

Integration of CDIO methodology and Capstone projects for the aircraft design courses of the Aeronautical Engineering program

Juan P. Alvarado Perilla Eng¹, Juliana Andrea Niño-Navia MSc¹, German Urrea Quiroga MSc¹ Jorge Iván García Sepulveda MSc¹, Germán Alberto Barragan de los Ríos PhD¹

¹Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, Colombia, pablo.alvarado@upb.edu.co, german.barragan.edu.co, german.urrea@upb.edu.co, juliana.nino@upb.edu.co, jorge.garcia@upb.edu.co

Abstract– The CDIO methodology has allowed the development of critical and technical-scientific thinking in the graduates of the Aeronautical Engineering program at Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), in addition to strengthening research, teamwork, and communication skills. Currently, the program is working on the learning outcomes model following the guidelines of the ABET accreditation model, which requires the creation of capstone-type courses that seek the integration of the learning and skills acquired throughout the student’s training, when analysing the ABET requirements and the CDIO methodology, common elements were observed that could be applied in the Aircraft Design courses. The way of working and the integration strategy of the CDIO methodology and the capstone course has allowed the courses seen within the study plan not to become isolated themes, but rather to become tools for solving real problems under a project environment that allows the development of new skills such as teamwork, self-learning, design, and problem-solving as close as possible to reality. The results of the implementation strategy and the conclusions that have been observed throughout the implementation of this work modality are presented, which include the motivation of students to carry out different activities such as participating in national and international aircraft design competitions such as the DBF (Design, Build, and Flight) by the American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).

Keywords - CDIO, Capstone project, aircraft design, ABET, aeronautical engineering.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Integración de la metodología CDIO y proyectos Capstone para los cursos de diseño de aeronaves del programa de Ingeniería Aeronáutica

Juan P. Alvarado Perilla Eng¹, Juliana Andrea Niño-Navia MSc¹, German Urrea Quiroga MSc¹ Jorge Iván García Sepulveda MSc¹, Germán Alberto Barragan de los Ríos PhD¹

¹Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, Colombia, pablo.alvarado@upb.edu.co, german.barragan.edu.co, german.urrea@upb.edu.co, juliana.nino@upb.edu.co, jorge.garcia@upb.edu.co

Resumen - La metodología CDIO ha permitido el desarrollo de un pensamiento crítico y técnico-científico en los egresados del programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Pontificia Bolivariana, además de un fortalecimiento en sus habilidades en investigación, trabajo en equipo y comunicación. Actualmente, el programa está trabajando el modelo de resultados de aprendizaje siguiendo los lineamientos del modelo de acreditación ABET el cual tiene como requisito la creación de cursos tipo capstone que buscan la integración de los aprendizajes y competencias adquiridas a lo largo de la formación de los estudiantes. Al analizar los requisitos de ABET y la metodología CDIO se observan elementos en común que facilitan su aplicación en los cursos de Diseño de Aeronaves. La forma de trabajo y la estrategia de integración de la metodología CDIO y el curso capstone (integrador) ha permitido que los cursos vistos dentro del plan de estudios no se conviertan en temáticas aisladas, si no que por el contrario, sean herramientas para la solución de problemas reales bajo un entorno de proyecto que permita el desarrollo de nuevas competencias como los son, el trabajo en equipo, el autoaprendizaje, el diseño y la resolución de problemas en un contexto cercano a la realidad, dando como resultados una alta motivación de los estudiantes participantes para la realización de diferentes actividades extracurriculares y de investigación como lo son los concursos de diseño de aeronaves a nivel nacional e internacional

Palabras clave: CDIO, Proyectos Capstone, diseño de aeronaves ABET, Ingeniería Aeronáutica.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el enfoque del diseño de aeronaves se basa en la integración de sistemas y tecnologías, dentro de las que se incluyen estructuras, nuevos materiales, sistemas de propulsión, sistemas de navegación y control, entre otros. Durante las actividades de diseño se debe integrar el conocimiento en varios campos para cumplir con los requerimientos de seguridad, eficiencia, sostenibilidad y sustentabilidad demandados por el mercado, las autoridades aeronáuticas y los diversos actores del sector aeroespacial [1]. Considerando lo anterior, dentro de los currículos de los programas de ingeniería aeronáutica e ingeniería aeroespacial suelen incluirse cursos de diseño de aeronaves, que permiten a

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

los futuros ingenieros integrar los conocimientos adquiridos en

el transcurso de su proceso de formación, empleando actividades de diseños de aeronaves únicas que satisfagan los requerimientos establecidos por los posibles clientes y las normas aplicables.

Considerando los grandes desafíos que implican la enseñanza de los cursos de diseño dentro de la formación de los ingenieros en los últimos años se ha presentado una transformación de las metodologías de enseñanza aprendizaje, buscando con estas favorecer el aprendizaje activo [2][3]. Estas metodologías posicionan al estudiante como el centro del proceso de aprendizaje, lo que convierte este tipo de metodologías en herramientas esenciales del proceso formativo en ingenierías principalmente al considerar la relevancia del componente práctico durante el desarrollo del plan de estudios [4][5][6] y de manera especial en los cursos de final de carrera que se convierten en la gran mayoría de casos por sus características en cursos integradores.

Entre las metodologías de enseñanza existentes fue identificada y seleccionada la metodología CDIO cuyo nombre se deriva de las cuatro etapas principales asociadas a su desarrollo como lo son el Concebir, Diseñar, Implementar y Operar. Esta metodología es un marco educativo que tiene como objetivo desarrollar habilidades y competencias en los estudiantes para que sean ingenieros y profesionales de la tecnología competentes y éticos. Esta metodología enfatiza la enseñanza basada en proyectos y la integración de estas etapas para desarrollar una formación completa y efectiva [7]. La descripción de las actividades involucradas en cada una de las etapas de la metodología se presenta a continuación.

La etapa de **Concebir** se enfoca en la identificación de los problemas y oportunidades que los estudiantes enfrentarán en la vida real. Esta etapa les enseña a desarrollar una mentalidad empresarial, creativa e innovadora, lo que es fundamental para enfrentar los desafíos de la vida profesional.

La etapa de **Diseño** se enfoca en el diseño de soluciones para los problemas identificados en la etapa previa. Los estudiantes aprenden a desarrollar soluciones técnicas y de ingeniería para abordar estas problemáticas, mientras se fomenta la colaboración y el trabajo en equipo con el objetivo de asegurar que la solución diseñada sea la mejor posible.

La etapa de **Implementar** se enfoca en la implementación de las soluciones diseñadas en la etapa de diseño. Los estudiantes emplean sus habilidades de trabajo en equipo para implementar las soluciones propuestas, así como llevar a cabo las fases de pruebas y validaciones para garantizar que su solución funcione

adecuadamente.

Por último, la etapa de **Operar** se enfoca en la operación de las soluciones implementadas. Los estudiantes aprenden a mantener, mejorar y evaluar el impacto de sus propuestas en el mundo real. Esta etapa es importante porque les permite comprender el ciclo completo de un proyecto, desde su concepción hasta su operación incluyendo los requisitos de mantenimiento asociados al mismo.

Una de las principales ventajas de la metodología CDIO es que enfatiza el desarrollo de habilidades y competencias prácticas para la solución de problemas en entornos de operación reales utilizando los conocimientos adquiridos durante su proceso formativo [8], animando la creatividad y la innovación llevando a los estudiantes involucrados a pensar fuera de la caja y a encontrar soluciones únicas a los problemas, desarrollando habilidades de pensamiento crítico e innovación en un entorno de responsabilidad ética y social.

Los proyectos integradores que para efectos del presente documento serán denominados *capstone* siguiendo la designación del *Accreditation Board of Engineering and Technology* (ABET) son un componente importante en la educación de ingeniería. Ofreciendo una oportunidad para que los estudiantes apliquen los conocimientos y habilidades que han adquirido a lo largo de su carrera en entornos de la vida real [9]. Algunas de las ventajas de la utilización de este tipo de proyectos son presentadas a continuación:

Integración del conocimiento: permitiendo a los estudiantes integrar los conocimientos adquiridos en diferentes áreas de la ingeniería, a través de la aplicación de los mismos en un proyecto práctico e incluso permitiendo el trabajar con otros estudiantes de diferentes disciplinas. Lo que lleva a mejorar su comprensión sobre la forma en que se relacionan diferentes áreas del saber y cómo puede esto ser aplicado en un proyecto real.

Desarrollo de habilidades: son una oportunidad para que los estudiantes desarrollen habilidades importantes para la ingeniería, como la resolución de problemas, la toma de decisiones, la comunicación y el trabajo en equipo, así como el desarrollo de su capacidad en la gestión, la planificación y la organización de proyectos.

Preparación para la vida profesional: Los proyectos simulan el ambiente de trabajo en el sector de la ingeniería. Los estudiantes aprenden a trabajar en equipo, a enfrentar desafíos y a tomar decisiones críticas que son relevantes para la industria y los preparan para su futuro desarrollo profesional.

Innovación y creatividad: se convierten en una oportunidad para que los estudiantes piensen de manera innovadora y creativa en la solución de problemas de ingeniería. Los estudiantes pueden proponer soluciones nuevas e innovadoras para los desafíos que enfrentan en el proyecto, lo que puede conducir a nuevas oportunidades de investigación y desarrollo en la industria.

Contribución a la sociedad: los proyectos pueden estar orientados a la solución de problemas reales en la sociedad, lo que permite a los estudiantes hacer una contribución positiva a la comunidad. Los estudiantes pueden trabajar en proyectos que aborden problemas sociales, ambientales o económicos. Además, los proyectos *capstone* también pueden ayudar a los

estudiantes a desarrollar habilidades de liderazgo y gestión, ya que a menudo deben coordinar y liderar un equipo para lograr los objetivos del proyecto. También les enseña a trabajar bajo presión y a administrar su tiempo de manera efectiva para cumplir con los plazos y los objetivos del proyecto.

Todas las características anteriormente presentadas hacen que el uso del CDIO junto con la utilización de proyectos *capstone* se convierten en un recurso importante para la evaluación y la preparación de los estudiantes de ingeniería para los retos que afrontaran una vez inicien sus actividades laborales y profesionales en la industria [10]. En los cursos del ciclo profesional del programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín se ha aplicado la iniciativa CDIO, por lo que el diseño de los cursos refuerza este aprendizaje que pasa de la teoría a la práctica que junto con la utilización de proyectos *capstone* les ha dado a los estudiantes la oportunidad de aplicar sus habilidades y conocimientos en ambientes con problemas en un contexto cercanos a la realidad [11], lo cual les ha permitido desarrollar competencias para su desempeño posterior como ingenieros.

La utilización combinada de la metodología CDIO para el desarrollo de un proyecto *capstone* del curso de diseño de aeronaves será presentada a continuación. Es importante mencionar que algunos de los elementos mostrados en el presente documento son representaciones reales de los empleados durante el desarrollo del curso, mismo que es impartido en su totalidad en inglés.

II. METODOLOGÍA PROPUESTA

El objetivo principal de la implementación de la integración de la metodología CDIO y el proyecto *capstone* es la aplicación de los conceptos y las competencias adquiridos durante el ciclo profesional, integrándolos y consolidándolos con el fin de tener una visión integral de los vehículos aéreos, su funcionamiento y su diseño, todo lo anterior mediante la propuesta de un diseño preliminar-semidetallado de una aeronave para una aplicación típica del mundo real, siguiendo una metodología específica y realizando estudios y optimizaciones en pro de garantizar un producto seguro y confiable. A su vez se busca proveer al estudiante un entrenamiento en la filosofía de diseño de ingeniería aeroespacial, sus estándares y procedimientos, proporcionándoles herramientas para resolver de manera racional y ética, problemas relacionados a cualquier tipo de industria, creando un pensamiento crítico y técnico-científico generando la capacidad de plantear y aplicar la mejor solución posible. Además de los objetivos planteados se busca fortalecer habilidades en investigación, trabajo en equipo y comunicación.

Con el fin de evaluar de forma objetiva y en función de las competencias que se pretenden desarrollar, se diseña un curso centrado en la ejecución de un proyecto como solución a una necesidad puntual del mercado de aeronaves a nivel mundial, esto debido a que metodologías de evaluación tradicional como lo son, exámenes parciales, talleres, quices, entre otros, tienen una efectividad limitada a la hora de evidenciar la adquisición de las competencias relacionadas con el trabajo en equipo y los procesos de diseño en los estudiantes, principalmente debido a la característica secuencial y multietapas que se requiere durante un proceso de diseño.

Con el desarrollo de la teoría a la par de la aplicación práctica, los estudiantes se apropian de los conceptos y desarrollan las competencias prácticas y pueden observar las limitaciones propias del aprendizaje basado en teoría. [3]

Los cursos de diseño de aeronaves del programa de ingeniería aeronáutica de la UPB plantean capacidades humanas y competencias que se encuentran alineadas con los requerimientos expuestos en la metodología CDIO y que además están declarados en el mapa de capacidades humanas y competencias del programa, acogiendo al modelo pedagógico integrado UPB [11] tal como se puede apreciar a continuación.

Capacidades humanas:

- Pensamiento crítico
- Pensamiento sistémico
- Resiliencia.

Competencias:

- Trabajo en equipo multidisciplinar
- Diseño
- Investigación
- Mejoramiento Continuo
- Comunicación
- Resolución de problemas.

Mediante la aplicación de esta integración se privilegia el aprendizaje autónomo, la interdisciplinaridad y la integración de múltiples competencias. Los métodos de aprendizaje autónomo involucran a los estudiantes en actividades de pensamiento crítico y resolución de problemas. Hay menos énfasis en la transmisión pasiva de la información y busca involucrar a los estudiantes en la aplicación, análisis y evaluación de ideas. También convierte al docente en un mediador, que favorece el desarrollo de las capacidades y competencias no solo específicas si no humanas, que promueve la indagación, la investigación y el aprendizaje significativo mediante el uso de esta metodología.

A. Descripción de la práctica:

La experiencia se desarrolla a lo largo de dos semestres regulares, durante los cursos de diseño de aeronaves I y diseño de aeronaves II, que se encuentran en el octavo y noveno semestre respectivamente y se utilizan diferentes herramientas computacionales que permiten fortalecer la experiencia mediante con el uso de la plataforma Moodle, así como de diferentes softwares como son, CATIA, Advanced Aircraft Analysis, X-Plane, entre otros.

La práctica se desarrolla siguiendo las 4 etapas propuestas en la metodología CDIO y la línea de tiempo propuesta en los proyectos *capstone* [12] como se presenta en la Figura 1.

Desarrollo de la metodología.

Para el desarrollo de la metodología se realizan las siguientes actividades:

Definición: La experiencia inicia con la conformación de los grupos de trabajo, normalmente estos son conformados por 5 o 6 miembros, este puede variar dependiendo del número de estudiantes inscritos para cada semestre; la conformación de los grupos es realizada de manera autónoma sin la intervención directa del docente.

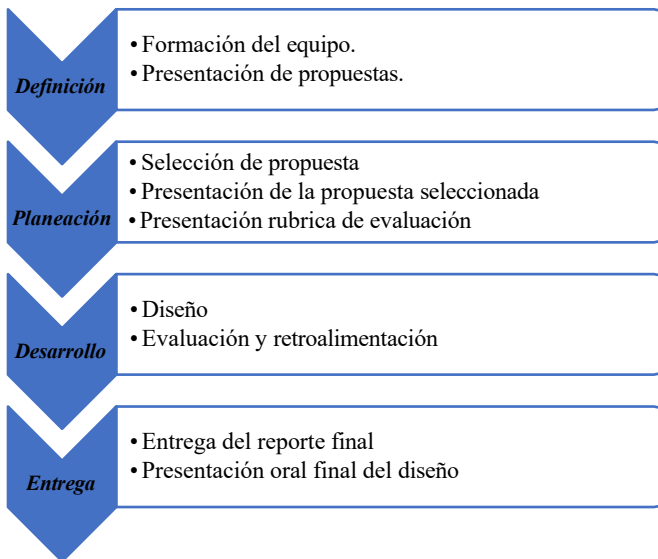


Fig 1. Línea de tiempo propuesta proyecto *capstone*

Una vez establecidos los grupos el profesor a cargo del curso presenta un banco de proyectos conformado por 17 tipos de aeronaves diferentes.

Planeación: En esta etapa se realiza la selección del tipo de aeronave que será diseñada durante los dos cursos, se hace mediante la votación de los grupos con el siguiente proceso: Cada uno de los grupos debe seleccionar tres de las propuestas presentadas del banco de proyectos, pasando a la siguiente fase los tres proyectos con mayor número de votos, una vez se realiza este primer filtro cada estudiante debe seleccionar uno de ellos, y el que más votos obtenga será el proyecto que va a ser desarrollado en el transcurso de los cursos de diseño.

Una vez seleccionado el proyecto el docente encargado del curso presenta lo que se conoce como el RFP (*Request For Proposal*), documento que se elabora con el objetivo de solicitar a diferentes proveedores en este caso estudiantes la mejor solución desde el punto de vista técnico, operacional, de seguridad, ambiental y financiero. Generalmente este documento contiene una introducción, antecedentes, requerimientos generales, objetivos de diseño, características, consideraciones adicionales e información relevante con relación a la necesidad o problema que se desea resolver. En la Figura 2. se muestra un ejemplo de documento del RFP.

Request for Proposal

Modern Regional Jet Family

Background

The smaller regional jet market currently has products that are based upon older designs that have their origins in the late 1980s and early 1990s. The 50 seat Canadian Regional Jet (CRJ) and Embraer 145 first flew in the early 1990s and make up most of the domestic regional jet fleet.

The industry analyses forecast as many as 2,000 new regional aircraft being needed in the next 20 years. This presents an opportunity to develop new regional aircraft to satisfy the 50-seat portion of the market that meets the US domestic "Scope Clause" that has significantly better fuel burn and economics than existing options. The overall goal is to be at least 20% better than existing 50-seat regional jets in 500 n mi block fuel per seat with a cost to build that is comparable to the existing aircraft.

An approximate 76-seat stretch derivative of the 50-seat airplane also needs to be designed as part of this regional jet airplane family. The 76-seat aircraft must meet the design weight limits within the US domestic airline "Scope Clause" agreements. This airplane should be designed to be competitive with the Embraer E170 and the Mitsubishi SpaceJet M100.

Requirements: [R] = Mandatory Requirement [O] = Objective or Goal, Tradeable

General Requirements

The requirements and objectives below are applicable to both aircraft within the family unless otherwise specified.

Fig 2. Ejemplo de RPF. [14]

Posterior a la presentación del RPF, se presentan la rúbrica para la evaluación del documento final de diseño (Reporte) y presentación oral, este documento contiene los parámetros que se deben ser considerados por los grupos para la presentación del informe final, los informes escritos de avance y la presentación oral ante los docentes del programa de ingeniería aeronáutica. En la Tabla 1. se presenta la escala de evaluación.

Tabla 1. Escala de evaluación

GRADE	Value	Explanation
Unacceptable	0 – 0,9	Do not present what the requirements demand. A lot of errors on the design process. Do not accomplish with the main objective of the class exercise.
Deficient	1 – 2,5	Less than expected. The final result does not accomplish with the design requirements. Have a lot of errors that could be corrected.
Acceptable	2,6 – 3,9	The student has accomplished just with the design requirements without any further advance on the project nothing new (it is not superior to the baseline – if apply)
Good	4 – 4,9	A superior expected design work development
Excellent	5	Beyond the expectations

En la Tabla 2. se muestra la rúbrica de evaluación del reporte escrito utilizada en el curso.

Tabla 2. Evaluación del reporte escrito

Written Report Evaluation	Percentage	Grade	Total grade percentage
1. Accomplishment of the objectives	15%		
2. General content	60%		
3. Overall presentation (In accordance with the final presentation reports parameters dictated by UPB's library)	5%		
4. Redaction and Orthography	5%		
5. Innovation – correction of the previous advanced reports	15%		
Total evaluated aspects grade sum	100%		

En la Tabla 3. evidencia la rúbrica evaluación de la presentación oral.

Tabla 3. Evaluación de la presentación oral

Oral presentation Evaluation	0 – 0,9 Unacceptable	1 – 2,5 Deficient	2,6 – 3,9 Acceptable	4 – 4,9 Good	5 Excellent	x. Do not Apply
1. ACADEMIC ASPECTS						
1.1. Accomplishment of ALL the original project objectives						
1.2. Concepts, theme, and Procedures management						
1.3. Oral presentation redaction style, quality and orthography						
1.4. Overall oral presentation and theme knowledge						
1.5. Correlation between the exposed and the written document						
1.6. Management of answers to the questions from the jury or the public						
1.7. Use and management of resources for the oral presentation						
2. OPTIONAL ASPECTS						
2.1. Product novelty						
2.2. Other(s). Specify						
Total evaluated aspects grade sum (<i>g</i>)=						
Total quantity of the evaluated aspects (<i>n</i>)=						
Consolidated result from the mean grade (write on the selected box)			Mean grade (<i>s/n</i>) (<i>p</i>)=			
Failed <i>P</i> < 2,6	Reproved 2,6 ≤ <i>p</i> < 2,9	Approved <i>p</i> ≥ 3,0	Approved with excellence (<i>p</i> ≥ 4,4) y (<i>m</i> ≥ 3)			

Desarrollo: El desarrollo del proyecto se hace a la par de las actividades teóricas del aula, en clase se presentan los contenidos teóricos y las herramientas necesarias para cada una de las etapas de diseño. De esta manera los estudiantes a lo largo del semestre van realizando avances del proyecto y realizando los ajustes necesarios de acuerdo con la retroalimentación brindada por el docente del curso. Todo esto cumpliendo con las etapas propias del diseño de una aeronave.

Entrega: Una vez finalizado el semestre los estudiantes deben realizar la entrega del reporte final y la presentación oral.

El reporte final escrito del proyecto debe contener los siguientes elementos:

1. Presentación del equipo
2. Agradecimientos
3. Cuadro de evaluación
4. Objetivos
5. Glosario
6. Introducción
7. Requisitos del proyecto
8. Estudio de marketing
9. Criterios de base elegidos
10. Perfil de la misión
11. Dimensionamiento inicial
12. Aproximación aerodinámica inicial
13. Selección de materiales
14. Diagrama de restricciones (*Matching Chart* - espacio de diseño y punto de diseño T/W o W/P y W/S)
15. Refinamiento de la estimación del peso (motor fijo)
16. Fuselaje
17. Geometría y ubicación del ala
18. Geometría y ubicación del empenaje (geometría de la cola y dimensión de las superficies primarias)
19. Estabilidad y control
20. Selección del motor
21. Estructura general
22. Tren de aterrizaje

23. Subsistemas de la aeronave
24. Rendimiento de la aeronave
25. Estructuras
26. Pruebas
27. Otras consideraciones
28. Análisis de costos
29. Diagrama de Gant (calendario general del proyecto)
30. Comentarios finales (conclusiones sobre el trabajo de diseño, metodología, etc.)
31. Cuadro de características generales
32. Planos (3 vistas mínimo e isométricos - CAD)
33. Referencias (Bibliografía)
34. Apéndice.

Una vez se realiza la entrega del documento escrito, se lleva a cabo la presentación oral del proyecto. Esta correrá a cargo de cualquier miembro del equipo que será seleccionado de forma aleatoria y se elegirá minutos antes de la presentación, cada grupo contará con 40 minutos para realizarla y 20 minutos más para la resolución de dudas por parte de los miembros del equipo calificador, que a su vez está compuesto por los profesores del programa de ingeniería aeronáutica e invitados, los cuales evaluarán de acuerdo a las rúbricas presentadas.

III. RESULTADOS DE LA PRÁCTICA

Durante 17 años se ha replicado la experiencia de manera ininterrumpida, que ha impactado aproximadamente a 600 estudiantes del programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Pontificia Bolivariana, lo que ha permitido la motivar a los estudiantes para la realización de diferentes actividades como lo son: la participación en concursos de diseño de aeronaves a nivel nacional e internacional como el DBF (*Design, Build and Flight*) con 6 participaciones Figura 3. y publicación de artículos en revistas especializadas Figura 4.

Con la integración de la metodología CDIO y los proyectos *capstone* se logró construir una estrategia que permitió la integración de los conocimientos y las competencias adquiridas a lo largo la carrera, permitiendo que los cursos vistos dentro del plan de estudios no se conviertan en temas aislados, si no que se transformen en herramientas para la solución de problemas específicos. Adicionalmente, los temas planteados para los proyectos se encuentran alineados con las necesidades actuales y futuras del sector aeronáutico, lo que permite a los estudiantes estar actualizados respecto a las tendencias mundiales.

Realizando el análisis prospectivo de esta práctica se espera que esta se convierta en un futuro en el proyecto *capstone* del programa de Ingeniería Aeronáutica bajo el modelo de acreditación ABET, para alcanzar este objetivo se deben alinear o establecer sus equivalentes en lo referente a los resultados de aprendizaje establecidos por ABET y las capacidades y competencias declarados por el programa.



Fig 3. Grupos de estudiantes y docentes participantes en diferentes versiones del DBF.



Fig 4. Publicación artículo en revista indexada. [14]

IV. CONCLUSIONES

El uso de herramientas de enseñanza que sitúan al estudiante como centro de su proceso de aprendizaje ha traído resultados interesantes dentro de la formación de ingenieros, ofreciéndoles mayores habilidades para la resolución de problemas en entornos reales.

Los proyectos capstone también permite evaluar de manera auténtica el conocimiento y las habilidades de los estudiantes y proporcionar retroalimentación constructiva para mejorar su aprendizaje. Por lo tanto, es importante que las instituciones educativas de ingeniería continúen integrando proyectos capstone en su plan de estudios para preparar a los estudiantes para una carrera exitosa en la industria de la ingeniería. A través de estos proyectos, los estudiantes pueden desarrollar habilidades importantes, prepararse para la vida profesional, contribuir a la sociedad y fomentar la innovación y la creatividad.

Uno de los principales problemas en el desarrollo de esta metodología es el alto tiempo requerido para la planificación y evaluación, así como el tiempo adicional fuera del aula para monitorear a cada grupo, no solo al docente a cargo de los cursos, si no los otros profesores del programa que supervisan y evalúan el proceso.

I. REFERENCIAS

- [1] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Aviation Benefits Report 2019. <https://www.icao.int/sustainability/Pages/IHLG>
- [2] Niño Navia, J.A., Suarez Guerrero, G., Barragan, G., Urrea, G, Alvarado, J. P., Garcia, J.I., A Methodological Proposal for Numerical Methods Teaching in Engineering using Problem-Based Learning (PBL). 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/full_papers/FP598.pdf
- [3] G. Quiroga, J. Perilla, J. Sepúlveda, J. Navia, G. Ríos y O. Álvarez, Del Aula A La Realidad. La Importancia De Los Laboratorios En La Formación Del Ingeniero. Caso De Estudio: Ingeniería Aeronáutica – Universidad Pontificia Bolivariana, Acofipapers.org, 2013. [Online]. Available: <https://acofipapers.org/index.php/eici/article/view/1428>.
- [4] López, B. E., et al. (2022). Experiencias de evaluación de los aprendizajes en la Universidad Pontificia Bolivariana. Proyecto Integrador para los cursos de diseño de aeronaves del programa de Ingeniería Aeronáutica. Pag 202-217.
- [5] D. López-Fernández, P. Salgado Sánchez, J. Fernández, I. Tíno, V. Lapuerta, Challenge-Based Learning in Aerospace Engineering Education: The ESA Concurrent Engineering Challenge at the Technical University of Madrid, Acta Astronautica, Volume 171, 2020, Pages 369-377, ISSN 0094-5765, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.03.027>.
- [6] K. Doulougeri, G. Bombaerts, D. Martin, A. Watkins, M. Bots and J. D. Vermunt, "Exploring the factors influencing students' experience with challenge-based learning: a case study," 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Tunis, Tunisia, 2022, pp. 981-988, doi: 10.1109/EDUCON52537.2022.9766574
- [7] Crawley, Edward & Malmqvist, Johan & Ostlund, Soren & Brodeur, Doris. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. Second Ed. Springer Ed. 2014.
- [8] Kristina Edström (2020) The role of CDIO in engineering education research: Combining usefulness and scholarliness, European Journal of Engineering Education, 45:1, 113-127, DOI: 10.1080/03043797.2017.1401596
- [9] Youn-Soon Shin, Kang-Woo Lee, Jong-Suk Ahn, Jin-Woo Jung Development of Internship & Capstone Design Integrated Program for University-industry Collaboration, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 102, 2013, Pages 386-39, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.753>.
- [10] G. C. Wan, W. J. Liu, L. Zhang and M. S. Tong, "Improvement of Capstone Project and Project-Based Learning Method Based on CDIO Mode," 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), Wollongong, NSW, Australia, 2018, pp. 938-943, doi: 10.1109/TALE.2018.8615435.
- [11] Alarcon, E. [et al.]. Designing CDIO capstone projects: a systems thinking approach. A: International CDIO Conference. "Proceedings of the 9th International CDIO Conference, Massachusetts Institute of Technology and Harvard University School of Engineering and Applied Sciences, Cambridge, Massachusetts, June 9 – 13, 2013". Cambridge, Massachusetts: 2013, p. 1-9.
- [12] Universidad Pontificia Bolivariana. Modelo Pedagógico Integrado. Medellín. 2015.
- [13] Hoffman, Harvey. (2014). The Engineering Capstone Course: Fundamentals for Students and Instructors. 10.1007/978-3-319-05897-9.
- [14] American Institute of Aeronautics and Astronautics AIAA. RFP modern regional jet family. [https://www.aiaa-2021-graduate-team-aircraft-design-rfp---modern-regional-jet-family-\(1\).pdf](https://www.aiaa-2021-graduate-team-aircraft-design-rfp---modern-regional-jet-family-(1).pdf)
- [15] Morales Aguirre, E., Duarte García, M., Paniagua García, E., Aldana Lopera, D. E., Sabogal Jaramillo, J. M., Montoya Vélez, J. E., & Alvarado Perilla, J. P. (2021). Diseño de aeronave de combate no tripulada de quinta generación para el apoyo aéreo cercano. Ciencia Y Poder Aéreo, 16(1), 55–74. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaero.6936654444444444>.

