

APLICACIÓN DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS VÍA PROYECTOS TERMINALES EN INGENIERÍA

A. M. García-León¹
F. J. Cerino-Córdova²
M. T. Castillo-Escobedo³

RESUMEN

Para lograr un aprendizaje significativo es necesario la implementación de actividades de aprendizajes que fomenten la adquisición de competencias necesarias que faciliten la inserción laboral de los egresados. En este artículo se muestra la implementación de evidencias de aprendizajes basadas en el desarrollo de un proyecto de la vida cotidiana o de una organización, teniendo como objetivo principal que los estudiantes adquieran las competencias necesarias para el diseño de sistemas productivos óptimos mediante la aplicación de herramientas de análisis y control fundamentadas en conceptos ingenieriles. En esta actividad, los alumnos en primer lugar deben definir el proyecto en el cual desean trabajar, posteriormente, los estudiantes deben identificar la variable respuesta y las variables significativas del proceso. Finalmente, deben aplicar sus conocimientos de diseño de experimentos para la optimización del proceso mediante un diseño factorial 2³. Los resultados demostraron que las calificaciones obtenidas con el desarrollo de esta actividad son superiores a las calificaciones obtenidas con la aplicación tradicional de un examen de conocimientos. Con el desarrollo de estas actividades, los alumnos no solo adquieren un conocimiento significativo, sino que, además se fomenta el trabajo colaborativo, la planeación y administración de recursos y asumir diferentes roles en el trabajo en equipo, las cuales son competencias que serán de utilidad durante su ejercicio profesional.

ANTECEDENTES

Los organismos acreditadores Nacionales e Internacionales de programas educativos de ingeniería (CACEI, ABET, etc.) consideran que uno de los atributos con los que debe contar todo egresado en ingeniería es la capacidad para llevar a cabo experimentos con el fin de mejorar los procesos mediante el análisis e interpretación de los datos obtenidos (Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería [CACEI], 2018 y Accreditation Board of Engineering and Technology [ABET], 2018).

Por lo tanto, es responsabilidad de los programas educativos incluir actividades de enseñanza aprendizaje, no solo con el fin de cumplir con los requisitos de acreditación, sino que deben tener como principal premisa el que los egresados adquieran las competencias necesarias para su inserción en el mercado laboral. Esto requiere que los profesores cambien el paradigma de su rol tradicional, es decir, pasar de la enseñanza basada en el profesor a la enseñanza basada en el estudiante en donde el profesor tiene la responsabilidad de provocar la adquisición del conocimiento (Felder, 2019 y Felder & Brent, 2016).

La Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), ha contemplado dentro de su modelo educativo la enseñanza centrada en el aprendizaje y la enseñanza basada en competencias. Dentro del modelo se tiene contemplado que el profesor asuma un rol diferente al

¹ Profesor – Investigador de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. azucenamgl@yahoo.fr.

² Profesor – Investigador de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León. felipejccuanl@yahoo.com.mx.

³ Profesor de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. maria.castilloes@uanl.edu.mx.

tradicional, por lo cual, será su responsabilidad el de crear ambientes de aprendizaje colaborativos, diseñar actividades que fomenten el desarrollo de las competencias declaradas en el programa analítico de las unidades de aprendizajes y, facilitar el aprendizaje mediante el desarrollo de estrategias que integren aspectos científicos, técnicos, sociales y éticos, por mencionar solo algunos.

Una de las estrategias utilizadas en los programas de ingeniería de la Facultad de Ciencias Químicas y en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL, es la aplicación del aprendizaje basado en problemas (ABP). La idea central de esta estrategia es que los estudiantes adquieran un aprendizaje significativo, dado que, en lugar de solamente memorizar los conocimientos y aplicarlos en problemas teóricos, deberán adquirir la capacidad para aplicarlo a situaciones reales, lo cual les facilitará su utilización futura durante sus actividades profesionales (Ballesteros, Daza, Valdés, Ratkovich & Reyes, 2019).

Adicionalmente, con la aplicación de esta estrategia, los estudiantes adquieren las habilidades para trabajar de manera colaborativa con sus compañeros, asumiendo diferentes roles en el trabajo en equipo, y al mismo tiempo aprenden a administrar sus recursos y las actividades a desarrollar; con lo cual, se fortalecen la autodirección (Mills & Treagust, 2003 y Blumenfeld et al., 1991).

En este artículo, se presenta la aplicación del aprendizaje basado en proyectos en la unidad de aprendizaje (UA) de Estadística y Diseño de Experimentos, impartido en sexto semestre en el programa educativo de Ingeniero Industrial Administrador de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El objetivo de la UA, es conseguir que los estudiantes sean capaces de utilizar las técnicas y herramientas de planeación para la obtención y análisis estadístico de datos. Por lo tanto, en esta UA, los estudiantes adquieren la competencia de diseñar sistemas productivos óptimos, utilizando diversas herramientas de análisis y control, las cuales están fundamentadas en conceptos ingenieriles, con el fin último de incrementar la productividad en las organizaciones.

Consecuentemente, los estudiantes desarrollan experimentos relacionados con la práctica de la ingeniería, adquiriendo la capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería, así como la capacidad de diseñar y llevar a cabo experimentos, de analizar e interpretar resultados de estadística de datos.

Es por ello, que una de las actividades y evidencias que forman parte de los instrumentos de evaluación de esta UA, es el desarrollar un proyecto integrador de aprendizaje (PIA), en el cual se integran y ponen en práctica los conocimientos adquiridos durante el periodo escolar. El proyecto integrador de aprendizaje es una actividad de aprendizaje que se realiza en las unidades de aprendizaje (UA) de planes de estudio de ingenierías, los cuales están basados en competencias. Los PIA's son proyectos terminales en donde se integran los conocimientos adquiridos durante el periodo escolar y, además, pueden incluir herramientas y estrategias aprendidas en otras UA, a fin de enriquecer sustancialmente los proyectos.

En este artículo, se presenta como estrategia de aprendizaje significativo, el desarrollo de un proyecto de optimización de un proceso de la vida cotidiana o de la organización mediante la aplicación de diseños de experimentos en la UA de estadística.

METODOLOGÍA

El proyecto consiste en realizar un estudio de campo sobre alguna característica crítica de calidad de algún proceso productivo, industrial o de la vida cotidiana. Los proyectos se desarrollan en equipos de 3 a 4 estudiantes, dependiendo de la cantidad total de estudiantes en el grupo. En la primera etapa, los estudiantes deben de definir la oportunidad de mejora sea en la vida cotidiana o en la organización. En la segunda etapa, los estudiantes deben de adquirir un conocimiento del proceso a mejorar, para lo cual deberán identificar la variable respuesta y las variables de entrada que pudieran afectar al proceso.

La optimización del proceso productivo o de la vida cotidiana se realiza mediante el desarrollo de un Diseño Factorial de tres parámetros a dos niveles cada uno (2^3), con al menos 10 réplicas por tratamiento y añadiendo réplicas en el punto central, a fin de identificar curvatura en la región estudiada. En el caso de que alguno de los parámetros de entrada sea cualitativo, el análisis se complementa mediante un Diseño Ortogonal L_8 . Los análisis del proceso se realizan a partir de datos generados por los estudiantes o proporcionados directamente por la organización.

Los estudiantes buscan un proceso en alguna empresa del área metropolitana de Monterrey, en la cual puedan desarrollar su proyecto de mejora. Los estudiantes realizan las gestiones necesarias para poder visitar y conocer el proceso detalladamente, con la finalidad de detectar áreas de oportunidad en la empresa. Posteriormente, de acuerdo con la problemática u oportunidad detectada, los integrantes del equipo a través de una lluvia de ideas determinan la variable de respuesta que mejor responda a las necesidades, además, enlistan todos los posibles parámetros que pudieran influir la variable de salida. En esta parte del proyecto, los estudiantes llegan a un acuerdo sobre las tres variables de entrada más importantes a controlar, para lo cual se fijan a dos niveles cada una de ellas, basándose en las condiciones de operaciones existentes.

El plan de ensayos se crea de acuerdo con el diseño factorial solicitado y una vez ejecutados los experimentos, los datos obtenidos del proceso productivo se trabajan utilizando un paquete computacional especializado. En este proyecto, los estudiantes utilizan Minitab, Design-Expert y Excel de Microsoft Office.

Los datos obtenidos se analizan por medio de estadísticas descriptivas, diagrama de dispersión, pruebas de hipótesis e intervalos de confianza con la finalidad de revisar el comportamiento del proceso. A continuación, se establecen los parámetros que influyen significativamente sobre la respuesta, vía el análisis de varianza, las pruebas de hipótesis y los intervalos de confianza. Enseguida, con los parámetros significativos, se construyen un modelo matemático estadístico que represente y prediga el comportamiento del proceso; además, revisan la adecuación del modelo por medio de análisis residuales, correlación, entre otros.

Una vez que los factores significativos han sido identificados, los estudiantes elaboran un modelo estadístico ajustado, construyendo gráficos de contornos y de superficie de respuesta, a fin de explorar rápidamente el espacio de estudio con varios parámetros. Analizando las configuraciones de los parámetros con el cual se obtenga el objetivo del proceso deseado, el estudiante será capaz de determinar las condiciones máximas, mínimas o muy cercanas al nominal para optimizar el proceso en estudio.

Posteriormente, los estudiantes deberán realizar la documentación detallada del proyecto, para lo cual se les proporciona una rúbrica, el cual contempla las características de un formato de tesina de investigación, con la finalidad de enseñarles a documentar la aplicación del método científico. Durante el desarrollo del proyecto, a los estudiantes se les realiza un seguimiento de avances periódicos (dos veces por semana), durante aproximadamente un mes o mes y medio a fin de retroalimentar los análisis, las conclusiones y las aportaciones o recomendaciones hechas para la mejor toma de decisiones en la empresa. Asimismo, los estudiantes generan una presentación del proyecto con el propósito de enseñarles a sintetizar las ideas principales de su trabajo.

Finalmente, el proyecto es presentado en 20 min ante el grupo, con el fin de que, todo el grupo visualice los trabajos desarrollados por los demás equipos. Como una forma de fomentar la participación y premiar el esfuerzo logrado, los estudiantes votan individualmente, a ciegas, por los proyectos que a su parecer deben tener los tres primeros lugares. A los integrantes que obtengan el primer lugar, se les otorga una calificación de 100 en la evidencia del PIA, a los del segundo lugar una calificación de 99 y a los del tercer lugar se les otorga una calificación de 98 sobre base 100.

RESULTADOS

En cada periodo escolar, semestral, se desarrollan aproximadamente de 8 a 11 proyectos terminales por grupo de la UA, dependiendo de la cantidad de estudiantes por grupo. Durante el año 2019, en tres grupos se llevaron a cabo 30 proyectos terminales, de los cuales aproximadamente el 80% se centraron en un proceso productivo de una empresa y el 20% restante los desarrollaron de un proceso de la vida cotidiana. Se analizaron empresas del giro industrial y de servicios, de tamaños grandes y medianas. Los procesos productivos analizados, fueron muy variados, así como las variables de respuestas optimizadas, según los objetivos de mejora, como se muestra en la Tabla 1.

Durante el desarrollo de los proyectos en equipo, se observó que los integrantes de los equipos compartían y debatían sus ideas, con lo cual se favorecía el proceso creativo de mejora y el establecimiento de las recomendaciones del proceso, con lo cual se obtuvo un incremento en la integración de habilidades de los integrantes del equipo, fortaleciendo además principios, valores y actitudes.

Otras de las características de los resultados obtenidos con la aplicación de esta estrategia de aprendizaje es lo referentes a la documentación del proyecto en una tesina. Los estudiantes fueron capaces de realizar una estructuración adecuada, para lo cual incluyeron en la tesina el flujo del proceso productivo estudiado, así como, fotografías del proceso y de las piezas que se están examinando, si es que aplica. De igual manera, las exposiciones de

los proyectos contienen no solo fotografías, sino también los alumnos mostraron creatividad al realizar pequeños videos del proceso productivo que se está mejorando.

En lo que respecta a la escritura de la tesina, les permitió a los estudiantes documentar el pensamiento científico que, en el caso de las carreras de ingeniería, es poco evidente enseñárselas. La tesina es un documento que los estudiantes entregan a la empresa, de tal forma que los estudiantes demostraron lo que son capaces de llevar a cabo, por lo cual, también le aporta sustancialmente a su currículo, de manera que, se les facilite su inserción en alguna empresa cuando busquen una estancia para prácticas profesionales o servicio social. Igualmente, se observó que los estudiantes sentían una mayor motivación y orgullo, dado que adquieren conciencia de la capacidad que tienen para aplicar los conocimientos adquiridos en el aula a nivel industrial.

En lo que concierne a la exposición del proyecto al grupo, los estudiantes demostraron su capacidad a sintetizar el proyecto realizado (mostrando solamente los puntos más importantes), además, los estudiantes aprendieron a transmitir los resultados de manera estructurada, clara y precisa, logrando con ello una comunicación efectiva de sus ideas.

Las exposiciones de los proyectos, permiten que todos los estudiantes del grupo conozcan otros procesos de industrias diversas, por lo que, les ofrece la oportunidad de visualizar el alcance de las aplicaciones de las herramientas estadística aprendidas para la optimización de procesos en sectores muy diversos (Tabla 1).

Tabla 1. Optimización de procesos productivos a través de un diseño de experimental 2³.

Proceso	Objetivo	Parámetros	Empresa
Resistencia eléctrica de soldadura en cucharones de cargadores	Maximizar la resistencia de la unión (psi)	Temperatura: 100 – 120 °C Velocidad de alimentación: 350 – 450 L/min Grosor de soldadura: 5 – 10 cm	Fabricante de equipo para la agricultura
Velocidad de internet	Maximizar los megabytes transmitidos por segundo (MB/s)	Equipo de transmisión: ADSL, VDSL Tipo de cable: ScrebH, ScrebH-3 Distancia de central al distrito: 1 – 2 km	Servicio de telefonía
Tiempo de secado de resina en transformadores	Reducir el tiempo de secado de resina poliéster (min)	Tipo de resina: A-1250203, A-1230201 Catalizador: 20 – 40% Temperatura: 90 – 100 °F	Fabricación de transformadores industriales
Volumen de	Minimizar la	Rapidez de línea:	Producción de

llenado de botellas	desviación con respecto al volumen nominal (ml)	300 – 700 bpm Presión de inyección: 80 – 100 psi Gases de dióxido de carbono y nitrógeno: 26 – 29%	refrescos de cola (500 ml)
Resistencia a la tensión en galvanizado de láminas de acero	Maximizar la resistencia a la tensión en galvanizado de láminas de acero (psi)	Límite elástico: 90 – 120 mm Manganeso: 0.10 – 0.20% Elongación: 14 – 16%	Galvanizado de láminas de acero
Purificación de agua	Minimizar la cantidad de cloruros totales en agua (mg/L)	Titulante por el nitrato: 15.5 – 21.8 ml Solución de N AgNO ₃ : 0.0137 – 0.0139 mg Cantidad de muestra: 50 – 100 ml	Servicio de pruebas de calidad del agua
Iniciador de bolsas de aire automotriz	Minimizar la cantidad de defectos en el pin del iniciador (%)	Tiempo de agarre en moldeo: 0.3 – 5 s Presión de agarre en moldeo: 500 – 1100 MPa Velocidad del proceso: 40 – 100 mm/s	Fabricante de componentes de seguridad automotriz

En la Figura 1, se presentan las calificaciones promedio del PIA y las calificaciones finales de la UA por grupo. Las calificaciones promedio de los proyectos terminales, se encuentran muy por arriba del mínimo aprobatorio y son superiores a las de la UA, demuestran que el estudiante aprende mejor aplicando los conocimientos teóricos y desarrolla la habilidad para hacer con lo aprendido en diferentes contextos del mercado laboral.

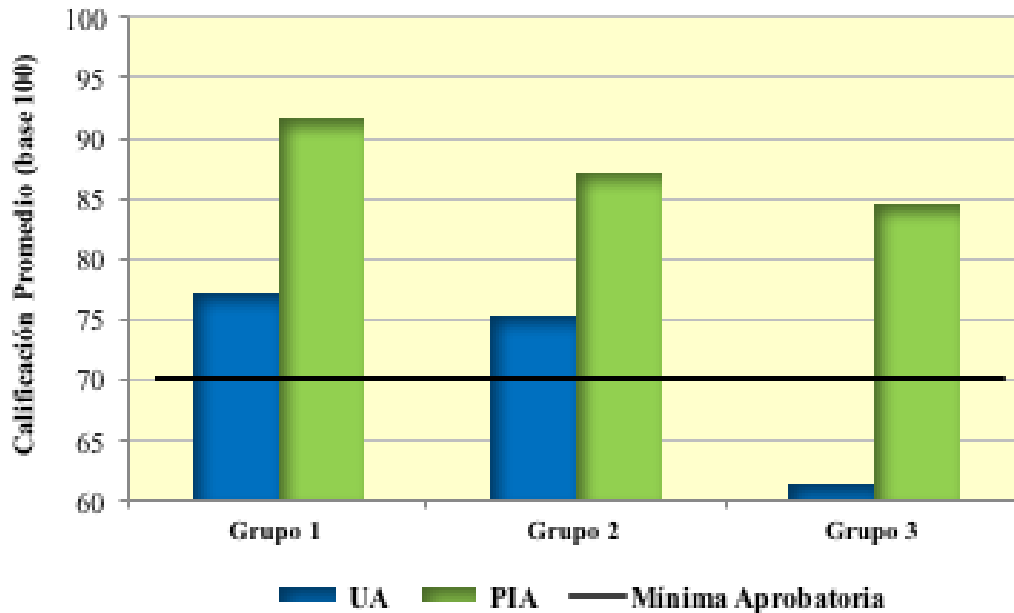


Figura 1. Comparación las calificaciones promedio por grupo de la UA y del PIA.

Desde el punto de vista del estudiante, opinan que desarrollar el proyecto los ayudó a:

- tener un pensamiento analítico, estructurado y enfocado,
- ayudar a la empresa a mejorar sus procesos,
- desarrollar habilidades de análisis basados en resultados,
- aprender habilidades de presentación y de documentación de proyectos,
- explorar recursos vía herramientas de software especializado que se utilizan en la industria,
- reducir considerablemente el tiempo de análisis,
- aprender herramientas estadísticas que se pueden aplicar en diversos tipos procesos en las empresas,
- hacer un acercamiento a la investigación,
- aprender a tomar decisiones en base a hechos y datos,
- aprender cómo implementar las herramientas estadísticas en diferentes áreas de trabajo.

CONCLUSIONES

El proyecto integrador de aprendizaje desarrollado con lo aprendido en una unidad de aprendizaje de ingeniería, es efectivo para que el estudiante adquiera la habilidad de aplicación del conocimiento en contextos reales. Los proyectos realizados en procesos productivos de una empresa, permite que el estudiante conozca los procesos industriales en los cuales trabajará en un futuro próximo y las normatividades que estos procesos conllevan.

Asimismo, esta actividad fortalece en el estudiante los valores, actitudes positivas, habilidades blandas y de investigación, los cuales son relevantes para un ejercicio profesional ético y responsable. El estudiante reconoce que la experiencia de este tipo de

actividades de enseñanza-aprendizaje resulta más duradero en el tiempo, motivador y gratificante. Finalmente, las calificaciones promedio de esta evidencia demuestran una correlación directa sobre el rendimiento académico obtenido por el estudiante en la unidad de aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Accreditation Board of Engineering and Technology (2018). *Criteria for accrediting engineering programs, effective for reviews during the 2019–2020 Accreditation cycle*. USA: ABET
- Ballesteros, M., Daza, M., Valdés, J., Ratkovich, N., & Reyes, L. (2019). Applying PBL methodologies to the chemical engineering courses: Unit operations and modeling and simulation, using a joint course project. *Education For Chemical Engineers*, 27, pp. 35-42. doi: 10.1016/j.ece.2019.01.005
- Blumenfeld, P., Soloway, E., Marx, R., Krajcik, J., Guzdial, M. & Palincsar, A. (1991). Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. *Educational Psychologist*, 26(3), pp. 369-398. doi: 10.1207/s15326985ep2603&4_8
- Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (2018). *Marco de Referencia 2018 del CACEI en el Contexto Internacional (Ingenierías)*. México: CACEI
- Felder, R., & Brent, R. (2016). *Teaching and learning STEM* (1st ed.). pp. 1-15. San Francisco, CA: Jossey-Bass
- Felder, R. (2019). Engineering education: a tale of two paradigms. In B. McCabe, M. Pantazidou & P. Declan. *Shaking the Foundations of Geo-Engineering Education* (1st ed.) pp. 9-14. Leiden: CRC Press
- Mills, J., & Treagust, D. (2003). Engineering Education, Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer. *Australian Journal Engineering Education*, 3, 1-16
- Universidad Autónoma de Nuevo León (2015). *Modelo Educativo de la UANL. Primera actualización*. Recuperado de: <https://www.uanl.mx/wp-content/uploads/2018/07/Modelo-Educativo-de-la-UANL-versión-2015.pdf>