

DESARROLLO DE COMPETENCIAS Y MEDICIÓN DE RESULTADOS EN PROYECTOS INTEGRADORES IMPARTIDOS REMOTAMENTE

DEVELOPMENT OF SKILLS AND MEASUREMENT OF RESULTS IN CAPSTONE PROJECTS DELIVERED REMOTELY

L. A. González Murillo¹
L. M. Félix Ávila²
F. Oviedo Tolentino³

RESUMEN

Los resultados esperados de los estudiantes (Student outcomes) definidos por Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) describen las competencias genéricas y específicas que se espera que los estudiantes logren desarrollar durante sus estudios de pregrado. Los estudiantes que logren estas competencias estarán capacitados para realizar sus actividades profesionales adecuadamente. Por lo tanto, es importante desarrollar esquemas que permitan el desarrollo de estas competencias y su medición. En un curso de proyecto integrador, el estudiante debe aplicar e integrar gran parte de los conocimientos adquiridos durante sus estudios. Este proyecto representa una oportunidad de conjuntar los conocimientos y e incrementar el desarrollo de competencias.

En este estudio se explora el desarrollo de competencias genéricas y específicas determinadas por ABET en el contexto de un curso de proyecto integrador llevado a cabo de manera remota, y su medición desde diferentes puntos de vista. Los resultados sugieren el logro del desarrollo de las competencias, aún cuando el curso cambió de presencial a remoto repentinamente.

ABSTRACT

The student outcomes defined by Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) describe the generic and specific competencies that students are expected to develop during their undergraduate studies. Students who achieve these competencies will be able to carry out their professional activities properly. Therefore, it is important to develop schemes that allow the development of these competencies and their measurement. In a capstone project course, the student must apply and integrate much of the knowledge acquired during their studies. This project represents an opportunity to combine knowledge and increase the development of competencies.

This study explores the development of generic and specific competencies determined by ABET in the context of a capstone project course carried out remotely, and their measurement from different points of view. The results suggest achievement of the development of competencies, even when the course suddenly changed from face-to-face to remote.

ANTECEDENTES

En el Área Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí se implementó desde hace años, la asignatura Proyecto Integrador. Esta asignatura inició en el programa de Ingeniería en Mecatrónica y, posteriormente, se transfirió a los otros cuatro programas educativos del Área. La asignatura Proyecto Integrador se desarrolló tomando como base la metodología desarrollada en la Universidad de Aalborg (Kjersdam y Enemark, 1994).

¹ Profesor investigador de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. luis.murillo@uaslp.mx

² Coordinadora de Ingeniería en Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. lfelixa@uaslp.mx

³ Profesor investigador de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. francisco.oviedo@uaslp.mx

Esta metodología se enriqueció con el objetivo de asegurar el desarrollo de habilidades del pensamiento de orden superior, las cuales constituyen los tres niveles superiores de la jerarquía de la taxonomía revisada de Bloom (Jensen *et al.*, 2014; Krathwohl, 2002).

Las habilidades del pensamiento de orden superior mencionadas anteriormente son: analizar, evaluar, y crear. Analizar es dividir material en sus partes constituyentes y detectar cómo las partes se relacionan entre sí y con un propósito o estructura general. Evaluar es hacer juicios basados en criterios y estándares. Crear se refiere a unir elementos para formar un todo coherente o novedoso, o hacer un producto original (Jensen *et al.*, 2014; Krathwohl, 2002). Estas habilidades pueden manifestarse en el desarrollo de un proyecto de ingeniería.

En el curso Proyecto Integrador se desarrollan competencias genéricas y específicas necesarias para el ejercicio de la práctica profesional. El desarrollo de competencias se lleva a cabo durante toda la carrera, pero un estudiante que participa en un proyecto integrador desarrolla diversos tipos de habilidades necesarias en el campo laboral, como el autoaprendizaje y la resolución de problemas, la capacidad de investigación, y una visión interdisciplinaria (de la Cruz Canul y Camargo, 2018).

El curso Proyecto Integrador ha madurado conforme pasan los años, con buenos resultados. Sin embargo, en el contexto de la pandemia de Covid-19, un cambio repentino de educación presencial a educación vía remota causó que surgieran dudas acerca de la posibilidad de seguir desarrollando adecuadamente las competencias requeridas en el nuevo esquema.

Resultados esperados de los estudiantes (*Student outcomes*)

ABET (2018) es el organismo de acreditación de carreras de ingeniería de los Estados Unidos. ABET definió un conjunto de resultados esperados de los estudiantes (*Student outcomes*) como producto del proceso de formación de los estudiantes. Estos resultados esperados están redactados en términos de competencias genéricas y específicas, por lo que en adelante también se hace referencia a ellos usando este término. Como se muestra en la Tabla 1, cada resultado esperado se identifica por una letra, desde la letra *a* hasta la letra *k*. Recientemente los *Student outcomes* han sido modificados en su redacción y cantidad (ABET, 2020), sin embargo, guardan un gran parecido en sus contenidos con la versión previa. En este curso no se han actualizado a la nueva versión con el fin de poder comparar mediciones nuevas con mediciones de periodos anteriores.

Un programa educativo que logra implementar un esquema para desarrollar estas competencias logrará un impacto positivo en el desarrollo profesional de los estudiantes, ya que los egresados tendrán un mejor desempeño profesional. La asignatura de Proyecto Integrador, por su naturaleza, es adecuada para incidir en el desarrollo de estas competencias. Además, las actividades realizadas en este curso son adecuadas para medir su nivel de desarrollo.

Tabla 1. Resultados de los estudiantes (*Student outcomes*) definidos por ABET

| ID | DESCRIPCIÓN |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a | Capacidad para aplicar conocimientos en matemáticas, ciencia e ingeniería. |
| b | Capacidad para diseñar y conducir experimentos, así como analizar e interpretar información. |
| c | Capacidad para diseñar un sistema, componente, o proceso que cumpla con las necesidades deseadas dentro de los límites reales, tales como: económico, ambiental, social, etc. |
| d | Capacidad para adaptarse en el trabajo de equipos multidisciplinarios. |
| e | Capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería. |
| f | Responsabilidad ética y profesional. |
| g | Capacidad para comunicarse de manera efectiva. |
| h | Una amplia educación necesaria para entender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global (económico, ambiental y social). |
| i | Reconocimiento de la necesidad y la capacidad de participar en un aprendizaje permanente. |
| j | Conocimiento de temáticas contemporáneas. |
| k | Capacidad para el uso de técnicas, habilidades y herramientas modernas de ingeniería necesarias para la práctica de la ingeniería. |

Nota Fuente: ABET (2018)

METODOLOGÍA

En esta sección se describe la metodología para dos procesos. El primero es el desarrollo de las competencias genéricas y específicas indicadas por ABET, y el segundo es la medición del desarrollo de competencias.

Dinámica del curso Proyecto Integrador

Para lograr el desarrollo de habilidades del pensamiento de orden superior y lograr incidir en los *Student outcomes*, se diseñó una dinámica basada en actividades de desempeño, la cual enfoca el proceso de aprendizaje en el estudiante (González *et al.*, 2017). Durante las primeras tres semanas del curso la dinámica es centrada en el profesor, como un curso tradicional. En este periodo los estudiantes aprenden las bases del trabajo que realizarán en el curso y los requerimientos que deben cumplir. Al terminar este periodo los estudiantes presentan ante un comité su anteproyecto. En esta presentación se valoran aspectos técnicos de la propuesta y la aplicación de competencias genéricas.

A partir de la semana 4 se aplica un modelo de actividades de desempeño combinadas con indagación. Madhuri, *et al.* (2012) estudiaron el proceso de indagación y encontraron que permite identificar los conceptos relevantes, además de que contribuye en el desarrollo del pensamiento crítico, la habilidad de solución de problemas, y la integración de conocimientos. Por otro lado, las actividades de desempeño con evaluación formativa permiten que el proceso de evaluación sea una experiencia que contribuye al aprendizaje (Mintz, 2015). Por lo descrito anteriormente, el proceso de actividades de desempeño con evaluación formativa es un componente fundamental del curso.

En este periodo el profesor toma el rol de supervisor, y hace seguimiento puntual del proyecto. Los estudiantes presentan los avances del proyecto y el profesor se asegura que se cumplan los requerimientos del proyecto y se aplique rigurosamente los principios de ingeniería. El profesor indaga con los estudiantes los detalles del proyecto, con el fin de verificar el dominio de las disciplinas que se aplican en el proyecto. Este seguimiento se hace de forma detallada, de tal manera que los estudiantes se ven forzados a utilizar adecuadamente sus conocimientos y a adquirir nuevos conocimientos por su cuenta. Durante este proceso se realiza una segunda evaluación por el comité, donde se valoran los resultados de la aplicación de competencias genéricas y competencias específicas.

Los estudiantes mantienen un portafolio personal y un portafolio de equipo. En el portafolio individual se mantienen evidencias del trabajo del estudiante como aportación al equipo. No menos importante es una reflexión que los estudiantes deben realizar semanalmente y de la cual guardan evidencia en el portafolio. En el portafolio de equipo se guardan evidencias de los resultados del trabajo de todos los integrantes. La evaluación de este portafolio constituye una evaluación formativa continua. Al final se hace una evaluación sumativa ante el mismo comité, en el cual se evalúa el resultado del proceso y los conocimientos de los estudiantes.

Aunque el producto final es un prototipo terminado, y este prototipo es requisito indispensable para aprobar el curso, es importante recalcar que el objetivo de este curso no es el desarrollo de un proyecto. El objetivo principal del curso es el desarrollo de competencias genéricas y específicas, y el desarrollo del proyecto es el medio por el cual se desarrollan estas competencias. La dinámica de las sesiones constituye un elemento fundamental para lograr el desarrollo de estas competencias.

Metodología para verificación del desarrollo de competencias

En este estudio se utiliza una metodología descriptiva para explorar el logro de las competencias requeridas por ABET. Un estudio descriptivo examina una situación que existe actualmente sin determinar relaciones causa-efecto (Leedy *et al.*, 2019). El estudio explora los resultados de la metodología de aprendizaje orientado a proyectos en el contexto de interacción remota, pero la dinámica no se modifica por causas del estudio. Los resultados se presentarán utilizando estadística descriptiva y estadística inferencial.

Para la recolección de datos se utilizaron rúbricas que se han aplicado en el Área Mecánica y Eléctrica desde hace años. Estas rúbricas ayudan a disminuir la subjetividad proporcionando criterios de valoración para aspectos específicos de cada uno de los resultados esperados de los estudiantes. Junto con las rúbricas se proporciona un cuestionario, en el cual se escribe el valor para cada elemento. Los valores corresponden a una escala tipo Likert, con valores de 1 a 4. El valor 1 representa un bajo nivel de desarrollo, y el valor 4 representa un alto nivel.

Para medir el desarrollo de competencias se realiza una valoración directa y una valoración indirecta. La valoración directa la realiza el profesor del curso a partir de las observaciones del desempeño semanal de los estudiantes. La valoración indirecta la realizan los estudiantes, a través de una autoevaluación. En ambos casos se utilizan rúbricas desarrolladas por los profesores que imparten la materia. Una parte de la valoración del profesor se hace mediante observación durante las sesiones presenciales, y el cambio a sesiones remotas ha dificultado

el proceso de valoración. Por este cambio surgió la inquietud de que las valoraciones no se estén haciendo adecuadamente o de que los resultados no se estén alcanzando.

Para la verificación del desarrollo de competencias se plantea una revisión desde tres puntos de vista complementarios. Primero, una valoración de los prototipos desarrollados en el curso, incluyendo la aplicación rigurosa de los principios de ingeniería. Segundo, una comparación de los resultados de las valoraciones del curso actual con cursos anteriores, utilizando estadística descriptiva. Tercero, una verificación de las diferencias entre las valoraciones de los profesores y las valoraciones de los estudiantes. Para esta última verificación se plantean las hipótesis nula y alternativa mostradas a continuación.

H_0 = No hay una diferencia significativa entre las valoraciones de los estudiantes y las valoraciones de los profesores

H_A = Hay una diferencia significativa entre las valoraciones de los estudiantes y las valoraciones de los profesores

Debido a que los elementos del formulario son escalas tipo Likert, no se podrá usar t-test para medias independientes, y se deberá usar estadística no paramétrica. La prueba no paramétrica equivalente que permite probar las diferencias de medianas es la prueba U de Mann-Whitney.

RESULTADOS

Durante el curso las sesiones con los equipos se llevaron a cabo de forma remota. Se cuidó que el proceso de indagación se hiciera adecuadamente, aun cuando no se tenía contacto presencial. El diseño y gran parte de la elaboración de los prototipos se llevaron a cabo trabajando separados físicamente, pero en contacto continuo a través de videoconferencia. Los prototipos se desarrollaron exitosamente, cumpliendo con los estándares establecidos. La ingeniería se aplicó rigurosamente, y en los reportes se dejó evidencia de los cálculos y proceso realizados. Se considera que el aspecto técnico se cumplió adecuadamente en el desarrollo de los prototipos. A manera de ejemplo, en la Figura 1 se muestra el prototipo de una prótesis mioeléctrica para brazo.

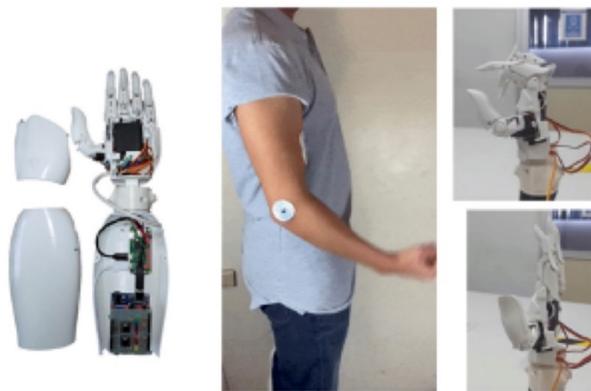


Figura 1. Proyecto de prótesis mioeléctrica de brazo

El profesor del curso hizo una valoración de las competencias de los estudiantes al final del curso, tomando en cuenta las interacciones con los estudiantes, las revisiones semanales, y los productos entregados. Estos productos son un reporte final, un manual de operación, y un manual de mantenimiento.

En el reporte final se plasma el proceso de desarrollo del proyecto, incluyendo el alcance, las especificaciones, alternativas de solución, la alternativa seleccionada, la ingeniería de detalle, y los resultados de las pruebas. Los manuales de operación y mantenimiento están dirigidos a los usuarios de los prototipos, e incluyen instrucciones y medidas de seguridad. La valoración se realizó por medio de rúbricas. Las rúbricas incluyeron entre dos y cuatro elementos para cada una de las competencias a valorar. En la Figura 2 se muestran los resultados de las valoraciones del profesor, en color azul. Se midió al total de población, con un tamaño $n=25$.

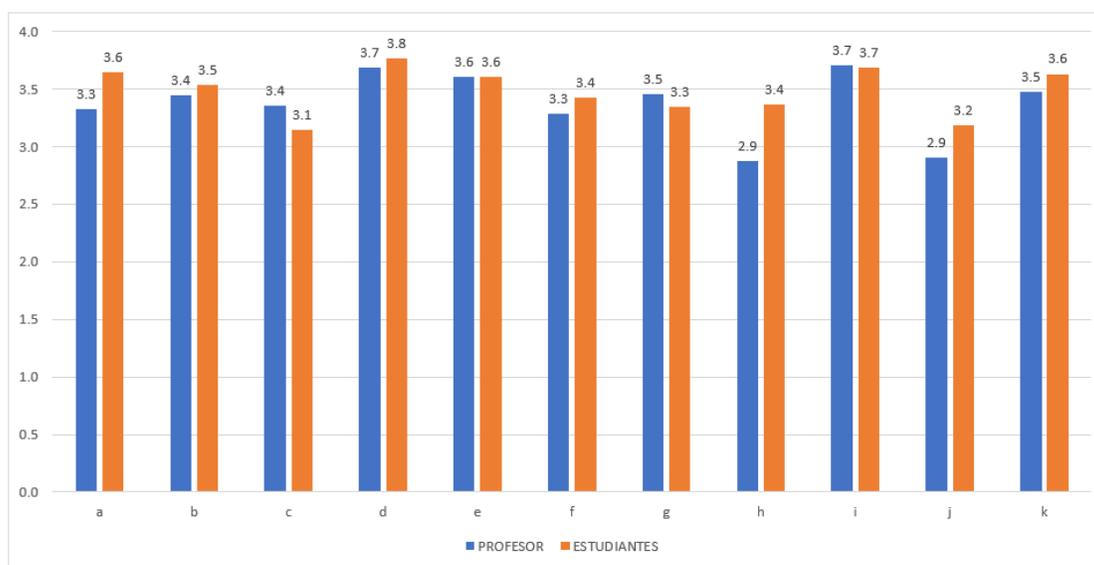


Figura 2. Resultados de las valoraciones

Al final del curso los estudiantes contestaron una encuesta basada en la misma rúbrica para valorar su percepción en el desarrollo de las competencias definidas por ABET (*Student outcomes*). Esta encuesta se entregó a través de la plataforma del curso. A los estudiantes se les pidió que entregaran la encuesta contestada como requisito del curso. Sin embargo, se les aclaró que sus respuestas no tendrían impacto en su evaluación final.

En la Figura 2 se muestran los resultados de las valoraciones. Como se puede observar, las valoraciones del profesor y las respuestas de los estudiantes son parecidas. En general, las competencias valoradas con nivel alto por los estudiantes también fueron valoradas con nivel alto por el profesor. Donde se observa una diferencia mayor es en la competencia h, que tiene que ver con el entendimiento del impacto del producto de ingeniería en el entorno global. Los resultados de la Figura 2 sugieren que se ha alcanzado un grado avanzado de desarrollo de las competencias que se miden.

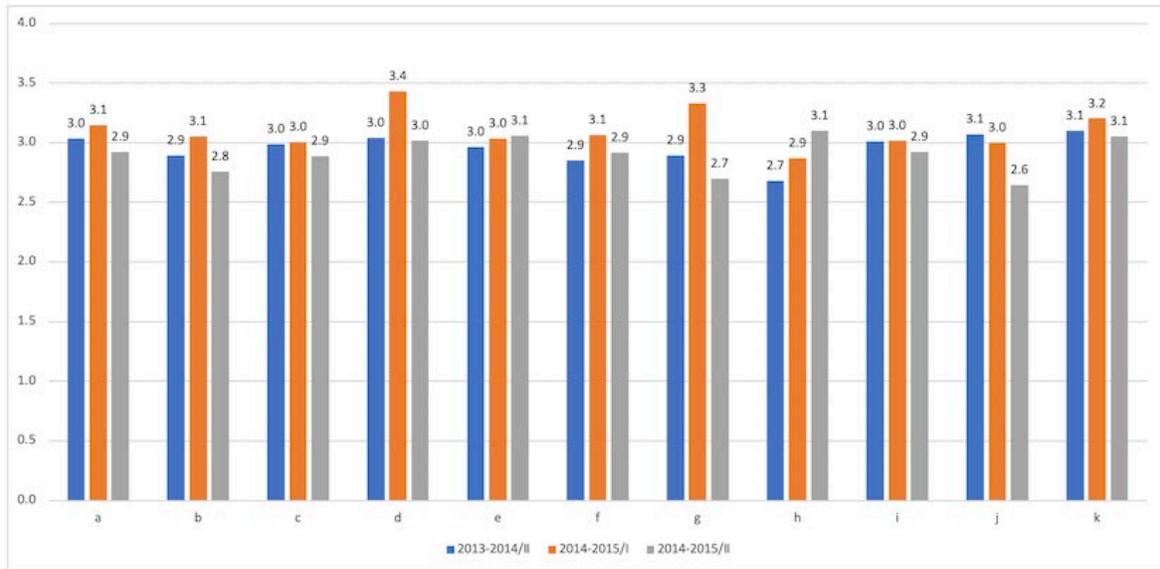


Figura 3. Resultados históricos

En la Figura 3 se muestran resultados históricos de la valoración de estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica por parte de profesores, considerando todas las mediciones en diferentes cursos. Como se puede observar, la mayor parte de las valoraciones de la Figura 2 (columnas azules) son mayores que los resultados de las mediciones históricas mostradas, lo cual sugiere que el desarrollo de competencias se ha seguido logrando, aún en condiciones de sesiones remotas.

Para probar si las valoraciones del profesor y de los estudiantes son significativamente diferentes, se analizaron los valores para cada una de las competencias utilizando la prueba U de Mann-Whitney. La prueba U de Mann-Whitney permite analizar datos que se alejen de la distribución normal, pero se debe cumplir que las varianzas de los grupos sean similares. Para probar la igualdad de varianzas se utilizó la prueba de Levene con el software JASP. Los resultados se muestran en la Tabla 2. Para la mayoría de las competencias, excepto *a*, *g* y *j*, no se rechaza la hipótesis de que las varianzas son iguales ($p > 0.5$). Esto indica que las valoraciones de las competencias *a*, *g* y *j* no se podrán analizar utilizando Mann-Whitney U.

Tabla 2. Resultados de la prueba de Levene

| | F | df | p |
|---|-------|----|-------|
| a | 7.123 | 1 | 0.01 |
| b | 2.425 | 1 | 0.126 |
| c | 0.217 | 1 | 0.644 |
| d | 3.46 | 1 | 0.069 |
| e | 0.843 | 1 | 0.363 |
| f | 0.666 | 1 | 0.418 |
| g | 8.954 | 1 | 0.004 |

| | | | |
|---|--------|---|--------|
| h | 2.135 | 1 | 0.15 |
| i | 0.001 | 1 | 0.975 |
| j | 22.426 | 1 | < .001 |
| k | 1.209 | 1 | 0.277 |

Los datos de las valoraciones con varianzas similares entre los grupos de valoraciones de profesores y valoraciones de los estudiantes se analizaron utilizando la prueba U de Mann-Whitney. En la Tabla 3 se muestran los valores p obtenidos.

Tabla 3. Valores de p para cada una de las competencias

| Competencia | Valor p |
|-------------|---------|
| b | 0.443 |
| c | 0.056 |
| d | 0.725 |
| e | 1 |
| f | 0.152 |
| h | < .001 |
| i | 0.835 |
| j | 0.027 |

Para seis de las competencias no hay evidencias para rechazar la hipótesis nula. Esto es, no se aprecia una diferencia significativa entre las valoraciones de los estudiantes y las valoraciones del profesor. Para las competencias *h* y *j* sí hay diferencia significativa entre las valoraciones de los estudiantes y las valoraciones del profesor ($p < 0.5$). Estos resultados sugieren que en general la percepción del desarrollo de competencias es similar entre los estudiantes y el profesor. Estas similitudes sugieren también que el diseño de las rúbricas ayuda a disminuir la subjetividad de las valoraciones.

CONCLUSIONES

El curso Proyecto Integrador fue desarrollado con el objetivo de desarrollar habilidades genéricas y específicas. Un énfasis es el desarrollo de habilidades del pensamiento de orden superior. La naturaleza de las actividades del curso permite además valorar el desarrollo de competencias.

En este estudio se propusieron tres formas conjuntas para valorar el grado de desarrollo de las competencias genéricas y específicas especificadas por ABET (*Student outcomes*). La primera forma es la valoración de la evidencia física, esto es, el prototipo que se desarrolla en el curso y los manuales que lo acompañan. Esta es una valoración subjetiva. Sin embargo, se evidencia el grado de desarrollo de las competencias en el producto físico.

La segunda forma de valorar el desarrollo de las competencias es mediante las actividades de desempeño que se realizan continuamente. En estas actividades el profesor valora los conocimientos de los estudiantes y su aplicación en el proyecto. Mediante la interacción y la revisión de los portafolios, el profesor también valora el desarrollo de competencias genéricas. Al final, la valoración se plasma en una rúbrica. La tercera forma de valoración

es por parte de los estudiantes. Los estudiantes utilizan la misma rúbrica que el profesor para valorar el desarrollo de sus competencias.

Los resultados mostrados en la Figura 3 sugieren que se alcanza un alto grado de desarrollo de las competencias. Esto es percibido tanto por el profesor como por los estudiantes. Los resultados del análisis por medio de la prueba U de Mann-Whitney sugieren que en general la percepción del desarrollo de competencias es similar entre estudiantes y el profesor.

Este estudio tiene algunas limitaciones. El estudio fue realizado en un solo grupo, y la valoración fue hecha por un solo profesor. Otro profesor podría emitir valoraciones distintas. Las capacidades de los estudiantes varían entre diferentes grupos, por lo que en otro grupo se podrían tener resultados distintos.

La implicación de este estudio es que permitió corroborar que el desarrollo de las competencias de los estudiantes es alto, aún con el desarrollo de actividades a distancia. La metodología de este curso ha madurado con el tiempo y se ha documentado profusamente, por lo que se facilita su transferencia. Como investigación a futuro se recomienda replicar este estudio a mayor escala para corroborar los resultados. También se recomienda estudiar el desarrollo de competencias con otras metodologías similares con el fin de encontrar el mejor medio para apoyar a los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

Accreditation Board for Engineering and Technology (2017). *Criteria for accrediting engineering technology programs. 2018 - 2019*.
<https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-technology-programs-2018-2019/#GC3>

Accreditation Board for Engineering and Technology (2020). *Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2021-2022*. <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2021-2022/>

de la Cruz Canul, C. y Camargo, O. (2018). Efectividad del proyecto integrador como estrategia para la formación de ingenieros líderes. *Revista ANFEI Digital*, (8).
<https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/420>

González, L., Cárdenas, J. y Arellano, J. (2017). Desarrollo de habilidades del pensamiento de orden superior a través de actividades de desempeño. *Revista ANFEI Digital*, (6).
<https://anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/360>

Jensen, J., McDaniel, M., Woodard, S., & Kummer, T. (2014). Teaching to the test...or testing to teach: Exams requiring higher order thinking skills encourage greater conceptual understanding. *Educational Psychology Review*, 26(2), 307-329.
<https://eric.ed.gov/?id=EJ1036773>

Kjersdam, F., & Enemark, S. (1994). *The Aalborg experiment. Project innovation in university education*. Aalborg Universitetsforlag.

<https://vbn.aau.dk/en/publications/the-aalborg-experiment-project-innovation-in-university-education-2>

Krathwohl, D. (2002). A revision of Bloom's Taxonomy: an overview. *Theory into Practice*, vol. 41(4). <https://www.depauw.edu/files/resources/krathwohl.pdf>

Leedy, P., Ormrod, J., y Johnson, L. (2019). *Practical research: Planning and design* (12th Ed.). Pearson Education

Madhuri, G., Kantamreddi, V., & Prakash, L. (2012). Promoting higher order thinking skills using inquiry-based learning. *European Journal of Engineering Education*, 37(2), pp. 117-123. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03043797.2012.661701>

Mintz, S. (2015). *Performance-Based Assessment*. [blog]. Inside Higher Ed. <https://www.insidehighered.com/blogs/higher-ed-beta/performance-based-assessment>