

# Experiencias de evaluación de los aprendizajes en la Universidad Pontificia Bolivariana

Beatriz Elena López Vélez  
Juan Carlos Echeverri Álvarez  
Guillermo Echeverri Jiménez  
Mateo Muñetones Rico  
Mónica Uribe Ríos  
*Compiladores*



Universidad  
Pontificia  
Bolivariana

370

López Vélez, Beatriz Elena, autor  
Experiencias de evaluación de los aprendizajes en la Universidad Pontificia Bolivariana/ Beatriz Elena López Vélez y otros sesenta y nueve -- 1 edición -- Medellín: UPB. 2022 -- 462 páginas.

1. Formación docente 2. Educación Preescolar: transición (Colombia)  
3. Educación

CO-MdUPB / spa / RDA / SCDD 21 /

© Varios autores

© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana  
Vigilada Mineducación

**Experiencias de evaluación de los aprendizajes en la Universidad Pontificia Bolivariana**

Primera edición, 2022

Dirección de Docencia

Laboratorio de Aprendizaje, Tecnologías e Innovación – UPB Lati

Grupo de Investigación Pedagogía y Didácticas de los Saberes

**Gran Canciller UPB y Obispo de Medellín:** Mons. Ricardo Tobón Restrepo

**Rector General:** Pbro. Magíster Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

**Vicerrector Académico:** Álvaro Gómez Fernández

**Coordinadora (e) Editorial:** Maricela Gómez Vargas

**Coordinación de Producción:** Ana Milena Gómez Correa

**Diagramación:** Geovany Snehider Serna Velásquez

**Corrección de Estilo:** Santiago Gallego

**Imagen portada:** Shutterstock - 734948962

**Dirección Editorial:**

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2022

Correo electrónico: editorial@upb.edu.co

www.upb.edu.co

Telefax: (57)(4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

**Radicado:** 2239-28-10-22

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

## **6.6 Aplicación de la metodología de diseño de Ulrich y Eppinger para la construcción de un filtro de agua casero**

**Proyecto orientado a estudiantes de primer semestre de ingeniería mecánica**

**Yoana Acevedo Rico**

*yoana.acevedo@upb.edu.co*

*Licenciada en Matemáticas*

*Magíster en Pedagogía*

*Docente Departamento de Ciencias Básicas UPB, sede Bucaramanga*

*Directora de Currículo*

*Miembro del Grupo Saber Educación y Docencia UPB, sede Bucaramanga*

**Juan Manuel Argüello Espinoza**

*juan.arguello@upb.edu.co*

*Diseñador Industrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS)*

*Especialista en Docencia Universitaria (UIS)*

*Magíster en E-learning de la UNAB*

*Docente del programa de Ingeniería Mecánica*

*Miembro del Grupo de Investigación GideTechMa (B)*

### **Sergio Andrés Montoya Torres**

*sergioa.montoya@upb.edu.co*

*Licenciado en Matemáticas de la Universidad Industrial de Santander*

*Magíster en Matemáticas de la Universidad Industrial de Santander*

*Docente del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad*

*Pontificia Bolivariana*

*Coordinador Área de Matemáticas*

*Miembro del grupo de investigación GIM de la Universidad Pontificia Bolivariana*

### **Pedro Elías Vera Bautista**

*pedroelias.vera@upb.edu.co*

*Licenciado en Matemáticas e Informática de la Universidad de Pamplona*

*Magíster en Matemáticas de la Universidad Nacional Experimental  
del Táchira (Venezuela)*

*Doctor en Educación de la Universidad de Baja California (México)*

*Docente del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad*

*Pontificia Bolivariana*

*Miembro del Grupo de Investigación en Materiales GIM de la Universidad*

*Pontificia Bolivariana*

### **Raquel Villafrades Torres**

*raquel.villafrades@upb.edu.co*

*Docente de Ciencias Básicas UPB, Bucaramanga*

*Ingeniera química*

*Magíster en Ingeniería Química*

*Miembro del Grupo Saber Educación y Docencia UPB, sede Bucaramanga*

## **Descripción de la práctica**

**Contexto en el que surgió la práctica:** Desde el primer periodo académico de 2020, en el marco de la transformación curricular UPB, en el Departamento de Ciencias Básicas, se empezaron a generar propuestas de transformación de las estrategias de enseñanza y evaluación. Esta experiencia parte del trabajo desarrollado durante el primer periodo aca-

démico de 2020 por las docentes Yoana Acevedo Rico, Fabiola Castro Granados y Raquel Villafrades Torres, titulado “Aplicación de los cursos Cálculo Diferencial, Geometría y Trigonometría y Química General en la ingeniería”, que planteó el problema de cómo construir un filtro de agua casero que permitiera la reutilización de agua.

En el segundo periodo académico de 2020, se incorporaron otros cursos del ciclo básico disciplinar, empleando la metodología de diseño de Ulrich y Eppinger con un grupo de estudiantes de primer semestre de Ingeniería Mecánica. Además, se incorporaron elementos de autoevaluación y coevaluación de los estudiantes, así como la escala institucional de valoración de los aprendizajes para el reconocimiento del nivel alcanzado en las dos fases del proyecto, que permite concebir la evaluación como un proceso de valoración contextualizado, participativo, permanente y tendiente a la mejora del desempeño, alineado esto con las políticas institucionales de la UPB.

**Historia de la práctica:** El surgimiento de la experiencia se dio frente a la necesidad de una transformación de las prácticas educativas, producto de las reflexiones pedagógicas de los docentes del Departamento de Ciencias Básicas. El elemento común de los docentes que participaron en este trabajo fue el ser orientadores de varios cursos en los que se encontraban matriculados los catorce estudiantes de Ingeniería Mecánica de primer semestre en el periodo 2021-02. Así, en el curso del ciclo profesional (Introducción a la Ingeniería Mecánica) y básico disciplinar (Dibujo de Ingeniería, Cálculo Diferencial, Álgebra Lineal y Química 1 para Ingeniería) se abordó la problemática ambiental de desabastecimiento del agua como una invitación para que, desde los procesos de enseñanza y aprendizaje, se buscaran soluciones pertinentes y eficaces que permitieran construir una cultura ambiental en los futuros profesionales y propusieran cambios desde las aulas de clase hacia el entorno de los educandos.

La metodología usada fue el diseño de Ulrich y Eppinger (2012), dado su uso en otras experiencias de aprendizaje del programa de Ingeniería Mecánica. Al igual que en el proyecto que se tomó como base, la planeación inicial se realizó antes del inicio del semestre y en el transcurso del segundo periodo académico de 2021 se diseñaron las rúbricas para

evaluar los entregables de las fases proyectadas. Al finalizar el semestre, el Departamento de Ciencias Básicas organizó la II Jornada de Socialización de Proyectos y Experiencias de Aula<sup>1</sup> con el objeto de exponer los hallazgos encontrados.

## Objetivos de la práctica

Evaluar el avance en el aprendizaje de los contenidos conceptuales, procedimentales y axiológicos propios de cada uno de los cursos del ciclo básico disciplinar y profesional involucrados en la experiencia. Desde el aula, se buscó emplear el modelo matemático “drenado de un tanque”, así como principios mecánicos, físicos y químicos de la purificación del agua para resolver este problema: “¿Cómo construir un filtro de agua casero que permita la reutilización de aguas lluvias o servidas domésticas?”; ello, aplicando los ejes temáticos abordados en los cursos de Dibujo de Ingeniería, Introducción a la Ingeniería Mecánica, Cálculo Diferencial, Álgebra Lineal y Química 1 para Ingeniería, en el marco del cuidado del ambiente.

Las competencias y los resultados de aprendizaje específicos que se pretenden alcanzar en cada uno de los ciclos se describen a continuación.

**Competencia del ciclo profesional:** Conoce y comprende procedimientos básicos en la formulación de proyectos de ingeniería.

Resultados de aprendizaje específicos:

- Conozco y aplico las metodologías apropiadas para la formulación de un proyecto a partir de las consideraciones del entorno y del análisis de alternativas.
- Identifico las responsabilidades sociales, técnicas y éticas en el ejercicio de la profesión frente al desarrollo de un proyecto de ingeniería.

---

<sup>1</sup> Las memorias de la II Jornada se pueden revisar en el siguiente enlace:  
<https://acortar.link/im29gN>

**Competencia del ciclo básico disciplinar CBD:** Aplica los fundamentos teóricos y experimentales de las matemáticas y las ciencias naturales en la modelación, simulación y resolución de problemas propios de la ingeniería.

Resultados de aprendizaje específicos:

- Formulo, comparo y ejercito procedimientos y algoritmos propios de las matemáticas y las ciencias naturales aplicadas a la ingeniería.
- Planteo y resuelvo problemas propios de la ingeniería.
- Comunico y justifico propuestas utilizando un lenguaje propio de las matemáticas y las ciencias naturales aplicadas a la ingeniería.
- Modelo procesos y fenómenos en contextos propios de la ingeniería.
- Realizo procesos de medición e interpreto los datos experimentales, los relaciono con los fundamentos teóricos y explico los resultados obtenidos.

## Estudiantes beneficiados con la práctica

El proyecto se desarrolló con catorce estudiantes de Ingeniería Mecánica. A continuación se muestran algunos de los testimonios de los estudiantes al finalizar el proyecto:

En conclusión, se alcanzó el objetivo propuesto, el filtrado es apto para el riego en plantas, todo el sistema es óptimo y funciona acorde a lo planeado. Este proyecto nos hizo ver las cosas de otra manera, como al momento de planear y modelar antes de volverlo realidad (esto nos permitió ver que hoy en día contamos con las herramientas suficientes para primero calcular y no ir directamente a lo experimental). Otra parte importante que aprendimos con el proyecto es saber plantear y manejar el presupuesto que se propuso para llevar a cabo el filtro, cada uno se esforzó y con el trabajo en equipo se logró llegar a la meta planeada (Luisa Fernanda Brun Galvis, estudiante de primer semestre de Ingeniería Mecánica).

En este proyecto se trabajó un prototipo de filtro para purificación de agua, del cual pude comprender y aprender muchísimas cosas que no sabía, como el funcionamiento de un filtro y las funciones de purificación que cumple cada material en este proceso. Cabe resaltar que me ayudó mucho a despejar mi mente, yendo más allá de los hechos que se pueden tomar al seleccionar alternativas precisas y claras sobre cualquier tipo de trabajo que se deba realizar, ya sea para un proyecto, experimento, planteamiento de alguna estructura, etc.) (Valentina Manjarrez Martínez, estudiante de primer semestre de Ingeniería Mecánica).

Me parece interesante cómo, desde un trabajo interdisciplinario, se pueden correlacionar y aplicar varios aprendizajes y, en cálculo, la elaboración de gráficas, aplicación de fórmulas y sacar regresiones (Víctor Manuel Rodríguez Gil, estudiante de primer semestre de Ingeniería Mecánica).

## Marco teórico

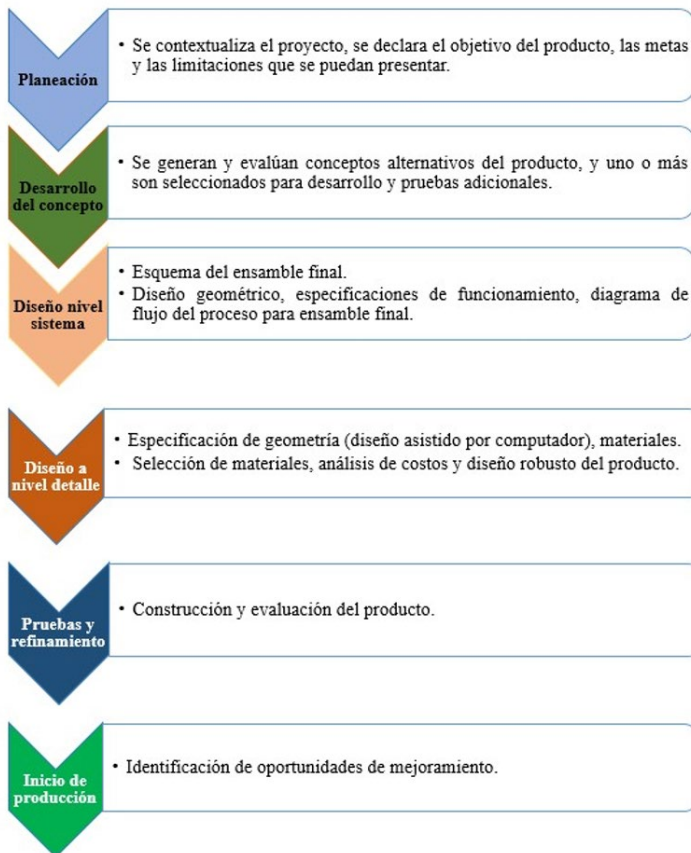
La metodología de diseño de Ulrich y Eppinger ayuda a concebir un producto de forma integral y favorece el desarrollo de proyectos de una manera estructurada. Entre las razones para emplearla está facilitar la aplicación de conocimientos multidisciplinarios en el diseño en desarrollo y lograr soluciones pensadas, no resultado de la casualidad (Gutiérrez, 2009). En la opción curricular, el modelo pedagógico integrado de la UPB propone un currículo contextualizado, integrado, interdisciplinario y flexible. Es decir, que permita integrar áreas de conocimiento para resolver problemas del contexto, abierto a la formación integral y generador de actividades formativas que respondan a los intereses y las motivaciones personales de los estudiantes (UPB, 2009).



## Desarrollo de la práctica

Para el abordaje y la búsqueda de soluciones, se propone a los estudiantes utilizar la metodología de diseño de Ulrich y Eppinger (2012), que es un apoyo para concebir un producto de forma integral antes de su materialización, así como para trabajar de una manera estructurada en la solución de un problema. Consta de seis fases que se muestran en la figura 1.

Figura 1. Fases de la metodología de diseño de Ulrich y Eppinger



Fuente: Ulrich y Eppinger (2012),

Un concepto es una descripción de la forma, la función y las características de un producto, y por lo general está acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de productos de la competencia y una justificación económica del proyecto (Ulrich y Eppinger, 2012).

En la tabla 1 se presenta la información de salida de cada fase.

**Tabla 1.** Proceso de diseño

Etapas	Información de salida	Evidencias
Planificación	Documentación, comunicación general del plan.	Fase I Documento escrito del anteproyecto ( <i>Wolfram Mathematica</i> ). Primer corte.
Desarrollo del concepto	Técnicas, bocetos, dibujos, notas de reuniones de trabajo en equipo.	
Diseño a nivel del sistema	Bocetos, maquetas, modelos físicos.	
Diseño del detalle	Dibujos de detalles, cálculos, sólidos, modelos matemáticos, modelos 3D.	Fase II Documento escrito del proyecto final ( <i>Wolfram Mathematica</i> ). Segundo corte.
Prueba y refinamiento	Datos experimentales, manufactura, especificaciones.	
Inicio de producción	Instrucciones, fotos, presentaciones gráficas.	

Fuente: Adaptado de Guerrero, Hernandis y Begoña (2014).

## Evaluación

Los contenidos conceptuales, procedimentales y axiológicos relacionados con la competencia y los resultados de aprendizaje específicos parten del trabajo desarrollado en el primer periodo académico de 2021 por las docentes Yoana Acevedo Rico, Fabiola Castro Granados y Raquel Villafra-des Torres, y se indican a continuación.

### **Contenidos procedimentales**

- Realiza una búsqueda de los tópicos que involucran la situación problemática.
- Plantea el problema que abordará.
- Realiza un análisis teórico/experimental matemático y químico que permite planear una alternativa de solución.
- Soluciona el problema y determina las limitaciones de dicha solución.
- Comunica su proyecto de forma fluida y coherente.
- Elabora un informe sobre los resultados del proyecto realizado.

### **Contenidos conceptuales**

- Explica el modelo matemático y químico que permite darle solución al problema.
- Comprende los procesos experimentales y teóricos utilizados en la solución del problema.
- Evalúa la solución del problema obtenida y determina su pertinencia.



### **Contenidos axiológicos**

- Valora los puntos de vista de los demás miembros del equipo de trabajo.
- Promueve el trabajo en equipo.
- Usa y es consecuente con los principios y valores de la Universidad.

Teniendo en cuenta la escala valorativa definida por la UPB (figura 2), los catorce estudiantes con quienes se desarrolló la metodología obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 2.

Las respuestas de la autoevaluación realizada por los educandos en cuanto al desarrollo de los contenidos procedimentales y conceptuales se muestran en la figura 3; se valora el cumplimiento de los mismos, con un mayor porcentaje, en las escalas de excelente y satisfactorio.

Figura 2. Escala valorativa definida por la UPB

 <span style="float: right;">  </span>				
Rúbricas para la evaluación de aprendizajes				
Escala de Calificación				
NO LOGRADO	LOGRADO			
<p>Insuficiente (0 - &lt; 2.99) Calificación académica que indica que no se ha llegado al nivel mínimo exigido para demostrar que desarrolló lo planteado en el curso. No cuenta con los aspectos conceptuales, procedimentales o axiológicos que le permitan desempeñarse en un contexto determinado de forma efectiva.</p>	<p>Básico (≥ 3.00 - &lt; 3.49) Calificación académica que indica que ha alcanzado el mínimo requerido para demostrar el aprendizaje en el curso o la experiencia de formación. Tiene el conocimiento base (aspectos básicos desde lo conceptual, procedimental o axiológico), el cual es importante, sin embargo no logra un desarrollo de este en función del contexto de desempeño.</p>	<p>Bueno (≥ 3.50 - &lt; 3.99) Calificación académica que indica que ha alcanzado un nivel bueno (medio) para demostrar el aprendizaje en el curso o la experiencia de formación y logra aportar algunos aspectos a los procesos de análisis contextualizado, sin embargo necesita mejorar en algunos aspectos conceptuales, procedimentales o axiológicos.</p>	<p>Muy Bueno (≥ 4.00 - &lt; 4.49) Calificación académica que indica que ha alcanzado un nivel muy bueno para demostrar el aprendizaje en el curso o la experiencia de formación. Demuestra dominio para abordar situaciones problemáticas en contexto, sin embargo necesita mejorar en algunos aspectos conceptuales, procedimentales o axiológicos.</p>	<p>Excelente (≥ 4.5 - 5.00) Calificación académica que indica que ha alcanzado un nivel excelente para demostrar el aprendizaje en el curso o la experiencia de formación. Demuestra dominio para abordar situaciones problemáticas en contexto desde la apropiación de los aspectos conceptuales, procedimentales o axiológicos.</p>
BAJO	BÁSICO		ALTO	SUPERIOR

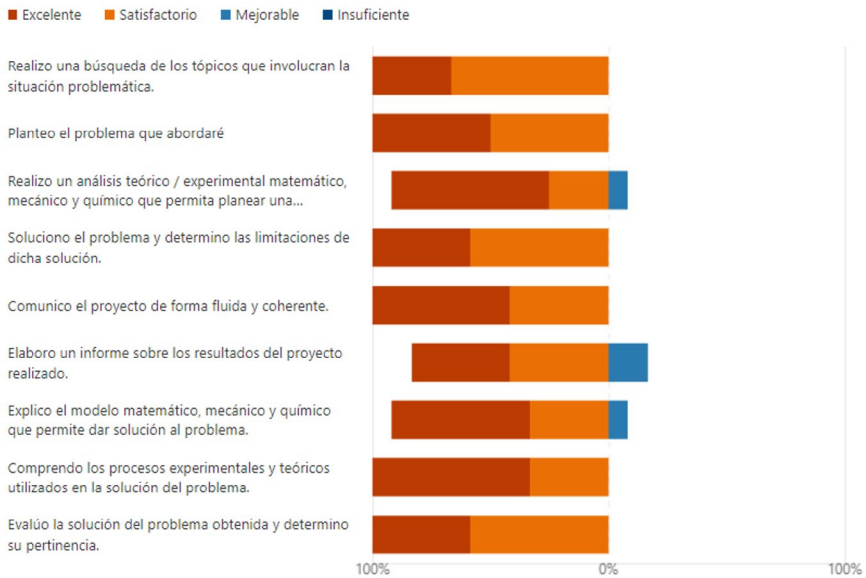
Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana (2021).

**Tabla 2.** Resultados de la heteroevaluación realizada por los docentes a los anteproyectos y proyectos, siguiendo escala valorativa de la UPB

Actividad / Nivel	Insuficiente	Básico	Buena	Muy buena	Excelente
Anteproyecto	14,3 %	0 %	57,1 %	28,6 %	0 %
Proyecto	14,3 %	28,6 %	0 %	57,1 %	0 %

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.** Resultados de la autoevaluación realizada por los educandos en relación con los contenidos procedimentales y conceptuales



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los contenidos axiológicos, los resultados indican que un porcentaje superior al 70 % de los estudiantes valoran como excelente la escucha activa, el respeto por las opiniones de los compañeros de grupo y la cooperación e integración entre los miembros del equipo de trabajo. El 58 % manifestaron que, de los valores promovidos por la UPB, la creatividad e innovación están directamente relacionadas con el desarrollo del proyecto interdisciplinario.

La percepción de los estudiantes en la coevaluación general del grupo de trabajo se describe a continuación:

- “Unión, solidaridad, trabajo en equipo, respeto y mucho compromiso, excelente participación de mis compañeros”.
- “Buena, todos estuvimos trabajando mucho y velamos para que todos pudiéramos entender todo completamente”.
- “El apoyo de mis compañeros fue fundamental en la elaboración de este proyecto, ya que pienso que sin la ayuda de ninguno de ellos esto no podría haber sido posible. Como comunidad profesional de aprendizaje pudimos desarrollar nuevos conocimientos y aportarles esto a cada uno de los integrantes del grupo”.
- “Fue muy buena la participación de todos en el grupo, considero que éramos muy buenos a la hora de realizar los experimentos prácticos y la mayor debilidad eran las extensas redacciones que teníamos que hacer para el proyecto, ya que con las clases y demás nos quedaba poco tiempo para esto”.
- “Mi grupo trabajó de manera equitativa en cada sección de la fabricación de este filtro. Cada integrante participó de manera activa y aportó su punto de vista en cada problemática presentada”.

## Justificación

El proyecto educativo institucional de la UPB (2016) implica, para la formación en capacidades humanas y competencias, formas de evaluación que enfatizan en los desempeños y en el uso, de forma integrada, de co-

nocimientos y actitudes, aspectos que se contemplaron en el desarrollo de este proyecto de aula. Así mismo, como proyecto integrador, permite potenciar el aprendizaje significativo, a partir de la capacidad de los estudiantes de relacionar información previa y nueva, con base en la interdisciplinariedad que les permite resolver un problema específico.

Adicionalmente, el modelo pedagógico integrado de la UPB (2009), en su concepción de evaluación, propende por procesos de autorregulación y autoevaluación permanentes. Esta mejora se incorporó con respecto a la experiencia desarrollada en el primer periodo académico de 2021.

## **Evaluación de la práctica**

Se consideran logros de la práctica una mayor participación de los agentes a través de los procesos de autoevaluación y coevaluación con fines de regulación. Sin embargo, se deben fomentar mejores prácticas de realimentación de los educandos, que les permitan conocer, de forma clara, cuáles son los resultados de aprendizaje y los niveles de desarrollo alcanzados.

El aporte de los docentes en esta experiencia se articuló en un proceso de mediación y facilitación de los saberes y la práctica para llevar a feliz término la experiencia.

## **Análisis prospectivo**

En aras de aportar a futuras prácticas basadas en esta metodología, se recomienda la vinculación de agentes externos que le den otra mirada al proyecto. Se considera como agentes externos a los empleadores, las empresas, los jurados, los invitados del sector público y privado, los evaluadores externos, los egresados y los ciudadanos que valoran en contexto el desempeño de los estudiantes, los egresados y su perfil. La participación de estos agentes aporta a la solución de problemas complejos a los que se ve y se va a ver enfrentado el estudiante en su vida académica y como egresado en su vida laboral (UPB, 2020).

De lo anteriormente expuesto, y resaltando que los educandos cursaban el primer semestre, se hace necesario que la presencia de los agentes externos se dé como acompañantes del proceso de construcción y ejecución del proyecto, dado que su papel protagónico apunta a la innovación y al cambio educativo. Su presencia cumple con una serie de apoyos como la identificación, sistematización y coevaluación del desempeño de los alumnos en la experiencia de aula.

Es recomendable emplear instrumentos previamente validados para la recolección de la información a la luz de los principios institucionales de la evaluación.

## Referencias

- Guerrero, M.; Hernandis, B. y Begoña, V. (2014). “Estudio comparativo de las acciones a considerar en el proceso de diseño conceptual desde la ingeniería y el diseño de productos”. *Revista chilena de ingeniería*, 22(3), pp. 398-410. Disponible en [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052014000300010&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052014000300010&script=sci_abstract).
- Gutiérrez, J. C. (2009). *Aplicabilidad de las metodologías de diseño de producto en el desarrollo y creación de páginas web y diseños gráficos*. Trabajo de grado. Universidad EAFIT. Disponible en [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/302/JulianCamilo\\_GutierrezR.\\_2009.pdf;jsessionid=2C5B6F9606CBBA9091A46DE66C5902F3?sequence=1](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/302/JulianCamilo_GutierrezR._2009.pdf;jsessionid=2C5B6F9606CBBA9091A46DE66C5902F3?sequence=1).
- Ulrich, K. y Eppinger, S. (2012). *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw-Hill.
- Universidad Pontificia Bolivariana (2009). “Modelo Pedagógico Integrado”. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- \_\_\_\_\_ (2016). “Proyecto Educativo Institucional”. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- \_\_\_\_\_ (2020). “Los procesos de evaluación. Gestión curricular por capacidades humanas y competencias en la UPB”. *Curso Moodle UPB 2036 Modelo Innovador*. Disponible en <https://auladigital.upb.edu.co/mod/folder/view.php?id=402262>.



## **6.7 Proyecto integrador para los cursos de diseño de aeronaves del programa de Ingeniería Aeronáutica**

**Programa en el que se desarrolla la práctica:**  
Ingeniería Aeronáutica

**Juan Pablo Alvarado Perilla**

*Ingeniero aeronáutico*

*Profesor de la Facultad de Ingeniería Aeronáutica*

*Coordinador del área de termofluidos*

**Juliana Andrea Niño Navia**

*Magíster en Ingeniería Aeronáutica y Mecánica*

**Germán Urrea Quiroga**

*Magíster en Administración*

**Jorge Iván García Sepúlveda**

*Magíster en Thermal Power, Gas Turbine Technology*

*(Cranfield University, UK-2007)*

*Miembro del equipo directivo de la Aeronáutica Civil (2020-2021)*

**Germán Alberto Barragán de los Ríos**

*Doctor en Ingeniería de Producción*

## Contexto en el que surgió la práctica

El programa de Ingeniería Aeronáutica fue creado en 2003 y cuenta actualmente con 456 egresados, alrededor de 450 estudiantes activos y 12 docentes internos. Los estudiantes del programa se desempeñarán, principalmente, en la industria aeronáutica, una de las más importantes e influyentes del mundo moderno (lo seguirá siendo en un futuro lejano). Es una de las pocas ciencias que reúne una amplia gama de saberes y tecnologías y que, además, impacta directamente en el producto interno bruto de un país.

Hoy en día, el diseño de aeronaves se encuentra enfocado en la integración de sistemas y tecnologías, lo que incluye estructuras, nuevos materiales, sistemas propulsivos y sistemas de navegación y control, entre otros, además de la integración de varias áreas de conocimiento para cumplir con los requerimientos de seguridad, eficiencia, sostenibilidad y responsabilidad ambiental exigidos por las diferentes autoridades aéreas y por los diferentes actores relacionados con la industria aeronáutica. Por tal razón, los programas de Ingeniería Aeronáutica cuentan comúnmente con cursos de diseño de aeronaves que son de vital importancia en el plan de estudios y en la formación del futuro profesional, debido a la necesidad de integrar los saberes adquiridos en los cursos previos y proponer el diseño de una aeronave que satisfaga los requerimientos exigidos por la norma.

Desde la concepción del programa se incluyó un curso de diseño cuyo nombre inicial fue “Diseño Conceptual de Aeronaves”, pero, debido al proceso de transformación curricular que finalizó en 2015 y entró en vigencia en el segundo semestre de 2016, y tras el análisis del estudio prospectivo realizado para la transformación, se evidenció la necesidad de incorporar un segundo curso para complementar la formación de los estudiantes en las competencias de diseño; de esta manera, el plan de estudios actual cuenta con dos cursos: Diseño de Aeronaves I y Diseño de Aeronaves II, que se cursan en el octavo y noveno semestre del programa.

## Historia de la práctica

En los cursos del ciclo profesional del programa de Ingeniería Aeronáutica se ha aplicado la iniciativa CDIO (concebir-diseñar-implementar-operar) y el diseño de los cursos refuerza este aprendizaje que pasa de la teoría a la práctica. Es necesario involucrar al estudiante en un ambiente real de trabajo que le permita desarrollar competencias cruciales para su desempeño como egresado, como lo son el trabajo en equipo, el autoaprendizaje, y el diseño y la resolución de problemas en un contexto cercano a la realidad.

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 la necesidad puntual del mercado de aeronaves a nivel mundial. Lo anterior obedece a que las metodologías de evaluación tradicional, como los exámenes parciales, los talleres y los exámenes breves, entre otros, tienen una efectividad limitada para evidenciar la adquisición de las competencias relacionadas con el trabajo en equipo y con los procesos de diseño en los estudiantes (principalmente debido a la característica secuencial y multietapas que se requiere durante un proceso de diseño).

La construcción de esta práctica se ha venido gestando desde el inicio del programa. La primera experiencia de implementación se realizó en 2006, cuando se desarrolló un documento guía en el que se determinaban los requerimientos básicos del diseño; adicionalmente, este contenía los parámetros para la presentación de los reportes escritos y la presentación del proyecto al finalizar el curso. Estos primeros documentos planteaban el diseño de una aeronave para un uso específico, ya fuera de aspersión aérea, ambulancia, transporte o extinción de incendios, entre otras. Sin embargo, con el transcurrir del tiempo estos requerimientos se fueron transformando y adaptando a los formatos de concursos internacionales como los propuestos por el American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). Hoy en día, los temas del proyecto de diseño propuestos para el curso se centran principalmente en los concursos nacionales e internacionales, los cuales se basan en necesidades actuales y futuras con relación al uso de aeronaves.

## Objetivos de la práctica

El objetivo principal de la práctica es la aplicación de los conceptos y las competencias adquiridos durante el ciclo profesional, integrándolos y consolidándolos con el fin de tener una mirada holística 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 que garanticen un producto seguro y confiable. A su vez, se busca proveer al estudiante de un entrenamiento en la filosofía de diseño de ingeniería aeroespacial, sus estándares y procedimientos, proporcionándole herramientas para resolver, de manera racional y ética, problemas relacionados con cualquier tipo de industria. El objetivo es constituir un pensamiento crítico y técnico-científico que conlleve la capacidad de plantear y aplicar la mejor solución posible a un problema.

Además de los objetivos planteados, se busca fortalecer habilidades en investigación, trabajo en equipo y comunicación.

## Estudiantes beneficiados con la práctica

Estudiantes del programa de Ingeniería Aeronáutica que cursan el octavo y noveno semestre.

## Testimonios

El estudiante Javier Herrera afirmó, acerca de los cursos de diseño y la metodología planteada:

La mejor manera de dejar volar la imaginación y aplicar todos los conceptos, teorías, formulas y demás principios vistos durante la carrera es diseñando;

esta es, quizás, la manera más pura de expresión de creatividad, ya que hay que mezclar una gran cantidad de conceptos complejos sobre resistencia de materiales compuestos, aerodinámica subsónica, propulsión de motores eléctricos y a combustión, entre otros. Buscando una sinergia de todas estas áreas, se busca cumplir con el gran reto para el cual nos preparamos los ingenieros, que es brindar soluciones a necesidades de cualquier sector. De ahí la importancia de todos los cursos y proyectos de diseño, ya que con estos se gana experiencia, se aplica lo aprendido y nos preparamos para cumplir con nuestra misión, diseñar, construir y mantener productos o servicios en pro de la sociedad.

En la figura 1, se presenta la aeronave diseñada por el estudiante Javier Herrera y su grupo de trabajo.

Figura 1. Aeronave



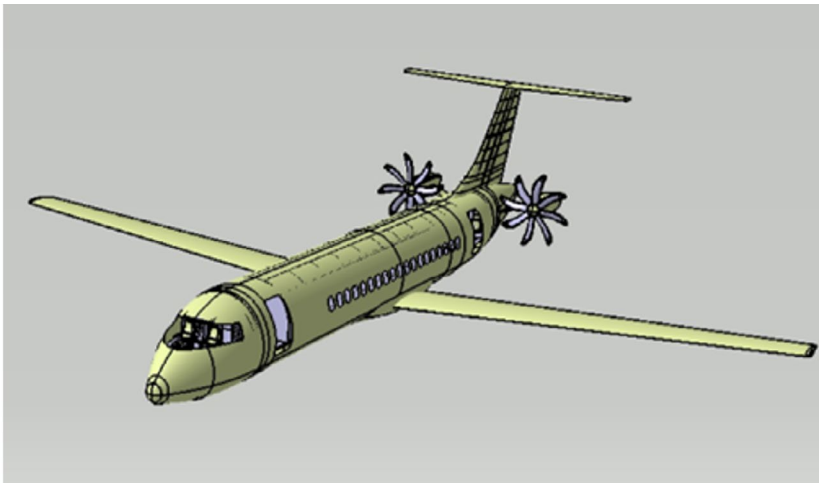
Fuente: diseño del estudiante Javier Herrera

Adicionalmente, el estudiante Alejandro Gutiérrez Santa, que cursa actualmente el noveno semestre, indicó:

Los cursos de diseño de aeronaves de la Facultad de Ingeniería Aeronáutica brindan el espacio para integrar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en torno al desarrollo de las habilidades requeridas para diseñar, desde cero, vehículos aéreos que respondan a determinadas necesidades del sector. Su importancia recae en el hecho de que se promueve un enfoque multidisciplinar dirigido hacia el diseño, lo cual implica el desarrollo de un trabajo en conjunto de diversas áreas de la aeronáutica y lograr que haya sinergia entre ellas, lo cual resulta valioso para estudiantes que estamos a puertas del comienzo de una vida profesional en el sector aeronáutico. Los conocimientos adquiridos en el curso de diseño pueden incluso verse aplicados durante la carrera por medio de los semilleros de investigación en los que se motiva a diseñar aeronaves que pueden responder a competencias internacionales de diseño o a problemáticas locales de transporte.

En la figura 2 se presenta la aeronave diseñada por el estudiante Alejandro Gutiérrez Santa y su grupo de trabajo.

**Figura 2.** Aeronave



Fuente: diseño del estudiante Alejandro Gutiérrez Santa

## Marco teórico

Con el desarrollo de la teoría a la par de la aplicación práctica, los estudiantes se apropian de los conceptos, desarrollan las competencias prácticas y pueden observar las limitaciones propias del aprendizaje basado en teoría. El ingeniero se encuentra inmerso en las diferentes etapas de desarrollo de un producto, proceso o ciclo de vida de un sistema. Es decir, lo concibe, lo diseña, lo implementa y lo pone en funcionamiento (concebir-diseñar-implementar-operar). A continuación, explicamos cada una de esas etapas.

- *Concebir un producto* incluye analizar las necesidades del cliente. Esta etapa tiene como objetivo definir el producto, en términos de tecnología, estrategia, regulaciones vigentes y factores económicos.
- El *diseño del producto, proceso o sistema* se concentra en la creación del mismo. En esta etapa se desarrollan modelos matemáticos que den como resultado final los diagramas, planos y demás elementos necesarios para la construcción o implementación del elemento objeto del diseño.
- La *implementación* hace referencia a la materialización del diseño en un producto, proceso o sistema, e incluye procesos de manufactura del *hardware*, codificación del *software*, integración, prueba y validación del elemento. Todo ello se realiza por medio de *software* que permite la simulación de este tipo de actividades.
- La *operación* consiste en poner en funcionamiento el producto, proceso o sistema mediante el uso de programas de cómputo que permitan la simulación del vuelo de la aeronave, generando una retroalimentación directa sobre parámetros de estabilidad, control, maniobrabilidad y confort, entre otros.

Los cursos de diseño de aeronaves del programa de Ingeniería Aeronáutica de la UPB hablan de capacidades humanas y competencias que se encuentran alineadas con los requerimientos expuestos en la metodología CDIO y que, además, están declaradas en el mapa de capacidades

humanas y competencias del programa, y se acogen al modelo pedagógico integrado UPB, tal como se aprecia 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 estrategia se privilegia el aprendizaje autónomo, la interdisciplinariedad 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 se busca involucrar a los estudiantes en la aplicación, el análisis y la evaluación de ideas. Así, el docente se convierte en un mediador que favorece el desarrollo de las capacidades y competencias no solo específicas, sino humanas, que promueve la indagación, la investigación y el aprendizaje significativo mediante el uso de esta metodología.

## 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, y se potencia con el uso de la plataforma Moodle, así como de *software* especializado como CATIA, Advanced Aircraft Analysis y X-Plane, entre otros.



La experiencia inicia con la conformación de los grupos de trabajo. Normalmente, estos se conforman por 5 o 6 miembros, aunque el número puede variar dependiendo de los estudiantes inscritos para cada semestre; la conformación de los grupos se realiza de manera autónoma, sin la intervención directa del docente.

Una vez establecidos los grupos, se realiza la selección del tipo de aeronave que será diseñada durante los dos cursos. Esto se hace mediante la votación de los grupos con el siguiente proceso: 1) el docente encargado del curso presenta un banco de proyectos conformado por diecisiete tipos de aeronaves; 2) cada grupo debe seleccionar tres y pasan a la siguiente fase los tres proyectos con más votos; 3) una vez se pasa este primer filtro, cada estudiante debe seleccionar uno de ellos y el que más votos obtenga es el proyecto que se desarrollará en el transcurso de los cursos de diseño.

Una vez seleccionado el proyecto, el docente encargado del curso presenta lo que se conoce como RFP (*Request For Proposal*), documento que se elabora con el objetivo de solicitarles 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 está compuesto por la introducción, los antecedentes, los requerimientos generales, los objetivos de diseño, las características, las consideraciones adicionales y la información relevante con relación a la necesidad o el problema que se desea resolver. En la figura 2 se presenta un ejemplo de documento RFP.

Figura 3. Ejemplo de RPF

## 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.

Después de la presentación del RPF, se presentan la rúbrica para la evaluación del documento final de diseño (reporte) y la presentación oral; este documento contiene los parámetros que deben considerar 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. A continuación, en la tabla 1, se presenta la escala de evaluación.

**Tabla 1.** Escala de evaluación

Grade	Value	Explanation
<b>Unacceptable</b>	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.
<b>Deficient</b>	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.
<b>Acceptable</b>	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).
<b>Good</b>	4-4,9	A superior expected design work development -
<b>Excellent</b>	5	Beyond the expectations.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se presenta la rúbrica de evaluación del reporte escrito.

**Tabla 2.** Evaluación del reporte escrito

Written Report Evaluation	Percentage	Grade	Total grade percentage
<b>1. Accomplishment of the objectives</b>	15 %		
<b>2. General content</b>	60 %		
<b>3. Overall presentation (in accordance with the final presentation reports parameters dictated by UPB's library)</b>	5 %		
<b>4. Redaction and orthography</b>	5 %		
<b>5. Innovation —correction of the previous advance reports</b>	15 %		
<b>Total evaluated aspects grade sum</b>	100 %		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se presenta la rúbrica de 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
<b>1. ACADEMIC ASPECTS</b>						
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						
<b>2. OPTIONAL ASPECTS</b>						
2.1. Product novelty						
2.2. Other(s). Specify						
Total evaluated aspects grade sum (s)=						
Total quantity of the evaluated aspects (n)=		Mean grade (s/n) (p)=				

**Consolidated result from the mean grade (write on the selected box)**

Failed <b><math>P &lt; 2,6</math></b>	Reproved <b><math>2,6 \leq p &lt; 2,9</math></b>	Approved <b><math>p \geq 3,0</math></b>	Approved with excellence <b><math>(p \geq 4.4) \text{ y } (m \geq 3)</math></b>

Fuente: Elaboración propia.

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 van realizando avances del proyecto y realizando los ajustes necesarios de acuerdo con la retroalimentación brindada por el docente del curso a lo largo del semestre. Una vez finalizado el semestre, los estudiantes deben realizar la entrega del reporte final y la presentación oral.

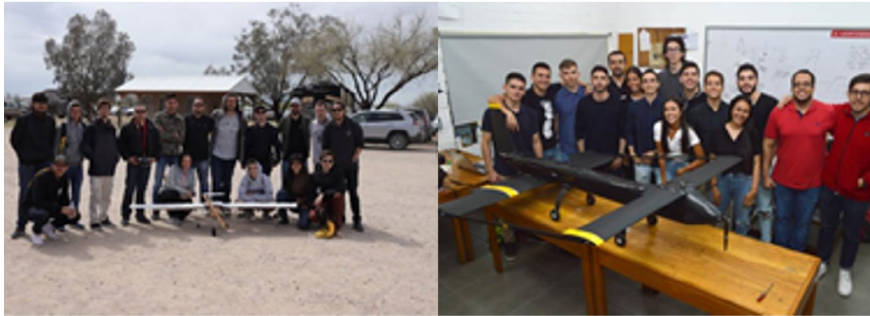
## **Justificación de la práctica**

Como se mencionó, la práctica descrita dejó de ser un plan evaluativo y se convirtió en una estrategia que busca integrar los saberes y potenciar diversas competencias en los estudiantes. De este modo, los cursos de diseño de aeronaves se convirtieron en cursos integradores y validadores del desarrollo de las competencias adquiridas a lo largo de la carrera, ya que evalúan competencias como trabajo en equipo, diseño, investigación, mejoramiento continuo, comunicación y resolución de problemas.

## **Evaluación de la práctica**

Cuantitativamente, durante dieciséis años se ha replicado la experiencia de manera ininterrumpida, lo que ha impactado aproximadamente a 570 estudiantes. De igual forma, se ha participado en concursos de diseño de aeronaves a nivel nacional e internacional como el DBF (Design, Build and Flight) (siete participaciones, figura 4) y se han publicado artículos en revistas especializadas (figura 5).

Figura 4. Grupos de estudiantes y docentes participantes en diferentes versiones del DBF



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Publicación de artículo en revista indexada



Fuente: Revista Ciencias y Poder Aéreo, vol. 16, no. 1. Disponible en: <https://publicaciones-fac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/693/969>

En términos cualitativos, se diseñó una estrategia que permitió la integración de los conocimientos adquiridos durante la carrera, lo que permitió que los cursos vistos en el plan de estudios no trataran temas aislados, sino que se convirtieran 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 les permite a los estudiantes estar actualizados respecto a las tendencias mundiales.

Una de las mayores dificultades presentadas en el desarrollo de la experiencia es la alta demanda de tiempo que requieren la planeación y evaluación, así como el tiempo adicional fuera del aula de clase que se necesita para el acompañamiento de cada uno de los grupos, no solo por parte del docente a cargo del curso, sino de los docentes del programa que acompañan el proceso.

## Análisis prospectivo

Se espera que la práctica aquí mencionada se convierta 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 declaradas por el programa. También se espera involucrar a egresados que se desempeñan en organizaciones aeronáuticas que se relacionan específicamente con el proyecto a realizar, por medio de: 1) visitas técnicas que les permitan a los estudiantes contextualizar la necesidad o el problema a solucionar y 2) con su participación en la evaluación de propuesta final.

## Referencias

American Institute of Aeronautics and Astronautics AIAA (s. f.). “RFP modern regional jet family”. Disponible en <https://www.aiaa.org/docs/default-source/uploadedfiles/education-and-careers/university-students/design->

competitions/graduate-team-aircraft-design-competition/aiaa-2021-graduate-team-aircraft-design-rfp---modern-regional-jet-family-%281%29.pdf?sfvrsn=df07.

Crawley, E. *et al.* (2014). *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. Nueva York: Springer.

Morales Aguirre, E. *et al.* (2021). “Diseño de aeronave de combate no tripulada de quinta generación para el apoyo aéreo cercano”. *Ciencia y poder aéreo*, 16(1), pp. 55-74. Disponible en <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.693>.

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). “Aviation Benefits Report 2019”. Disponible en: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/IHLG>.

Universidad Pontificia Bolivariana (2015). “Modelo Pedagógico Integrado”. Disponible en <https://www.upb.edu.co/es/documentos/doc-modelo-pedagogicoesn-lau-1464098892245.pdf>.