

# 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](mailto:editorial@upb.edu.co)

[www.upb.edu.co](http://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.

## **6.16 Coevaluación y heteroevaluación para el desarrollo de competencias en diseño, fabricación digital, manufactura avanzada y dispositivos inteligentes**

**Programas en los que se desarrolla la práctica:**  
Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial

**Luis Miguel Aristizábal Gómez**

*luismiguel.aristizabal@upb.edu.co*

*Ingeniero electrónico y magíster en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana*

*Docente interno de la Facultad de Ingeniería Mecánica*

**Ovidio José Cardona Osorio**

*jose.cardonaosorio@upb.edu.co*

*Ingeniero mecánico*

*Coordinador del Laboratorio de Manufactura Digital (FAB Studio) de la Universidad Pontificia Bolivariana*

### **Contexto**

Desde la aparición del diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés, *Computer Aided Design*) en tres dimensiones, se han desarrollado técnicas de fabricación avanzadas tales como la impresión 3D, el

corte láser y mecanizado por control numérico, entre otras (Upcraft y Fletcher, 2003). Hoy en día, estas tecnologías son herramientas fundamentales en el ejercicio profesional de múltiples disciplinas, tanto en ingenierías como en otras áreas. A lo anterior se suma el auge de los sistemas inteligentes y, más aún, la facilidad para integrar dispositivos de cómputo con capacidades de conexión a internet a casi cualquier cosa, gracias a plataformas de prototipado tales como Arduino, Raspberry Pi y LEGO Mindstorms, entre otros. Todo esto resalta la importancia de la universidad como un actor clave en el desarrollo de competencias asociadas a nuevas tecnologías cada vez más transversales a las disciplinas tradicionales en ingeniería tales como la mecánica, la electrónica y la informática, entre otras.

La Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) y sus laboratorios poseen la infraestructura física y tecnológica necesaria para desarrollar competencias de fabricación digital y avanzada, ya que cuenta con espacios afines a estas actividades. El caso más específico es el FAB Studio, desarrollado como parte de la alianza entre la UPB y la empresa Rhino3D Colombia, representantes de la compañía estadounidense Robert McNeel & Associates (McNeel), y soportado por personal técnico y docente tanto de la empresa como de la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad. El FAB Studio es un espacio adecuado para la creación donde convergen arquitectos, diseñadores, ingenieros y, de manera general, personas que quieran crear productos y materializar ideas en formato digital o físico.

En el programa de Ingeniería Mecánica, específicamente en el curso denominado Prototipos Inteligentes y Fabricación Digital, se decidió aprovechar estos recursos enmarcando el proceso formativo en una experiencia de diseño mecánico en la que el estudiante debe idear, dibujar y plasmar sus ideas en un modelo digital, incorporar elementos de electrónica y programación, así como implementar acciones de fabricación para, finalmente, resolver un problema real con un dispositivo físico inteligente.

En el presente documento se describe la experiencia desarrollada durante 2021 y el primer semestre de 2022 en el curso Prototipos Inteligentes y Fabricación Digital, a propósito del cual –y de la diversidad de saberes y técnicas abordadas– se requirió la exploración de diferentes formas de evaluar las capacidades y competencias de los estudiantes.

Esta diversidad se vio reflejada en la implementación de herramientas de coevaluación y heteroevaluación sistematizada por medio de rúbricas, encuestas, competencias y muestras a una comunidad externa, con valoración y retroalimentación recibida de múltiples fuentes y centrada en un modelo de evidencias.

## Historia de la experiencia

La UPB, como institución de educación superior (IES), juega un papel protagónico en la formación de capacidades y competencias asociadas a tecnologías emergentes, las cuales están íntimamente vinculadas al desarrollo económico de un país en desarrollo como Colombia (Bonilla, 2016). El proyecto educativo institucional (PEI) de la UPB hace explícita la investigación, la innovación y el emprendimiento como ejes transversales que orientan los procesos formativos, y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) como eje articulador (UPB, 2016). Alineado con el PEI, en 2011 comenzó el desarrollo del FAB Studio, un laboratorio de fabricación con sala de cómputo, *software* de diseño 3D, máquinas de fabricación como cortadoras láser, ruteadoras CNC, impresoras 3D de filamento y resina, escáner 3D, así como el personal dedicado a su operación (Carvajal David, 2017). Desde entonces, el FAB Studio presta servicios atendiendo a la población de estudiantes de la Universidad por medio de cursos electivos orientados a la materialización digital y física de ideas, los cuales pueden ser cursados por cualquier estudiante, sin importar el programa al que pertenezca.

La última transformación curricular a la que fue sometido el programa de Ingeniería Mecánica en la UPB, sede Medellín, en concordancia con el PEI, declara la integración de conocimientos para su aplicación a problemas reales de la sociedad como algo fundamental (Vásquez *et al.*, 2016). En el contexto específico del ingeniero mecánico, dicha aplicación se vale principalmente de herramientas como el diseño y la manufactura. El prototipado aparece como una herramienta fundamental para el desarrollo de soluciones, ya que permite responder preguntas que surgen durante el

proceso de diseño; disminuir la probabilidad de fallo de la solución definitiva; reducir el costo de implementación de mejoras al producto; y explorar conceptos. Con base en lo anterior, se puede inferir que el prototipado tiene cabida en el currículo, puesto que ofrece transversalidad respecto a las diferentes áreas del conocimiento abordadas en el programa.

En 2018, docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica identificaron un alto potencial de integración entre los cursos ofrecidos en el FAB Studio y el programa de Ingeniería Mecánica, facilitado por la flexibilidad de la oferta del primero. Específicamente, se observó que el curso electivo universitario Ayudas CAD y Sistemas Inteligentes tenía potencial de integración al currículo de Ingeniería Mecánica. En este curso se desarrollan actividades que integran *software* de modelación CAD 3D, con énfasis en el *software* Rhinoceros, tecnologías de fabricación digital como impresión 3D, corte láser y mecanizado CNC, entre otras, y sistemas electrónicos programables basados en Arduino. Con base en esto, se hizo un esfuerzo en conjunto entre el personal del FAB Studio, docentes de la Facultad de Diseño Industrial y la Facultad de Ingeniería Mecánica para diseñar un curso para el currículo de Ingeniería Mecánica que pudiera ofrecerse como parte de los cursos de libre configuración del cuarto semestre, aunque sin restricciones ni correquisitos. Para poder contextualizar los saberes específicos abordados por el curso electivo preexistente, en un proceso de diseño de ingeniería mecánica, se incorporaron contenidos de diseño tales como ideación, bocetos, herramientas de diseño divergente y convergente. También se profundizó en temas de programación como diagramas de flujo, funciones y lógica aplicada a dispositivos físicos. El estudiante debe aprender las técnicas y adquirir los conocimientos necesarios para resolver un reto planteado desde el principio del curso, el cual es evaluado en una muestra con personas externas a la universidad, quienes apoyan el proceso de valoración del trabajo de los estudiantes.

El curso resultante, llamado Prototipos Inteligentes y Fabricación Digital, se presenta de manera gráfica en la figura 1.

**Figura 1.** Presentación gráfica de temas del curso  
Prototipos Inteligentes y Fabricación Digital



Fuente: Elaboración propia.

## Objetivos de la práctica

- El objetivo principal de la práctica es desarrollar competencias en prototipado como parte de los procesos de diseño en ingeniería, usando elementos mecánicos, electrónicos e informáticos, de manera que el estudiante pueda aplicar estas habilidades a lo largo de su carrera profesional, independiente del área específica en la que se desempeñe como ingeniero, para la resolución de problemas reales.

- Como objetivo específico de la práctica, se plantea mejorar los mecanismos de evaluación para que se adecúen al aprendizaje evaluado, facilitando el proceso de medición y verificación de efectividad en la enseñanza.

## Estudiantes beneficiados con la práctica

Aunque el curso viene enseñándose desde 2019-01, la ejecución de los cambios a la evaluación se efectuó desde el segundo semestre de 2021, por lo cual se han beneficiado dos cohortes de diez estudiantes cada una. Los niveles de matrícula del curso han permanecido estables y se ha mantenido el cupo completo en estas últimas iteraciones, lo que indica que la intención de matrícula del curso es adecuada. Para medir la satisfacción de los estudiantes, se implementó una encuesta voluntaria en el semestre 2021-02, pero solo se recibió una respuesta de los diez estudiantes del curso. Dicha respuesta fue completamente positiva, con puntaje máximo en preguntas de satisfacción basadas en las encuestas implementadas en los cursos de UPB Virtual.

## Marco teórico

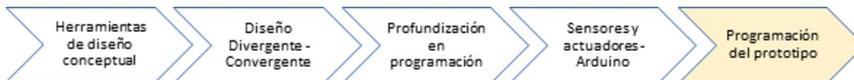
El curso se formuló con un enfoque híbrido y cuenta con dos encuentros semanales; se desarrollan dos procesos en paralelo (figuras 2 y 3): los primeros encuentros de la semana se llevan a cabo de forma magistral con elementos teórico-prácticos en el laboratorio, con el fin de que el estudiante adquiera los saberes técnicos específicos propios del prototipado mecatrónico; y los encuentros finales de la semana se basan en aprendizaje basado en problemas (ABP), ya que se entrega, desde la primera sesión del curso, un problema con algunos requerimientos provistos por un potencial cliente, y es tarea del estudiante especificar dichos requerimientos y llevar a cabo el proceso de diseño y materialización de la solución del problema para el final del curso.

**Figura 2.** Temas abordados en los primeros encuentros de la semana



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.** Temas abordados en los últimos encuentros de la semana



Fuente: Elaboración propia.

## Desarrollo de la experiencia

El curso de Prototipos Inteligentes y Fabricación Digital, al ser desarrollado en el FAB Studio por Rhino3D Colombia, la Facultad de Arquitectura y Diseño, la Jefatura de Laboratorios y la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UPB se presta para ofrecer un producto diferente a los demás cursos del programa de Ingeniería Mecánica. El curso cuenta con varios docentes, cada uno asignado de acuerdo con el tema que se va a tratar: modelación CAD, electrónica básica y programación son dictados por los profesores del FAB Studio y Diseño Industrial, mientras que los encuentros basados en ABP y profundización en programación son abordados por profesores de Ingeniería Mecánica. Al iniciar el curso, los estudiantes reciben un kit de componentes electrónicos y mecánicos con el cual pueden llevar a cabo las prácticas. El kit se presta durante todo el semestre y tiene carácter devolutivo al final del curso. Al estudiante se le ofrece la oportunidad de comprar dicho kit, ya que estos son administrados por la

empresa Rhino3D Colombia. Adicionalmente, cualquier material que se requiera para el uso de las máquinas de manufactura digital, con el objetivo de fabricación del prototipo final, es provisto por el FAB Studio.

**Heteroevaluación:** En general, en el curso se evalúa el desempeño del estudiante en cada uno de los núcleos temáticos, teniendo como elemento integrador el reto planteado al principio del semestre. Dada la naturaleza práctica del curso, el estudiante debe desarrollar actividades que sirvan como evidencia de los aprendizajes específicos. Las evidencias de estos se presentan a través de informes técnicos, programas de computador para Arduino y LEGO Mindstorms con verificación experimental en clase, modelos CAD, demostraciones prácticas (presenciales o en video), interacción y participación en el curso. Estas evidencias son evaluadas por el docente a cargo del contenido por medio de rúbricas.

**Coevaluación:** Los procesos de diseño en ingeniería sirvieron como pretexto para implementar un sistema de evaluación híbrida, particularmente para la enseñanza de generación de ideas de solución y bocetos, es decir, para la comunicación gráfica de las ideas. Esta se presta para la evaluación por pares, ya que la efectividad de la comunicación se puede evidenciar si el mensaje transmitido se interpreta de la misma manera por diferentes personas (figura 4).

En la figura 4 se muestran las etapas de la actividad desarrollada. Dado el alcance de este documento, se hará énfasis en las etapas asociadas a actividades evaluativas. Las primeras dos etapas están asociadas al desarrollo básico de la habilidad, con la supervisión del docente. Es de vital importancia tener un espacio durante la clase en el cual los estudiantes hagan uso de la técnica y reciban retroalimentación inmediata sobre lo desarrollado. Después de revisar los conceptos y las técnicas para realizar bocetos y comunicar ideas gráficamente, se les propone a los estudiantes que dibujen varios objetos cotidianos usando las técnicas enseñadas. Para la etapa 4, se les asigna un tiempo determinado extraclase para el desarrollo de esta actividad y se pacta una fecha de entrega, idealmente vinculada a un ambiente virtual de aprendizaje (AVA).

**Figura 4.** Etapas del desarrollo de práctica para enseñanza de comunicación de ideas con bocetos, evaluada usando coevaluación



Fuente: Elaboración propia.

El uso de una plataforma virtual facilita la logística que requiere la ejecución de las siguientes etapas, ya que, luego de recolectadas las entregas por medio de una actividad que permita la subida de archivos (etapa 5), estas se reparten de forma aleatoria entre el mismo grupo de estudiantes (etapa 6). Esta repartición se automatiza usando herramientas informáticas como programas desarrollados en lenguajes abiertos como Python, para garantizar aleatoriedad y facilitar la operación. Una vez repartidas las entregas entre los estudiantes, se ejecuta la etapa 7. En esta etapa, las entregas son evaluadas por los estudiantes usando una rúbrica diseñada por los docentes del curso, con base en criterios de comprensión del mensaje comunicado gráficamente, que, para el caso específico de objetos cotidianos, son: identificación del objeto, su función, facilidad con la cual identificó

el objeto valorado en escala de 1 a 5, y, de manera general, recomendaciones del evaluador para el evaluado. Los estudiantes evalúan la claridad del mensaje, mientras que el docente evalúa, de manera adicional, el nivel de apropiación y uso de las técnicas de dibujo y boceto (etapa 8). Para sistematizar los resultados de la evaluación, la rúbrica se les comparte a los estudiantes en forma de encuesta, en la que se integran tanto el componente formativo como sumativo: lo primero se hace visible en la forma de comentarios de texto, en los que el par evaluador debe indicar su interpretación del boceto, y se da la oportunidad de que retroalimente e indique fortalezas y debilidades del boceto evaluado; finalmente, la ejecución directa de la rúbrica, con un componente cuantitativo asociado a la valoración cualitativa, como si el boceto se entiende perfectamente, se traduce en un 5,0 en dicho ítem. La etapa final es la consolidación de resultados, realizada por el docente, y la correspondiente retroalimentación con los estudiantes. Esta etapa se puede realizar de forma individual por estudiante, o en forma grupal, a modo de discusión durante la clase, respetando la decisión de cada individuo de hacer pública o no su entrega para tal fin.

## **Evaluación multiagente para la solución al problema (ABP)**

La evaluación final del curso se realiza por medio de un evento en el que participan todos los agentes involucrados: los docentes de los distintos contenidos (Diseño Industrial, Rhino3D Colombia e Ingeniería Mecánica); los representantes de la empresa Rhino3D Colombia, usualmente la gerente general o el director comercial; el público general; y los estudiantes como protagonistas del evento. El problema que se plantea debe involucrar un desarrollo tecnológico producto de las actividades de todo el semestre. En el caso específico a ejemplificar en este documento, se evalúa el desempeño de un robot autónomo de desinfección por luz ultravioleta. La valoración de la solución al problema planteado es realizada por los dos primeros agentes, es decir, docentes y representantes de la empresa. El proceso de evaluación sumativo se realiza por medio de una rúbrica

común (tabla 1), que se usa por los agentes evaluadores, mientras que la parte formativa se da por medio de la retroalimentación específica sobre cada solución. Se ha observado que contar con la perspectiva de diversos agentes puede enriquecer el proceso fundamental de aprendizaje que se da en los estudiantes, principalmente por la retroalimentación ofrecida desde múltiples puntos de vista.

**Tabla 1.** Descriptores deseados de la rúbrica de evaluación para la entrega final del curso

criterio	Descripción	Puntaje máximo
1	Al ser encendido, el robot espera 5 segundos	5
2	El robot se desplaza siguiendo una línea negra	10
3	El robot se detiene al detectar obstáculos y reinicia movimiento después de retirarlos de la pista	10
4	El robot enciende un LED (que representa la luz UV) una vez transcurren los 5 segundos	5
4	El robot genera señales auditivas mientras el LED está encendido	5
5	El robot asegura los obstáculos con un mecanismo actuado por un servomotor	5
6	El robot remueve obstáculos de la pista usando el mecanismo actuado por un servomotor	5
7	El robot se detiene por completo apenas realiza una vuelta completa a la pista o remueve 5 obstáculos	5

Fuente: Elaboración propia.

## Justificación

Dada la diversidad de formas de evaluación que se presentan en este curso, la práctica descrita en este documento puede servir como referente para otras actividades en múltiples disciplinas, según el caso. Esta práctica se presenta como un ejemplo de adaptación de coevaluación a una actividad que usualmente se evalúa con heteroevaluación.

El caso específico de la práctica evaluativa de bocetos, presentada en la sección anterior, es un caso de uso de herramientas tecnológicas para facilitar la ejecución de una actividad que, sin estos medios, sería de difícil ejecución, además del valor agregado de la sistematización de resultados y evidencias, elemento esencial para la implementación de sistemas de calidad en educación.

Respecto a la retroalimentación, esta práctica evidencia el valor de la devolución cuantitativa y cualitativa proveniente de múltiples agentes, y que esta no dependa exclusivamente de los docentes: involucrar agentes externos afines al contexto del problema abordado enriquece el proceso formativo.

## Evaluación de la práctica

La implementación de esta práctica llevó a sistematizar la coevaluación, en la que se le facilita el proceso a los pares, que no necesariamente tienen experiencia siendo evaluadores. Esto aporta al aumento de la objetividad. Sin embargo, hay retos alrededor de cómo aumentar el compromiso de los pares con los aportes formativos (comentarios de los pares), así como su eficacia, ya que la misma sistematización de la evaluación con herramientas informáticas puede, de forma no intencional, hacer que el par evaluador perciba como más relevante el componente sumativo. Cabe resaltar que la eficacia del componente formativo en el proceso evaluativo depende directamente del seguimiento que se le haga a la retroalimentación, lo cual debe considerarse como parte de la actividad y, por ende, debe tener asignados recursos de tiempo del equipo ejecutor del curso para su ejecución. Al no hacerle este seguimiento, se corre el riesgo de que la devolución solo cumpla un papel *in situ* (en el evento).

La evaluación multiagente, especialmente cuando se involucran agentes externos asociados a la industria, tuvo un efecto positivo en esta práctica, ya que los externos se llevan una imagen de los estudiantes formados, teniendo futuros prospectos para temas de empleo y oportunidades en la vida laboral, al tiempo que los estudiantes obtuvieron retroalimentación contextualizada y valiosa sobre su trabajo. También puede obrar en contra

si el proceso del curso tiene falencias o es pobremente ejecutado, por lo que se debe considerar el alto nivel de compromiso con la calidad de los resultados antes de involucrar agentes externos.

## Análisis prospectivo

Aunque la experiencia fue, en general, exitosa y se cumplieron con los objetivos planteados al explorar herramientas diversas de evaluación que se adecuen a los contenidos y que den una mejor medida del aprendizaje del estudiante, se requiere un esfuerzo adicional para mejorar la parte logística de la coevaluación, en particular con la automatización en la recolección de las evaluaciones entre pares, así como en su integración mutua (entre las mismas evaluaciones) y la unificación con la evaluación del docente, de manera que se pueda concretar una lectura holística del proceso. Adicionalmente, se propone hacer obligatoria la evaluación de satisfacción del curso, de manera que se incentive la recolección de información para retroalimentar las acciones didácticas y evaluativas del curso.

## Referencias

- Bonilla, J. I. (2016). “La cuarta revolución industrial y Colombia: ¿Qué podemos hacer?”. Disponible en [https://innovacionyciencia.com/articulos\\_cientificos/la\\_cuarta\\_revolucion\\_industrial\\_y\\_colombia](https://innovacionyciencia.com/articulos_cientificos/la_cuarta_revolucion_industrial_y_colombia).
- Carvajal David, N. (2017). “Rhino3D renueva alianza con la UPB”. Disponible en <https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb>.
- Universidad Pontificia Bolivariana (2016). “Proyecto Educativo Institucional”. Disponible en <https://www.upb.edu.co/es/identidad-principios-historia/proyecto-institucional-modelo-pedagogico>.
- Upcraft, S. y Fletcher, R. (2003). “The rapid prototyping technologies”. *Assembly Automation*, 23(4), pp. 318-330.
- Vásquez, R. E. *et al.* (2016). “Curriculum change for control engineering education in a mechanical engineering undergrad program”. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 5. Disponible en <https://doi.org/10.1115/IMECE201666658>.