

Laboratorio interdisciplinario para estudiantes de primer año de ingeniería, integrando especialidades de Mecánica y Química

Meylí Valin-Fernández¹, Teresita Graciela Marzioletti², Oscar Francisco Farías-Fuentes¹, Braulio Roberto Morales-Burgos², Alejandro Andrés Méndez-Miranda²

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile. mvalin@udec.cl, ofarias@udec.cl

² Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile. tmarzioletti@udec.cl, bramorales@udec.cl, amendez@udec.cl

Resumen

Introducción a la Ingeniería es una asignatura que se imparte el primer semestre para todas las carreras de Ingeniería de la Universidad de Concepción (UdeC), dando una orientación a las especialidades en forma independiente. En versiones anteriores, la asignatura se abordaba desde el enfoque específico de cada especialidad. Con el propósito de incentivar el trabajo en equipos interdisciplinarios para el desarrollo de competencias y de acercar a los estudiantes al rol de ingeniero, nace la propuesta de ejecutar una actividad que integra profesores y estudiantes de las especialidades de Ingeniería Civil Mecánica e Ingeniería Civil Química. El trabajo consiste en la identificación de componentes de un problema complejo relacionado con el “Laboratorio de generación de energía eléctrica a partir de vapor” de la Facultad de Ingeniería, UdeC. Se contó con la participación de 4 docentes y 170 estudiantes distribuidos en 32 equipos de trabajo, con 5 integrantes cada uno, mezclados por especialidad y género, los cuales interactuaron durante cuatro semanas. En el desarrollo, los equipos pudieron conocer las 8 etapas de la planta y profundizar sobre una de ellas, identificar variables operacionales de control, flujos de materia y energía, e identificar variables críticas de los procesos. La evaluación del aprendizaje se realizó mediante rúbricas asociadas a indicadores de competencias en Canvas, así como una coevaluación que permitió medir la respuesta de cada estudiante dentro de su equipo. Como resultados del proyecto se obtuvo mayor facilitación de la comunicación entre estudiantes de dos diferentes disciplinas de la ingeniería, el desarrollo de habilidades transversales y de resolución de problemas.

Palabras clave: educación en ingeniería, competencias, colaboración multidisciplinaria, energía.

Abstract

Introduction to Engineering is a course taught the first semester for all Engineering majors at the University of Concepción (UdeC), providing orientation to the different Engineering disciplines independently. In previous versions, the course focused on each specialty's specific approach. To encourage interdisciplinary teamwork and bring students closer to the engineer's role, an activity was proposed that integrates teachers and students from Mechanical Engineering and Chemical Engineering. The task involved identifying components of a complex problem related to the "Laboratory for the generation of electrical energy from steam" at UdeC's Faculty of Engineering. The project was led by 4 teachers and 170 students were part of the experience. They were divided into 32 mixed-gender work teams with 5 members each, collaborating for four weeks.

Throughout this process, teams learned about the plant's 8 stages and delved into one of them, identifying operational control variables, material and energy flows, as well as critical process variables. Evaluation was conducted using rubrics associated with competency indicators in Canvas platform along with co-evaluation within teams to measure individual responses. As a result of this project, improved communication between students from different engineering disciplines was achieved alongside the development of transversal and problem-solving skills.

Keywords: engineering education, skills, multidisciplinary collaboration, energy.

1. Introducción

La universidad moderna busca formar profesionales capaces de adaptarse al cambiante mundo profesional, transfiriendo sus conocimientos a nuevos escenarios y aportando con su labor al desarrollo social [1-3]. Tradicionalmente la formación se presenta en los planes de estudio de forma fragmentada olvidando que la actividad profesional requiere de competencias que permitan articular conocimientos para la resolución de problemas complejos que necesitan de la intervención de diferentes áreas del conocimiento. La multidisciplinariedad es la colaboración que implica la participación de varias disciplinas en un estudio o investigación, sin que cada una pierda su propia metodología [4]. La aplicación de la multidisciplinariedad es una experiencia que aproxima al estudiante a la realidad del quehacer diario, el cual es complejo y necesita de una visión desde varias aristas. Esto permite el diseño y construcción de una visión integrada, observada desde una misma plataforma teórica y con un mismo análisis metodológico [5]. Diversos grupos de investigación han desarrollado este tipo de colaboración desde el siglo XX, aportando al desarrollo de la ciencia [4], [6]. La integración puede ser de ciencias exactas, con físicas, sociales y filosofía. Logros internacionales que han implicado la cooperación de equipos de científicos y técnicos de diversas áreas se deben a la acción multidisciplinar e integración disciplinaria [4]. Para que la multidisciplinaria funcione se necesita de un adecuado equipo de trabajo. Se espera que éste trabaje en forma organizada y que permita la integración de saberes, que les permitan alcanzar niveles altos de calidad en la gestión de resolución de problemas. Cada persona se responsabiliza por su propio aprendizaje, pero bajo el apoyo de su equipo de trabajo [7], [8]. Entre las ventajas del trabajo en equipos está: trabajar con menos tensión, compartir la responsabilidad, el poder de influencia sobre los demás, la sensación de trabajo bien hecho, aumento de la calidad del trabajo, espíritu colectivista y compromiso, reducción de tiempos de investigación, etc. [8]. Esta interacción conlleva al desarrollo de un comportamiento eficaz donde los individuos se centran en solucionar problemas, desarrollar nuevas ideas en forma colaborativa, escuchar a sus pares, disposición para cambiar de opinión, participación activa en discusiones, sin necesariamente concordar en todo, siendo capaces de llegar a consensos [8]. En el área de la docencia, la colaboración entre asignaturas de dos carreras a partir de una actividad evaluativa se convierte en una herramienta que permite la consolidación del conocimiento y el desarrollo de competencias. El desarrollo de actividades de este tipo se caracteriza por un mayor nivel pedagógico, una mejora de los métodos de

enseñanza, y un mayor logro de los objetivos del proceso de enseñanza-aprendizaje [9], [10].

En este sentido, la junta de Acreditación de Ingeniería y Tecnología (ABET) [11], organismo de acreditación de ingeniería y tecnología de educación superior, ha planteado con énfasis la necesidad de que las escuelas de ingeniería posean un diseño de evaluación por competencias y un sistema que aporte más en el desarrollo de habilidades interpersonales [12]. La acreditación ABET conlleva a una educación en ingeniería desarrollada y asegura que los futuros profesionales estén preparados para enfrentar la práctica profesional [13],[14]. En este sentido, algunos estudios resaltan la importancia de que los ingenieros posean habilidades interpersonales y competencias de gestión, así como de trabajo en equipo y comunicación [10-12].

Desde 2020, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción (Chile) ha introducido cambios curriculares en sus carreras para incorporar las competencias señaladas, principalmente mediante asignaturas integradoras dictadas desde el tercer año. No obstante, la experiencia indica que es deseable que el estudiantado aborde en forma temprana este desafío. En consecuencia, se desarrolla la presente propuesta aplicada a estudiantes de primer año en las carreras de Ingeniería Civil Química e Ingeniería Civil Mecánica, en el marco de la asignatura de Introducción a la Ingeniería, impartida a ambas especialidades en secciones independientes. La experiencia consiste en el desarrollo de un laboratorio común, con el objetivo fomentar la colaboración entre estudiantes de primer año de ambas carreras, promoviendo un enfoque integrado para la resolución de problemas y la comprensión de los desafíos de ingeniería del mundo real.

2. Metodología

2.1. Descripción de la experiencia

La actividad se desarrolla para la asignatura "Introducción a la ingeniería", impartida en todas las carreras de ingeniería de la Universidad de Concepción, pero con contenidos diferenciados según la orientación de cada especialidad. En base a esta asignatura, las carreras de Ingeniería Civil Mecánica e Ingeniería Civil Química se asocian para desarrollar el "Laboratorio de generación de energía eléctrica a partir de vapor" el que promovió el trabajo interdisciplinario entre estudiantes. En esta actividad grupal, de 4 semanas de duración, los estudiantes identifican los procesos de transformación de energía, equipos e instrumentación de plantas de vapor, y comprenden el rol del ingeniero en la concepción, diseño, implementación y operación de sistemas de generación de energía.

El laboratorio incluye una planta de generación de electricidad a partir de vapor, la cual está compuesta por ocho sistemas o etapas: sistema de alimentación de combustible, sistema de alimentación de agua a la caldera, caldera, sobrecalentador, turbina, condensador, reductor y generador eléctrico, y torre de enfriamiento. Los estudiantes de mecánica (76) y química (81) se dividieron aleatoriamente en 32 grupos mixtos de cuatro o cinco estudiantes, y cada grupo estuvo a cargo de un sistema o etapa del proceso, como se presenta en la Tabla 1. Para esto se desarrolló un algoritmo de selección automática en Excel y a partir de esta se llevaron los grupos a la plataforma Canvas. Además, la distribución de estudiantes en los grupos consideró que existiera un número equilibrado de estudiantes por carrera y género.

Tabla 1. Distribución de grupos por etapas del proceso.

Nº	Sistemas del proceso de generación de energía	Grupos
1	Alimentación de combustible (SAC)	1, 9, 17, 25
2	Alimentación de agua caldera (SAA)	2, 10, 18, 26
3	Caldera a vapor (CV)	3, 11, 19, 27
4	Sobrecalentador a vapor (SV)	4, 12, 20, 28
5	Turbina a vapor (TV)	5, 13, 21, 29
6	Condensador (Cs)	6, 14, 22, 30
7	Reductor y generador (RGE)	7, 15, 23, 31
8	Torre de enfriamiento (TE)	8, 16, 24, 32

La actividad se dividió en 3 sesiones:

1. Actividad previa (individual).
2. Sesión 1: visita al laboratorio con la planta de vapor (grupal).
3. Sesión 2: análisis de flujo de material y energía (grupal).
4. Sesión 3: presentación oral de resultados (grupal).

En la actividad previa al laboratorio, los estudiantes investigan de forma individual sobre las plantas de generación termoeléctrica y responde a tres interrogantes planteadas.

En la sesión 1, los estudiantes identifican los sistemas del proceso de generación de energía en la Planta de Vapor y entregan un informe, que incluye las siguientes interrogantes:

1. Esquema del proceso de generación eléctrica a partir de lo observado en la visita al laboratorio y lo presentado en la sesión de introducción.
2. ¿Cómo imagina que funciona el equipo a operar por su grupo? Esquematice.
3. ¿Qué variables operacionales deberá registrar junto a su equipo?
4. ¿De qué manera le ayudará a controlar su etapa del proceso?

En la sesión 2 los grupos estudian los flujos de materia y energía que intervienen en el sistema

asignado, con apoyo de datos reales [15]. Al término de esta etapa se les solicita elaborar un informe que contenga los siguientes aspectos:

1. Esquema del funcionamiento del sistema asignado, comparando y comentando respecto a lo registrado en la etapa precedente.
2. Identificación de las corrientes materiales y energéticas de entrada y salida en su etapa, describiendo su origen y función.
3. Señalar instrumentación y orden de magnitud de variables relevantes en el proceso en estudio.
4. Comparar los resultados de la experiencia con lo que sucede en una planta de generación eléctrica a escala real, señalando ejemplos e identificando los aspectos relevantes que debiesen profundizar en asignaturas de su especialidad.

Para la sesión 3, las presentaciones orales se organizaron en 4 salas paralelas dirigidas por uno de los docentes participantes de la asignatura organizados de la siguiente forma: Sala 1 (Grupos 1-8), Sala 2 (Grupos 9-16), Sala 3 (Grupos 17-24) y Sala 4 (Grupos 25-32). En cada sala se escogió de forma aleatoria el representante de cada equipo de trabajo para realizar la presentación. Una vez terminada la presentación, se hicieron preguntas aleatorias a dos de los integrantes de cada grupo. Cabe destacar que la repartición de los grupos se realizó de forma tal que en cada sala se representaban los sistemas de la planta sin repetirse alguno, así que todas las presentaciones fueran diferentes y siguieran el hilo conductor de la planta.

Al final del semestre, cada grupo seleccionó dos representantes para un *focus group*, donde expresaron sus distintos puntos de vista de la actividad referentes a su desarrollo y de cómo impactó en su formación de ingenieros.

2.2. Evaluación por competencias

La Universidad de Concepción se encuentra en un proceso de acreditación de carreras, donde la carrera de Ingeniería Civil Química ya ha sido acreditada a través de la junta de Acreditación de Ingeniería y Tecnología (ABET), mientras la carrera de Ingeniería Civil Mecánica se encuentra dando los primeros pasos en el proceso de acreditación. Para evaluar la actividad del laboratorio, se establecieron las competencias asociadas en Canvas y, a partir de éstas, se conformaron 3 rúbricas que contemplan los criterios de desempeño (Kpi) planteados por ABET (ver Tabla 2).

Tabla 2. Competencias de Egreso (SOs) y sus Indicadores Clave de Desempeño (Kpi).

Competencia	Indicador de desempeño (Kpi)	
1. Problemas complejos	1.1	Identificar los componentes de un problema complejo y los mecanismos relevantes.

3. Comunicación efectiva	3.1	Comunicar efectivamente a través de habilidades de escritura
	3.2	Comunicar efectivamente a través de las habilidades orales
	3.3	Comunicar efectivamente a través de habilidades gráficas o de dibujo
	3.4	Comunicar efectivamente a una amplia gama de audiencias
4. Responsabilidad social y ética	4.3	Comprender las implicaciones éticas y la responsabilidad social de la práctica de la ingeniería de su especialidad (mecánica, química)
5. Trabajo en equipo	5.1	Demstrar capacidad de trabajo en equipo y liderazgo
	5.2	Funcionar en un equipo caracterizado por un entorno colaborativo e inclusivo
	5.3	Formular y ejecutar un plan de trabajo con objetivos y metas
6. Investigación, experimentación y análisis de datos	6.1	Realizar investigaciones sobre el estado del arte de las disciplinas asociadas con la ingeniería de su especialidad (mecánica, química)
	6.4	Analizar e interpretar resultados
7. Aprendizaje continuo	7.1	Seleccionar información científica y tecnológica
8. Gestión	8.3	Gestionar recursos materiales

Una vez terminada la presentación oral, se aplicó una autoevaluación y coevaluación a través de *CoRubrics* de *Google*, la cual recogió información sobre la interacción de cada estudiante dentro de su grupo. Para evaluar cómo los estudiantes se perciben ellos mismos respecto a como lo ven sus compañeros de grupo, se incluyó un indicador denominado 5.5.

2.3. Procesamiento de datos

Para establecer el logro de competencias se extrajeron desde *Canvas* y *CoRubrics* los $Kpi_{i,j}$, y se procesó la información para obtener el grado de dominio normalizado de la siguiente forma.

$$Kpi_{i,j} = \frac{\text{Puntaje}}{\text{Puntaje dominio}} \quad (1)$$

Donde: *Puntaje* corresponde a la calificación asignada en *Canvas*, *puntaje dominio* corresponde al puntaje mínimo asignado para obtener la competencia *i* según el criterio de desempeño *j*. (ver tabla 2)

Luego se establecen los siguientes niveles de dominio:

Logrado: $Kpi_{i,j} \geq 1$

Parcialmente logrado: $1 > Kpi_{i,j} \geq 0.6$

No logrado: $Kpi_{i,j} < 0.6$

Los datos obtenidos se trataron utilizando el lenguaje de programación *Python* 3.11 mediante la librería *Pandas*. Se logró obtener una tabla con las columnas de Alumno, $Kpi_{i,j}$, Evaluación, Valor, Dominio, Disciplina, Grupo y Sistema. Dentro del tratamiento se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se agruparon las competencias técnicas (1, 6, 7) y las transversales, (3, 4, 5) para establecer la relación entre ellas.
- Se realizó un análisis de correlación de competencias, agrupando los resultados por alumno y calculando la correlación de Pearson entre los diferentes $Kpi_{i,j}$, para luego graficarlos como matriz de correlación.
- Se normalizó el valor de $Kpi_{i,j}$ mediante la obtención de la media y desviación estándar global. La normalización siguió la siguiente expresión (2):

$$\frac{Kpi_{i,j} - \mu(Kpi_{i,j})}{\sigma(Kpi_{i,j})} \quad (2)$$

Donde $Kpi_{i,j}$ es el valor de cada indicador de desempeño, $\mu(Kpi_{i,j})$ es el valor medio entre todos los kpi y $\sigma(Kpi_{i,j})$ es la desviación estándar entre todos los kpi . Este resultado permitió obtener qué tanto se desviaban los Kpi por separado de la media global.

Para procesar la información de la encuesta de coevaluación y autoevaluación, se realizó el análisis con un modelo de lenguaje natural BETO, el cual permitió establecer en una escala de 1 a 5 la positividad de cada comentario. Utilizando los datos de la coevaluación y autoevaluación, se obtuvo la brecha de evaluación por disciplina mediante la siguiente fórmula (3):

$$Kpi_{i,j} (\text{autoev}) - Kpi_{i,j} (\text{coev}) \quad (3)$$

Esto permitió obtener qué tanto se diferencia lo que los alumnos perciben de su propio trabajo comparado con la percepción de los pares.

3. Análisis de resultados

3.1. Desempeño por competencia.

Para evaluar la actividad se utilizaron catorce indicadores de desempeño cuyos valores promedio obtenidos se presentan en la Figura 1 separados por

especialidad. Se observa que no existen diferencias significativas entre el nivel de logros que presentan los estudiantes de ambas disciplinas.

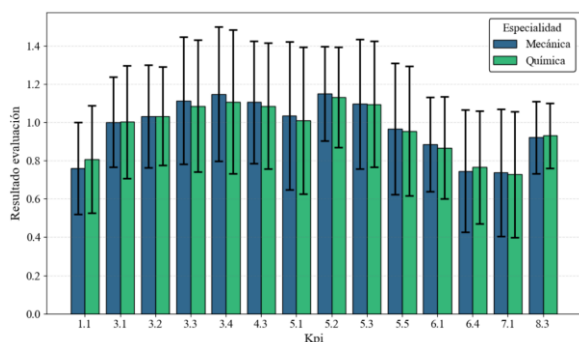


Figura 1. Valor promedio por Kpi y especialidad.

En cuanto al logro de los resultados, se puede observar en la Figura 2 que un 60% del curso logró la mayoría de los Kpi, salvo el Kpi 1.1, el que presentó una mayor dificultad para los estudiantes. Esto se atribuye a la falta de experiencia y metodología de los estudiantes para abordar problemas complejos. Por otra parte, en el *focus group* los estudiantes aluden a dificultades derivadas de: su formación previa en temas de investigación y uso de herramientas computacionales, asociación de problemas a escala de laboratorio con la escala industrial, temor de no utilizar la terminología adecuada, búsqueda y manejo de información técnica, entre otras.

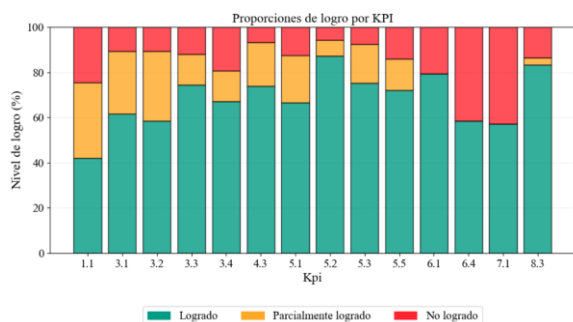


Figura 2. Proporciones de logro por Kpi.

Otra forma de visualizar el alcance o cumplimiento de las competencias se presenta en la Figura 3. Se observa el cumplimiento en mayor proporción de los Kpi asociados a competencias transversales (valor positivo, en verde), mientras que aquellas competencias técnicas que no se logran en la escala definida, se sitúan en la sección negativa (en rojo). Se percibe que el Kpi 7.1 fue el que más dificultad presentó para su dominio con un valor de -1.72, mientras que el de mayor dominio fue el Kpi 8.3 con un dominio de 1.17.

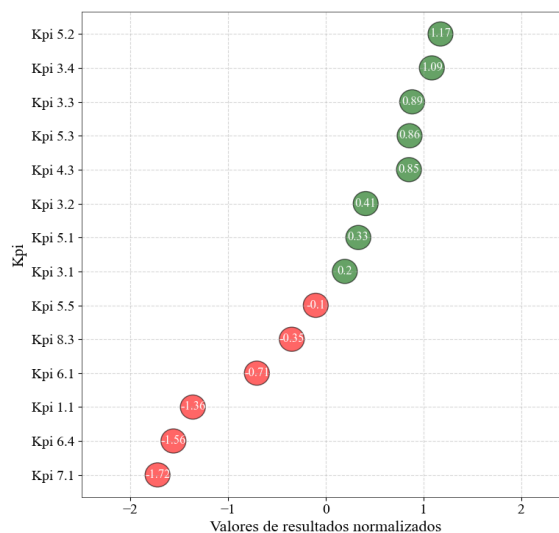


Figura 3. Divergencia de Kpi normalizados según ecuación (2).

3.2. Desempeño de habilidades técnicas.

Dentro de las habilidades técnicas, en la Figura 4 se observa que el promedio del Kpi 6.1 estuvo por debajo del dominio. El valor medio entre todos los sistemas fue de 0.87, lo que representa una brecha de 0.13 respecto al dominio. Esto evidencia una dificultad en la búsqueda de información a partir de fuentes de la literatura para responder a las interrogantes sobre el funcionamiento de equipos del laboratorio. Según las respuestas obtenidas por parte de los estudiantes en el *Focus Group* realizado, extraer información relevante a partir de un documento fue uno de los factores que contribuyó a estos resultados.

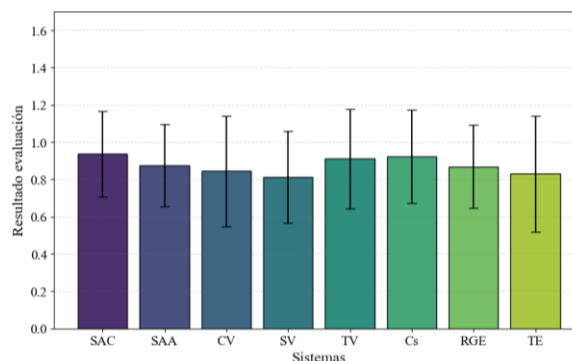


Figura 4. Promedio de los sistemas para Kpi 6.1.

En una mayor medida se encontró que los grupos no alcanzan el dominio para el Kpi 6.4, tal como se presenta en la figura 5. La media de los sistemas fue de 0.75, lo que indica una brecha de 0.25 para alcanzar el dominio. El sistema de menor promedio fue el sistema de alimentación de combustible (SAC) con 0.56 de promedio, seguido por el sistema de alimentación de agua a la caldera (SAA) con un valor de 0.63, los que reflejan brechas de 0.44 y 0.38

respectivamente, respecto al dominio. Estos resultados evidencian la dificultad que tuvieron los estudiantes en la interpretación de los resultados registrados en el laboratorio.

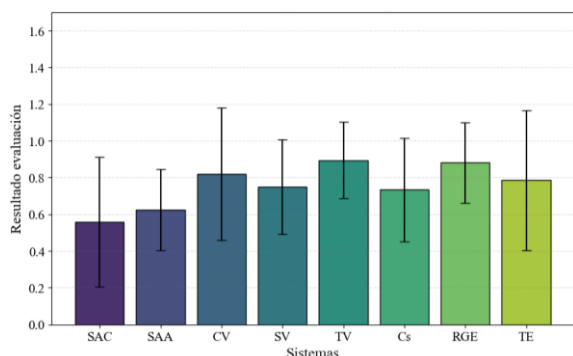


Figura 5. Promedio de los sistemas para Kpi 6.4.

En cuanto al Kpi 7.1, el promedio de los sistemas fue de 0.71 con una brecha de 0.29 respecto al dominio. Solo el promedio del sistema de alimentación de combustible (SAC) alcanzó el dominio, mientras que el sistema que presentó el resultado más bajo fue el sistema de la turbina de vapor (TV) cuya brecha para alcanzar el dominio fue de 0.54, como se observa en la Figura 6. Estos resultados muestran las dificultades que enfrentan los estudiantes al seleccionar información científica y tecnológica, lo cual se encuentra directamente relacionado con el Kpi 6.1 por lo que es un resultado esperado.

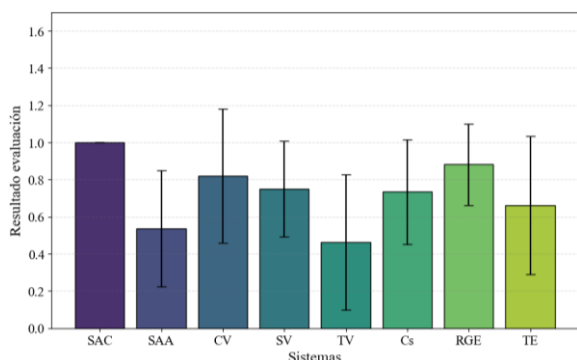


Figura 6. Promedio de los sistemas para Kpi 7.1.

3.3. Desempeño de habilidades de comunicación.

En cuanto a las habilidades comunicativas, se pudo observar que para el Kpi 3.1 los promedios que sólo alcanzan el dominio son los grupos que abordaron el sistema de alimentación de combustible (SAC), el sobrecalentador (SV) y el condensador (Cs). El resto de los estudiantes presentaron dificultad para comunicar de forma escrita, donde la media general obtenida fue de 0.99 y la brecha de 0.01.

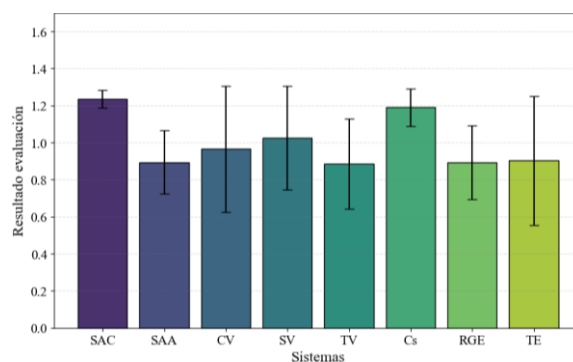


Figura 7. Promedio de los sistemas para Kpi 3.1.

Según lo presentado en la Figura 8, para el Kpi 3.2, el promedio de los grupos alcanzó el dominio, excepto aquellos que le correspondió presentar los sistemas SAC y TV. La media de esta competencia de comunicación oral se encontró en un valor satisfactorio de 1.03. Por otra parte, los docentes tienen la percepción de que la mayor parte de los grupos mostraron conocimiento de los contenidos, buen uso de la representación gráfica, adecuada expresión verbal y adecuado uso del tiempo.

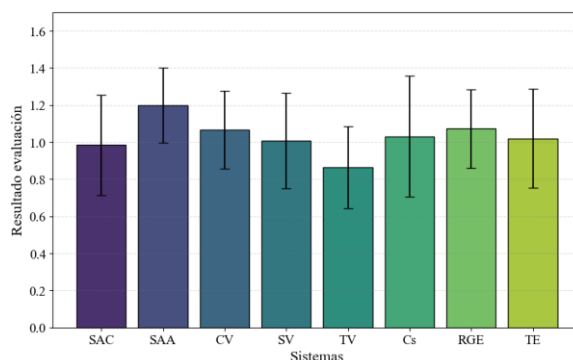


Figura 8. Promedio de los sistemas para Kpi 3.2.

En cuanto al Kpi 3.3, su media estuvo sobre el dominio con un valor de 1.10, como se presenta en la Figura 9. El sistema torre de enfriamiento (TE) fue el único donde el promedio no alcanzó el dominio, cuyo valor fue de 0.95 y la brecha de 0.05. Mediante la revisión de los informes se evidenció un buen uso de gráficos y esquemas en la presentación del funcionamiento de los sistemas, donde existió correlación entre lo visto en la planta y lo reportado. Los estudiantes supieron plasmar de forma concreta los sistemas, lo que da cuenta de una adecuada interpretación y entendimiento del funcionamiento de éstos.

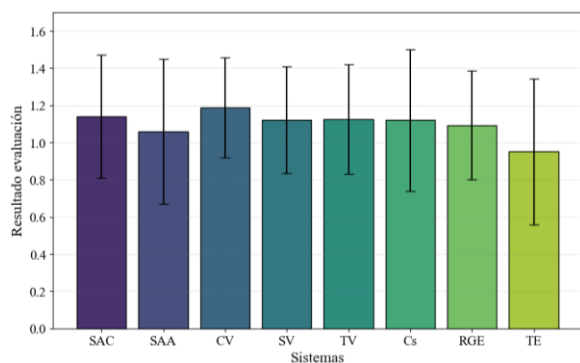


Figura 9. Promedio de los sistemas para Kpi 3.3.

Para el Kpi 3.4, la media fue de 1.12, encontrándose una brecha de 0.12 sobre el dominio. En dos sistemas la media no alcanzó el dominio de la competencia, en el sistema turbina de vapor (TV) con 0.90 y en la torre de enfriamiento (TE) con 0.91, como se muestra en la Figura 10. Este resultado refleja dificultades observadas en la comunicación a la audiencia al no usar recursos verbales, gráficos y esquemas, y una mala gestión del tiempo para algunos grupos de estos dos sistemas.

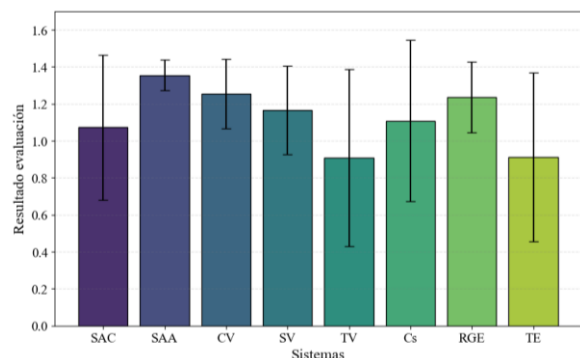


Figura 10. Promedio de los sistemas para Kpi 3.4.

3.4. Desempeño de habilidades de trabajo en equipo.

La actividad desarrollada requiere de un buen trabajo en equipo si se desea alcanzar resultados positivos, aún más cuando los estudiantes son de disciplinas distintas y es la primera vez que se conocen.

El Kpi 4.3, que se refiere a comprender las implicaciones éticas y responsabilidad social de la práctica ingenieril, mostró en promedio dominio del estudiantado para todos los sistemas abordados en el laboratorio. Esto refleja que los integrantes de cada grupo reconocen la importancia de la actividad desarrollada y presentan un sentido de pertinencia para con la carrera.

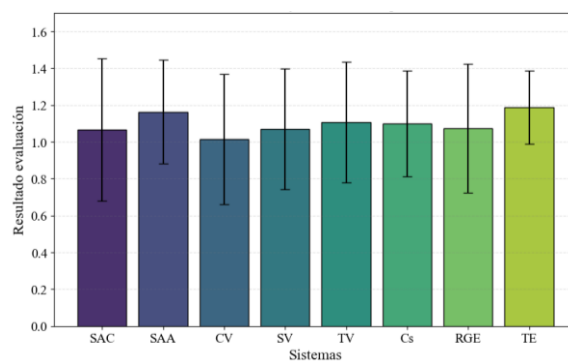


Figura 11. Promedio de los sistemas para Kpi 4.3.

Respecto al Kpi 5.1, el promedio de éste alcanzó el dominio para cinco de los sistemas, siendo la media de 1.02. Dentro de los sistemas que su promedio no alcanzó el dominio, se encuentran la caldera de vapor (CV) con 0.94, sobrecalentador (SV) con 0.97 y el reductor y generador eléctrico (RGE) con 0.98. Esto evidencia que para algunos grupos existió una mayor dificultad en cuanto a unirse como equipo de trabajo. Esto se corroboró con los resultados del *Focus Group*, donde algunos estudiantes expusieron que no existió un trabajo en equipo en sí, sino un trabajo en grupo, donde el trabajo fue repartido en partes y no se llevó a cabo una colaboración combinada. No obstante, dentro de las competencias o habilidades desarrolladas durante la actividad, algunos estudiantes plantearon haber desarrollado habilidades de liderazgo, comunicación, habilidades sociales, etc.

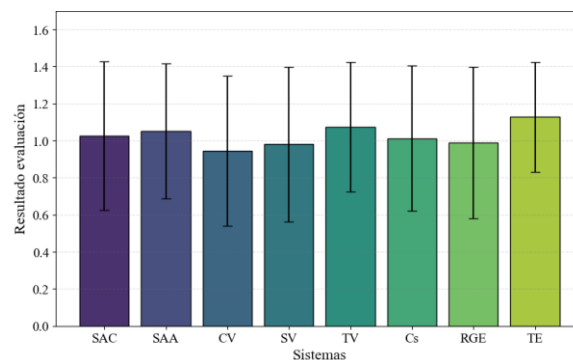


Figura 12. Promedio de los sistemas para Kpi 5.1.

Un comportamiento totalmente favorable tuvo el Kpi 5.2 el que presentó una media de 1.14. Para esta competencia se alcanzó el dominio en todos los sistemas, como se muestra en la Figura 13. Esto refleja la capacidad de los estudiantes de funcionar en equipo venciendo las diferencias por diferentes disciplinas y género.

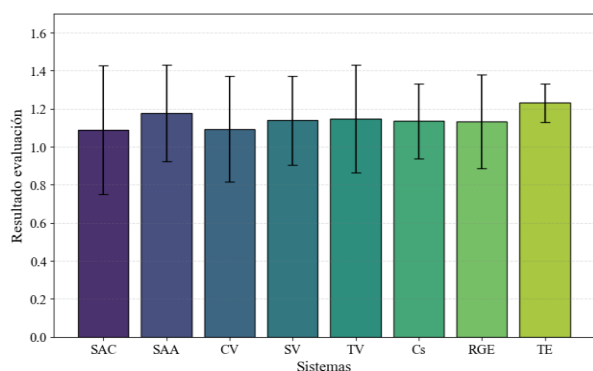


Figura 13. Promedio de los sistemas para Kpi 5.2.

De igual forma, según se observa en la Figura 14, el Kpi 5.3 supera el dominio con una media de 1.10. Se evidencia la capacidad de los grupos para coordinarse y desarrollar las actividades que permitieron el cumplimiento de los objetivos de la actividad y el alcanzar las metas propuestas.

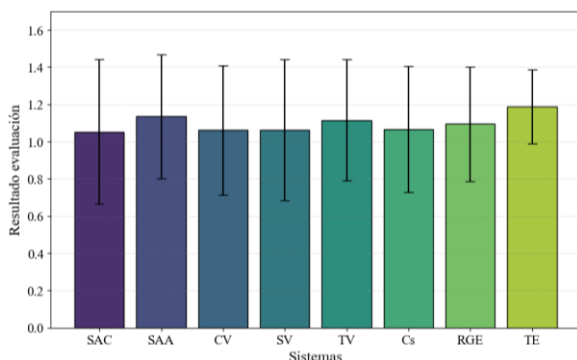


Figura 14. Promedio de los sistemas para Kpi 5.3.

A partir de la autoevaluación y coevaluación, se logró obtener información de cómo cada estudiante se percibe dentro de su grupo, y de cómo sus compañeros lo evalúan. En la figura 15 se pueden observar estos resultados para los diferentes Kpi's, encontrando que en general existe una mayor valoración del individuo al autoevaluarse, respecto a la evaluación que el grupo le atribuye.

En el Kpi 5.5, se observó una mayor ponderación de comentarios positivos del grupo hacia el sujeto que el sujeto con él mismo. Es probable que el sujeto haya hecho comentarios neutros sobre su desempeño. Se consideraron 5 niveles: muy positivo, positivo, neutro, negativo y muy negativo.

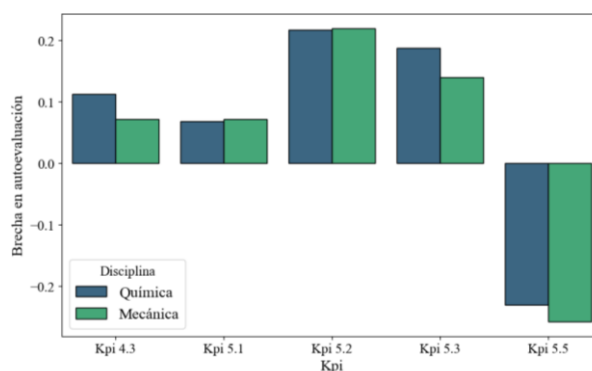


Figura 15. Brecha de evaluación por disciplina según Kpi.

Aprovechando la encuesta de autoevaluación y coevaluación se obtuvo también información para generar el gráfico de la Figura 16. Este presenta cómo los estudiantes se perciben por su especialidad, donde es evidente que los estudiantes de la especialidad de ingeniería civil química presentan una mayor valoración de sí mismos respecto a los estudiantes de ingeniería civil mecánica. Esto puede estar dado por las características del perfil de ingreso a la universidad de cada carrera.

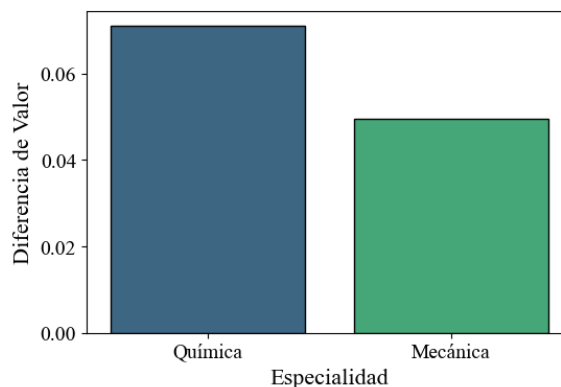


Figura 16. Brecha de evaluación por especialidad.

4. Conclusiones

Se valora la inserción temprana de estudiantes de primer año de las carreras de Ingeniería Civil Mecánica e Ingeniería Civil Química para abordar un problema complejo a escala del laboratorio de generación de energía eléctrica a partir de vapor.

A partir de las diversas actividades evaluativas y encuestas desarrolladas, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

- No existen diferencias significativas entre los logros alcanzados entre estudiantes en cuanto a su carrera, salvo una mayor autovaloración observada en el caso de la especialidad de química.
- Estudiantes de ambas carreras presentaron mayor dificultad en habilidades técnicas, como la identificación de componentes de un

problema complejo, realizar investigaciones sobre el estado del arte de las disciplinas asociadas con la ingeniería y la selección de información científica y tecnológica.

- La integración de ambas carreras funciona bien trabajando en equipo, y se garantiza un entorno colaborativo.
- Estudiantes de ambas carreras se comunican de forma efectiva a una amplia gama de audiencias.

El diagnóstico de las competencias del estudiantado al inicio de la carrera permite planificar acciones de mejora en asignaturas integradoras en cursos superiores. En particular, durante el semestre 2024-2, se realizará un seguimiento de este grupo de estudio en la asignatura “Introducción a la Innovación en Ingeniería”.

4.1. Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección de Docencia de la Universidad de Concepción, Chile, por el Fondo de Apoyo a la Docencia 2023, del Proyecto COLABORA C23-066.

5. Referencias

- [1] B. Zhong, X. Liu, and X. Li, “Effects of reverse engineering pedagogy on students’ learning performance in STEM education: The bridge-design project as an example,” *Heliyon*, vol. 10, no. 2, p. e24278, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24278.
- [2] S. Eroğlu and O. Bektaş, “The effect of 5E-based STEM education on academic achievement, scientific creativity, and views on the nature of science,” *Learn. Individ. Differ.*, vol. 98, p. 102181, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.lindif.2022.102181.
- [3] M. Huegel, “University scientists’ multiple goals achievement: Social capital and its impact on research performance and research commercialization,” *Technovation*, vol. 135, p. 103065, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.technovation.2024.103065.
- [4] F. J. Paoli Bolio, “Multi, inter y transdisciplinariedad,” *Probl. Anu. Filos. Teoría Derecho*, no. 13, pp. 347–357, Dec. 2019, doi: 10.22201/ij.24487937e.2019.13.
- [5] J. c. Swearengen, S. Barnes, S. Coe, C. Reinhardt, and K. Subramanian, “Globalization and the Undergraduate Manufacturing Engineering Curriculum,” *J. Eng. Educ.*, vol. 91, no. 2, pp. 255–261, 2002, doi: 10.1002/j.2168-9830.2002.tb00700.x.
- [6] P. Neumann, C. Kowitz, F. Schraner, and D. Azarnykh, “Interdisciplinary teamwork in HPC education: Challenges, concepts, and outcomes,” *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 105, pp. 83–91, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.jpdc.2016.12.025.
- [7] S. Ruiz-Campo, S. Zuniga-Jara, A. M. Cruz-Chust, S. Ruiz-Campo, S. Zuniga-Jara, and A. M. Cruz-Chust, “Percepción del aprendizaje con técnicas de trabajo en equipo en estudiantes universitarios,” *Form. Univ.*, vol. 15, no. 1, pp. 73–82, Feb. 2022, doi: 10.4067/S0718-50062022000100073.
- [8] L. K. Michaelsen and M. Sweet, “The essential elements of team-based learning,” *New Dir. Teach. Learn.*, vol. 2008, no. 116, pp. 7–27, 2008, doi: 10.1002/tl.330.
- [9] H. S. Crespo Ávila, J. V. Chumaña Suquillo, H. S. Crespo Ávila, and J. V. Chumaña Suquillo, “Propuesta pedagógica de proyectos interdisciplinarios para incrementar el desarrollo cognitivo,” *Mendive Rev. Educ.*, vol. 19, no. 4, pp. 1203–1215, Dec. 2021.
- [10] R. Pascual, E. Blanco, P. Viveros, and F. Kristjanpoller, “Application of Microlearning Activities to Improve Engineering Students’ Self-Awareness,” *International Journal of Engineering Education*, vol. 37, no. 3, pp. 576–584, Dec. 2020.
- [11] “Accreditation,” ABET. Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.abet.org/accreditation/>
- [12] M. Abdulwahed and M. O. Hasna, “The Role of Engineering Design in Technological and 21st Century Competencies Capacity Building: Comparative Case Study in the Middle East, Asia, and Europe,” *Sustainability*, vol. 9, no. 4, Art. no. 4, Apr. 2017, doi: 10.3390/su9040520.
- [13] M. Roeckel von Bennewitz, P. A. Zapata Henríquez, X. García, M. Roeckel von Bennewitz, P. A. Zapata Henríquez, and X. García, “La acreditación ABET en ingeniería: ¿problema u oportunidad?,” *Rev. Estud. Exp. En Educ.*, vol. 20, no. 43, pp. 437–454, Apr. 2021, doi: 10.21703/rexe.20212043roeckel23.
- [14] R. Petrova, A. Tibrewal, and T. M. Sobh, “An Electronic Web-Based Assessment System,” *J. STEM Educ.*, vol. 7, no. 3, pp. 44–57, Dec. 2006.
- [15] M. Somerville *et al.*, “The Olin curriculum: thinking toward the future,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 48, no. 1, pp. 198–205, Feb. 2005, doi: 10.1109/TE.2004.842905.