lean* de interés fue la deducción de una estructura sistémica a la que, debido a su forma y elementos que incorpora, fue denominada “Sombrero de la restricción esbelta”. Esta puede verse en el cuadro inferior derecho de la figura 5; en términos generales, evidencia la necesidad de ir en busca de puntos de apalancamiento para lograr una mejora global del sistema, ameritando la integración de las herramientas descritas, combinadas con la búsqueda del centro de trabajo restricción. Es decir, por el hecho de implementar 5S o agregar un trabajador más a un puesto, no necesariamente se logra la mejora global del sistema. Este tema será tratado con mayor profundidad en publicaciones especializadas.

Validaciones: El micromundo ha recibido tres tipos de validaciones. La primera fue sobre la coherencia entre los datos de tiempos arrojados por el simulador de la lúdica y los estimados con base en el trabajo de campo; la segunda consistió en la verificación de los conceptos y la coherencia de los diagramas causales, probando las hipótesis dinámicas que allí subyacen. Esto se hizo apoyado en las corridas de simulación. La tercera, objeto de interés en esta ponencia, es la prueba ante un grupo de 7 usuarios (1 docente y 6 estudiantes), los cuales participaron de una actividad con el micromundo durante 2 horas y lo evaluaron a través de un cuestionario estructurado, de tipo exploratorio (escala Likert de cinco puntos: 1 totalmente en desacuerdo, 5 totalmente de acuerdo), como primera prueba de aplicación. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en dicha prueba:

Tabla 1. Percepciones de 7 usuarios al probar el micromundo

Nº	Ítems	Media	Desv
1	Favoreció el desarrollo de sus habilidades	4,57	0,53
2	Le permitió aplicar conocimientos adquiridos en su carrera universitaria	4,43	0,53
3	Le aportó conocimientos nuevos	4,43	0,53
4	Representó para usted un medio de aprendizaje motivador	4,57	0,79
5	Lo motivó a ser coautor de su propio aprendizaje	4,43	0,53
6	Le despertó interés por saciar conocimientos	4,29	0,76
7	Representó un reto para usted	4,29	1,25
8	Logró captar su atención	4,86	0,38
9	Le permitió reforzar contenidos de su carrera	4,57	0,53
10	Puede ser utilizada como complemento de algún curso de su carrera	4,86	0,38
11	Se sintió satisfecho con la actividad	4,57	0,53
12	El problema planteado en el caso de estudio fue comprensible	4,57	0,53
13	La calidad de la imagen en la pantalla fue de su agrado	4,43	0,53
14	Las figuras facilitaron la comprensión del caso	4,43	0,53
15	Permitió la ejecución de la actividad sin constante ayuda del profesor	4,43	0,79

Con relación a las mejores estrategias implementadas por los usuarios, el mayor flujo de caja (medio) obtenido y las estrategias que llevaron a ello se plasman en la tabla 2 para cada usuario (A,...G). Nótese la capacidad discriminativa de la prueba, llevando a resultados desde \$ 9.454.136 hasta \$ 42.101.825.

Tabla 2. Mayor flujo de caja medio obtenido por cada usuario y la estrategia empleada

Usuario	A	B	C	D	E	F	G
Flujo de caja	15'101.825 \$	42'165.684 \$	37'486.775 \$	9'454.136 \$	9'454.136	9'454.136 \$	38'474.550 \$
¿Usó los 5 por qué?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Trabaj. puesto 1	2	2	2	3	3	3	2
Trabaj. puesto 2	3	2	2	2	3	3	2
Trabaj. puesto 3	3	1	1	1	1	1	1
Trabaj. puesto 4	2	3	3	3	4	3	3
Trabaj. puesto 5	2	2	2	2	2	2	2
¿5S en puesto 1?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
¿5S en puesto 2?	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
¿5S en puesto 3?	Si	No	No	Si	No	Si	Si
¿5S en puesto 4?	Si	No	No	Si	Si	Si	Si
¿5S en puesto 5?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Además de consultar sobre las estrategias empleadas, se indagó sobre la manera como se sugiere llegar a ellas; estos fueron los aportes dados por los usuarios:

“Prueba y error” (A); “inicialmente mirando el balanceo de línea, el puesto 3 era el más rápido y el cuarto el más lento, se termina de balancear la línea con la aplicación de 5s, seleccionando aquellos que presentaron mayor impacto. Con los 5pq se logró disminuir el porcentaje de defectos” (B); “El uso de 5s no requiere inversión grande y ayuda a hacer más eficientes y seguros los puestos de trabajos, los 5pq ayudan en este caso a disminuir defectos y con una carga de trabajadores por cada puesto de trabajo logró un balanceo de línea con un tack time y tiempo ciclo cercanos. Con la gráfica de tiempo de ciclo busqué ajustar los de los diferentes puestos de trabajo con una asignación de trabajadores para cada uno, luego vi que al no aplicar 5s en P3 y P4 el flujo de caja crecía aún más” (C); “al aplicar las herramientas de las 5s y los por qué se garantiza el mejoramiento continuo y la identificación de las causas de posibles errores. Respecto al nivel de trabajadores, esta combinación es la que permite disminuir al máximo el tiempo de ciclo, garantizando el balanceo de la línea, el mayor cumplimiento, un nivel bajo de defectos, cero faltantes, un inventario y una demanda casi constantes. En cuanto al balanceo de línea, a menor número de trabajadores, mayor tiempo de ciclo. Se analizó cuáles eran los tiempos de ciclo mayores y estos requerían más trabajadores, logrando así un balanceo pertinente, un flujo de caja bueno y en aumento” (D); “porque se reducen los defectos y se mantiene una mano de obra de acuerdo a la demanda que se debe satisfacer” (E); “Con los 5 por qué se logra abordar la situación e identificando siempre la causa raíz de los problemas y no la visible, en cuanto a las 5s, es necesario clasificar las materias primas para que el producto no adquiera defectos desde sus inicios, y adecuando un balanceo de línea correcto. Los 5 puestos de la planta cumplirán con casi el mismo tiempo de trabajo, ajustando éste al pedido de los clientes.” (F); “balancear la línea teniendo en cuenta la implementación de las estrategias 5S, 5 Por qué” (G).

Nótese como, luego de dos horas de interacción usuario – micromundo (en la prueba), se reflejó cierta interiorización de elementos conceptuales y de relaciones entre términos de *Lean* y de variables de los subsistemas: defectos, tack time, tiempo de ciclo, cumplimiento, entre otros. A pesar de que nada de ello puede considerarse concluyente, puesto que esta primera prueba es de carácter exploratorio, comienzan a encontrarse elementos que refuerzan las valoraciones plasmadas en el cuestionario (tabla 1). Cabe resaltar que durante la prueba no se permitió el diálogo entre los usuarios ni consultas al facilitador.

3. Conclusiones y trabajos futuros

Se logró desarrollar un micromundo computacional, en etapa inicial, que incorpora conceptos y herramientas *Lean*, y posibilita explorar sus impactos en diversas variables de cuatro subsistemas: producción, mejoramiento, cliente y finanzas, apoyándose en el pensamiento sistémico. Se posibilita la familiarización conceptual del estudiante respecto a la iniciación en el tema, pero además, le permite generar hipótesis sobre ¿qué pasa sí?, probarlas y analizar sus efectos en un lapso de 25 años. En la primera prueba del micromundo a un grupo de 7 usuarios, se recolectaron percepciones favorables sobre el apoyo a la enseñanza-aprendizaje *Lean*. Al considerar el mayor flujo de caja medio obtenido por los usuarios se notan diferentes resultados, los cuales permiten discriminar razonablemente el desempeño logrado con las estrategias de mejora implementadas. Como trabajos futuros vale anotar que apenas se cuenta con una primera prueba, siendo necesario ampliar el alcance hacia muestras considerables y controlando factores como nivel académico del estudiante, grado de familiarización previo con el *Lean*, entre otros posibles factores que puedan incidir en la percepción y los resultados obtenidos. Asimismo, es preciso incorporar varias alternativas de mejora recolectadas durante la prueba, entre ellas, vincular videos que ayuden a la explicación de la interfaz, reducir imágenes cargadas de texto, explicar desde el inicio el término muda y emplear animaciones para presentar el caso al usuario, entre otras. Del mismo modo, otro de los retos es

diseñar, validar y aplicar instrumentos y métodos (grupo experimental – grupo control) que permitan medir el impacto del presente micromundo en el aprendizaje del estudiante.

4. Referencias

- Almeida, F., Almeida, M. y Meriguetti, B. (2008). “Heyjunka didático”: um jogo interdisciplinar que auxilia na elevação da aprendizagem sobre a produção enxuta. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.
- Mejía, L. (2009). GEIO: una propuesta que transforma la concepción tradicional de la enseñanza de la Ingeniería Industria. Universidad Tecnológica de Pereira. [Consultado el 16 de mayo de 2013], de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1181>
- Pérez, J. (2011). El avión de la muda: herramienta de apoyo a la enseñanza-aprendizaje práctico de la manufactura esbelta. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia. Colombia, Marzo, N. 58, pp. 173-182.
- Pérez, J. (2012). Mejoramiento paso a paso en la PYME manufacturera ¿Cómo iniciar al personal operativo? Editorial Universidad de Antioquia. Medellín – Colombia. ISBN: 978-958-714-512-0. 1ª edición. (Formatos e-book e impreso).
- Porras, Y. (2011). Mejoramiento de las prácticas lúdicas “the beer game”, “flow shop /job shop”, “fabrica xz” y “push/pull” en los laboratorios de ingenierías de la Universidad Autónoma de Occidente. [Consultado el 16 de mayo de 2013], de: <http://bdigital.uao.edu.co/handle/10614/1245>

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEEES)