



Experiencia de asignatura integradora aplicando metodología CDIO a estudiantes de Ingeniería Mecánica

Experience of a integrative subject applying CDIO methodology to Mechanical Engineering students

Alexis Salas, Oscar Farias, Frank Tinapp, Felipe Vasquez, Félix Leaman

Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería
Edmundo Larenas 219 – Concepción, Chile

(Recibido 21 de julio de 2024, para publicación 14 de octubre de 2024)

Resumen – La asignatura de "Integración a través de CDIO", implementada en el sexto semestre de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial en la Universidad de Concepción, busca mitigar la desconexión entre el conocimiento teórico y la práctica. A través de la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), los estudiantes desarrollan proyectos prácticos como camiones y barcos a escala en equipos de 4 a 5 personas. La asignatura evalúa competencias clave del perfil de egreso, como la resolución de problemas, diseño, comunicación efectiva, trabajo en equipo, y experimentación. Los resultados de la implementación de esta asignatura en los años 2022 y 2023 muestran una mejora progresiva en las habilidades de los estudiantes, especialmente cuando se implementan talleres adicionales en diseño y manufactura. No obstante, se observan áreas de mejora en la etapa de diseño y análisis experimental, que se abordarán en las siguientes versiones del curso.

Palabras clave – CDIO, Educación en Ingeniería, Integración de conocimiento, Trabajo en equipo.

Abstract – The subject "Integration through CDIO", implemented in the sixth semester of Mechanical and Aerospace Engineering at the University of Concepción, seeks to mitigate the disconnect between theoretical knowledge and practice. Through the CDIO methodology (Conceive, Design, Implement and Operate), students develop practical projects such as scale trucks and ships in teams of 4 to 5 people. The subject evaluates key competencies of the graduate profile, such as problem solving, design, effective communication, teamwork and experimentation. The results of the implementation of this subject in the years 2022 and 2023 show a progressive improvement in students' skills, especially when additional workshops in design and manufacturing are implemented. However, areas of improvement are observed in the design and experimental analysis stage, which will be addressed in the following versions of the course.

Keywords – CDIO, Engineering Education, Knowledge Integration, Teamwork.

1. INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción (UdeC) inició el año 2016 una reforma curricular en todas sus carreras con el propósito de alinear todos los planes de estudios al Modelo Educativo UdeC, considerando estándares internacionales de educación en Ingeniería [1-4]. En este contexto, surge una arquitectura curricular base y, en ella, asignaturas integradoras establecidas dentro del plan de estudios para evidenciar el nivel de logro de competencias del perfil de egreso y donde sus resultados de aprendizaje están referidos a la integración de saber, saber hacer y saber ser. Las carreras de Ingeniería Civil Mecánica e Ingeniería Civil Aeroespacial iniciaron su nuevo plan de estudios el año 2020, por lo que el año 2022 se enfrentan por primera vez a la asignatura integradora "Integración a través de CDIO". Este desafío va de la mano con la utilización de estrategias de enseñanza/aprendizaje activas que promuevan las capacidades

prácticas y el uso de habilidades de ingeniería [5,6], con el propósito de evidenciar adecuadamente el logro de los resultados de aprendizaje.

Esta asignatura se enfoca en las fases de “Concebir, Diseñar, Implementar y Operar” un proyecto de ingeniería [7,8]. Se requiere que los estudiantes conciban alternativas, realicen sus diseños, fabriquen un prototipo de la propuesta diseñada y la evalúen bajo condiciones de operación establecidas [9,10]. Junto con esto, la asignatura busca exponer al estudiantado a trabajar en equipo y a comunicar de manera oral y escrita sus resultados.

Los resultados de aprendizaje a abordar tributan principal y directamente a la Competencia 1 y 2 del perfil de egreso de la especialidad (Mecánica o Aeroespacial). Esta trata precisamente sobre obtener resultados siguiendo la metodología CDIO.

Competencia 1: Habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería aplicando principios de ingeniería, ciencias y matemáticas

Competencia 2: Habilidad para aplicar el diseño de ingeniería para producir soluciones que satisfagan necesidades específicas considerando la salud pública, la seguridad y el bienestar, así como factores globales, culturales, sociales, ambientales y económicos.

En menor medida, la asignatura también tributa a las Competencias 3, 5, 6 y 7 del perfil de egreso de la especialidad. La asignatura se ejecuta mediante la resolución de un problema de la especialidad aplicando conocimientos de hasta el semestre 5 de ciencias de la ingeniería. Este problema se aborda en grupos de trabajo, los cuales deberán también presentar sus avances y resultados en varias instancias.

Competencia 3: Habilidad para comunicarse de manera efectiva con una variedad de audiencias.

Competencia 5: Habilidad para funcionar eficazmente en un equipo cuyos miembros juntos brindan liderazgo, crean un entorno colaborativo e inclusivo, establecen metas, planifican tareas y cumplen objetivos.

Competencia 6: Habilidad para desarrollar y realizar experimentación adecuada, analizar e interpretar datos y utilizar el juicio de ingeniería para generar conclusiones.

Competencia 7: Habilidad para adquirir y aplicar nuevos conocimientos, según sea requerido, mediante estrategias de aprendizaje adecuadas.

Se presentan los resultados de la aplicación de la asignatura en los años 2022 y 2023 a un grupo de aproximadamente 50 estudiantes por año, evidenciando que estos logran organizarse en equipos de trabajo para desarrollar un prototipo funcional (barcos y camiones a escala), integrando conocimientos previos e incorporando nuevos saberes. Se asocian indicadores de competencias del plan de estudios en las evaluaciones realizadas. Finalmente se realizan propuestas de mejora para abordar en asignaturas previas aspectos deficitarios como lo son el diseño y la planificación.

2. METODOLOGÍA

2.1. Planteamiento del problema a resolver

Se implementa la metodología CDIO generando equipos de trabajo de 4 a 5 estudiantes y se asignan los proyectos en forma aleatoria. La asignatura se divide en 4 módulos desarrollados en 17 semanas y a cargo de 4 profesores. Las evaluaciones incluyen informes de avance, presentaciones, test y auto y coevaluación. Todas las evaluaciones cuentan con una etapa de retroalimentación para guiar de manera efectiva el avance de los equipos. Existen dos tipos de proyectos: camión de carga y barco de carga. Estos poseen restricciones de tiempo de ejecución, costos y funcionalidad. Cada equipo cuenta con un presupuesto máximo de CLP 80.000 (85 USD). Al término del curso de entrega un premio a los equipos ganadores de la competencia final.

Cada equipo trabaja colaborativamente en la búsqueda de soluciones innovadoras para resolver los desafíos propuestos y compite con los demás equipos al término del curso. Los estudiantes siguen la metodología CDIO para desarrollar sus distintas propuestas. Para el logro de los objetivos, se establecen los criterios de desempeño a evaluar por etapa, los cuales se muestran en la Tabla 2 y se realizan las siguientes actividades durante la asignatura:

1. Desarrollo de materiales de apoyo y rúbricas de evaluación.
2. Presentación en clases del método CDIO.

3. Talleres de aplicación de métodos y herramientas de colaboración y creatividad.
4. Selección y definición de problemas para trabajarlo durante la asignatura.
5. Formación de equipos de trabajo de acuerdo con el problema elegido.
6. Etapa 1: Concepción de distintas soluciones para el problema.
7. Etapa 2: Diseño de la solución a partir de la evaluación de las soluciones para definir la solución definitiva a trabajar.
8. Etapa 3: Implementación de la solución, mediante la fabricación y evaluación de un prototipo
9. Etapa 4: Operación del prototipo en condiciones reales a través de una competencia entre grupos para dos tipologías de proyecto.
10. Documentación del trabajo realizado a través de una infografía y presentación de los resultados frente a una comisión.
11. Evaluación de la experiencia la solución propuesta de acuerdo con los resultados de la operación, a través de las conclusiones de docentes y encuesta practicada a los estudiantes.

2.2. Criterios de evaluación

La evaluación de la asignatura considera la siguiente ponderación:

- Talleres grupales: 20%
- Presentaciones orales por etapa: 15% Concebir, 15% Diseñar, 20% Implementar, 20% Operar.
- Auto y Coevaluación (2): 10%

Además, se estableció el requisito de asistencia obligatoria a trabajos en equipo para el proyecto, con mínimo 75%. Si no se cumple este requisito, el estudiante reprueba la asignatura con el concepto NCR (no cumple requisito).

Finalmente, para la evaluación de la etapa de Operación, se consideran criterios de funcionalidad de los prototipos como carga transportada y tiempo empleado en el trayecto, así como el recurso económico utilizado en la construcción del prototipo (ver Fig. 1). En cuanto a este último ítem, cada equipo de trabajo contó con un presupuesto de CLP 80 mil (85 USD).

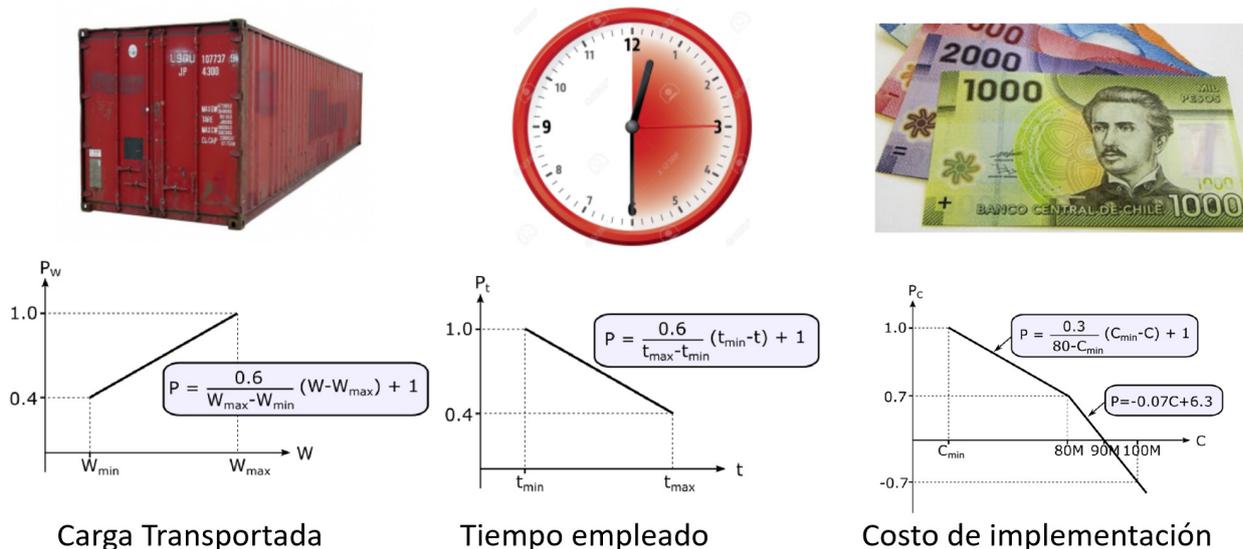


Fig. 1. Criterios de evaluación del desafío en la etapa de operación.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las mediciones para los años 2022 y 2023 se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en la tabla 1. A continuación se detalla por etapa los indicadores medidos.

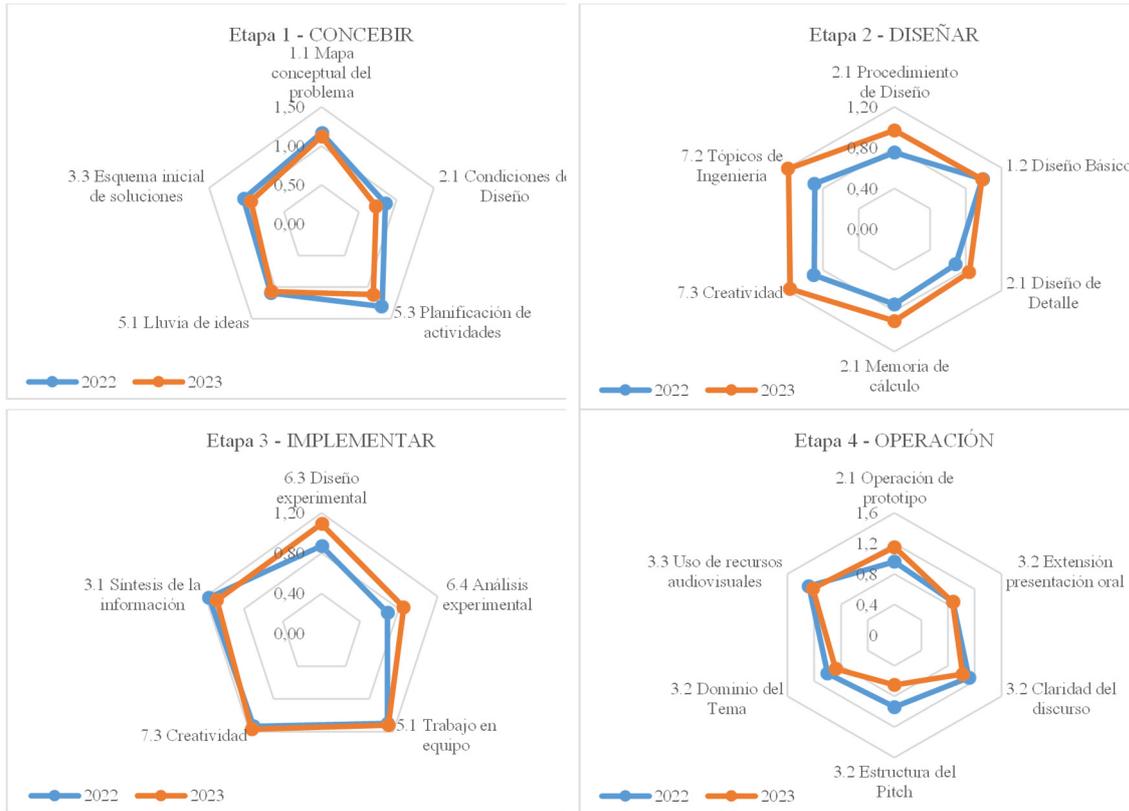


Fig. 2. Resultados por competencia en cada etapa de la metodología CDIO.

Tabla 1. Descripción competencias del perfil de egreso UdeC y Resultados de aprendizaje asignatura CDIO.

Competencias perfil de egreso			Resultados de aprendizaje CDIO			
Nº	Nombre	Descripción	Nº	Nombre	Descripción	Competencia
C1	Resolución de problemas	Habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería aplicando principios de ingeniería, ciencias y matemáticas.	R1	Contexto de innovación	Comprender el proceso de innovación y su relación con el mercado, la tecnología y la implementación.	C1,C4
C2	Diseño de Ingeniería	Habilidad para aplicar el diseño de ingeniería para producir soluciones que satisfagan necesidades específicas considerando la salud pública, la seguridad y el bienestar, así como factores globales, culturales, sociales, ambientales y económicos.	R2	Criterios de diseño	Crear los criterios objetivos que debe poseer la solución a la necesidad planteada (misión)	C1,C3,C4,C5
C3	Comunicación Efectiva	Habilidad para comunicarse de manera efectiva con una variedad de audiencias.	R3	Propuestas de solución	Crear alternativas de solución factibles basados en los conocimientos ya adquiridos o a adquirirse mediante búsqueda del estado del arte tecnológico. (Concebir)	C1,C3,C5,C7
C4	Responsabilidad Social	Habilidad para reconocer responsabilidades éticas y profesionales en situaciones de ingeniería y hacer juicios informados, que deben considerar el impacto de las soluciones de ingeniería en	R4	Evaluación de alternativas	Analizar las alternativas de solución y elegir la más efectiva mediante criterios objetivos (Concebir).	C1,C3,C5

		contextos globales, económicos, ambientales y sociales.				
C5	Trabajo en Equipo	Habilidad para funcionar eficazmente en un equipo cuyos miembros juntos brindan liderazgo, crean un entorno colaborativo e inclusivo, establecen metas, planifican tareas y cumplen objetivos.	R5	Procedimiento de Diseño	Crear un procedimiento fundamentado, documentado y repetible para la construcción de una solución efectiva considerando tiempo y recursos (diseño).	C2,C3,C5,C6
C6	Diseño Experimental y Análisis Crítico	Habilidad para desarrollar y realizar experimentación adecuada, analizar e interpretar datos y utilizar el juicio de ingeniería para generar conclusiones.	R6	Implementación de la solución	Construir un prototipo de la solución diseñada (implementar).	C2,C5,C6,C7
C7	Aprendizaje Continuo	Habilidad para adquirir y aplicar nuevos conocimientos, según sea requerido, mediante estrategias de aprendizaje adecuadas.	R7	Operación del prototipo	Evaluar el funcionamiento de la solución implementada (operar).	C3,C4,C5,C6

3.1. Etapa Concebir

Esta etapa contribuye a las Competencias 1, 2, 3 y 5 del perfil de egreso, se observa que los 5 indicadores de desempeño evaluados logran satisfacer los resultados de aprendizaje esperados. Sin embargo, el indicador relacionado a “Condiciones de Diseño” está por debajo del dominio de aprobación para el año 2022, por este motivo se toman medidas orientadas a mejorar las habilidades en el área de diseño, aumentando la exigencia para el año 2023. Por este motivo, en el balance global se observa una disminución del promedio.

En la Fig. 3 se muestra un grupo de estudiantes trabajando en el desarrollo de ideas para identificar los atributos que debería tener la solución y plasmarla en un mapa conceptual (Fig.4)



Fig. 3. Evidencia alumnos planificando su trabajo.

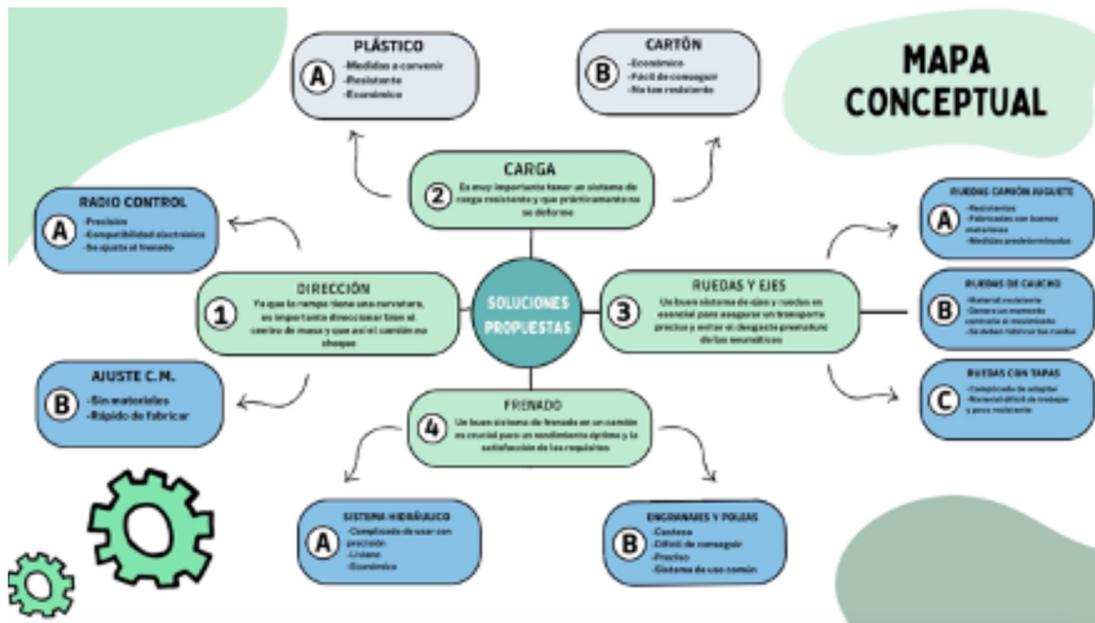


Fig. 4. Evidencia Mapa conceptual realizado en la etapa Concebir.

3.2. Etapa Diseñar

Los resultados de la etapa Concebir demostraron un bajo nivel de desempeño de los alumnos en el criterio “Condiciones de diseño”, lo que se refleja en la etapa Diseñar. De esta forma, para el año 2022, el balance global de los criterios medidos (los cuales tributan a las competencias 1, 2 y 7) está por debajo del dominio establecido, evidenciando que los alumnos tienen problemas para establecer procesos de diseño efectivo, en la Fig. 5 se muestra un ejemplo de cálculos propuestos por alumnos. En esta etapa, se evidencia un cierto grado de desconexión que presentan los estudiantes entre los conocimientos teóricos y la práctica de la Ingeniería Mecánica y Aeroespacial.

5 Predicción de operación

En esta parte se realiza la predicción del tiempo de bajada del camión sin frenos, para luego darnos una distancia de frenado esperada y determinar la que deben aplicar los frenos. Para esto se tomó en cuenta que la masa del camión se concentra uniforme en cada rueda, es decir, para estos cálculos cada rueda tomará una masa de 6 Kg

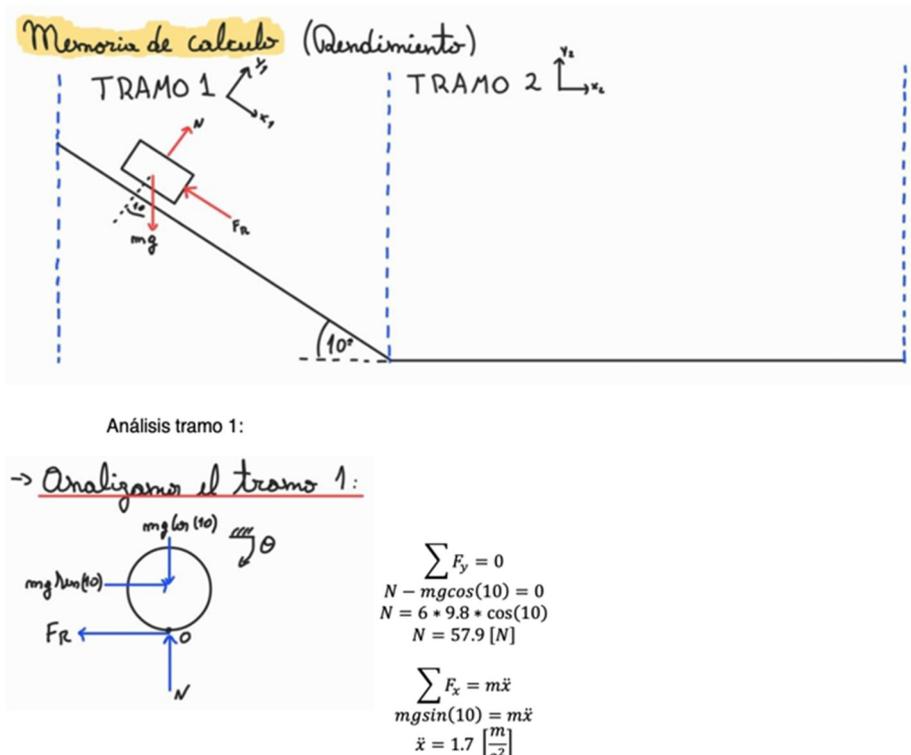


Fig. 6. Evidencia memoria de cálculo para el camión en la etapa de Diseño.

Para abordar esta brecha, en el año 2023, se complementó esta etapa con actividades de talleres de: diseño 3D orientado a CAD, simulación por elementos finitos, introducción a elementos de máquinas, ajustes y tolerancias, y manufactura. Estos talleres contribuyen a una mayor comprensión de los estudiantes sobre el potencial de las herramientas disponibles y su asociación directa con la problemática que requieren resolver. Como resultado, estas acciones permitieron superar el dominio establecido para todos los criterios evaluados, demostrando que es necesario potenciar el área de diseño en el programa de estudio de ambas carreras.

3.3. Etapa Implementar

La etapa de implementación de la solución requiere que los estudiantes desarrollen habilidades prácticas para obtener un prototipo funcional, lo que incluye habilidades para la fabricación, uso de talleres, planificación de campañas experimentales, entre otros, contribuyendo a las competencias 3, 5 y 6. Se evidencia que los alumnos del año 2022 no logran cumplir con los criterios de “Diseño experimental” y “Análisis experimental”. Este resultado tiene un trasfondo similar al observado en la etapa de Diseño.

Como medida de apoyo para la versión 2023, se establecen espacios de trabajo en los diversos laboratorios (termo fluidos, técnicas aeroespaciales) y acceso al taller mecánico. Esta iniciativa busca que los alumnos tengan un acercamiento práctico a la ingeniería mecánica y aeroespacial, y obtengan nuevas perspectivas al interactuar con el personal técnico de cada laboratorio.

En las fotografías de las Fig. 7 y Fig. 8 se presenta el trabajo de construcción, ensamblaje y prueba de concepto en los laboratorios.



Fig. 9. Estudiantes construyendo prototipo de barco.



Fig. 10. Pruebas de concepto en laboratorio (flotabilidad de prototipo).

Cabe destacar, que para el año 2023, se consolidaron grupos de interés (GIANT, GIDAM y FIRT) con un enfoque práctico y directamente orientados al diseño y fabricación, lo que ayudó a que varios estudiantes que participaban de la asignatura y de los grupos destacaran por sobre el resto.

Todas estas medidas mejoraron los criterios de desempeño de “Diseño experimental” sobre el nivel de dominio, mientras que para el criterio “Análisis experimental”, si bien se logró una mejora, no fue posible superar el dominio.

3.4. Etapa Operar

Finalmente, los alumnos se disponen a competir con sus prototipos afinados y terminados. Esta etapa contribuye a las competencias 2 y 3. La evaluación se dividió en dos partes, la primera relacionada con la

competencia y que se mide con el criterio “Operación del prototipo”. La cohorte 2022 queda por debajo del dominio, sin embargo, logran cumplir con los requisitos establecidos para la competencia final. Para el año 2023, con las medidas previamente mencionadas se logra superar el dominio para el criterio, evidenciando que los alumnos poseen las capacidades necesarias para dar solución a problemáticas de Ingeniería (ver. Fig. 11).



Fig. 12. Pruebas de operación de prototipo de barco en Foro UdeC.

La segunda parte de la evaluación corresponde a una presentación tipo pitch, aquí la cohorte 2022 logra superar el dominio para los criterios establecidos, mientras que para el año 2023 los resultados son inferiores debido al aumento en la exigencia del curso, igual como ocurrió en la etapa Concebir.

3.5. Auto y coevaluación

Dentro de las actividades de trabajo en equipo, los estudiantes realizaron la caracterización de su Team, identificando fortalezas y debilidades de cada integrante, de modo de poder potenciarse, asignando roles en las diferentes actividades en función de sus habilidades y estableciendo normas para el trabajo colaborativo. En base a lo anterior, se establecieron dos instancias de auto y coevaluación, utilizando la herramienta Corrubrics de Google, considerando las dimensiones de: interdependencia positiva, respeto, calidad de la interacción y compromiso académico.

En la Fig. 13 se presenta el resultado promedio de las dos instancias de auto y coevaluación en una escala de 1 a 7. Se aprecia que los estudiantes tienden a una mayor valoración que la otorgada por sus pares.

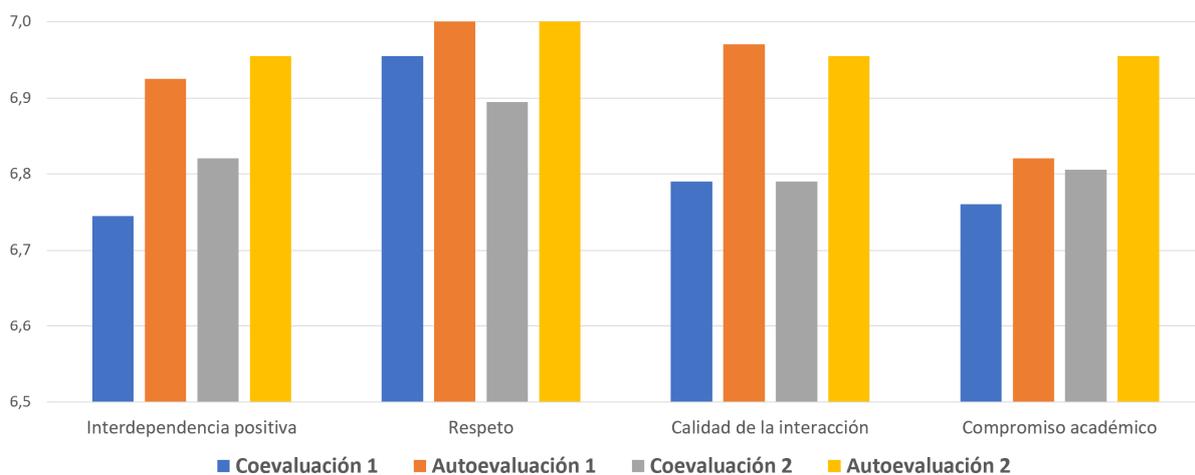


Fig. 14. Auto y coevaluación 2022.

En la Tabla 2 se observan contrastes entre las evaluaciones y los comentarios que entregan algunos de los estudiantes a sus pares. En particular, se aprecia una falta de honestidad en las autoevaluaciones de los estudiantes D y E, evaluándose con la máxima calificación, mientras sus pares señalan que su aporte fue deficiente. Por otra parte, pese a los comentarios negativos que se aprecian en la coevaluación, ninguno de los pares califica con nota deficiente (<4,0) a sus compañeros de trabajo.

Tabla 3. Análisis de casos de auto y coevaluaciones.

Estudiante	Co- evaluación 1	Auto- evaluación 1	Comentario	Co- evaluación 2	Auto- evaluación 2	Comentario
A	5,2	-	s/c	4,2	5,4	Participante menos productivo del grupo, seguimos esperando los cálculos pertinentes del motor.
B	7	-	s/c	4,3	-	No contribuyó en ninguna sesión de la parte de implementar, nunca llegaba a las sesiones de trabajo y no mostró compromiso
C	6,8	7,0	Buena disposición y motivación	6,7	-	Evidencia compromiso pero así mismo falta de conocimientos en las áreas trabajadas;
D	6,2	7,0	Motivación deficiente, pocas ideas y un trabajo superficial	5,3	7,0	Evidencia mucha falta de conocimiento y compromiso con el equipo ya que descansaba mucho en sus pares y sus aportes muchas veces no eran lo que se espera en un compañero en un proyecto semestral, así mismo, se nota la falta de motivación y carácter para afrontar un proyecto de tal magnitud.;
E	5,3	6,3	s/c	4,0	7,0	Participante que cumple con las tareas designadas, sin embargo, no otorga ideas, ya sean contundentes o superficiales.

En base a lo anterior, para la versión del año 2023, se modificó la dinámica de auto y coevaluación, incorporando retroalimentación del equipo y profesores. Para ello, se incorporó una rúbrica en Canvas que incluyó la valoración de aportes de los estudiantes en las siguientes dimensiones: actitud, conocimientos, habilidades, uso del tiempo (ver Fig. 15). En general, los estudiantes alcanzan el nivel de logro esperado y las principales dificultades se observan en la dimensión asociada a la autorregulación de tiempo.

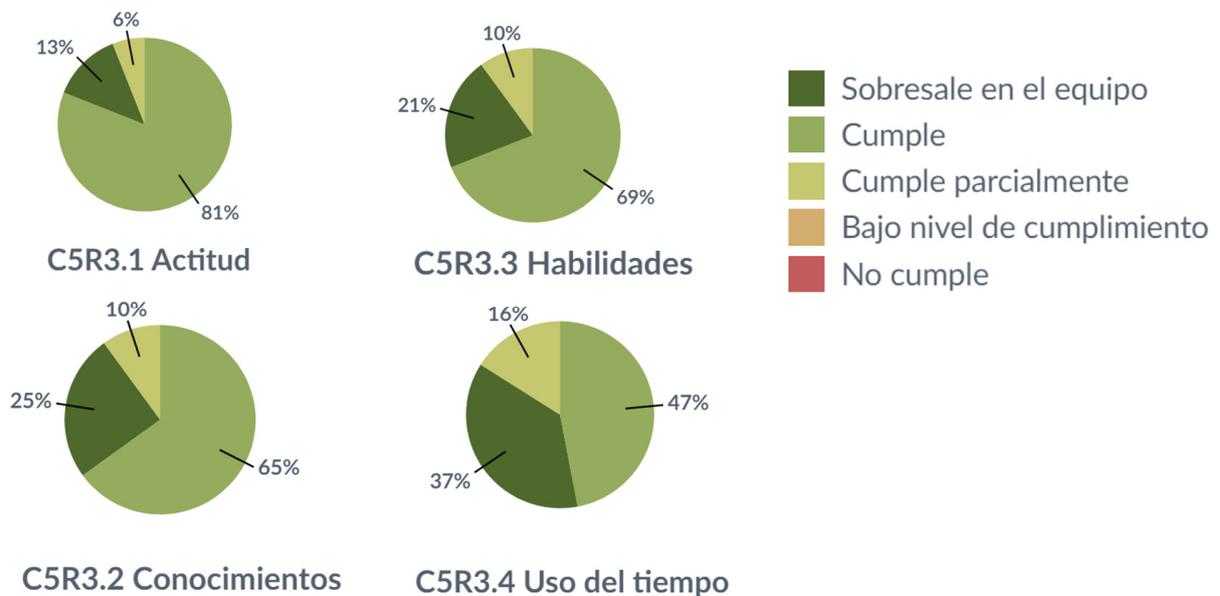


Fig. 16. Resultados proceso de auto y coevaluación 2023.

4. ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA

4.1. Factores Favorables

La mayoría de los estudiantes (un 60 % aproximadamente) mostraron un alto nivel de motivación durante el desarrollo de la asignatura, dado que era la primera vez que se enfrentaban a este tipo de desafíos (ver Fig. 17 inferior). Normalmente, estaban habituados a asignaturas de carácter teórico, en las que asumían un rol pasivo como espectadores de la información transmitida por el docente. En cambio, en esta asignatura integradora práctica los roles se invirtieron, permitiendo que los estudiantes asumieran un papel protagónico en su propio proceso de aprendizaje. Esto provocó gran entusiasmo en los estudiantes por querer hacer cosas, probar nuevas metodologías, indagar sobre tecnologías y herramientas que hasta el momento sólo conocían en la teoría. Este entusiasmo constituyó un gran motor para desarrollar la asignatura de una manera mucho más fluida, manteniendo el interés del estudiantado.

4.2. Factores Desfavorables

A través de una encuesta, los estudiantes manifestaron que la falta de conocimiento práctico añade un factor de dificultad adicional al curso. En la versión 2022, las etapas con mayor dificultad corresponden a Diseño e Implementación, alcanzando cerca de un 80% (ver Fig. 18 superior). Si bien en la versión 2023 se logró mejorar el desempeño de los alumnos, los mismos manifiestan la necesidad de implementar talleres introductorios de mayor duración, siendo los más solicitados talleres de diseño, electrónica, Arduino y manufactura 3D.

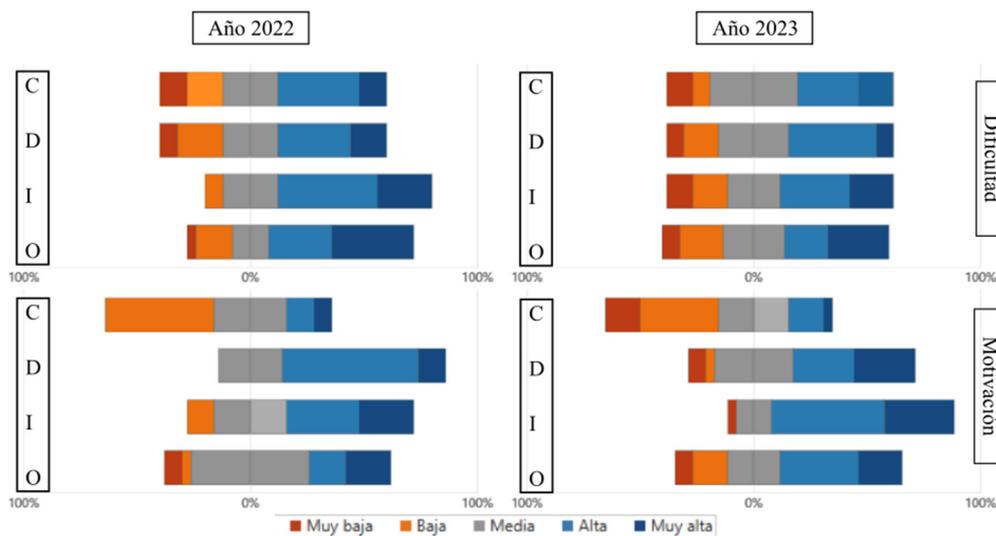


Fig. 11. Resultados encuesta de percepción asignatura CDIO.

4.3. Aspectos de mejora

La implementación de esta iniciativa de asignatura integradora y el plan de mejora continua se dio a través de un proyecto de docencias impulsado por la UdeC en su convocatoria “Colabora”.

El proyecto de docencia permitió la adquisición de equipamiento tecnológico estandarizado para el uso por parte de los estudiantes. Esto garantizó que los equipos de trabajo dispusieran de las mismas herramientas para el desarrollo de los proyectos, eliminando la disparidad que podría generarse al emplear equipamientos diferentes. Este enfoque no solo favoreció la igualdad de condiciones entre los equipos, sino que también facilitó la labor de los docentes al poder establecer criterios comunes para guiar y apoyar el desarrollo de los proyectos de cada grupo. La uniformidad en las herramientas tecnológicas utilizadas mejoró,

además, la interacción y discusión entre los estudiantes, ya que contaban con una base tecnológica similar para la ejecución de sus proyectos, lo que repercutió positivamente en sus calificaciones y su participación en las clases.

Adicionalmente, dado que en la asignatura participaban cuatro profesores, el proyecto promovió la creación de herramientas comunes para la incorporación de contenidos y actividades en el aula. En colaboración con el Centro de Formación y Recursos Didácticos (CFRD), se diseñaron formatos estandarizados para asegurar que los contenidos impartidos siguieran una línea coherente y no dependieran exclusivamente de cada docente. Esta estandarización favoreció la estructura y la uniformidad de los contenidos de la asignatura, facilitando de esta manera el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Tabla 4. Criterios de desempeño medidos en cada etapa CDIO.

Criterios de desempeño evaluados	Competencia	RA	Indicador 2022	Indicador 2023
Etapa 1: CONCEBIR				
1.1 Mapa conceptual del problema	C1	R2	1,17	1,12
2.1 Condiciones de Diseño	C2	R3	0,85	0,73
5.3 Planificación de actividades	C5	R5	1,31	1,12
5.1 Lluvia de ideas	C5	R3	1,09	1,07
3.3 Esquema inicial de soluciones	C3	R4	1,04	0,94
Promedio			1,09	1,00
Etapa 2: DISEÑAR				
2.1 Procedimiento de Diseño	C2	R2	0,75	0,97
1.2 Diseño Básico	C1	R5	0,98	0,98
2.1 Diseño de Detalle	C2	R5	0,69	0,84
2.1 Memoria de cálculo	C2	R4	0,74	0,90
7.3 Creatividad	C7	R1	0,90	1,17
7.2 Tópicos de Ingeniería	C7	R1	0,89	1,19
Promedio			0,83	1,01
Etapa 3: IMPLEMENTAR				
6.3 Diseño experimental	C6	R5	0,87	1,09
6.4 Análisis experimental	C6	R6	0,68	0,85
5.1 Trabajo en equipo	C5	R6	1,10	1,12
7.3 Creatividad	C7	R1	1,13	1,17
3.1 Síntesis de la información	C3	R6	1,16	1,08
Promedio			0,99	1,06
Etapa 4: OPERAR				
2.1 Operación de prototipo	C2	R7	0,96	1,15
3.2 Extensión presentación oral	C3	R7	0,87	0,87
3.2 Claridad del discurso	C3	R7	1,11	1,02
3.2 Estructura del Pitch	C3	R7	0,94	0,65
3.2 Dominio del Tema	C3	R7	1,00	0,88
3.3 Uso de recursos audiovisuales	C3	R7	1,28	1,22
Promedio			1,03	0,97

4.4. Ámbitos de la interdisciplina, innovación, responsabilidad social y/o responsabilidad ambiental

El proyecto se orientó a abordar diversos ámbitos del plan estratégico de la Universidad de Concepción (UdeC) mediante una serie de acciones concretas. En primer lugar, para promover la interdisciplina, la asignatura involucró a estudiantes con habilidades y conocimientos diversos, fomentando el trabajo colaborativo para resolver el problema planteado por los docentes. Este proceso se complementó con la consulta a especialistas de otras disciplinas, enriqueciendo la experiencia formativa a través de diferentes perspectivas.

En cuanto a la innovación, se incorporaron nuevas tecnologías en la enseñanza, tales como electrónica digital, sensores y microcontroladores, junto con la implementación de métodos de trabajo que mejoran la eficiencia y eficacia, como presentaciones pitch, desarrollo de infografías y pruebas piloto de los prototipos. Estos recursos y enfoques permitieron a los estudiantes desarrollar competencias en el uso de tecnologías avanzadas y en la comunicación efectiva de sus propuestas.

Para abordar la responsabilidad social y ambiental, se puso especial énfasis en los impactos sociales y ambientales de los prototipos desarrollados por los estudiantes. Se promovió el diseño, la construcción y la operación de los proyectos bajo prácticas sostenibles, asegurando el cumplimiento de las normativas y regulaciones ambientales pertinentes. De esta manera, el proyecto no solo fortaleció competencias técnicas e interdisciplinarias, sino que también integró principios de responsabilidad social y ambiental en el proceso educativo.

5. CONCLUSIONES

La implementación de la metodología CDIO en la asignatura integradora del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Concepción ha generado resultados significativos en el desarrollo de competencias clave en el estudiantado. Esta metodología, permitió que los estudiantes enfrentaran desafíos reales en un entorno colaborativo, potenciando su capacidad para resolver problemas complejos, trabajar en equipo y aplicar conocimientos teóricos en la práctica.

Los resultados evidencian una mejora en las competencias asociadas a la resolución de problemas y el diseño, particularmente en el año 2023, cuando se complementaron las actividades con talleres específicos que fortalecieron habilidades en áreas de diseño 3D y la manufactura. Sin embargo, se identificaron áreas de oportunidad en las etapas de diseño e implementación, las cuales serán abordadas en la versión 2024 desarrollando talleres más extensos en diseño y electrónica.

En términos generales, la metodología CDIO ha logrado no solo mejorar la capacidad técnica de los estudiantes, sino también fomentar la innovación, la responsabilidad social y ambiental, y la interdisciplinariedad, lo que contribuye a una formación más completa y alineada con los desafíos actuales de la ingeniería. Las mejoras observadas en el rendimiento de los estudiantes y en la estructura del curso sugieren que este enfoque es efectivo para preparar a los futuros ingenieros con las competencias necesarias para enfrentar problemas complejos en un mundo globalizado.

A pesar de los avances logrados, aún existen oportunidades para seguir mejorando la experiencia educativa, especialmente en la conexión entre teoría y práctica. Las mejoras continuas, basadas en la retroalimentación de estudiantes y docentes, asegurarán que la asignatura siga evolucionando y proporcionando una formación sólida y relevante para enfrentar los retos futuros de la ingeniería. Este enfoque garantiza que los egresados estarán mejor preparados para resolver problemas de manera ética, sostenible y eficaz, contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras en un mundo cada vez más interconectado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Departamento de Ingeniería Mecánica (DIM) y a la Dirección de Docencia por el apoyo en la implementación del curso CDIO a través del proyecto COLABORA N°2022083.

REFERENCIAS

- [1] Jianfeng, B., Hu, L., Li, Y., Tian, Z., Xie, L., Wang, L., ... Xie, H., "The progress of CDIO engineering education reform in several China universities: A review". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 93, 381-385 (2013)
- [2] Al-Bahi, A.M., Soliman, A.Y., "A Six-Sigma approach to improve the acquisition of engineering competencies". In 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) 1555-1562 (2018, April)
- [3] Al-Obaidi, A.S.M., "CDIO initiative: A guarantee for successful accreditation of engineering programmes". *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 81-92 (2021)
- [4] Lauritsen, A.B. 2A real CDIO mechanical engineering project in 4th semester". In Proceedings of the 7th International CDIO Conference, Technical University of Denmark, Copenhagen. (2011, June)
- [5] Chen, W.P., Lin, Y.X., Ren, Z.Y., Shen, D., "Exploration and practical research on teaching reforms of engineering practice center based on 3I-CDIO-OBE talent-training mode". *Computer applications in engineering education*, 29(1), 114-129 (2021)
- [6] Le, T.Q., Hoang, D.T.N., Do, T.T.A., "Learning outcomes for training program by CDIO approach applied to mechanical industry 4.0". *J. Mech. Eng. Res. Dev*, 42(1), 50-55 (2019)
- [7] Lenin, N., Siva Kumar, M., Selvakumar, G., "Application of Conceive, Design, Implement and Operate (CDIO) Strategy for the Development of Engineering Education in Indian Perspective". *Journal of Education*, 203(1), 41-48 (2023)
- [8] Namasivayam, S., Hosseini Fouladi, M., Al-Obaidi, A.S.M., Luke Laimon, A., Syafiq, M., Eftekhari, S., "Execution of the CDIO framework at postgraduate level in mechanical engineering". *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 49(2), 101-121 (2021)
- [9] Al Jahwari, F., Qamar, S. Z., Pervez, T., Al Maskari, N., "Using CDIO Principles for Teaching of Mechanical Design Courses". In 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 1683-1688). IEEE. (2022, March)
- [10] Mushtak Al-Atabi, A.S., Al-Obaidi, M.A.H.D.I., "CDIO curriculum for mechanical engineering undergraduate course". *Journal of engineering science and technology*, 6(2), 251-259 (2011)
- [11] Chankong, T., Thida, M., Isradisaikul, C., Potikanond, D., Chamroon, C., Buachart, C., ... Maneetien, N., "Customized CMU-CDIO Syllabus for Engineering Students at Chiang Mai University: Design and Piloting". In 2023 8th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed) (pp. 1-4. IEEE (2023, September)
- [12] Abdulla, M., Troop, M., Majeed, A., "Framework for an integrated learning block with CDIO-led engineering education." *arXiv preprint arXiv:2006.03150* (2020)