

Estrategias de aprendizaje de FMEA y elementos productivos con Lego

Ivonne Angélica Castiblanco-Jiménez, Natalia Martínez-Castro & Martha Liliana Menco-Sierra

Programa de Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. ivonne.castiblanco@escuelaing.edu.co,
natalia.martinez-c@mail.escuelaing.edu.co, martha.menco@mail.escuelaing.edu.co

Resumen— Una de las herramientas de diseño robusto para el desarrollo de un producto que se enseña a los estudiantes de ingeniería industrial es la FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Es necesario que los estudiantes de ingeniería entiendan a profundidad el funcionamiento y análisis de esta herramienta, sin embargo, el método teórico de enseñanza genera en los alumnos una percepción de dificultad superior a la adecuada. Para ello en este artículo se evalúa una metodología empírica basada en estrategias de aprendizaje de FMEA y elementos productivos con Lego Mindstorms EV3. Mediante protocolos realizados con esta herramienta lúdica, el estudiante desarrolla las competencias esperadas con una calificación de 4.5/5.0, logrando acoplar el conocimiento teórico y práctico and percibe menor dificultad en el aprendizaje con una puntuación de 2/10, donde 10 es el puntaje más alto.

Palabras clave— aprendizaje lúdico; FMEA; enseñanza; Lego mindstorm.

Recibido: 14 de diciembre de 2018. Revisado: 20 de marzo de 2019. Aceptado: 11 de abril de 2019.

Earning strategies of FMEA and productive elements with Lego

Abstract— One of the robust design tools for product development taught to industrial engineering students is the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). It is necessary that engineering students understand in depth the operation and analysis of this tool, however, students perceive greater difficulty through the traditional teaching method. This article evaluates an empirical methodology based on FMEA and productive elements learning strategies using Lego Mindstorms EV3. By using ludic protocols, the student develops the expected competencies with a grade of 4.5/5.0, managing to combine theoretical and practical knowledge, and perceives less difficulty in learning with a score of 2/10, where 10 is the highest score.

Keywords— ludic learning activities; FMEA, teaching; Lego mindstorm.

1. Estado del arte

La FMEA o Análisis de los efectos del modo de falla, ha sido utilizada por diversas empresas para identificar las fallas posibles de un diseño o un proceso de fabricación de forma que se clasifican de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación en un documento para luego ser analizado [1]. Para ello, el ingeniero analista debe poseer cierto nivel de criterio para identificar la falla que se presenta en el sistema, el nivel de severidad y ocurrencia de esta. Es desde este punto de partida donde se deben analizar las

metodologías de enseñanza que emplean los diferentes institutos de educación para asegurar que los estudiantes aprenden el modo correcto de utilizar esta herramienta.

Para ello se ha realizado una amplia investigación acerca de los campos de aplicación de la herramienta FMEA identificando los diferentes sectores que hacen uso de ella, los distintos diseños empleados para su aplicabilidad y como principal objetivo, los métodos de enseñanza encontrados en la literatura. A partir de esta investigación se realizan la Tabla 1.

La FMEA ha sido una herramienta utilizada en diferentes sectores de la economía e implementada al producto o servicio. Como se evidencia en la Tabla 1, la ingeniería es uno de los sectores que implementan la FMEA. En esta columna se encuentran 4 investigaciones en las que se exponen los usos que se le han atribuido en este sector cuyo principal requerimiento consiste en la producción de elementos robustos que soporten manipulaciones extremas, como es el caso al evaluar el riesgo que genera un hundimiento en túneles urbanos [3] hasta productos más desarrollados como lo son el tren de aterrizaje de una aeronave aeroespacial [6]. La FMEA es también utilizada en el sector de la medicina para estudiar los riesgos en unidades de esterilización, así como para una parte más administrativa como lo es de las fallas que ocurren en el proceso de trabajo de un departamento de emergencia [8].

El área automotriz es otro campo de estudio donde se aplica la FMEA en cada uno de los componentes desde el desarrollo del producto y utilizando en la actualidad versiones personalizadas y nuevas metodologías [16]. Otras ramas donde se puede encontrar la implementación de esta herramienta son en el campo social, industrial, entre otros. Se hace la diferenciación entre cada uno de estos sectores teniendo en cuenta que el sector automotriz hace referencia a la creación y producción de medios de transporte y cuyo análisis de las fallas es más profundo y complejo, mientras que el sector industrial se entiende en este artículo como un conjunto de actividades que tienen como objetivo la transformación de materias primas en productos más sencillos de forma masiva. Por otra parte, en el sector de la medicina se hace referencia a la fabricación de productos quirúrgicos; el sector social hace alusión al diseño de un servicio en pro de la comunidad; y el sector HSE es el que

Como citar este artículo: Castiblanco-Jiménez, I.A., Martínez-Castro, N. and Menco-Sierra, M.L., Estrategias de aprendizaje de FMEA y elementos productivos con Lego. Educación en Ingeniería, 14(28), pp. 7-17, Marzo - Julio de 2019.

Tabla 1.
Uso de la FMEA encontrada en la literatura por sector

Artículo	Sector						
	Medicina	Ingeniería	Hse	Industria	Social	Máquinas y Equipos	Automotriz
HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with undesirable outputs: A study of automotive parts industry in Iran [2]			X				
Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system [3]		X					
A practical solution for HVAC prognostics: Failure mode and effects analysis in building maintenance [4]						X	
Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility [5]				X			
An extension to Fuzzy Developed Failure Mode and Effects Analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system [6]		X		X			
Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. [7]				X			
Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. [8]	X						
Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department [9]	X		X				
Optimization of photovoltaic maintenance plan by means of a FMEA approach based on real data. [10]		X					
Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA. [11]		X					
Risk Analysis of Poultry Feed Production Using Fuzzy FMEA. [12]				X			
Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion. [13]						X	
A Knowledge Based FMEA to Support Identification and Management of Vehicle Flexible Component Issues. [14]							X
The Use of FMEA for the Analysis of Corruption: A Case Study from Bulgaria. [15]					X		
A Systems Approach to the Development of Enhanced Learning for Engineering Systems Design Analysis. [16]							X

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

busca dentro de la salud ocupacional brindarles bienestar a los trabajadores.

Cuando se habla en este artículo del sector de la ingeniería se hace referencia a la búsqueda de soluciones, tanto a necesidades sociales, industriales o económicas. Finalmente, el sector maquinaria y equipo trata del análisis de las máquinas y equipos que permiten la operación y la utilización para un determinado fin.

En los marcos de las observaciones anteriores se presenta un diagrama de barras del uso de la FMEA en los diferentes sectores de la economía. (ver Fig. 1).

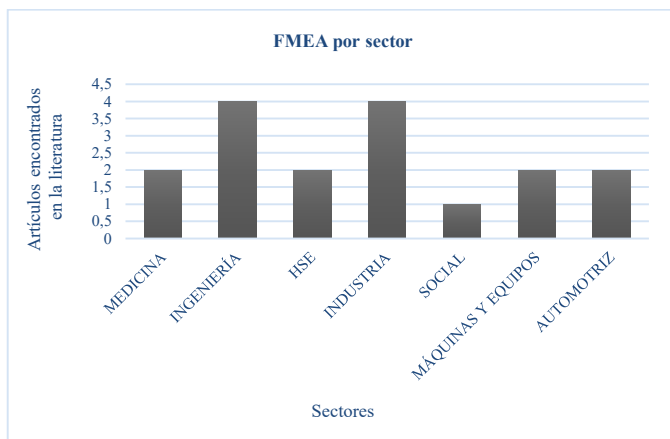


Figura 1. Uso de la FMEA encontrada en la literatura por sector
Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

Tal como se observa en la Fig. 1 los sectores que presentan mayor uso de la FMEA son el sector de ingeniería y el sector de la industria andá que estos sectores son los que evalúan la confiabilidad de los equipos, así como las fallas en productos, procesos y sistemas, de esta manera clasifica de forma objetiva sus efectos y causas de modo que se evite su ocurrencia y mantener un método documentado de prevención [17]. De acuerdo con la Fig. 1 en el sector en el que menos se presenta uso es en el sector social.

La FMEA es una técnica complicada de entender y aprender [22] andá que su análisis e implementación conlleva varios criterios y aptitudes que debe poseer el personal que lo vaya a emplear, implica incertidumbres inherentes, por lo cual se le han modificado o fusionado con otras técnicas. Casos se pueden evidenciar en el método de la Fuzzy FMEA presentado en la Tabla 2 como uno de los diseños de la FMEA, en esta columna se presentan 7 investigaciones que implementan esta técnica que proporciona una herramienta que puede funcionar de una mejor manera con conceptos vagos y sin información suficiente, generando mayor confianza en el resultado del RPN [3]. Un parámetro clave para poder lograr una buena inferencia de la FMEA es el RPN, pero por el mismo modo es muy subjetivo y posee varios problemas al momento de su cálculo, por lo que se han diseñado varios programas que ayudan a la obtención de este, como lo son el cálculo del RPN difuso que puede rectificar las limitaciones citadas en la literatura. También se puede encontrar el método MULTIMOORA el cual calcula el peso de cada falla en función de tres criterios de

Tabla 2
Uso de la FMEA encontrada en la literatura por diseño

Artículo	Diseño					
	RPN	SOM	Etree	RDEA	Multimo-ORA	FUZZY FMEA
Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system. [3]						X
Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility. [5]	X					
FlowSort-GDSS – A novel group multi-criteria decision support system for sorting problems with application to FMEA. [18]	X					
An extension to Fuzzy Developed Failure Mode and Effects Analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. [6]						X
Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. [19]	X				X	X
Application of self-organizing map to failure modes and effects analysis methodology. [20]		X				
Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. [9]						X
Clustering and visualization of failure modes using an evolving tree. [21]			X			
Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion. [13]						X
Improving fuzzy FMEA model for student projects. [22]						X
HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with undesirable outputs: A study of automotive parts industry in Iran. [2]	X			X		
Application of Fuzzy Inference Techniques to FMEA. [23]	X					X

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

tiempo, costo y beneficio, entre otras técnicas de inferencia difusa para la determinación de RPN [19]. Así mismo se han creado mecanismos computarizados para lograr una mejor visualización de la FMEA como son la SOM, el Etree y el Flow Sort-GDSS.

Después de las consideraciones anteriores se presenta un diagrama de barras de los diseños de la FMEA (ver Fig. 2), en el que evidencia que la Fuzzy FMEA es el diseño que más se utiliza en las investigaciones encontradas y el segundo es el RPN.

A pesar de los diferentes campos de acción de la FMEA, se puede evidenciar en la Tabla 3 que son escasos los métodos de enseñanza que se han desarrollado para entender esta herramienta. Esta investigación analizó que se han diseñado sistemas de mejoramiento y aprendizaje de la FMEA utilizando programas computacionales, sin embargo, la mayoría profundiza en el cálculo del RPN como principal objetivo de sus proyectos y no en la instrucción a estudiantes. En la Tabla 3, en la columna de programación, se indica qué artículos utilizan un método de enseñanza mediante programas computacionales y que han demostrado un desarrollo en las técnicas de aprendizaje de la FMEA en los estudiantes.

Lolli, F., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B. and Messori, M, evaluaron la criticidad de un modo de falla (RPN) mediante un nuevo método de decisión multicriterio (MCDM) denominado FlowSort-GDSS para clasificar los modos de falla en clases de prioridad e involucrando a múltiples tomadores de decisiones. Este programa le permite al analista tener mayor certeza de la calificación asignada. [18].

Chang, W.L., Tay, K.M. and Lim, C.P, proponen el uso de ETree como un paradigma efectivo de aprendizaje de redes neuronales para facilitar las implementaciones de FMEA. En este modelo de visualización se utiliza el árbol evolutivo (ETree), para permitir que los modos de falla en FMEA se agrupen y visualicen como una estructura de árbol. Además, las ideas de intervalo de riesgo y orden de riesgo para diferentes

grupos de modos de falla se proponen para permitir ordenar, analizar y evaluarlos en grupos. [21]

Chang, W.L., Pang, L.M. and Tay, K.M exponen un método computacional para identificar modos de falla potenciales, este programa es conocido como SOM y se trata de una herramienta de visualización donde se evidencia las relaciones correctivas a través de un mapa que está representado por medio de colores. La ventaja de este programa es que la representación visual la traduce a la hoja tradicional de FMEA y ayuda a organizar la información por grupos, lo cual permite evaluar las acciones correctivas [20].

Khuankrue, I., Kumeno, F., Ohashi and. and Tsujimura and exponen las deficiencias de un estudiante al momento de utilizar la FMEA en casos reales debido a la falta de experiencia y la subjetividad del cálculo del RPN, por lo cual proponen un modelo que proporcione un apoyo a los estudiantes al momento de identificar y evaluar los riesgos en un proyecto. Este modelo consta de dos enfoques principales, el primero consta de una simulación de expertos para poder mejorar el concepto de

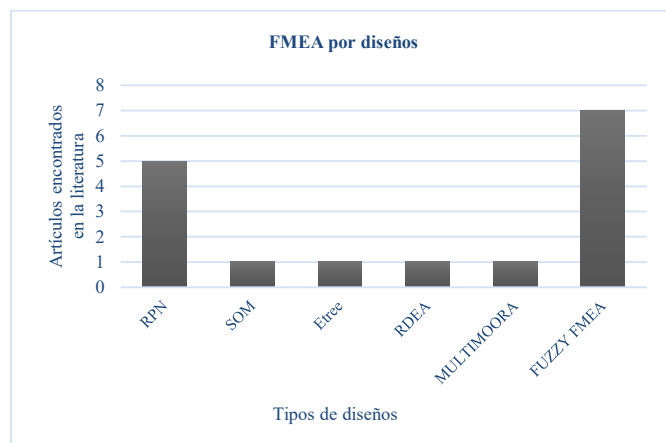


Figura 2. Diseños de la FMEA encontrados en la literatura.

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

Tabla 3.
Metodologías de enseñanza de FMEA encontradas en la literatura

Artículo	Educación	
	Programación	Lúdicas
FlowSort-GDSS – A novel group multi-criteria decision support system for sorting problems with application to FMEA. [18]	X	
Application of self-organizing map to failure modes and effects analysis methodology. [20]	X	
Clustering and visualization of failure modes using an evolving tree. [21]	X	
A Methodology for Learning from System Failures and Its Application to PC Server Maintenance. [24]	X	
Improving fuzzy FMEA model for student projects. [22]	X	
A Systems Approach to the Development of Enhanced Learning for Engineering Systems Design Analysis. [16]	X	
Application of Fuzzy Inference Techniques to FMEA. [23]	X	

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

simulación de expertos para poder mejorar el concepto de riesgo dentro de un proyecto, el segundo enfoque consiste en una votación para poder diligenciar los valores en la tabla. Estos enfoques están planeados para una un sistema de inferencia difusa [22].

En este orden de ideas se presenta un diagrama de barras de las metodologías de enseñanza de la FMEA encontradas en la literatura (ver Fig. 3). Como se puede evidenciar en el estado del arte en la Tabla 3 y en lo expuesto en la Fig. 3, el 100% de los métodos de aprendizaje para la FMEA se realiza a través de programación, entendiéndose esta última como un mecanismo de simulación que usan netamente tecnología computacional y de programación en software and las lúdicas como todo aquello relativo al juego y entretenimiento usado para la explicación de nuevos conceptos usando herramientas diferentes a las computacionales. En la literatura no se encuentran pedagogías ni lúdicas que le permitan a un ingeniero en formación crear la habilidad de elaborar de manera eficiente una FMEA, ni donde se pueda tener mayor claridad de los diferentes conceptos y de la forma correcta de poder diligenciar el formato para lograr con certeza que el trabajo realizado está dando los resultados correctos.

Dadas las condiciones que anteceden, se vio una oportunidad de estudio acerca de una metodología que ayude a comprender la FMEA de una manera más práctica, que les permita a los profesores instruir a los estudiantes y proporcionarles las herramientas necesarias para formar el criterio que caracteriza a los buenos analistas de la FMEA. De esta manera se le puede brindar a los estudiantes mejores oportunidades de tener éxito en la aplicación de la herramienta.

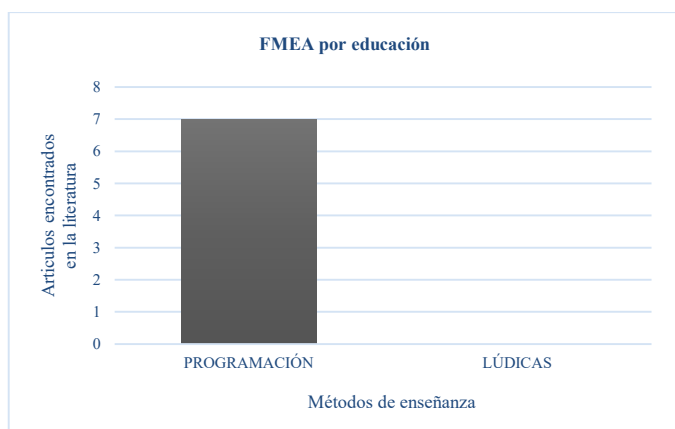


Figura 3. Metodologías de enseñanza de la FMEA.

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

2. Metodología

Esta investigación se llevará a cabo en diferentes fases (ver Tabla 4). Como punto de partida, para la fase 1 se realizó una encuesta a un grupo de ingenieros Industriales egresados de diferentes universidades con el fin de conocer su opinión acerca de la dificultad de la FMEA en el momento de aplicarla en su campo laboral. De la misma manera se analizó su postura con respecto a esta herramienta. Así mismo en la fase 2 se realizó otra encuesta, esta vez para un grupo de estudiantes de ingeniería industrial de una universidad que tenga dentro de su pensum una materia que proponga la FMEA dentro de su contenido programático, de modo se pueda analizar, ahora desde la perspectiva del estudiante, la opinión que tienen acerca de qué tan difícil fue para ellos aprender a utilizar esta herramienta.

Para continuar, en la fase 3, se llevó a cabo la búsqueda de metodologías para la enseñanza de la FMEA y se analizó la que se considere conveniente para desarrollar procesos de reflexión, innovación, creatividad, planteamiento y solución de problemas, habilidad para trabajo en equipo, análisis crítico, mediante el contacto simulado de la realidad. Por tal razón y de acuerdo a los objetivos seleccionados, en la fase 4 se procedió a crear un protocolo experimental.

Para evaluar la metodología seleccionada y el protocolo diseñado, en la fase 5 se escogió un grupo piloto de estudiantes que en el momento estén aprendiendo la herramienta en su curso teórico y estudiantes que con anterioridad ya habían visto el tema de forma teórica. Para el desarrollo de la fase 6 se llevó a cabo una encuesta donde se analice la percepción de dificultad de aprendizaje de la FMEA con el método propuesto. El análisis preliminar, permite identificar que, como resultado de la

Tabla 4
Paso a paso del desarrollo de la metodología

Desarrollo de la metodología de investigación	
Fases	Descripción
1	Encuesta a un grupo de ingenieros industriales egresados de diferentes universidades
2	Encuesta a un grupo de estudiantes de ingeniería industrial que conozcan teóricamente la FMEA
3	Búsqueda de metodologías para la enseñanza de la FMEA
4	Crear un protocolo experimental
5	Realizar pruebas piloto a estudiantes
6	Encuesta a los grupos piloto sobre la percepción de la DFMEA utilizando la metodología propuesta
7	Evaluación de los resultados obtenidos por los estudiantes

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

metodología escogida, los estudiantes puedan entender más a profundidad esta herramienta y estar en la capacidad de analizar y evaluar un caso de FMEA de forma eficiente. En base en lo anterior, en la fase 7 se evaluó a los estudiantes los conceptos más importantes de la FMEA y competencias genéricas.

Se compararon los resultados de antes y después de la metodología implementada y se analizó para sus posibles cambios y modificaciones. De esta manera se espera definir un protocolo que se pueda implementar en el futuro como una estrategia lúdica para el aprendizaje de la FMEA.

2.1. Desarrollo de la metodología

Una herramienta muy útil en el campo de la ingeniería industrial es la “Failure Modes and Effects Analysis” conocida también como la FMEA, cuya traducción es “Análisis de los efectos del modo de falla”, la cual ha sido utilizada por grandes industrias para identificar y evaluar las posibles fallas en la elaboración de un diseño y línea de producción. Para ello el ingeniero a cargo debe poseer la experiencia y el criterio necesario para obtener el resultado apropiado de la evaluación.

Revisando en la literatura los campos de aplicación de la herramienta, se ha podido concluir que es necesario que los ingenieros entiendan el funcionamiento y análisis de la misma; sin embargo, la base pedagógica utilizada hoy en día para instruir a los estudiantes no es lo suficientemente sólida y posee puntos débiles. Esto se puede ver evidenciado en la encuesta realizada a un grupo de 11 ingenieros industriales egresados de diferentes universidades, donde se les preguntó acerca de su conocimiento sobre la FMEA. Se pudo evidenciar que el 56,3% de ellos sabían a ciencia cierta qué era la FMEA (ver Fig. 4) y que de ellos únicamente el 23,08% de los encuestados aprendieron a utilizar esta herramienta a lo largo de su carrera universitaria (ver Fig. 5). Estos resultados nos llevan a deducir que a pesar de que la FMEA es una herramienta tan importante, muchas de las universidades omiten transmitir la información concerniente a este tema and esto puede deberse a que no existe una metodología establecida que dicte la mejor forma de entenderla.

Se escogió a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en la búsqueda de una universidad que dentro de su pensum de ingeniería Industrial tuviera una materia que

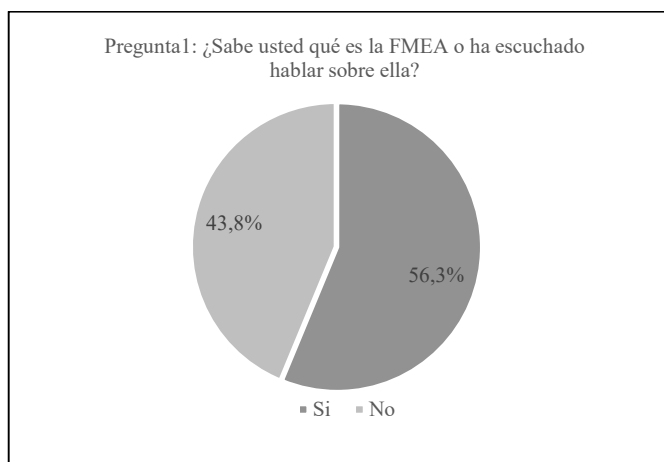


Figura 4. Resultados sobre FMEA a grupo de ingenieros industriales. Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

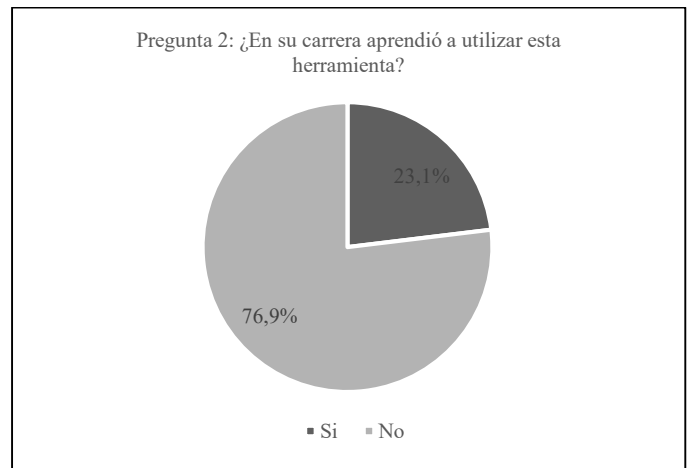


Figura 5. Resultado pregunta 2 sobre FMEA a ingenieros industriales. Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

incluyera la FMEA en sus temas de explicación. Se seleccionó un grupo de 27 estudiantes a los que se les realizó una encuesta donde se les preguntaba acerca de la dificultad que tuvieron al entender la FMEA, de lo cual el 37% dijo que fue difícil comprenderla (ver Fig. 6). Se les preguntó a además si creían que sería más fácil entender esta herramienta mediante protocolos prácticos y lúdicas, de lo cual el 88,9% estaba de acuerdo (ver Fig. 7)

Dentro de las encuestas hechas a los estudiantes y a los profesionales se les preguntó acerca del nivel de dificultad de la FMEA desde su concepto. Este estudio se basa en una escala de clasificación continua, donde se califica de 1 a 10, donde 1 es nada compleja y 10 es muy compleja. Los resultados obtenidos se pueden ver en las Tablas 5 y 6 presentadas a continuación. Analizando los resultados se puede evidenciar que en promedio tanto para estudiantes como por profesores la dificultad es media, es decir, es necesario que se evalué el método de enseñanza.

Analizando los datos anteriormente presentados, se debe buscar una metodología de enseñanza apropiada para la FMEA que permita al estudiante desarrollar procesos de reflexión, análisis, planteamiento y solución de problemas.

En algunas instituciones educativas se han encontrado estrategias y lúdicas para que los estudiantes aprendan de forma empírica, como por ejemplo la lección de gingivitis por medio de juegos de cartas o el famoso juego de “¿quién quiere ser millonario?” [25], el estudio de las ciencias naturales por medio de biobingo o lotería [26], en la Universidad de Córdoba con la implementación de lúdicas y simulaciones de sistemas de producción [27], entre otros. Investigando en la literatura se pudo evidenciar que no hay suficientes protocolos experimentales que le permitan al estudiante interactuar con elementos que le faciliten entender el funcionamiento de la herramienta de la FMEA de forma práctica. En este artículo un protocolo experimental hace alusión a un documento que contiene, con el máximo posible de detalle, precisión y claridad pertinente la descripción de las fases, componentes, características metodológicas, requisitos y actividades necesarias para completar un proyecto de investigación, a partir del cual se construye el manual de operaciones [28].

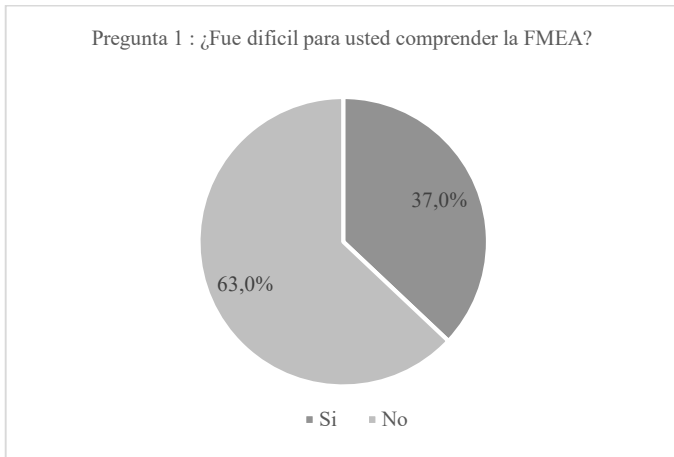


Figura 6. Encuesta a estudiantes de Ingeniería Industrial. Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

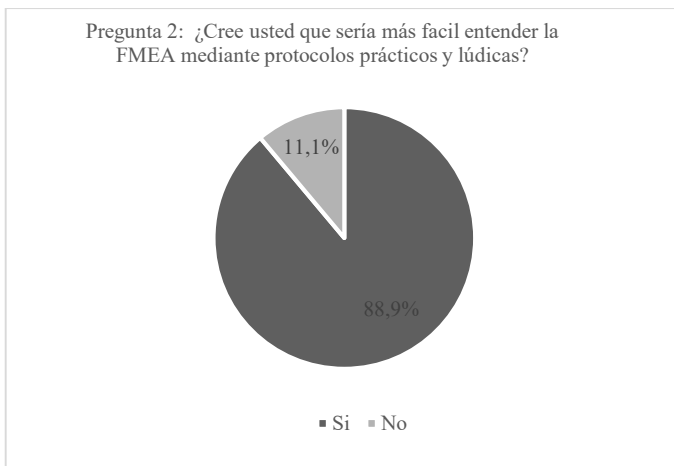


Figura 7. Encuesta a estudiantes de Ingeniería Industrial. Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

Tabla 5.

Pregunta a estudiantes acerca de la dificultad de comprender la FMEA

¿Qué tan complejo es entender la FMEA?										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio ponderado
1	1	1	2	5	2	9	3	2	0	6

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

Tabla 6.

Pregunta a profesionales acerca de la dificultad para comprender la FMEA

¿Qué tan complejo es entender la FMEA?										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio ponderado
0	0	0	3	5	0	0	2	0	1	5,7

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

Para este tipo de herramientas no basta la formulación teórica ya que en ella no se logran generar las bases necesarias para formar el criterio de decisión del estudiante. Desde un punto de vista pedagógico, las clases prácticas son imprescindibles para reforzar las explicaciones teóricas y fomentar la capacidad de análisis y síntesis. Sirven también para comprobar el grado de asimilación de la materia y detectar

posibles carencias de formación de los alumnos, así como mecanismo para su aprendizaje práctico-profesional and que aplica los conocimientos teóricos a la realidad [29]. De esta manera el estudiante puede desarrollar las competencias genéricas y específicas, mientras amplía su pensamiento lógico, analítico y crítico [30].

Simon Fraser University define al aprendizaje experiencial como: *“la participación estratégica y activa de los estudiantes en contextos en los que aprenden haciendo y reflexionando sobre esas actividades, lo que los faculta para aplicar sus conocimientos teóricos a los proyectos prácticos en una multitud de configuraciones dentro y fuera del aula”*.

Lo cual es justo lo que se quiere lograr mediante la pedagogía de la FMEA.

Los métodos pedagógicos más directamente relacionados con el aprendizaje experiencial son el método del caso y los modelos de simulación. Ambos se caracterizan porque permiten que el alumno viva una realidad empresarial y aprenda a través de la experiencia derivada de la misma [29].

La combinación de ambas metodologías permitirá potenciar el aprendizaje del alumno de una forma más eficaz, aplicando conocimiento a tareas prácticas [31], permitiendo desarrollar, entre otras habilidades, las relacionadas con la toma de decisiones y la resolución de problemas, el trabajo en equipo, la negociación y el ejercicio del pensamiento crítico [32].

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando y siguiendo la metodología propuesta, se crea un protocolo experimental, en el cual se crean estrategias de aprendizaje de FMEA y elementos productivos utilizando lúdicas y herramientas que le permitan al estudiante afianzar los conocimientos teóricos desde una perspectiva más práctica y tangible. Para cumplir con este objetivo, se hace uso de la línea de Lego Mindstorms EV3.

En cuanto a la utilización de LEGO en el aula de clase, estos juguetes han sido desarrollados para fomentar el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la motricidad fina que implican a la hora de armar una figura. Como parte de su estrategia de mercadeo han elaborado diferentes líneas y una de ellas está dedicada a la educación y dentro de sus finalidades está el fomentar el aprendizaje a partir de la creación, la curiosidad y la imaginación para armar un artefacto [33].

De esta forma, LEGO desde su propuesta busca que los estudiantes construyan un modelo integrado con partes mecánicas y electrónicas operadas por un controlador, en donde a partir de una programación, descubran nuevas formas de responder a una sociedad cada vez más tecnológica y de avanzada en temas relacionados con la ciencia, la cultura y los avances tecnológicos dispuestos a la carta en nuestra vida cotidiana. Así, la robótica permite el acercamiento a otros campos de saber que no necesariamente son de carácter tecnológico y permite que los estudiantes elaboren sus propios conceptos desde el ensamblaje y fabricación de sus propuestas [33].

De esta manera el material didáctico LEGO ofrece un amplio abanico de oportunidades para la integración de los conocimientos, técnicas, habilidades y destrezas de un sin fin de disciplinas, áreas científicas y tecnológicas, como son la electrónica, la mecánica, la ingeniería, la física, la informática, entre otras. Los conceptos pasan de la teoría a la práctica y

viceversa, sus aplicaciones son infinitas y el límite está en la imaginación para su uso como estrategia didáctica [33].

Sobre la base de las consideraciones anteriores se observa claramente una oportunidad de crear una guía para los estudiantes que les ayude a desarrollar competencias de comunicación, trabajo en equipo, resolución de problemas, pensamiento lógico, habilidades de razonamiento y creatividad.

Inicialmente, se escoge un tema específico dentro de la FMEA para crear un protocolo a evaluar a los estudiantes. Tomando como base el estudio anterior que se realizó a estudiantes de Ingeniería Industrial en el curso de desarrollo del producto, se direcciona la guía hacia el diseño y desarrollo de un producto, por lo cual se elige la rama de la DFMEA (Design Failure Mode and Effect Analysis) para elaborarlo.

En relación con esto último, se construye un robot con el cual se realizarán las prácticas experimentales y se crea una situación hipotética que les permita a los estudiantes el análisis crítico mientras entran en un contacto simulado de la realidad. Como objetivo de la práctica se busca acoplar el conocimiento teórico y práctico para diligenciar de manera adecuada el formato de DFMEA.

Siguiendo con la metodología planeada, se realiza el protocolo experimental (ver Fig. 8) en base a una situación hipotética con un robot de la línea de Lego Mindstorm EV3 construido para este fin. En base en las funciones del robot, se programa de tal forma que se pueda analizar diferentes fallas. Este protocolo se envía a los estudiantes que hacen parte de la prueba piloto para que los lean con anterioridad. (Ver Anexo Protocolo experimental).

El protocolo consiste en diligenciar un formato de DFMEA real (ver Fig. 9), en el cual los estudiantes puedan analizar las fallas del robot mientras hacen uso de este. Con él se evaluarán conceptos como el modo potencial de falla, efecto potencial de falla, causa potencial, el cálculo actual y nuevo del RPN y acciones recomendadas. Para evaluar estos conceptos anteriormente mencionados, se elabora un formato de calificación (Ver anexo Formato de calificación) que permitirá estandarizar la evaluación de los estudiantes y medirlos bajo puntajes estipulados por la institución educativa donde se realiza la prueba piloto (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito) y adoptando la equivalencia con la escala de valoración nacional [34], la cual se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Escala de valoración

Método cuantitativo	Método cualitativo
5.0 - 4.5	Desempeño superior (S)
4.4 - 4.0	Desempeño alto (A)
3.9 - 3.0	Desempeño básico (BS)
2.9 - 0.0	Desempeño bajo (BJ)

Fuente: [34]

ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA DFMEA

Componente _____ Responsable del Diseño _____ DFMEA Número _____
 Ensamble _____ Preparó _____ Pagina _____ de _____
 Equipo de Trabajo _____ FECHA (orig.) de FMEA _____ (rev.) _____

Función Proceso o Requisi- mientos	Modo Potencial de Falla	Efecto (s) Potencial (es)	S e v e r i d a d	C a u s a s P o t e n c i a l e s / M e c a n i s m o s d e l a f a l l a	O c u r r e n c i a	C o n t r o l e s d e P r o c e s o A c t u a l e s P r e v e n c i o n	C o n t r o l e s d e P r o c e s o A c t u a l e s D e t e c c i o n	D i f i c u l t a d e D e t e c c i o n	A c c i o n (e s) R e c o m e n d a d a (s)	R e s p o n s a b l e y f e c h a o b j e t i v o d e T e r m i n a c i o n	Resultados de Acción						
											A c c i o n e s T o m a d a s	S e v e r i d a d	O c u r r e n c i a	D i f i c u l t a d	R e p a r t e		
Ciclo sensor.	Pérdida de la señal del robot.	El robot deja de funcionar.	3	La forma de la conexión entre el Brick y el Giro sensor no es adecuada. No se utilizó conector estándar.	3	No aplica	No aplica	3	72	Utilizar formas estándar en la industria para estos tipo de conexiones.	Marzo-Mayo 24 de octubre de 2018.	Diseño y fabricación de un conector estándar para evitar futuras inconvenientes en el robot.	5	2	3	48	
		No se manejan en momentos de alta velocidad de la señal.															
		Tarjetas sueltas o sueltas inadecuadas entre color sensor y soporte.															

Figura 9. Formato DFMEA a diligenciar
Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

Por otra parte and para efectos de la medición de la práctica, se elabora un formato de encuesta (Ver anexo Formato encuesta) que los estudiantes deberán responder después de terminada la prueba piloto. Cabe aclarar que la evaluación de los conceptos será aplicada únicamente al protocolo (garantizando los temas de clase) and la evaluación comparativa será sobre percepción de dificultad del aprendizaje tanto de estudiantes que ya habían visto el tema de la DFMEA con anterioridad utilizando la metodología teórica, en contraste con los estudiantes que aplicarán la DMFEA con la metodología lúdica.

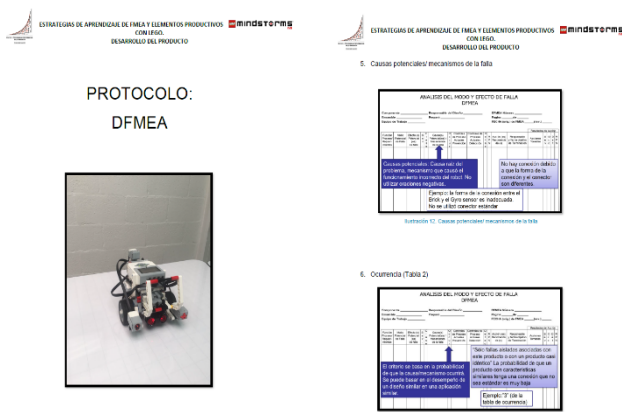


Figura 8. Protocolo experimental de la DFMEA.
Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

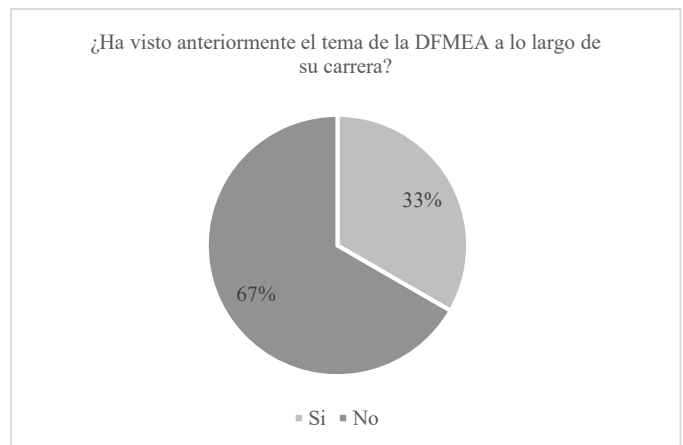


Figura 10. Encuesta a estudiantes acerca de su conocimiento previo de la DFMEA
Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M.

Después de realizados el protocolo experimental, el formato de calificación y el formato de encuesta, se realizaron las pruebas piloto a distintos grupos que variaban entre estudiantes que ya habían visto con anterioridad el tema de la DFMEA de forma teórica a lo largo de su carrera (ver Fig. 10) and estudiantes que no. Esto con el fin de conocer el desempeño de los estudiantes que lo ven por primera vez y conocer su percepción de dificultad y así mismo hacer una comparación de los resultados obtenidos con los que ya la conocían con anterioridad. Además, confrontar la percepción de dificultad de la DFMEA antes del protocolo experimental y después de este para estudiantes que ya la conocían.

Adicionalmente se les separan en grupos de dos e individual, de manera que se pueda evaluar qué tan eficaz es el trabajo en equipo utilizando esta metodología de enseñanza.

3. Resultados

Realizando una toma de tiempos, se pudo analizar que estudiantes que efectuaron la práctica de forma grupal obtuvieron tiempos de ejecución más cortos. En el desarrollo de la práctica individual los tiempos estuvieron entre 17 y 25 minutos, en cambio por parejas los tiempos estuvieron entre 10 y 15 minutos. Con base en lo anterior se puede concluir que el trabajo en grupo es mucho más eficiente ya que los integrantes discuten entre ellos e intercambian opiniones que les permiten llegar a una solución óptima y pronta. Adicionalmente en un desarrollo grupal de la práctica, los estudiantes interactúan mucho más con el robot, permitiéndoles un mayor conocimiento de las funciones de este (ver Figs. 11,12).



Figura 11. Grupos piloto en parejas
Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

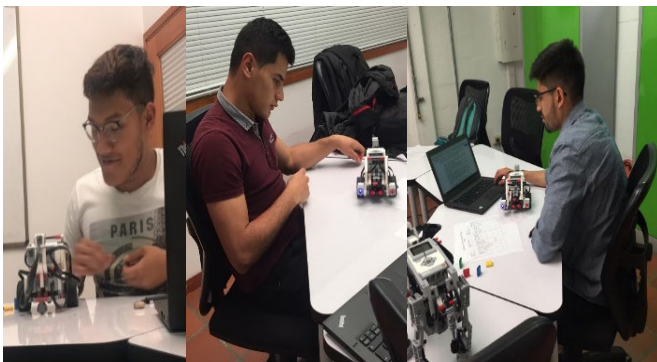


Figura 12. Grupos piloto individuales
Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

Finalizada la práctica se realizó una encuesta a los estudiantes, en la cual se les preguntaba acerca de su conocimiento previo de la DFMEA, el grado de dificultad que tuvo la práctica para entender el tema and su opinión acerca de la herramienta de Lego utilizada para esta.

En el marco de la observación del análisis de percepción de dificultad visto con anterioridad en el desarrollo de la metodología en la Tabla 5 se evidencia que los estudiantes que aprendieron la DFMEA con la metodología tradicional (teórica), expresaron que la dificultad del tema es medio, es decir, se obtuvo una puntuación de 6.

Por otro lado, se realiza una encuesta a estudiantes que hacen parte del grupo piloto que ya conocían la DFMEA de forma teórica y retomaron el tema con la metodología lúdica (ver Tabla 8). Se observa que el nivel de percepción de dificultad es bajo, es decir, se obtuvo una puntuación de 2. Significa entonces, que el protocolo experimental ayuda a los estudiantes a tener mayor claridad del tema de la DFMEA, lo cual hace que su percepción de dificultad disminuya. A continuación, se muestra la opinión de uno de los estudiantes del grupo piloto acerca de la dificultad que percibió en la práctica

“La implementación de elementos lúdicos facilita el análisis de falla y sus posibles causas”- Estudiante del grupo piloto.

A partir de esto se puede evidenciar que para el estudiante la práctica le facilita la comprensión del tema and que solo con la teoría la subjetividad es mayor y con el robot al tener una mayor interacción, el análisis es directo.

En este mismo orden y dirección, se realiza una encuesta a estudiantes que hacen parte del grupo piloto que no conocían la DFMEA (ver Tabla 9) and en efecto, la puntuación de percepción de dificultad es de 2.3, lo cual significa que el nivel de dificultad para ellos también es bajo. Algunos estudiantes expresaron su opinión al respecto dentro de las encuestas diligenciadas, ejemplo de esta se muestra a continuación:

“Mediante el análisis de desempeño de las funciones de un robot, es más fácil identificar la acción, las causas and las posibles correcciones a realizar para solucionar posibles problemas.”- Estudiante del grupo piloto.

Lo anterior refleja la buena acogida que se tuvo con la metodología propuesta y se logra el objetivo de el correcto diligenciamiento del formato de la DFMEA.

En base a los resultados se puede concluir que la práctica fortalece la comprensión y entendimiento de la DFMEA debido a que los estudiantes pueden tener mayor interacción con el objeto de estudio y analizar sus posibles fallas. Se evidencia en

Tabla 8

Encuesta a estudiantes que ya conocían la DFMEA.										
¿Qué tan difícil fue para usted comprender la DFMEA con esta lúdica?										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio ponderado
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

Tabla 9

Encuesta a estudiantes que no conocían la DFMEA										
¿Qué tan difícil fue para usted comprender la DFMEA con esta lúdica?										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio ponderado
2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	2,3

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

las Tablas 8 y 9 que los estudiantes se sintieron cómodos con la dificultad de la práctica con un puntaje de 2 para estudiantes que ya la conocían y de 2,3 para estudiantes que no la habían visto. Poniendo en contraste los resultados de ambas metodológicas, inicialmente con la metodología meramente teórica y con la metodología teórica-práctica, la percepción de la dificultad disminuye, llegando a una dificultad baja a comparación de la anterior. Sobre la base de las consideraciones anteriores, se concluye que el protocolo experimental funciona para mejorar la claridad en el tema y que la percepción de la dificultad disminuya.

En cuanto a la calidad de la solución del protocolo experimental, al evaluar a los estudiantes con el formato de calificación, se obtuvo un desempeño alto y superior entre los diferentes grupos piloto (ver Tabla 10), calificaciones que lograron en promedio un desempeño superior igual a 4.5, lo cual evidencia el aprendizaje y entendimiento de los conceptos básicos de la DFMEA con la metodología lúdica propuesta.

Se busca generar a través de esta práctica procesos de reflexión a través de una guía para encontrar la solución correcta, desarrollando ideas lógicas que les permitieron plantear propuestas adecuadas para la solución de una falla, generando en los estudiantes un análisis crítico. Con el protocolo propuesto los estudiantes desarrollan su creatividad al tener que visualizar una falla que no está presente en el robot, pero que por medio de la manipulación de este se puede inventar. Además, los estudiantes innovan modificando elementos ya existentes con el fin de mejorarlos o renovarlos (acciones recomendadas), para lo cual se necesita la capacidad de plantear y solucionar problemas.

Partiendo de los supuestos anteriores se realizó una encuesta a los estudiantes del grupo piloto sobre la percepción del desarrollo de estas competencias mediante la práctica, en una escala de 1 a 10, teniendo en cuenta que 1 es la valoración más baja and se extrajo los siguientes resultados: para la competencia de análisis crítico se obtuvo un puntaje promedio de 8,9, para la competencia de creatividad se obtuvo un puntaje de 8,7, para la competencia de planteamiento y solución de problemas se obtuvo un puntaje de 8,9, para la competencia de innovación se obtuvo un puntaje de 8,6 y para el proceso de reflexión se obtuvo un puntaje de 8,1. Atendiendo a estas consideraciones se puede inferir que se logra una percepción del desarrollo de las competencias alto mediante la implementación de este protocolo.

Basados en las evaluaciones anteriores, se puede evidenciar que los estudiantes comprendieron el tema de DFMEA mediante el método de aprendizaje propuesto a lo largo de este artículo, logrando acoplar los conocimientos teóricos a un entorno práctico y lúdico que les permite diligenciar de forma correcta el formato de la DFMEA y la comprensión del cálculo del RPN. En efecto, se puede concluir que este método es útil y beneficioso para la aprehensión de la DFMEA en los estudiantes.

Dadas las condiciones que anteceden, resulta oportuno evaluar la herramienta que acompaña la metodología utilizada, por lo cual se les pregunta a los estudiantes cómo calificarían la realización de práctica utilizando la línea de Lego Mindstorms EV3 y se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 11.

Tabla 10
Calificación final de los diferentes grupos piloto

Grupo	Calificación final
G1	4.4
G2	4.8
G3	4.5
G4	4.3
G5	4.7
G6	4.4

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

Tabla 11
Encuesta a estudiantes que ya conocían la DFMEA sobre opinión acerca de los Legos

¿cómo calificaría realizar lúdicas con la herramienta de Lego Mindstorm EV3?											Promedio ponderado
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0	0	0	0	0	0	0	1	2		9,7

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

Tabla 12
Encuesta a estudiantes que no conocían la DFMEA sobre opinión acerca de los Legos

¿cómo calificaría realizar lúdicas con la herramienta de Lego Mindstorm EV3?											Promedio ponderado
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0	0	0	0	0	0	2	0	4		9,3

Fuente: Castiblanco, I., Martínez, N. y Menco, M

De los resultados anteriores, se evidencia una buena acogida de la herramienta lúdica utilizada para llevar a cabo la práctica, que en este caso fue el uso de Lego Mindstorm EV3, como se observa en las Tablas 11 y 12, se logró un puntaje alto de 9.5 en promedio entre los estudiantes que ya la habían visto y quienes no.

Algunos de las opiniones expresadas por algunos estudiantes que hicieron parte de los grupos piloto acerca del uso de los Lego se muestran a continuación:

“La utilización de la herramienta de Lego, permite ver el funcionamiento del producto y todos sus mecanismos”- Estudiante del grupo piloto.

“Considero que es una manera fácil, rápida y eficaz para aprender un tema y comprenderlo”- Estudiante del grupo piloto.

La herramienta de Legos para el desarrollo de la metodología propuesta fue efectiva a la hora de fomentar en el estudiante un pensamiento crítico y una buena resolución de problemas, facilitando la integración de conocimientos teóricos y prácticos y afianzando aptitudes creativas en el estudiante.

4. Conclusiones

Se puede concluir que al implementar una metodología lúdica en la enseñanza de la FMEA la percepción de la dificultad evaluada de 1 a 10 puntos, siendo 1 la más baja, decrece de 6 a 2 puntos tanto para los estudiantes que ya habían visto el tema como para los que la estaban viendo por primera vez y se logra disminuir la subjetividad de los criterios de severidad, detección y ocurrencia.

Adoptando una metodología de enseñanza lúdica, se espera

que los estudiantes hagan uso de las siguientes competencias: análisis crítico, procesos de reflexión, innovación, creatividad, planteamiento y solución de problemas por medio del contacto simulado de la realidad e interactuando con el objeto a analizar que en esta práctica corresponde a el robot de la línea Lego Mindstorm EV3.

Mediante la práctica realizada se logró una estrategia de trabajo en equipo, donde las ideas de los estudiantes se complementan entre sí para llegar a una respuesta acertada y lógica. La discusión entre una pareja de trabajo, se traduce en la depuración de una lluvia de ideas, para llegar a un consenso que defina la mejor ruta a seguir.

Por otra parte, mediante el protocolo experimental se logró acoplar el conocimiento teórico y práctico para diligenciar de manera adecuada el formato de la DFMEA y la comprensión del cálculo del RPN, evidenciado en que la calificación promedio fue de 4.5/5.0, obteniendo un desempeño alto.

En términos generales se puede concluir que la investigación satisfizo las expectativas planteadas en torno a el uso de las lúdicas para la enseñanza de la FMEA. Este estilo de investigación aporta a la educación en ingeniería, dado que contribuye a mejorar el interés de los estudiantes hacia algunos temas que no son tan amenos y permite desarrollar herramientas lúdicas mediante el uso de nuevas tecnologías que afiancen los procesos de enseñanza.

Referencias

- [1] Martínez, C., Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes, Tesis de Maestría, Univ. Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, 2004.
- [2] Yousefi, S., Alizadeh, A., Hayati, J. and Baghery, M., HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with undesirable outputs: a study of automotive parts industry in Iran, *Safety Science*, 102, pp. 144-158, 2018.
- [3] Raffie, M. and Samimi, F., Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system, *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(4), pp. 655-663, 2015.
- [4] Yang, C., Shen, W., Chen, Q. and Gunay, B., A practical solution for HVAC prognostics: failure mode and effects analysis in building maintenance. *Journal of Building Engineering*, 15, pp. 26-32, 2018.
- [5] Renjith, V.R., Jose, M., Kumar, P.H. and Madhavan, D., Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2018.
- [6] Yazdi, M., Daneshvar, S. and Setareh, H., An extension to Fuzzy Developed Failure Mode and Effects Analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety Science*, 98, pp. 113-123, 2017.
- [7] Peeters, J.F.W., Basten, R.J.I. and Tinga, T., Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. *Reliability Engineering & System Safety*, 172, pp. 36-44, 2018.
- [8] Dagsuyu, C., Gocmen, E., Narli, M. and Kokangul, A., Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. *Computers & Industrial Engineering*, 101, pp. 286-294, 2016.
- [9] Chanamool, N. and Naenna, T., Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. *Applied Soft Computing*, 43, pp. 441-453, 2016.
- [10] Villarini, M., Cesarotti, V., Alfonsi, L. and Introna, V., Optimization of photovoltaic maintenance plan by means of a FMEA approach based on real data. *Energy Conversion and Management*, 152, pp. 1-12, 2017.
- [11] Kang, J., Sun, L., Sun, H. and Wu, C., Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA. *Ocean Engineering*, 129, pp. 382-388, 2017.
- [12] Wessiani, N.A. and Sarwoko, S.O., Risk Analysis of Poultry Feed Production Using Fuzzy FMEA. *Procedia Manufacturing*, 4, pp. 270-281, 2015.
- [13] Ahn, J., Noh and., Park, S.H., Choi, B.I and Chang, D., Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion, *Journal of Power Sources*, 364, pp. 226-233, 2017.
- [14] Renu et al., A knowledge based FMEA to support identification and management of vehicle flexible component issues. *Procedia CIRP*, 44, pp. 157-162, 2016
- [15] Ochrana, F., Půček, M. and Plaček, M., The use of FMEA for the analysis of corruption: a case study from Bulgaria. *Procedia Economics and Finance*, 30, pp. 613-621, 2015.
- [16] Henshall, E., Campean, F. and Rutter, B., A systems approach to the development of enhanced learning for engineering systems design analysis. *Procedia CIRP*, 60, pp. 530-535, 2017.
- [17] Galeano, E. and Pérez, H., Análisis de modo y efecto de falla en el proceso de extrusión-soplado en placa S.A. Tesis de pregrado, Univ. Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2017.
- [18] Lolli, F., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B. and Messori, M., FlowSort-GDSS – A novel group multi-criteria decision support system for sorting problems with application to FMEA. *Expert Systems with Applications*, 42(17-18), pp. 6342-6349, 2015.
- [19] Fattahi, R. and Khalilzadeh, M., Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment, *Safety Science*, 102, pp. 290-300, 2018.
- [20] Chang, W.L., Pang, L.M. and Tay, K.M., Application of self-organizing map to failure modes and effects analysis methodology. *Neurocomputing*, 249, pp. 314-320, 2017.
- [21] Chang, W.L., Tay, K.M. and Lim, C.P., Clustering and visualization of failure modes using an evolving tree. *Expert Systems with Applications*, 42(20), pp. 7235-7244, 2015.
- [22] Khuankrue, I., Kumeno, F., Ohashi, Y. and Tsujimura, Y., Improving fuzzy FMEA model for student projects. Paper presented at the IFSA-SCIS 2017 - Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, 2017. DOI:10.1109/IFSA-SCIS.2017.8023361.
- [23] Tay, K. and Lim, C., Application of Fuzzy inference techniques to FMEA, in: Abraham A., de Baets, B., Köppen, M., Nickolay, B. (eds), *Applied soft computing technologies: the challenge of complexity*. *Advances in Soft Computing*, vol 34. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [24] Nakamura, T. and Kijima, K., A Methodology for learning from system failures and its application to PC server maintenance. *Risk Management*, 10(1), pp. 1-31, 2008.
- [25] Sánchez, M., Sánchez, K. y Agudelo, A., Estrategias lúdicas para aumentar el conocimiento de un grupo de adolescentes escolarizados sobre la gingivitis. *Duazary: Revista Internacional de Ciencias de la Salud*, 12(2), pp. 100-111, 2015.
- [26] Flores, G., Estrategias lúdicas para la enseñanza en las ciencias naturales (biología) en el área de primaria, Tesis de Maestría, Instituto Campechano, México.
- [27] Marin, Y., Montes, J., Hernandez, H. y Lopez, J., Validación de la lúdica como herramienta metodológica complementaria en la enseñanza del método de producción tradicional y del método de producción de la teoría de restricciones (TOC) para el manejo de los entornos multitarea. *Ingeniería y Universidad*, 14(1), 2010.
- [28] Amezcua, M., Como realizar un protocolo de investigación. *Ciberindex: Web de la fundación index*. [en línea]. 2000. Disponible en: <http://www.index-f.com/PROTOCOLO.php>
- [29] Gutierrez, M., Romero, S. and Solorzano, M., El Aprendizaje experiencial como metodología docente: aplicación del método Macbeth. *Argos*, 28(54), 2011.
- [30] Medina, A., Amado, M. and Brito, R., Competencias genéricas en la educación superior tecnológica mexicana: desde las percepciones de docentes y estudiantes. *Actualidades Investigativas en Educación*, 10(3), pp. 1-28, 2010.
- [31] Aidar, A., Cases and business games: the perfect match!. *Developments, Business Simulation and Experiential Learning*, 33, pp. 204- 212, 2006.
- [32] Blasco, F., Teoría y aplicación de los métodos de aprendizaje en las ciencias empresariales: análisis comparativo entre el método del caso y el juego de simulación de empresa. *EU Empresariales, Seminario de Marketing*, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2000.

- [33] Beltrán, L. and Rodríguez, M., Lego, una estrategia didáctica para el aprendizaje de los conceptos relacionados con el fenómeno de la energía, en los estudiantes del ciclo IV del colegio María Mercedes Carranza I.E.D. Tesis de maestría, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2016.
- [34] Decreto N° 1290. Ministerio de Educación Nacional, Bogotá D.C, Colombia, 16 de abril de 2009.

I.A. Castiblanco-Jiménez, es Ing. Electrónica en 2011 de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, MSc. en Ing. Mecatrónica en 2011 del Politécnico di Torino, Turín, Italia, MSc. en Automatización Industrial en 2014 del Politécnico di Torino, Turín, Italia. Esp. en Lean Manufacturing y World Class Manufacturing. Experiencia en el campo de gestión de instalaciones, desarrollo de producto y producción para el grupo FIAT CHRYSLER en Turín, Italia. Profesor de planta de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia, en el programa de Ingeniería Industrial. Centro de Investigaciones en Manufactura y Servicios – CIMSER, Bogotá, Colombia.

ORCID: 0000-0001 -5866-078X

N. Martínez-Castro, es estudiante de último semestre de Ing. Industrial de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. Perteneciente al semillero de investigación del énfasis en Gestión y Optimización de operaciones.

ORCID: 0000-0002-8868-3525

M.L. Menco-Sierra, es estudiante de último semestre Ing. Industrial de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. Perteneciente al semillero de investigación del énfasis en Gestión y Optimización de operaciones.

ORCID 0000-0003-3226-0256