

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA CAPSTONE MULTIDISCIPLINARIO, FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS, UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA.

Valeska Aceituno Morales, Universidad de La Frontera, valeska.aceituno@ufrontera.cl
Mauricio Granzotto Echeverría, Universidad de La Frontera, mauricio.granzotto@ufrontera.cl
Robinson Betancourt Astete, Universidad de La Frontera, robinson.betancourt@ufrontera.cl
Alejandro Navarro Cifuentes, Universidad de La Frontera, alejandro.navarro@ufrontera.cl
Galo Paiva Cravero, Universidad de La Frontera, galo.paiva@ufrontera.cl
Magaly Sandoval Diaz, Universidad de La Frontera, magaly.sandoval@ufrontera.cl
Patricia Muñoz Bustos, Universidad de La Frontera, patricia.munoz.b@ufrontera.cl
María Isabel Valdivieso Aguilera, Universidad de La Frontera, maria.valdivieso@ufrontera.cl

RESUMEN

Durante el primer semestre de 2022, la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad de La Frontera, inició la implementación de la innovación curricular en las 12 carreras de Ingeniería Civil de dicha facultad. La que contempla la incorporación de manera progresiva de 10 asignaturas, que concluye con la asignatura Capstone Multidisciplinario, conformando la Línea Integradora de Formación en Ingeniería y Ciencias.

Este trabajo expone la metodología implementada en la asignatura, además de las estrategias de evaluación utilizadas en esta versión piloto. La que busca que las y los estudiantes desarrollen una propuesta de solución a problemas reales.

Se presentan los resultados obtenidos a partir de las experiencias y el conocimiento adquirido por las y los estudiantes, que permitan establecer mejoras para las próximas versiones de la asignatura.

Es posible evidenciar la integración y aplicación de los conceptos adquiridos durante su plan de estudios en un proyecto integrador y de carácter multidisciplinario.

PALABRAS CLAVES: Capstone Multidisciplinario, pilotaje curricular, vinculación Universidad - Empresa.

INTRODUCCIÓN

El Capstone Multidisciplinario es una asignatura perteneciente a la Línea Integradora de Formación en Ingeniería y Ciencias, que busca en su conjunto y de manera progresiva, desarrollar las competencias de Diseño, Innovación y Responsabilidad Social, implementada desde el primer hasta el último semestre de los planes de estudio, contribuyendo a la formación integral de los y las estudiantes de las carreras de Ingenierías Civiles de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. Por ende los estudiantes cursan esta línea de asignaturas llegando al capstone multidisciplinario donde aplican los conocimientos y habilidades que se han desarrollado a lo largo de la misma, además aplican métodos y técnicas ingenieriles que han ido adquiriendo en su proceso de formación.

Es una asignatura ubicada en el tercer ciclo formativo, específicamente en el décimo semestre de formación, es un ciclo de consolidación en la formación de identificar, formular y resolver problemas, que busca que las y los estudiantes adquieran y apliquen conocimientos de innovación, diseño de ingeniería, para desarrollar la habilidad de crear

propuestas de soluciones con valor agregado para un problema real, en forma multidisciplinaria, sistémica y profesionalmente ética.

El propósito de la asignatura es que las y los estudiantes integren, apliquen y desplieguen las competencias adquiridas durante todo su plan de estudios de Ingenierías Civiles en un proyecto integrador y multidisciplinario. Un curso de “Capstone” permite que el o la estudiante se enfrente o haga uso de lo aprendido. Además, “por parte de la industria se ha encontrado que aquellos estudiantes que intervienen en este tipo de proyectos verdaderamente mejoran su desempeño profesional y se posicionan laboralmente más rápido e inclusive con mejores salarios que aquellos que no realizaron un proyecto Capstone” (Gruenther et al., 2009), “por cuanto le permite al estudiante y futuro profesional continuar su proceso de aprendizaje mientras resuelve un problema” (Quinot & van Tonder, 2014).

El presente escrito se plantea como un estudio de caso que busca describir el desarrollo de una versión piloto de la asignatura, que permita obtener resultados reales y que sirvan de sustento para aplicar mejoras en las versiones futuras que se impartirán en nuestra casa de estudios.

En su primera versión como piloto durante el primer semestre 2022, el Capstone Multidisciplinario contó con 22 estudiantes inscritos, provenientes de las diversas especialidades de Ingenierías Civiles, los cuales conformaron 5 equipos multidisciplinarios, acompañados de 7 docentes de distintas áreas disciplinares.

DESARROLLO

La asignatura se ejecuta en un plazo de 16 semanas, en el cual se identifican 5 fases durante el semestre. Es importante considerar que previo al comienzo de semestre existe el trabajo que realiza el equipo docente para identificar, contactar y comprometer problemas reales que permitan la ejecución de las actividades que correspondan a cada uno de los equipos.

Las y los estudiantes, bajo la guía de un o una docente supervisor de la Facultad, enfrentan desafíos del mundo real a medida que trabajan en las numerosas fases del diseño de ingeniería, realizándose en un entorno de trabajo en equipo y de documentación minuciosa y sistematización del proceso.

A las y los estudiantes se les proporciona un documento guía donde deben presentar sus avances y la entrega final del proyecto. Estos documentos permiten facilitar el proceso de autonomía que asumen las y los estudiantes, ya que en ellos se detallan de forma cronológica las actividades genéricas que deben ir resolviendo. Para el primer avance, se les solicita un informe que contempla desde la definición de un título para su proyecto, identificación del equipo, una contextualización de la situación, la descripción del problema, la propuesta de solución y los objetivos planteados. Para la segunda presentación de avance deben completar el mismo informe sumando nuevos antecedentes, tales como un programa de trabajo que especifique funciones a realizar, las fechas de ejecución y responsables de cada actividad y además deben dar cuenta de las funciones ya ejecutadas a la fecha. Para la entrega final del proyecto, se les solicita completar un documento que contempla lo mencionado en los dos avances anteriores además deben dar cuenta del método utilizado, los resultados obtenidos, las conclusiones referentes a su proyecto, entregables y las referencias bibliográficas que dan sustento al trabajo ingenieril realizado.

De forma genérica para todo el curso se aplica un cronograma de trabajo semestral que permita asegurar la ejecución de las actividades, además permite validar por parte de los docentes las acciones ya realizadas por los estudiantes y guiar las futuras dentro de sus cronogramas internos. En este cronograma del curso, como se mencionó anteriormente se identifican 5 fases:

1.- Inicial: Esta fase principalmente es para presentar y explicar a las y los estudiantes el programa de asignatura, dado que la modalidad de desarrollo de la asignatura es nueva, se explica en detalle, se mencionan los métodos de evaluación, se hace hincapié en la responsabilidad y profesionalismo que asumen dado que trabajarán en problemas reales. Además en esta fase se conforman los equipos, se definen los temas de trabajo que previamente han sido seleccionados por el equipo docente, además el o la estudiante firma un compromiso de plena participación. La conformación de los equipos es guiada por el equipo docente y tiene relación con fomentar y potenciar el trabajo multidisciplinario, que refleje un contexto laboral real, además la conformación de equipos debe estar alineada con las necesidades a resolver.

2.- Definir: Los estudiantes comienzan con un proceso de reconocimiento y organización multidisciplinario, lo que permite planificar, organizar y definir acciones a desarrollar durante el semestre. Entre las funciones se destacan: definición del problema, objetivo general, método de trabajo y conclusiones, se distribuyen los roles según la especialidad de cada estudiante.

3.- Investigación: Esta fase principalmente corresponde a la recopilación de información del caso que corresponde, a través de información bibliográfica, acompañamiento docente, toma y análisis de datos reales. En esta fase se desplaza el o la docente junto al equipo, a la industria para la primera conversación con la Gerencia de producción para acotar el enfoque del problema a resolver.

4.- Proceso de ideación alternativas de solución: En función de la toma de datos, análisis y revisión bibliográfica las o los estudiantes comienzan el planteamiento de sus soluciones. Se inician las salidas a terreno por parte del o de la docente y el equipo para realizar evaluaciones *in situ* y validar directamente la captura de datos para el análisis de las propuestas que se generan.

5.- Validación: Corresponde a validación de alternativas de solución por parte del equipo docente, proceso en el que se analiza paso a paso en instancias de presentación de avances por parte de cada equipo.

Para cada una de las fases los estudiantes utilizan diversas herramientas que les permiten alcanzar sus objetivos propuestos, entre ellas destacan la utilización de técnicas para identificación y definición del problema mediante la técnica 5W, carta Gantt, diagrama de Ishikawa, plantillas Excel y procesos de ideación.

Para esta fase piloto se experimentó dos modalidades de trabajo, (I) vínculo y solución de problemas reales. (II) desarrollo autónomo frente a un tema de innovación que permita aportar soluciones sociales, que sean de interés por parte del equipo de estudiantes.

Para esta primera versión de la asignatura se trabajó con un total de 22 estudiantes, en 5 proyectos, los cuales se detallan en la Tabla N°1.

Tabla N°1: Proyectos ejecutados en la asignatura Capstone multidisciplinario, fase piloto, primer semestre, 2022.

Proyecto	Modalidad	Especialidades	N° estudiantes
Microgeneración	II	Ingeniería Civil Eléctrica	2
		Ingeniería Civil Física	1
		Ingeniería Civil Industrial	1
Sistemas de Refrigeración mediante Chiller Cambios Tecnológicos en Industrias	I	Ingeniería Civil Electrónico	2
		Ingeniería Civil Mecánica	2
		Ingeniería Civil Eléctrica	1
		Ingeniería Civil Industrial	1
Auditoría Energética en Producción de Energía Térmica para Procesos	I	Ingeniería Civil Mecánico	1
		Ingeniería Civil Eléctrica	2
		Ingeniería Civil Industrial	1
Generación de electricidad sistema fotovoltaico	I	Ingeniería Civil Eléctrica	2
		Ingeniería Civil Matemática	1
		Ingeniería Civil Ambiental	1
Diseño de equipo para reutilización de aguas grises.	II	Ingeniería Civil Biotecnología	1
		Ingeniería Civil Mecánica	1
		Ingeniería Civil Eléctrica	1

A continuación, se exponen antecedentes de cada uno de los proyectos ejecutados en esta primera versión de la asignatura.

PROYECTO I: Microgeneración.

Objetivo General: Evaluar la implementación de un sistema de microgeneración en un establecimiento educacional, utilizando el equipo modelo Dachs Gen1.1.

Objetivos Específicos:

1. Realizar el balance energético del equipo de microgeneración modelo Dachs Gen1.1.
2. Estudiar la factibilidad técnica de un sistema de microgeneración en un establecimiento educacional.
3. Realizar una evaluación económica del equipo Dachs Gen1.1

PROYECTO II: Sistemas de Refrigeración mediante Chiller Cambios Tecnológicos en Industrias.

Objetivo General: Evaluar planta de enfriamiento con sistema Chiller, para determinar la eficiencia del sistema y sus costos asociados en el funcionamiento.

Objetivos Específicos:

1. Explicar el funcionamiento de los equipos de enfriamiento mediante agua (Chiller), a través de catálogos, libros, manuales y planos.
2. Determinar la eficiencia del equipo de enfriamiento para justificar el recambio tecnológico.
3. Determinar los costos asociados a la generación de frío.
4. Exponer la importancia de utilizar tecnologías sustentables que cumplan con la normativa medioambiental y sanitaria.

PROYECTO III: Auditoría Energética en Producción de Energía Térmica para Procesos.

Objetivo General: Realizar una auditoría energética a la caldera de la empresa solicitante, con el fin de obtener su eficiencia, reducir los costos de generación de vapor y cumplir la normativa vigente.

Objetivos Específicos:

1. Determinar la eficiencia de la caldera en la generación de vapor para el proceso seleccionado.
2. Verificar el cumplimiento del Decreto Supremo N°10 y especial atención de la norma para la calidad de agua en la caldera y las emisiones generadas.
3. Establecer propuestas para aumentar la eficiencia del proceso, disminuir el costo de la producción de vapor.
4. Analizar los costos en la generación de vapor y el tiempo de retorno de la inversión necesaria para llevar a cabo el plan de acción recomendado.

PROYECTO IV: Generación de electricidad sistema fotovoltaico.

Objetivo General: Analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la instalación de un sistema fotovoltaico en un establecimiento educacional en Temuco.

Objetivos Específicos:

1. Definir la localización objetivo y sistema más adecuado al recinto evaluando la disponibilidad de su recurso solar
2. Identificar los impactos ambientales a corto y largo plazo.
3. Calcular costos, rentabilidad, cobertura de suministro, cantidad de energía a vender y el tiempo para retorno de inversión
4. Definir un protocolo para la seguridad y operación de paneles solares, en cuanto a prevención de riesgos y mantención.

PROYECTO V: Diseño de equipo para reutilización de aguas grises.

Objetivo General: Diseñar un sistema que permita la reutilización de aguas grises domiciliarias, generando la disminución del consumo de agua.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar aguas grises domiciliarias que permita definir parámetros de tratamiento.
2. Definir propuesta de valor para el cliente del sistema de reutilización de aguas domiciliarias.
3. Diseñar el sistema de tratamiento de aguas grises domiciliarias de la lavadora.

Sistema de evaluación de la asignatura

Respecto al sistema de evaluación utilizado en la asignatura, se basó en entregas de dos avances y una entrega final. Para cada una de las situaciones se solicitó al equipo, entrega de un informe, un documento de presentación, además de exposición frente al equipo de docentes. Para las evaluaciones de avance se consideran criterios como contexto de la situación donde se realizará el trabajo, problema o necesidad a resolver, planteamiento de objetivos, propuesta de solución, descripción del equipo, y respuestas entregadas en la ronda de consultas realizadas por docentes. La asignatura se evalúa en un aspecto teórico y práctico, con porcentajes de ponderación de 40% y 60% respectivamente. Lo anterior se resume en la Tabla 2.

Tabla N°2: Distribución de porcentajes de evaluaciones de la asignatura Capstone multidisciplinario, fase piloto, primer semestre, 2022.

Teórica (40 % de la nota final de la asignatura)		Práctica (60 % de la nota final de la asignatura)	
% de ponderación	Tipo de evaluación	% de ponderación	Tipo de evaluación
30	Presentación de avance I	40	Presentación final del proyecto de integración
30	Presentación de avance II	50	Informe final del proyecto de integración
40	Informe de avance II	10	Autoevaluación y Coevaluación de pares

Las rúbricas de evaluación utilizadas son similares para las instancias de avance y presentación final, difiriendo en el nivel de precisión que se le solicita a cada equipo. En la Tabla N° 3 se puede ver una de las rúbricas utilizadas para las instancias de avance.

Tabla N° 3: Rúbrica de evaluación de instancias de avance de la asignatura Capstone multidisciplinario, fase piloto, primer semestre, 2022.

Contenido	Descripción	1	2	3	4	5	6	7
Problema o necesidad a resolver	El equipo describe claramente el problema o la necesidad identificada.							
Objetivo General	El equipo define de manera coherente el objetivo general en relación con el problema o necesidad.							
Objetivos Específicos	El equipo define de manera coherente los objetivos específicos en relación con el objetivo general.							
Propuesta de solución	El equipo describe una propuesta de solución(es) viable(s) y atingente(s) al problema planteado.							

Programa de Trabajo	El equipo presenta un cronograma de trabajo, detallando las tareas que se desprenden de cada objetivo específico. Cada tarea tiene un responsable, fecha de inicio y término.								
Estructura	El equipo desarrolla cada uno de los puntos solicitado y de manera adecuada presentando primero su tema, problemática, objetivos, propuesta de su solución y concluye el trabajo presentando el programa de trabajo.								
Exposición	Los estudiantes no leen en su exposición, salvo cifras o datos complejos. Utiliza lenguaje formal. Presentación efectiva.								
Resolución de consultas	El equipo responde adecuadamente las preguntas realizadas por el cuerpo docente.								

Para la evaluación final se consideran los siguientes criterios, cumplimiento de los objetivos propuestos, descripción de la solución, método utilizado, descripción de actividades realizadas, cronograma de trabajo, resultados obtenidos, formulación de conclusiones, expresión escrita y presentación general, antecedentes bibliográficos, entrega de informes finales y respuestas en la ronda de consultas realizadas por docentes.

RESULTADOS

Finalizada la ejecución de la primera versión piloto de la asignatura, se obtienen resultados referente a lo metodológico, evaluativo, gestión logística y aspectos generales de los estudiantes.

Respecto a los resultados generales de los estudiantes:

- Se observa que las y los estudiantes requieren consolidar los conceptos teóricos básicos antes de realizar trabajo en terreno y de los procesos productivos en planta.
- Las y los estudiantes requieren consolidar conocimientos en normas de seguridad.
- Las y los estudiantes requieren fortalecer la competencia de comunicación escrita, que permita la elaboración de informes ejecutivos.
- Aprobación de los 22 estudiantes inscritos.
- Se logró el cumplimiento de todos los objetivos propuestos por cada equipo, se observó alto porcentaje de asistencia y participación a las actividades convocadas durante el semestre.

En aspectos metodológicos, se pudo evidenciar que las y los estudiantes asumieron un rol protagónico en el desarrollo de la asignatura, por lo tanto la participación de las y los docentes se limitó a un proceso de retroalimentación en las sesiones de avance. Propiciando una relación e interacción más cercana con las y los estudiantes.

En cuanto al proceso de evaluación, este se ejecutó mediante el uso de rúbricas que contemplaron los criterios mencionados en el capítulo anterior. Estos instrumentos facilitaron la función evaluadora del docente y entregaban orientaciones a las y los estudiantes para seguir avanzando en el desarrollo de los proyectos. En total fueron cuatro las rúbricas utilizadas, dos rúbricas para las dos instancias de presentaciones de avances

(diferenciadas entre sí) y dos rúbricas para la evaluación final. Para las dos instancias de avances las evaluaciones se aplican únicamente a la actividad de presentación, y en la situación de entrega final se aplicó una rúbrica de evaluación para la presentación y otra para el documento de informe final.

CONCLUSIONES

Respecto a lo metodológico, y considerando que la asignatura se impartirá oficialmente a la totalidad de estudiantes, que en el año 2026, que estén cursando el décimo semestre de formación en esta casa de estudios, lo que significa un número de 400 estudiantes aproximadamente por semestre, se debe realizar modificaciones en cuanto a la configuración docente, en este sentido se sugiere modularizar la asignatura y asignar un docente responsable por cada módulo, la distribución docente por módulo pudiese estar orientada a la afinidad profesional del docente con el rubro empresarial o problemática a resolver, esto sin modificar las instancias de evaluación de avance y final, las cuales se realizaron frente a los equipos docentes y permitieron abordar o validar las propuestas desde miradas multidisciplinarias.

Otro aspecto que se debe considerar para las futuras ejecuciones es que las y los docentes deben realizar trabajos en terreno con las y los estudiantes, al menos en las primeras instancias, dado que las y los estudiantes requieren reconocer la metodología de inspección, selección y toma de datos relevantes para sus objetivos, además de supervisar aspectos básicos de seguridad personal en terreno.

En cuanto a lo evaluativo, el diseño de las rúbricas y las plantillas de informes facilitaron el control y seguimiento de la asignatura, pero de igual manera se sugieren modificaciones, específicamente para la primera evaluación de avance en la que se debiera solicitar a los equipos una propuesta de programa de trabajo y no dejar este punto para el segundo avance, ya que la validación de esta por parte de los equipos docentes debe ser lo antes posible durante el semestre, de lo contrario se puede incurrir en la dedicación de tiempo por parte de las y los estudiantes en actividades que no corresponden o no aportan a la obtención de sus objetivos propuestos.

Si bien la instancia de pilotaje buscaba diseñar y testear metodológica y evaluativamente la asignatura, igualmente permitió reconocer aspectos comunes en las y los estudiantes que son necesarios considerar y adecuar los procesos formativos para solventar ciertas carencias principalmente actitudinales. Los aspectos fueron mencionados en el capítulo anterior y a modo de sugerencia para etapas futuras se plantea la dedicación de horas de la asignatura al comienzo del semestre para resolver estos aspectos o que se realicen en asignaturas previas al décimo semestre, considerando además que el Capstone Multidisciplinario es parte de la Línea Integradora y sus asignaturas previas deben articular sus programas, considerando la preparación de las y los estudiantes para sus instancias finales de formación de pregrado. Igualmente a modo de sugerencia una forma alternativa pudiese ser por medio de material asincrónico en formato cursos MOOC, que formen parte de las actividades extracurriculares que las y los estudiantes están obligados a cumplir en el marco de desarrollo de su carrera.

Además se apreció que es necesario que en el proceso de formación de pregrado estas y estos estudiantes deben experimentar instancias de simulación o laboratorio que les

permita reconocer y aplicar secuencias lógicas de desarrollo de problemas de carácter ingenieril.

En cuanto a los aspectos logísticos se deben considerar horas hombre para efectos de coordinación de la asignatura, por lo mencionado anteriormente, la masividad de la asignatura en régimen oficial y el alto requerimiento que esto demanda en aspectos de trabajo activo de equipos de estudiantes en terreno. Y lo más relevante es que esto se transforma en una oportunidad de aprender de forma autónoma y en equipo y aclarar y contrastar la teoría - práctica.

REFERENCIAS

Gruenther, K., Bailey, R., Wilson, J., Plucker, C., & Hashmi, H. (2009). The influence of prior industry experience and multidisciplinary teamwork on student design learning in a capstone design course. *Design Studies*, 30(6), 721-736. doi: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.06.001>

Quinot, G., & van Tonder, S. P. (2014). The potential of capstone learning experiences in addressing perceived shortcomings in LLB training in South Africa. *PER: Potchefstroomse Elektroniese Regsblad*, 17(4), 1350-1390. doi: <https://doi.org/10.4314/pej.v17i4.05>