

## **ESTRATEGIA PEDAGÓGICA INTEGRADA: “DISEÑO DE ASPAS DE UN AEROGENERADOR PARA OBTENER EL MÁXIMO NIVEL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA”**

Juan Stockle, Universidad Autónoma de Chile, [juan.stockle@uautonoma.cl](mailto:juan.stockle@uautonoma.cl)

Daniel Zamora, Universidad Autónoma de Chile, [daniel.zamora@uautonoma.cl](mailto:daniel.zamora@uautonoma.cl)

Lorenzo Reyes-Bozo, Universidad Autónoma de Chile, [lorenzo.reyes@uautonoma.cl](mailto:lorenzo.reyes@uautonoma.cl)

### **RESUMEN**

En este trabajo se presenta una Estrategia Pedagógica Integrada (EPI) para estudiantes de primer año de la carrera de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad Autónoma de Chile. Esta metodología de aprendizaje basado en proyecto tiene como objetivo integrar las asignaturas de primer nivel de la carrera de ingeniería, Introducción a las Matemáticas, Fundamentos de Gestión, Tecnologías de Gestión e Introducción a la Ingeniería. Además de la integración y contextualización de los contenidos, la actividad permite comenzar a desarrollar tempranamente las capacidades de investigación, diseño, prototipado, modelamiento, resolución de problemas, pensamiento crítico, trabajo en equipo, liderazgo, y comunicación oral, escrita y gráfica. Con este proyecto EPI, “Diseño de aspas de un aerogenerador para obtener el máximo nivel de eficiencia energética” se busca que los estudiantes realicen estudios de variación de parámetros geométricos de los aerogeneradores con el fin de entender su impacto en la eficiencia como función de la velocidad del viento. Para llevar a cabo el proyecto los estudiantes tuvieron que organizar, planificar y liderar grupos de trabajo, realizar diseños en software de dibujo computacional, imprimir prototipos, medir las variables de interés en un rango de velocidades, procesar datos y analizar sus resultados.

**PALABRAS CLAVES:** Estrategia Pedagógica Integrada, Investigación, Diseño, Prototipado, Eficiencia Energética.

### **INTRODUCCIÓN**

Estrategias Pedagógicas Integradas o EPI, se puede comprender como una metodología de enseñanza transversal de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) (aplicadas en varias Asignaturas), cuyo propósito es que el estudiante sea capaz de: hacer, comprender, motivarse, estimular, mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, por medio de materias integradas en las asignaturas de primer nivel (Barrows & Tamblyn, 1980; Savery, 2006). Este enfoque ha mostrado ser efectivo en diferentes áreas del conocimiento, permitiendo la construcción de un aprendizaje significativo mediante la resolución de problemas en contextos reales.

El ABP ha demostrado ser eficaz para promover el aprendizaje activo, ayudando a las y los estudiantes a aplicar sus conocimientos en contextos prácticos y a resolver problemas complejos, lo cual se alinea con los objetivos de la EPI (Hmelo-Silver, 2004). La EPI tiene como objetivo complementar el aprendizaje de clases con la investigación y diseño orientado al trabajo en equipo, resolución de problemas, pensamiento crítico, liderazgo, y habilidades comunicativas (oral, escrita y gráfica), la cual se realiza de manera transversal en todas las asignaturas de Primer Nivel (Prince & Felder, 2013).

En la asignatura de Introducción a la Ingeniería, los estudiantes aplicarán conceptos básicos de ingeniería para resolver problemas relacionados con el diseño de las aspas del aerogenerador. Esto implica la aplicación de diferentes sistemas de unidades y la expresión lógica y coherente

de sus ideas, lo cual se alinea con el objetivo de aplicar los conceptos de ingeniería en situaciones propias del ejercicio de la disciplina (Sjoer et al., 2015). Por otro lado, en Introducción a las Matemáticas, se espera que los estudiantes utilicen operaciones numéricas y conceptos matemáticos para abordar los desafíos planteados en el diseño de las aspas. Además, deberán estructurar sistemáticamente la información relacionada con el fenómeno estudiado, lo cual facilitará su interpretación y análisis. En Tecnologías para la Gestión, los estudiantes profundizarán en el uso de herramientas tecnológicas relevantes para el diseño y análisis de aerogeneradores. Esto incluye la comprensión de los cambios en los patrones de aplicación de las tecnologías de la información, así como la clasificación de herramientas tecnológicas según su ámbito de aplicación (Duch et al., 2001). Finalmente, en Fundamentos de Gestión, los estudiantes desarrollarán habilidades de comunicación oral y escrita, fundamentales para expresar sus ideas de manera lógica y coherente. Además, reflexionarán sobre el contexto global de la industria de las energías renovables y su relación con los procesos de gestión contemporánea (Najdanovic-Visak, 2017).

## DESARROLLO

El proyecto escogido está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Específicamente en Punto 7: ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE, Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. En este contexto, se revisaron los conceptos necesarios para el cálculo de las expresiones que permiten realizar el proyecto.

La energía capturada por el viento se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{eólica} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Donde  $\rho$ ,  $A$  y  $V$  representan la densidad del aire, el área del aerogenerador y la velocidad del viento respectivamente.

El cálculo de la energía eléctrica se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$E_{eléctrica} = I V_{olt} \quad (2)$$

Donde  $I$  y  $V_{olt}$  representan la intensidad de corriente eléctrica y el voltaje.

Con el fin de evaluar la cantidad de energía eólica transformada a energía eléctrica, se utilizó un coeficiente de potencia definido como sigue a continuación:

$$C_p = \frac{E_{eléctrica}}{E_{eólica}} \quad (3)$$

Estas ecuaciones (1), (2) y (3), fueron derivadas y explicadas en las asignaturas para contextualizar a los estudiantes el propósito de la EPI, sus etapas y entregas.

Una vez presentadas estas ecuaciones, se solicitó a los estudiantes que realicen investigación sobre las intensidades de viento a lo largo de Chile (Falvey, 2018), evaluando la potencia eólica promedio anual por región con el fin de contextualizar las ecuaciones gobernantes y el tipo de aerogenerador de acuerdo con el potencial energético de acuerdo con su región. En paralelo se pidió como tarea el desarrollo de tutoriales online de Fusión360 para que las y los estudiantes se familiaricen con la herramienta de diseño CAD. Para ahorrar material, tiempo de impresión y testeo de los prototipos, se solicitó que sus aerogeneradores no sobrepasarán los 10 [cm].

A continuación, se presentan los prototipos diseñados en Fusión360 e impresos por uno de los grupos puestos a prueba para medir las variables y calcular la capacidad de transformar energía eólica en eléctrica utilizando la ecuación (3).

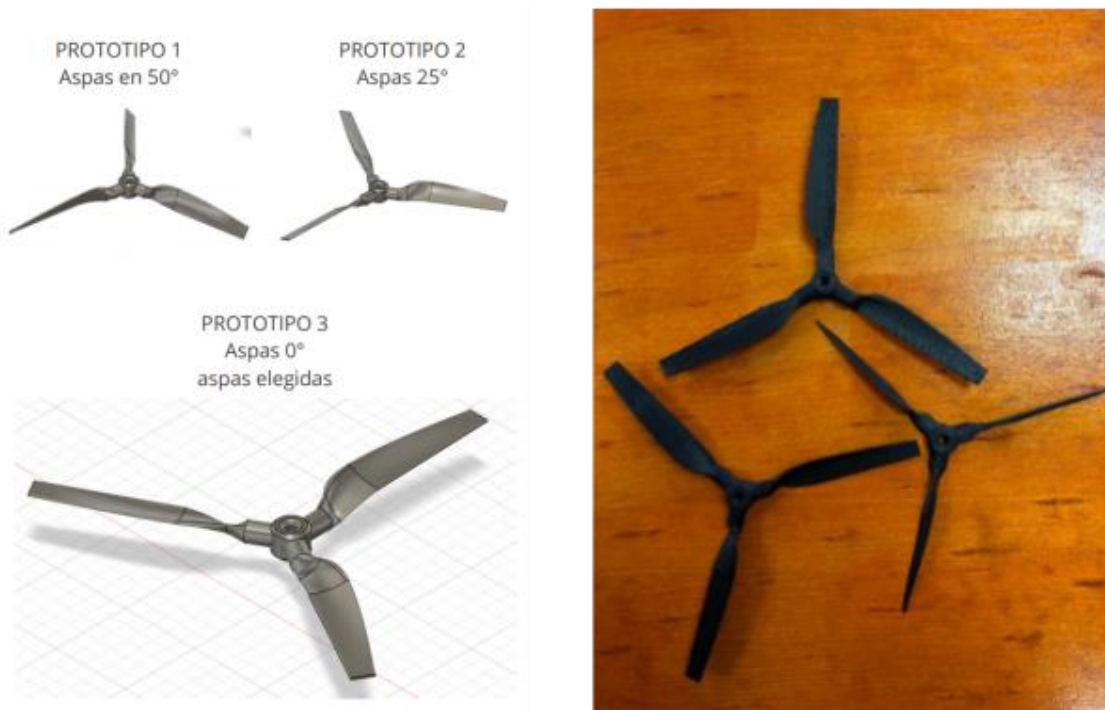


Figura N° 1. Aerogeneradores diseñados en fusión 360 e impresos en el laboratorio Innovalab de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chile.

Las pruebas de los prototipos fueron realizadas en el laboratorio de prototipado y diseño, Innovalab, tal como se muestra en la figura 2,



Figura N° 2. Disposición de los aparatos e instrumentos para la medición de las variables de interés. Experiencias desarrolladas en el Innovalab de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chile.

Una vez medidas la intensidad eléctrica y voltaje con el multímetro para un rango de velocidades, los estudiantes incorporaron los resultados en el software Excel o Matlab para estudiar el comportamiento de la eficiencia en función de la velocidad del viento para cada uno de sus prototipos tal como se muestra en la figura N°3.

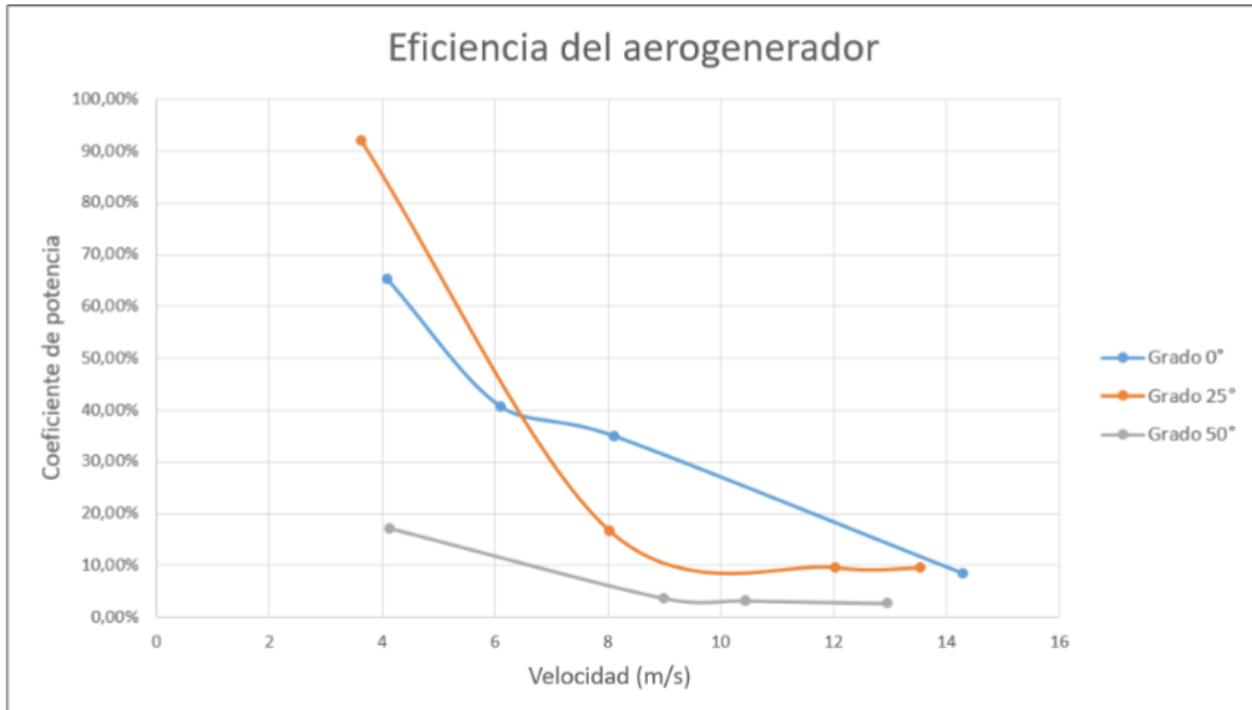


Figura N° 3. Comportamiento del coeficiente de potencia variando la velocidad del viento para los tres prototipos mostrados en la figura 1.

Los procesos y resultados del proyecto fueron registrados y presentados por los estudiantes en diferentes etapas a lo largo del curso. En la presentación final, los estudiantes defendieron sus diseños de acuerdo con el rendimiento en función de la velocidad del viento.

## RESULTADOS

Los principales resultados se pueden separar en comentarios cualitativos y en indicadores cuantitativos.

Opiniones cualitativas:

**Interdisciplinariedad Efectiva:** Los estudiantes expresaron que la integración de varias disciplinas en una sola actividad les permitió ver cómo los conceptos de matemáticas, física y gestión se relacionan y aplican de manera conjunta en problemas aplicados de la ingeniería. Esto facilitó una comprensión profunda, ayudando a visualizar el uso práctico de los conocimientos adquiridos.

**Mejora en la Comprensión:** Los docentes notaron una mejora en la comprensión de los estudiantes sobre los temas más complejos, gracias a la exposición de estos en contextos múltiples. Los alumnos indicaron que las conexiones entre disciplinas les ayudaron a consolidar su aprendizaje, dándole una aplicación concreta.

**Motivación y Participación:** La actividad fue bien recibida por la mayoría de los estudiantes, quienes consideraron que el enfoque integrador les motivó a participar activamente y entender la relevancia del trabajo colaborativo. La aplicación de conceptos en un contexto más amplio resultó en una mayor participación por parte de los estudiantes, quienes se sintieron más responsables y protagonistas de su propio aprendizaje.

Indicadores cuantitativos:

**Retención:** De los 90 estudiantes que participaron en la actividad, se observó que un 95% continuó asistiendo regularmente a las actividades del segundo semestre de su plan de estudios. Esto indica un alza en la tasa de retención tradicional, mostrando que la actividad cumplió con su objetivo de mantener a los estudiantes involucrados en su ruta de aprendizaje.

**Aprobación:** Al evaluar el rendimiento de los estudiantes en las evaluaciones posteriores a la actividad, se identificó que un 85% de los alumnos aprobó los exámenes con una calificación igual o superior a 60%. Esto representa un incremento del 15% en comparación con los resultados anteriores a la implementación de la actividad.

**Mejora en el Rendimiento General:** Comparando los resultados de los estudiantes antes y después de la actividad, se observó un aumento promedio del 20% en las calificaciones de las asignaturas de ciencias básicas involucradas. Esto demuestra que la actividad integradora tuvo un impacto positivo en el rendimiento académico de los estudiantes.

## ANÁLISIS CRÍTICO

A pesar de la poca independencia y autorregulación de los estudiantes de primer año, todos los grupos cumplieron con los objetivos propuestos en el proyecto. Es importante señalar la importancia de los docentes de la asignatura para guiar a los grupos tanto en los aspectos científicos y técnicos, como en las habilidades genéricas, sobre todo las de liderazgo. Sin embargo, por la carga laboral de los profesores, fue difícil acompañar y revisar avances periódicos

a los grupos. Para mejorar este aspecto, en la próxima iteración se contratará a un ayudante para que de apoyo con respecto al monitoreo y guía de los equipos durante el proceso.

La definición de las políticas de trabajo grupal al momento de conformar los equipos ayudó a regular conflictos en algunos casos. Se esperaba que estas políticas, definidas y firmadas por los integrantes de cada grupo, puedan irse ajustando en caso de que no hayan estado funcionando. Desafortunadamente, no fue posible revisar los ajustes realizados por los grupos y su impacto en el desarrollo del proyecto. También se espera que, con el apoyo de un ayudante, los temas relativos con el desarrollo de las habilidades genéricas mejoren en próximas iteraciones.

Las y los estudiantes no contaban ni con conocimientos del software Fusión 360 ni MATLAB. Para lograr el desarrollo de este conocimiento se les envió enlaces con actividades de capacitación autónoma. En el caso de MATLAB, existen cursos auto instruccionales que les permitieron aprender lo básico para ser capaces de manipular los datos obtenidos de los experimentos. Sin embargo, hubo que dar mayor guía en la parte de ajuste de curva, no bien logrado debido a que no tenían experiencia ni eran parte de los programas de estudio. Se realizarán mayor cantidad de horas en el uso de estos softwares para que tempranamente adquieran el conocimiento necesario para abordar estos proyectos.

## CONCLUSIONES

La estrategia integradora y complementaria implementada para los cursos de ciencias básicas de primer año de Ingeniería ha mostrado ser eficaz tanto desde una perspectiva cualitativa como cuantitativa. Los estudiantes se beneficiaron de una comprensión más holística y aplicada de los conceptos, lo que se reflejó en mejores tasas de retención, aprobación y entusiasmo. Se recomienda continuar con este enfoque en futuras cohortes, ajustando y mejorando según sea necesario para maximizar el impacto en el rendimiento académico de los estudiantes.

Otro elemento concluyente que es destacable tiene que ver con el análisis costo beneficio de la actividad. Ciertamente la integración requiere horas de coordinación entre profesores pero que son marginales respecto a las que cualquier comunidad académica desarrolla en el avance de alumnos de primer año. Y, por último, respecto de costos de equipamiento, los materiales como anemómetros, multímetros y otros sensores tiene valores menores a los 15.000.- pesos cada uno. Mucho mayor costo se produce por cada alumno que reprueba o deserta de la carrera, perdiendo toda la inversión en su admisión y formación inicial. Esta disminución en costos corresponde al beneficio que aporta la actividad descrita.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, Chile (ANID, ING 2030 Etapa 2, Proyecto ING222010005).

## REFERENCIAS

- [1] Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer Publishing Company.
- [2] Duch, B. J., Groh, S. E., & Allen, D. E. (2001). *The power of problem-based learning: A practical "how to" for teaching undergraduate courses in any discipline*. Stylus Publishing.

- [3] Falvey, M. (2018). Explorador Eólico 2018 Descripción y Guía de Uso. Ministerio de Energía, Chile. [https://eolico.minenergia.cl/downloads/docs\\_eolico\\_2018.pdf](https://eolico.minenergia.cl/downloads/docs_eolico_2018.pdf)
- [4] Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- [5] Najdanovic-Visak, V. (2017). Team-based learning for first year engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 18, 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2016.09.001>
- [6] Prince, M. J., & Felder, R. M. (2013). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123-138. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
- [7] Savery, J. R. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9-20. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>.
- [8] Sjoer, E., Nørgaard, B., & Goossens, M. (2015). From concept to reality in implementing the Knowledge Triangle. *European Journal of Engineering Education*, 41(3), 353–368. <https://doi.org/10.1080/03043797.2015.1079812>

