



# ING1004 – Desafíos de la Ingeniería: Desarrollo y evolución de un curso *cornerstone* de diseño en ingeniería.

## ING1004 – Challenges in Engineering: Development and evolution of a cornerstone course on engineering design.

Javiera Valenzuela<sup>1</sup>, alumna de 4to año.

Belén Hirmas<sup>1</sup>, alumna de 4to año.

Constanza Miranda<sup>2</sup>, profesor asistente adjunto.

Catalina Cortázar<sup>3</sup>, profesor asistente adjunto.

<sup>1</sup>Major en Ingeniería, Diseño e Innovación, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

<sup>2</sup>Área Diseño en Ingeniería (DiLab), Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

\*Autor para correspondencia: ccortazar@uc.cl.

Javiera Valenzuela<sup>1</sup>, 4th year student.

Belén Hirmas<sup>1</sup>, 4th year student.

Constanza Miranda<sup>2</sup>, assistant associate professor.

Catalina Cortázar<sup>3</sup>, assistant associate professor.

<sup>1</sup>Major in Engineering, Design and Innovation, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile.

<sup>2</sup>Design in Engineering Area (DiLab), Department of Mechanical and Metallurgical Engineering, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile.

<sup>3</sup>Department of Mechanical and Metallurgical Engineering, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile.

\*Correspondence author: ccortazar@uc.cl.

## RESUMEN

“ING1004 – Desafíos de la ingeniería” es un curso mínimo creado e impartido por la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile pensado para alumnos de primer año de la carrera. Este enseña un proceso de diseño en ingeniería para la búsqueda y resolución de problemas provenientes del mundo real. Los alumnos deben aplicar conceptos de diseño, pensamiento creativo y trabajo en equipo para identificar una oportunidad respecto a una temática de impacto predefinida y desarrollar un producto innovador que la aborde. Este artículo presenta la evolución del curso ING1004 durante sus casi 15 años de existencia, la cual se divide en tres grandes etapas marcadas por cambios de coordinación, métodos de evaluación y metodologías de enseñanza, entre otros. De esta manera, este caso de estudio entrega una base para quienes estén interesados en instruir un curso *cornerstone* masivo de diseño en ingeniería usando metodologías de **PROBLEM BASED LEARNING** y **PROJECT BASED LEARNING**.

*Palabras clave:* Educación, diseño, ingeniería, cornerstone.

## ABSTRACT

“ING1004 – Challenges in Engineering” is a required course for first-year engineering students created and taught by the School of Engineering at the Pontificia Universidad Católica de Chile. This course teaches students an engineering design process for investigating and solving real-world problems. Students apply concepts of design, creative thinking, and teamwork to identify opportunities and develop innovative products related to a predefined subject of interest. This article presents the evolution of ING1004 over its 15 years of existence, a time that can be divided into three general stages according to modifications in coordination, evaluation methods, and teaching methods, among others. This case study provides a foundation for others interested in implementing a general cornerstone course on engineering design that applies **PROBLEM BASED LEARNING** and **PROJECT BASED LEARNING**.

*Key words:* Education, design, engineering, cornerstone.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2002 la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) creó el curso “ING1004 – Desafíos de la Ingeniería”. Este sería el curso *cornerstone*<sup>1</sup> de la carrera que ofrecería a los alumnos experiencias relacionadas con la ejecución práctica de la ingeniería a través de un proceso de diseño. La creación de este curso respondió a la necesidad que identifica la Escuela de perfeccionar un curso ya existente, el cual buscaba introducir de manera temprana a los estudiantes a este tipo de experiencias, entregándoles la capacidad de identificar y resolver problemas de diseño en ingeniería. El demostrar esta habilidad en los estudiantes es parte de los requisitos que ha impuesto la *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET) [2], una organización gubernamental sin fines de lucro que acredita programas de ingeniería. ABET reúne sus requerimientos de acreditación desde la industria, grupos profesionales y establecimientos educacionales. Cabe destacar que la Escuela de Ingeniería de la PUC ha acreditado su malla de pregrado bajo la modalidad ABET desde el año 2010.

## 1. INTRODUCTION

In 2002, the School of Engineering at the Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) created the course “ING1004 – Challenges in Engineering.” This cornerstone<sup>1</sup> course for engineering majors provides students with experiences related to the practical execution of engineering through a design process. The creation of this course responded to the need, as identified by the School, of improving an already existing course that sought to give students early exposure to practical experiences, thereby fostering the ability to identify and resolve engineering design problems. Demonstrating that students have this capacity is part of the requirements established by the Accreditation Board for Engineering and Technology [2], a governmental non-profit organization that accredits engineering programs. The respective accreditation standards are drawn from the industry, professional societies, and educational establishments. It is worth noting that the PUC School of Engineering has accredited its undergraduate curriculum through the Accreditation Board for Engineering and Technology since 2010.

<sup>1</sup>Un curso cornerstone es un curso de diseño que se imparte durante el primer año de la carrera [8].

<sup>1</sup>A cornerstone is a design course imparted to first-year students within the major [8].

**Table 1.** Relevant quantitative course data.

Stage 01						Stage 02						Stage 03							
Year	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16				
Sem.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
Coor.	Juan Carlos De la Llera			Mario Durán			Claudio Fernández						Catalina Cortázar						
# Students	415	400	508	484	432	539							298	728	261	754	241	783	
# Sections	4	4	4	5	4	5	5	5	5	2	5	2	7	3	7	3	8	3	9
# Instr.	6	5	4	5	4	4	5	6	5	5	2	5	3	5	3	8	3	9	

\* 1 = First Semester; 2 = Second Semester; Sem., semester; Coor., coordinator; Instr., instructor.

ING1004 es un curso masivo de carácter mínimo dirigido a los alumnos de primer año de la carrera de ingeniería y su plan básico de pregrado. Es de carácter semestral y corresponde a 10 créditos en la malla curricular, es decir, equivalente a 10 horas de trabajo fuera de clases por semana. Se mueve en torno al trabajo en equipo, ya que los estudiantes son organizados en grupos de entre 8 y 10 personas. A su vez, estos equipos son colocados en secciones de aproximadamente 100 alumnos por clase (**Tabla 1**). El curso cuenta con un profesor coordinador que es designado por la Escuela, encargado de orquestar tanto a las secciones como a profesores y ayudantes. Los instructores del curso que conforman el equipo docente son de diversos departamentos de ingeniería (Mecánica, Eléctrica, Química, etc.), por lo que es de carácter transversal a la Escuela. Cada semestre, se entrega una temática o desafío ambiguo a los estudiantes, es decir, que tiene más de una solución correcta. Cada equipo debe realizar una investigación aplicada en torno a este desafío y trabajar con un proceso de diseño para definir y construir un prototipo que resuelva una oportunidad definida por ellos. Al final del curso los resultados son llevados a una feria tecnológica. Esta es abierta a todo público y es donde diversos jurados eligen aproximadamente los 10 mejores equipos, que luego se presentarán en un congreso tecnológico cerrado a la Escuela. En él, se premia a los 3 mejores proyectos de cada semestre y a una mención honrosa.

Este artículo presenta la evolución del curso ING1004 durante sus casi 15 años de existencia. El objetivo es caracterizar este curso masivo de diseño en ingeniería y entregar una base para quienes estén interesados en incorporar a su currículum un curso de características similares.

## 2. METODOLOGÍA

Este caso de estudio utiliza información cualitativa para describir la evolución del curso en relación a los objetivos de aprendizaje, metodologías de enseñanza empleadas, enfoque y resultados esperados en el desarrollo de prototipos. Con esto se busca responder las siguientes preguntas: ¿En qué consiste el curso?

ING1004 is a required course within the core curriculum for first-year engineering students. This semester-long course is worth ten credits, translating into an equivalent of ten hours of weekly work outside of the class. Each course section is comprised of approximately 100 students that are organized into groups of 8 to 10, thus emphasizing the teamwork-oriented focus of the course (**Table 1**). The coordinating professor, as chosen by the School, is in charge of organizing each class section and respective instructors and teaching assistants. In turn, course instructors include faculty members from various engineering departments (e.g. mechanical, electrical, chemical, etc.), which highlights the transversal nature of this course within the School. Every semester students are presented with an ambiguous theme or challenge, i.e. a problem that has more than one correct solution. Each team must conduct applied research related to the challenge and construct a prototype that resolves a defined opportunity. At the end of the course, the results are presented at a technology fair. This fair is open to the public and serves as an instance for a diverse panel of judges to select, approximately, the top ten teams. The selected projects are then presented at a private technology congress hosted by the School. At this congress, the top three projects, plus an honorable mention, are recognized each semester.

The current article presents the evolution of ING1004 over its nearly 15 years of existence. The objectives were to characterize this general course on engineering design and to provide a foundation for similar courses within the curricula of other departments, schools, and/or institutions.

## 2. METHODOLOGY

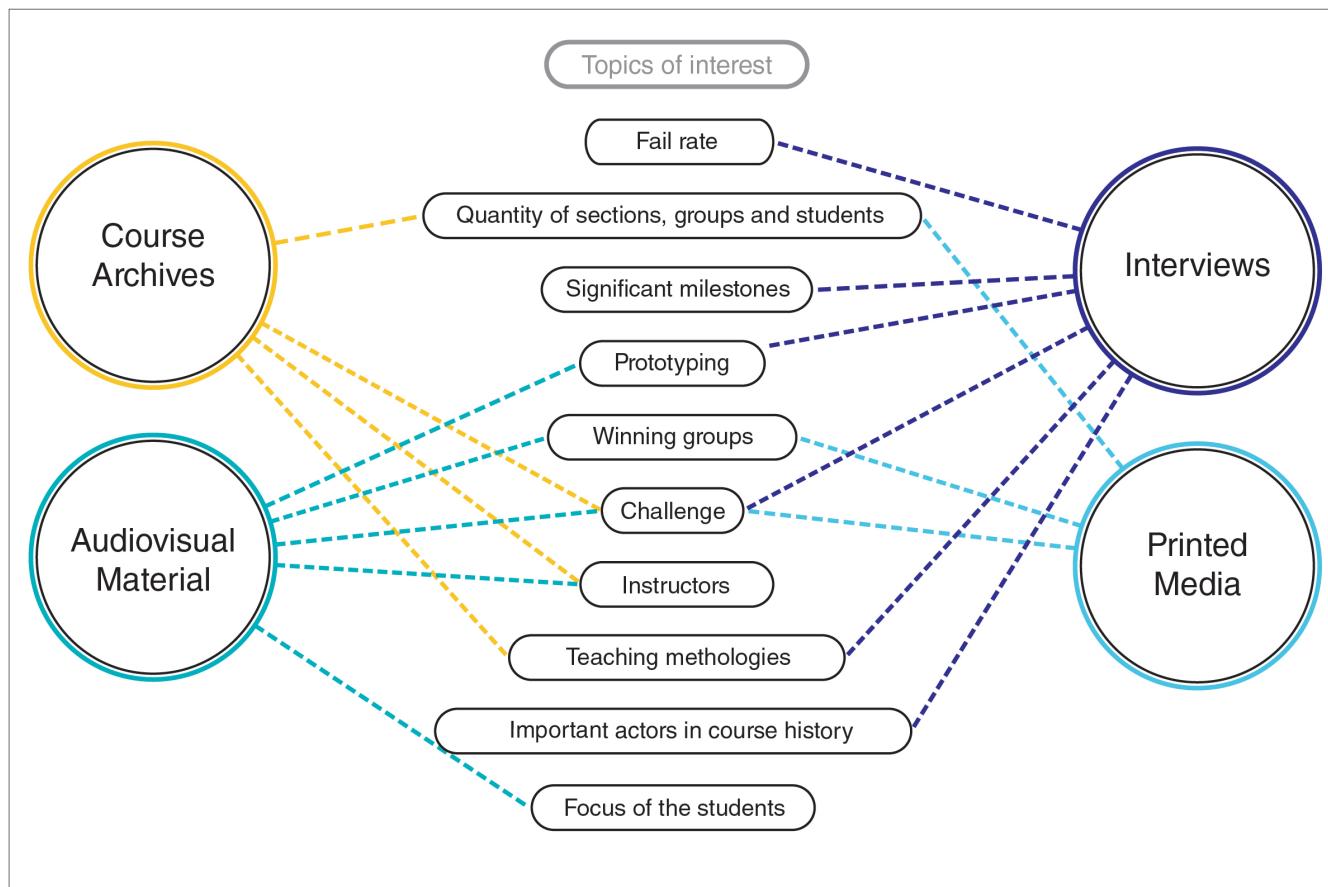
This study used qualitative information to describe course evolution in relation to learning objectives, employed teaching methodologies, focus, and expected results for prototype development. The aim of analysis was to respond to the following questions: (1) What does this course entail? (2) How have the objectives, methodologies, and

¿Cómo han evolucionado los objetivos, metodologías y evaluaciones del curso ING1004 durante sus casi 15 años de existencia? ¿Qué aspectos han sido relevantes para este curso y su desarrollo?

Siendo este estudio mayormente de carácter descriptivo histórico, se utilizaron fuentes de archivos digitales externos e internos para levantar información cualitativa sobre el curso. Así mismo, se realizó un trabajo de levantamiento de datos por parte de las investigadoras, a través de entrevistas semi - estructuradas<sup>2</sup>, con un posterior análisis cualitativo (Qualitative Data Analysis - QDA). Para lograr la validez interna de nuestro artículo se buscó triangular (**Figura 1**) la información basándose en contrastar diferentes fuentes y datos [7]. A continuación, se detallan las fuentes, tipos de datos, y análisis realizados.

evaluations of ING1004 evolved over its nearly 15 years of existence? and (3) What aspects have been relevant for this course and its growth?

Since this study was mostly descriptive and historical in nature, external and internal digital archives were used to collect qualitative information about the course. Similarly, data were collected through semi-structured interviews<sup>2</sup>, with posterior qualitative data analysis. For internal validation of the study, the collected information was triangulated (**Figure 1**) by contrasting different sources and data [7]. Following are details regarding sources, data types, and the conducted analyses.



**Figura 1.** Esquema de TRIANGULACIÓN de datos.

**Figure 1.** Scheme for data TRIANGULATION.

<sup>2</sup>Una entrevista semi - estructurada tiene las siguientes características: es agendada, formal, posee una guía o protocolo establecido, y es conversacional, lo que permite seguir con otras ideas a pesar de la pauta [3].

<sup>2</sup>A semi-structure interview has the following traits: scheduled, formal, has a guide or established protocol, and is conversational, thus allowing for other ideas outside of the guidelines [3].

## 2.1 Archivos del curso

Corresponden a respaldos digitales entre los años 2003 al 2016 recopilados por los distintos coordinadores del curso (más de 2.000 archivos). En ellos se encuentran los programas o sílabos del curso, diaporamas de las clases, cantidad de secciones, alumnos y equipos por semestre. Además, la Dirección de Pregrado de la Escuela de Ingeniería (DiPre) facilitó un listado con todo el equipo docente que ha sido parte de ING1004 desde sus inicios.

Esta información se categorizó, con lo que se pudo establecer los objetivos y desafíos de cada semestre. Así mismo, pudimos caracterizar cuantitativamente la composición de cada etapa (número de alumnos, evaluaciones y resultados), lo que permitió un primer acercamiento al curso y a los cambios experimentados por éste.

## 2.2 Entrevistas semi-estructuradas

Sellevaron a cabo un total de 23 entrevistas semi-estructuradas a informantes claves, identificados específicamente para reportar estos 15 años. Estos corresponden a 3 coordinadores, 2 profesores y 18 alumnos que cursaron el curso durante el primer semestre del 2016. Sin embargo, como corresponde a una muestra limitada, los protocolos de entrevistas buscan triangular información dada por otras fuentes para dar sentido a los datos (e.g. Archivos del curso).

La pauta de entrevista establecía objetivos y temas a tocar. Se tomaron notas de campo y registro audiovisual con el propósito de facilitar la transcripción de estos mismos [9]. Los datos transcritos fueron codificados, es decir, que los textos, temas o ideas principales fueron convertidas en etiquetas o códigos [12]. Estos códigos fueron relacionados y permitieron identificar patrones y establecer teorías dentro de contexto estudiado.

## 2.3 Recopilación de material audiovisual y fotografías

Desde el año 2005, las distintas coordinaciones registraron y editaron videos que resumen el desarrollo del curso desde el inicio del semestre hasta las presentaciones finales en la feria y el congreso tecnológico. El análisis de imágenes dentro de este material permitió capturar las instancias de presentación de prototipos y ver la evolución de estos a través de los años. La respectiva categorización consideró 4 elementos: tipo de manufactura (manual vs. digital), nivel de terminaciones, material utilizado e incorporación de artículos electrónicos en los prototipos.

## 2.4 Recopilación de prensa gráfica

Debido a que el cierre del curso es usualmente retratado por periódicos y portales de Internet, utilizamos las noticias publicadas para corroborar y completar datos de los otros archivos recolectados.

## 2.1 Course archives

Digital archives compiled between 2003 and 2016 by distinct course coordinators were collected (> 2000 archives). These files included course programs or syllabi, class slideshows, and the number of sections, students, and teams per semester. Furthermore, the Office of Undergraduate Education, School of Engineering, provided a list of all instructors that have participated in ING1004 since its founding.

This information was categorized, and the objectives and challenges for each semester were discerned. Similarly, the composition of each stage (i.e. number of students, evaluations, and results) was quantitatively characterized. This was the first approach in understanding the course and its respective changes over time.

## 2.2 Semi-structured interviews

A total of 23 semi-structured interviews were conducted with key contacts, identified specifically to report on the assessed 15 years. The interview participants included 3 coordinators, 2 instructors, and 18 students that took the course during the first semester of 2016. However, as the sample group was limited, interview protocol sought to triangulate the provided information with other sources so as to establish meaning (e.g. course archives).

The interview guideline established the objectives and subjects to discuss. Field notes and an audiovisual recording were taken to facilitate the posterior transcription of the interviews [9]. The transcribed data were codified. In other words, the primary texts, themes, or ideas were converted into labels or codes [12]. These codes were related and facilitated identifying patterns and establishing theories within the studied context.

## 2.3 Collection of audiovisual and photographic material

Since 2005, the distinct course coordinators have recorded and edited videos summarizing course progression from the start of the semester to final presentations at the technology fair and congress. This material contained recordings of prototype presentations, thereby allowing for assessments of prototype evolution over the years. The respective categorization of prototypes considered the following four elements: manufacturing (manual vs. digital), workmanship, material used, and incorporation of electronic components.

## 2.4 Collection of printed media

Since the close of the course (i.e. the technology fair) is usually covered by print and electronic media, published news articles were used to corroborate and complete information from the other collected sources.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar el análisis cualitativo de la información triangulada (**Figura 1**), pudimos identificar la existencia de 3 etapas en la evolución del curso. Estas evidencian diferencias tanto en metodologías de enseñanza, como en los resultados del curso. A continuación, en la **Figura 2**, se muestra una línea de tiempo que indica los hitos importantes que han marcado la evolución curso.

#### 3.1 ETAPA 01 (2002 - 2007)

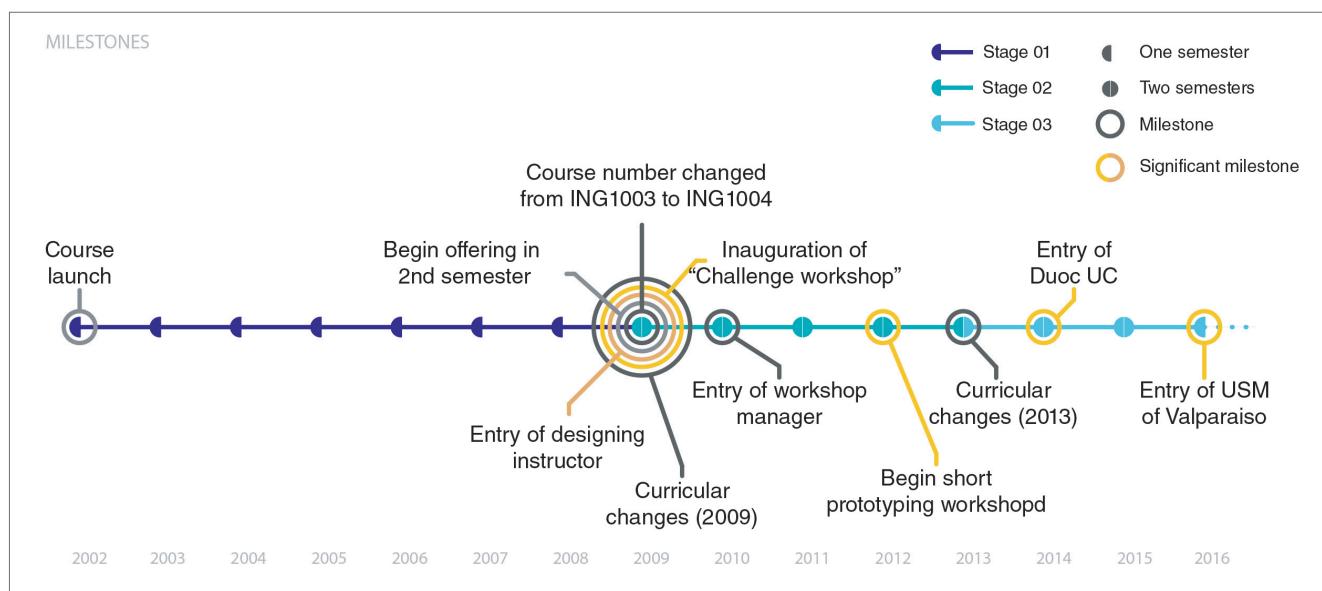
El curso nace, tal como indica el coordinador de ese entonces, producto de la necesidad de la Escuela de perfeccionar el curso introductorio a la ingeniería. Es importante recordar que los cursos de primer año corresponden a cursos teóricos de ciencias básicas, por lo que tienden a alejarse del mundo aplicado de la ingeniería profesional. Durante esta etapa, “Desafíos de la ingeniería” busca que las cátedras aborden, superficialmente, temáticas de ingeniería, como lo son Estática, Dinámica, Energía y Sistemas (sean mecánicos, eléctricos o hidráulicos).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

After performing qualitative analysis of the triangulated information (**Figure 1**), three stages were identified during the evolution of the course. These stages evidenced differences in both teaching methodologies and course results. **Figure 2** presents a timeline for the important milestones that have marked course evolution.

#### 3.1 STAGE 01 (2002 - 2007)

As indicated by the original coordinator, the course began as a product of necessity for the School to improve the introductory course to engineering. It is important to note that first-year courses for engineering majors are theoretical classes in the basic sciences, meaning that subject matter tends to stray away from the applied sphere of professional engineering. During this first stage, “Challenges in Engineering” sought to have lectures that superficially addressed themes in mechanical, electrical, or hydraulic engineering, such as statics, dynamics, energy, and systems.



**Figura 2.** Visualización con los hitos del curso.

**Figure 2.** Visualization of course milestones.

**Table 2.** List of challenges.

	<b>Year</b>	<b>Semester</b>	<b>Challenge</b>
<b>Stage 01</b>	2002	1	2020 Olympics
	2003	1	Automatic Climber
	2004	1	Disabilities
	2005	1	Environmentally Friendly Social Housing
	2006	1	Increasing the Energy Efficiency of Some Electronic Device
	2007	1	Challenge Together with Medicine
	2008	1	Improving Social Housing
	2009	1	A Roof for Chile
	2010	2	A Roof for Chile
	2011	1	A Roof for Chile
<b>Stage 02</b>	2010	2	A Roof for Chile
	2011	1	More Years, More Life
	2011	2	Hygiene and Self-Care for Seniors
	2012	1	Traffic Safety
	2012	2	Reduce, Reuse, Recycle
	2013	1	DeporTec, Sports Technology
	2013	2	ManualTec, Tools for the Farmer's Market, Construction, or Street Vendors
	2014	1	VidaTec, Technology for Health
	2014	2	Care on Wheels
	2015	1	Active Science
<b>Stage 03</b>	2015	2	Firefighters
	2016	1	Reusing Trash

Los desafíos que se eligen comienzan siendo muy específicos (**Tabla 2**): e. g. Hacer un trepador autómata que suba una cuerda hasta cierta marca y vuelva a bajar. Durante estos proyectos, se observa poca variabilidad en las soluciones propuestas por los equipos. Sin embargo, a mediados del período, se denota un interés por encarar proyectos sociales. Así aparecen desafíos como el de construir o rediseñar una vivienda social de emergencia (**Figura 3**).

Ex alumnos y docentes consultados comentan que para la realización de aquellos proyectos no existía preparación ni prototipado. El producto final carecía usualmente de estética y usabilidad, aunque muchas veces cumplían con los objetivos mecánicos propuestos. En la misma línea, las evaluaciones se enfocaban en las cátedras relacionadas con las ciencias básicas y, asimismo, en estas ciencias aplicadas al proyecto.

The first challenges presented to students were highly specific (**Table 2**), including, for example, making an automatic climber that could climb a rope to a certain point and then come down. Among these projects, there was little variability in the solutions proposed by the teams. However, halfway through Stage 01, there was a notable interest in addressing social projects. This led to the appearance of challenges such as constructing or redesigning emergency social housing (**Figure 3**).

Course alumni and previous instructors commented that these projects did not involve preparation or prototyping stages. The final product usually lacked esthetic and usability, even while often complying with the proposed mechanical objectives. In the same vein, course evaluations were focused on lectures related to the basic sciences and, likewise, in these sciences as applied to the project.



**Figura 3.** Viviendas sociales de emergencia en proceso de construcción [Feria tecnológica 2005]. Fuente: Archivos del curso, año 2005.

**Figure 3.** Emergency social housing in the process of construction [Technology Fair 2005]. Source: Course archives, 2005.

### 3.2 ETAPA 02 (2008 - 2013)

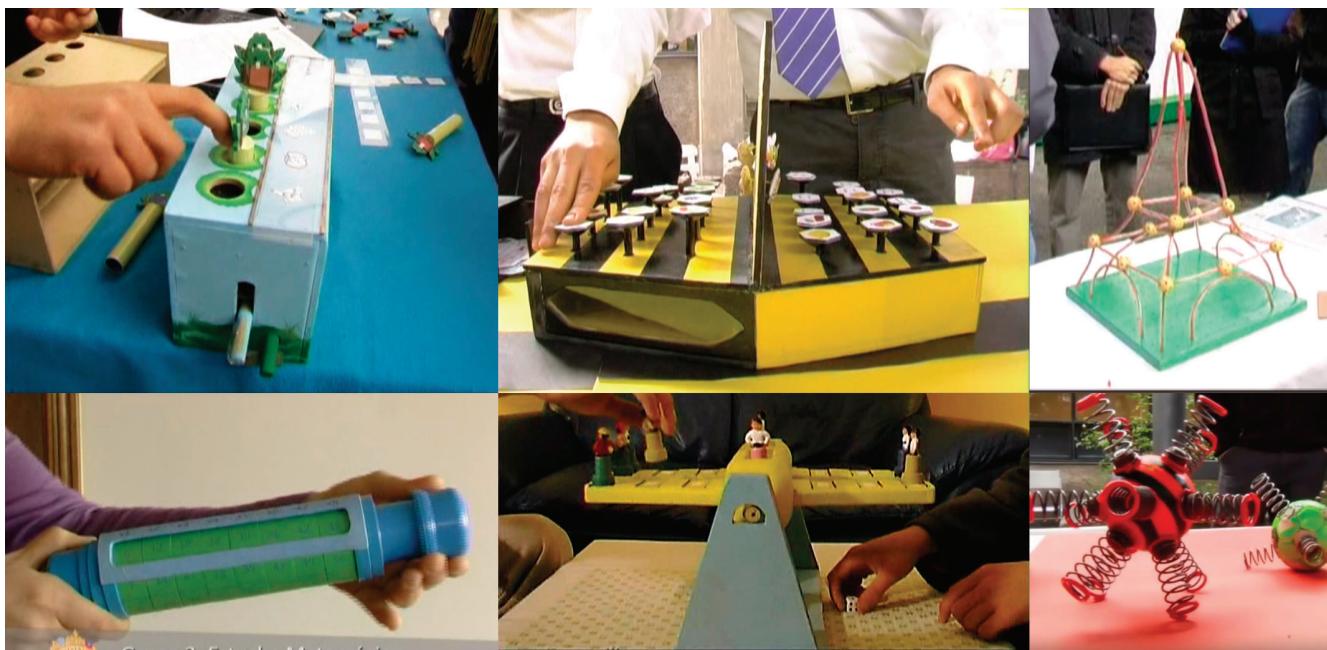
Esta etapa está marcada por la intención de la Escuela de Ingeniería de incorporar temáticas de diseño al curso dando énfasis al proyecto o desafío. Es por ello que, para incluir temáticas de visualización en presentaciones, estudio de usabilidad, apoyo en prototipado y desarrollo conceptual, se incorpora un docente diseñador. Es así como en el año 2009 entra la diseñadora Constanza Miranda, para hacer una revisión de los contenidos del curso en conjunto con el coordinador. Se decide agregar 3 cátedras y ayudantías de metodologías de diseño para apoyar el trabajo de los estudiantes en el desarrollo del producto.

Durante este ciclo, se mantiene la intención de establecer desafíos de carácter social, tal como, “Mejorando la habitabilidad de las viviendas sociales” y “Chile aprende jugando”. Este último buscaba generar soluciones para que niños de educación básica pudiesen aprender conceptos educativos mediante dispositivos lúdicos. Enunciados más amplios (en comparación a la construcción de un dispositivo específico con una tarea determinada) permitieron una diversificación de las soluciones (**Figura 4**). Durante este período el foco de las evaluaciones se centró aún más en el proyecto, acercando al curso a la categoría de aprendizaje basado en proyectos (*Project based learning - PBL*).

### 3.2 STAGE 02 (2008 - 2013)

Stage 02 was marked by a desire of the School of Engineering to include topics on engineering design, with emphasis on the project or challenge. To include subjects related to visual presentation, usability assessments, prototyping support, and conceptual development, a design instructor was incorporated into the course. Specifically, Constanza Miranda became part of the instructional team in 2009 and reviewed course content with the coordinator. The decision was made to add three lectures and training modules on design methodologies to aid students in product development.

During this stage, challenges remained focused on social issues, such as “Improving the habitability of social housing” and “Chile learns by playing.” In this latter challenge, solutions were created to allow elementary schoolchildren to learn educational concepts through ludic devices. This wider context, as compared to the construction of specific devices for a defined task, resulted in a diversification of proposed solutions (**Figure 4**). During this period, evaluations centered more on the project, thus becoming more similar to courses categorized as project-based learning.



**Figura 4.** Prototipos del desafío “Chile aprende jugando”. Fuente: Video feria tecnológica, año 2009, 1er Semestre.

**Figure 4.** Prototypes for the challenge “Chile learns through play.” Source: Technology Fair Video, 2009, 1st Semester.

Un hito importante fue la inauguración del Taller de Desafíos (2009), espacio que otorga un lugar de trabajo y herramientas de prototipado a los alumnos. Según Claudio Fernández, el último coordinador a cargo de esta etapa, la llegada de Ángela Decar, diseñadora industrial y encargada del taller, implicó un mayor apoyo para los grupos en la construcción de prototipos. Esto contribuyó sustancialmente en la mejoría de manufactura y acabado respecto al ciclo anterior.

Lo anterior condujo a otro cambio importante: Durante el primer semestre del 2013 se incorporaron talleres de apoyo técnico, que consisten en clases cortas de desarrollo de prototipos donde se enseñan técnicas básicas de prototipado manual (e.g. moldes de resina) y digital (e.g. cortadora láser).

Respecto a las evaluaciones, según lo comentado por los profesores de este período, surgió una tasa de reprobación de un 5-10% en promedio. Claudio Fernández comenta que esto se explica por un aumento de exigencia en las evaluaciones existentes, la creación de correcciones de avance de proyecto y de una evaluación de pares, creada con el objetivo de identificar a los **FREE RIDERS** y penalizar el trabajo heterogéneo de los integrantes en los grupos.

Si bien la metodología experimentó un cambio considerable en esta etapa, cabe mencionar que aún no se lograban establecer una coherencia entre los contenidos ingenieriles con el proceso de diseño. La unión de ambas partes en el curso se puede apreciar en el siguiente período.

An important milestone within Stage 02 was the inauguration of the Challenge Workshop (2009), a space that provided students with work areas and tools for prototyping. According to Claudio Fernández, the final coordinator within Stage 02, the arrival of Ángela Decar, industrial designer and workshop leader, resulted in groups receiving greater support during prototype construction. This milestone substantially contributed to improved manufacturing and workmanship as compared to prior periods.

These modifications subsequently led to another important change. During the first semester of 2013, technical support workshops were incorporated into the course. These workshops consisted of short prototype development classes in which basic techniques for manual (e.g. resin molding) and digital (e.g. laser cutting) prototyping were taught to students.

Regarding evaluations, instructors from this stage commented that failure rates rose to 5-10% on average. Claudio Fernández stated that this phenomenon can be explained by increased exam difficulty, assessments of project progression, and a peer evaluation implemented to identify and penalize **FREE RIDERS** without affecting other group members.

While methodologies underwent considerable changes during this period, it is worth mentioning that coherency remained lacking between engineering contents and the design process. The merging of these two halves in the course occurred during Stage 03, as described below.

### 3.3 ETAPA 03 (2013 - actualidad)

Este ciclo se caracteriza por la consolidación de las metodologías de enseñanza de *problem* y *project based learning*. En el ciclo anterior, tal como menciona la actual coordinadora del curso, Catalina Cortázar, se realizaban las clases de metodología de diseño y después las clases con temáticas de ingeniería. Actualmente se intercalan las clases entre una temática y otra, logrando un orden coherente de modo que acompaña al proyecto. Por ejemplo, se hace la clase de salida a terreno (parte del proceso de diseño) y luego la clase de análisis de datos (temática ingenieril).

Otro cambio importante es la modificación del método de evaluación. Se instauraron 6 instancias de corrección, 5 de ellas evaluadas por el profesor de la sección y que miden el desarrollo del proyecto. La sexta y última instancia se enfoca en evaluar el prototipo final de los equipos y es evaluada por jueces externos durante la feria tecnológica. Respecto a las evaluaciones de pares, se decidió aplicar una luego de cada corrección, de modo que ya no solo penaliza a los alumnos que fueron de bajo aporte en el trabajo grupal, sino que también los alerta, de modo de que puedan modificar su comportamiento.

Los temas de los desafíos propuestos durante esta etapa son elegidos en base a su actualidad y trascendencia a nivel país (**Tabla 2**). Acerca de los prototipos, se observa que continúan las mejoras en manufactura y nivel tecnológico. Esto se explica debido a la actualización e incorporación de máquinas por parte del taller, como una cortadora láser de mayor tamaño y nuevas máquinas de prototipado 3D.

Respecto a los hitos significativos, al inicio de este ciclo ocurre un cambio curricular en la malla de ingeniería (**Figura 2**), lo que resulta en incluir secciones con los alumnos del programa College UC durante los segundos semestres aumentando sustancialmente el tamaño de las secciones de clases (**Tabla 1**). Además, durante este ciclo ocurren otros 2 hitos importantes que evidencian el desarrollo y éxito del curso ING1004. Estos son la incorporación del Instituto Técnico Duoc UC, en el año 2014 y de la Universidad Federico Santa María de Valparaíso el 2016. En el caso del Duoc UC, su incorporación fue parte de una iniciativa nacida en la Escuela por realizar trabajos con esta institución. El método de trabajo es el siguiente: los alumnos del Instituto asisten a las clases impartidas en la PUC y forman grupo con los alumnos de la Universidad. Respecto a la USM, su incorporación fue dentro del marco del programa CORFO Ingeniería 2030<sup>3</sup>. El método de trabajo consistió en que la USM de Valparaíso tenía su propia sección, de modo que los grupos se formaban

<sup>3</sup>Ingeniería 2030, también conocido como *The Clover 2030 Engineering Strategy*, es una iniciativa de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) que busca que las escuelas nacionales de ingeniería alcancen categoría mundial, y a través de este proceso, impacten directamente en el desarrollo de Chile [12].

### 3.3 STAGE 03 (2013 - current)

This stage is characterized by the consolidation of teaching methodologies based on problem- and project-based learning. As mentioned by the current course coordinator, Catalina Cortázar, classes in Stage 02 focused first on the design process and then on engineering topics. In Stage 03, these themes are interspersed between classes to logically accompany students during project development. For example, the class on field work (design process) is followed by the class on data analysis (engineering topic).

Another important change occurred in evaluation methods; namely, six project evaluations are now used. Five are conducted by the section instructor and measure project progress. The sixth and final evaluation focuses on the final prototype presented by each team and is evaluated by external judges during the technology fair. Furthermore, peer evaluations are conducted after each project evaluation. This not only means free riding students can be penalized, but also alerted, thus allowing these students the opportunity to modify their behavior.

The challenges being proposed during this stage are selected on the basis of current events and transcendence on the national scale (**Table 2**). Regarding prototypes, continued improvements occur in manufacturing and the use of technology. This development can be explained by the updating and incorporation of machines in the Challenge Workshop, such as a larger laser cutter and new 3D prototyping printers.

Several significant milestones have already occurred in this stage. At the start of Stage 03, the engineering curriculum was modified (**Figure 2**), resulting in the inclusion of course sections with students from the College UC program during the second semester. This substantially increased the size of course sections (**Table 1**). Furthermore, two other milestones were accomplished that evidence the evolution and success of ING1004. Specifically, these were the incorporation of the Duoc UC Technical Institute in 2014 and the Universidad Federico Santa María de Valparaíso (USM) in 2016. In the case of Duoc UC, inclusion in the course was part of a School initiative to work with this institution. In this course model, Duoc UC students attend classes dictated at PUC and form groups with PUC students. In turn, UCM was included in the course within the framework of the Engineering 2030 CORFO program<sup>3</sup>. In this course model, USM students have their own course section, meaning that groups are formed

<sup>3</sup>Engineering 2030, also known as The Clover 2030 Engineering Strategy, is an initiative founded by the Production Development Corporation [Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)] that aims for national engineering schools to reach world-class standards and, as such, directly impact the development of Chile [12].

sólo con alumnos de esa universidad. Los profesores de la USM usaban el mismo material docente que en la PUC e impartían sus propios talleres cortos de prototipado.

Luego de estudiar la historia del curso se puede decir que su evolución lo ha llevado a consolidarse como un curso con una metodología de *problem y project based learning*. A pesar de que el objetivo principal de la primera etapa se ha mantenido, se puede observar una variación en el enfoque de enseñanza, pasando de estar centrado en ciencias básicas a incluir un proceso de diseño en el desarrollo del proyecto. Este cambio de enfoque acarreó cambios en la forma de evaluar, donde se pasó de medir contenidos teóricos de clases a avances de los proyectos específicos de cada grupo. Respecto a los prototipos finales, se pudo observar un claro avance en el acabado y aumento en la variedad de materiales usados a través de los años. Esto se lo adjudicamos principalmente al avance de la tecnología de prototipado disponible, a la existencia del taller de desafíos y a la creación de los talleres cortos de prototipado.

La elección de temas cada vez más ambiguos y amplios permite entregar de manera efectiva una primera experiencia al trabajo con problemas abiertos, lo cual se acerca de forma concreta a los problemas del mundo real. Esto permite que el alumno de ingeniería adquiera, desde los primeros años, la capacidad de tratar con problemas en los cuales no existe una sola solución correcta, adquiriendo una herramienta que puede usar y perfeccionar en los siguientes años de su carrera.

only by USM students. The instructors at USM use the same teaching material as at PUC, in addition to also dictating short prototyping workshops.

Historical analysis of the “Challenges in Engineering” course supports that its evolution has led to consolidation as a course implementing problem- and project-based learning methodologies. While the original objective from the first stage has been maintained, variations have occurred regarding the focus of instruction, going from being centered on the basic sciences to including a design process within the context of a project. This change in focus led to modifications in how students were evaluated, moving away from measuring theoretical knowledge to assessing the progress of each group project. Regarding final prototypes, a clear progression can be observed in the workmanship and variety of materials used over the years. These improvements are likely due in large part to advancements in available prototyping technology, the existence of a Challenge Workshop, and the creation of short prototyping workshops.

The selection of evermore ambiguous and wide challenge subjects effectively grants students experience in working with open problems that concretely reflect the real-world. As such, engineering students acquire, from their first year of study, the ability to tackle problems that do not have a single correct answer, thus providing these individuals with a tool that can be used and perfected in the upcoming years within their major.

**Table 3.** Summary of course evolution.

	<b>Stage 01</b>	<b>Stage 02</b>	<b>Stage 03</b>
<b>Learning Objectives</b>	Introduce the student to applied engineering.	Solve real problems through a design process.	Work with open problems, combined engineering and UCD*.
<b>Methodologies</b>	Theoretical classes on engineering themes.  Creation of a project that responds to a challenge.	Theoretical classes on engineering themes.  Classes and assistantships added for design methodologies.  Challenge workshop is created.	Classes on design methodology and theoretical engineering concepts are coherently staggered with one another.
<b>Evaluations</b>	Quizzes on theoretical content applied in the project.  Final project exam centered on meeting design specifications.	Quizzes focused on the project and technical content. Progress evaluations occur during the semester, as well as at the final fair.  Peer review is incorporated at the end of the semester.	Five evaluations that measure project progress and one evaluation that considers the final prototype.  Peer review is incorporated after each evaluation.

<b>Challenges</b>	[First half of the stage]  Mechanical challenges centered on hard engineering tests.	Start with a strong social aspect that later leads to other themes (e.g. technology, sports). The challenges are characterized for being more open, permitting infinite solutions.	Themes are varied and very open, with many possible ways to approach and correctly respond to each challenge.
	[Second half of the stage]  Focus on helping the community through engineering.		
<b>Prototyping</b>	Little variety in solutions.  Solutions address the challenge but are low quality in workmanship and esthetic.  Use of electrical and manual tools, as well as conventional materials (e.g. wood, PVC).  *UCD: user centerd design	Variety in solutions.  Better workmanship.  Greater use of prototyping materials (e.g. resin) and some use of digital machinery (e.g. 3D printer) and prototyping technology (e.g. Arduino).	Greater variety in solutions.  Better finishing and workmanship qualities.  Frequent use of digital machinery and technological elements, together with electrical and manual tools.

#### 4. CONCLUSIONES

El curso “ING1004 – Desafíos de la ingeniería” es un curso masivo de primer año de la carrera de ingeniería civil. Aplica una metodología de *problem* y *project based learning*, ya que semestralmente se presenta un desafío con una problemática ambigua a los alumnos y se espera que estos desarrollen un producto en equipo que la resuelva. Se enseña un proceso de diseño que busca ayudar a los alumnos a identificar distintas oportunidades y a crear variadas soluciones, de modo de que aprendan a trabajar con problemas abiertos utilizando la ingeniería de manera eficiente.

En el transcurso de los años el curso ha pasado por distintas etapas de crecimiento y evolución. No solo ha aumentado el número de alumnos y profesores (**Tabla 1**); toda la metodología de enseñanza ha pasado por un proceso de maduración. Se detectaron tres etapas distintas, con diferencias en el enfoque, naturaleza de los temas escogidos e hitos importantes (**Tabla 3**). Así, se observa una integración paulatina del diseño con la ingeniería, mayor apertura de los temas de los desafíos y mejoría en el acabado de los prototipos.

Este proceso no ha sido lineal, sino que ha requerido de múltiples iteraciones para llegar a ser el curso que es en la actualidad. Es a través de estas iteraciones que se detectan los aspectos a mejorar, de modo que el curso está en constante revisión y cambio. Tal como menciona Catalina Cortázar, uno de los próximos aspectos a mejorar es la enseñanza del trabajo en equipo. Este es la base para el desarrollo de los proyectos, y dentro de los objetivos se encuentra el entregar esta habilidad a los alumnos que los cursan. Es por esto que

#### 4. CONCLUSIONS

“ING1004 – Challenges in Engineering” is a required cornerstone course for first-year civil engineering students. This course applies problem- and project-based methodologies. Namely, each semester students are presented a challenge with ambiguous problems, and, in groups, students must develop a product to resolve said problems. A design process is taught so as to help students identify different opportunities and create various solutions. Therefore, students learn by working on open problems by efficiently using engineering.

Over the years, this course has undergone distinct stages of growth and evolution. Not only has the number of students and instructors increased (**Table 1**), the entire instructional approach has also undergone a maturation process. Three distinct stages were identified, with differences regarding course focus, nature of the selected themes, and important milestones (**Table 3**). Together with this, there has been a steady integration of engineering design, wider challenge themes, and improvements in the finished prototypes.

The evolution of ING1004 has not been a lineal process, but has required multiple iterations to arrive at what the course is today. It is through these iterations that aspects for improvement are detected, meaning that the course is constantly subject to review and change. As mentioned by Catalina Cortázar, one of the next aspects to improve is teaching teamwork. This concept is the basis for student projects, and ensuring students can successfully work in teams is a course objective. Considering this, the second semester of 2016 saw the implementation of new

desde el segundo semestre del 2016 se está trabajando en nuevas metodologías para fortalecer el trabajo en equipo. De esta manera, el curso adquiere nuevas técnicas que le entregan un abanico de herramientas al alumno de primer año, y que logran cumplir con el objetivo inicial de su creación: acercar a los alumnos de primer año a la ingeniería real.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al decano de ingeniería, Juan Carlos de la Llera, y al profesor Claudio Fernández por la información facilitada. A nuestras profesoras Catalina Cortázar y Constanza Miranda por su dirección durante nuestro trabajo y escritura de esta publicación. A la Dirección de Pregrado de la Escuela de Ingeniería UC por el material facilitado para la realización de este estudio.

## GLOSARIO

**CODIFICACIÓN:** La vinculación decisiva entre la raw data y los conceptos teóricos del investigador.

**FREE RIDERS:** Integrantes de un grupo que no trabajan desarrollando todo su potencial [10].

**PROBLEM BASED LEARNING:** Metodología de enseñanza basada en la resolución de un problema como objetivo principal. Según Dym et al. (2005) [8], esta metodología traduce los contenidos teóricos en problemas del día a día. Dado que convierte al estudiante en un elemento activo en su educación, esta metodología permite incrementar los niveles de participación e interacción de los alumnos [5].

**PROJECT BASED LEARNING:** Metodología de enseñanza basada en la elaboración de un proyecto. Es generalmente en grupo y promueve el trabajo en equipo, la multidisciplina y el aprendizaje a través de experiencias [8].

**TRIANGULACIÓN:** Aplicación y combinación de varios métodos de investigación en el estudio del mismo fenómeno. [4]

methodologies for strengthening teamwork. Through such reiterative processes, this course is constantly gaining new techniques with which to prepare first-year engineering students, thus achieving the initial objective of the course, to bring first-year students closer to real engineering.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Dean of Engineering, Juan Carlos de la Llera, and Professor Claudio Fernández for the information provided. The authors also thank Professors Catalina Cortázar and Constanza Miranda for their guidance during the work on and writing of this manuscript. Finally, the authors thank the Office of Undergraduate Education, School of Engineering, PUC for providing material related to this study.

## GLOSSARY

**CODIFICATION:** The decisive link between raw data and theoretical concepts of the researcher.

**FREE RIDERS:** Members of a group that do not work to their full potential [10].

**PROBLEM-BASED LEARNING:** Teaching method in which the primary objective is problem solving. According to Dym et al. (2005) [8], this methodology translates theoretical content in day-to-day problems. Since the student is an active element in their education, this methodology facilitates increased levels of student participation and interaction [5].

**PROJECT-BASED LEARNING:** Teaching method based on completing a project. Projects are usually completed in groups, thus promoting multidisciplinary teamwork and learning through experience [8].

**TRIANGULATION:** Application and combination of various research methods to study the same phenomenon [4].

## PRINCIPIO CIENTÍFICO

La siguiente investigación utilizó *grounded theory* para elaborar una teoría respecto a cómo se caracteriza el curso y qué componentes han cambiado durante su historia. Para ello, se realizó una recopilación de datos interrumpida por ciclos de análisis. El marco fue dado por el carácter de *problem* y *project based learning* del curso (lo que señaló las características importantes a considerar, como el tema de proyecto y el proceso de diseño). El análisis se realizó a través de una **CODIFICACIÓN** de las entrevistas y videos, y una clasificación de los prototipos observados en ellos.

## SCIENTIFIC PRINCIPLE

The following investigation used the grounded theory to form a model on how to characterize the course and respective components that have changed over the history of the course. For this, data were collected and subjected to analysis cycles. The course framework was marked by problem- and project-based learning, thus identifying important characteristics to consider, such as project subject and the design process. Analyses were carried out through a **CODIFICATION** of interviews and videos, as well as through a classification of the observed prototypes.

## REFERENCES

- [1] ABET. *About ABET* [online]. Available at: <http://www.abet.org/about-abet>
- [2] ACCREDITATION BOARD FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY. "Engineering Criteria 2000: Criteria for Accrediting Programs in Engineering in the United States". ASEE Prism, 1997, vol. 6, no. 7, pp. 41–42. 5.
- [3] BERNARD, H. RUSSELL. 2002. "Research methods in anthropology: Qualitative and Quantitative methods. Walnut Creek, CA: AltaMira Press.
- [4] BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. "Qualitative research in education: An introduction to theory and methods". Allyn & Bacon, 2006. ISBN 978-0-205-51225-6.
- [5] CARLETON, T.; LEIFER, L. "Stanford's ME310 Course as an Evolution of Engineering Design". *19th CIRP Design Conference - Competitive Design, Cranfield*, 2009
- [6] COFFEY, A. "Encontrar el sentido a los datos cualitativos: estrategias complementarias de investigación". 1967.
- [7] DENZIN, N. & LINCOLN, Y. "The Sage Handbook of Qualitative Research". (3a ed.) Thousand Oaks: Sage publications, Inc. Introduction. The discipline and Practice of Qualitative Research, 2005, pp. 1-13.
- [8] DYM et al. "Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning". *Journal of Engineering Education*, 2005, 34 (1): 103–20.
- [9] EMERSON, R.; FRETZ, R.; SHAW, L. "In the field: Participating, observing, and jotting notes". In writing ethnographic fieldnotes, 1997 (pp.17-38). Chicago: University of Chicago Press.
- [10] JOYCE, W. "On the Free-Rider Problem in Cooperative Learning". *Journal of Education for Business*, 1999, 74:5, 271-274, DOI: 10.1080/08832329909601696
- [11] KOLKO, J. 2011. "Methods for Making Meaning out of Data." In Exposing the Magic of Design, 63–66. New York: Oxford University Press.7.
- [12] SALDAÑA, J. "The Coding Manual for Qualitative Researchers." (2a ed.) Sage, 2013.
- [13] THE CONSORTIUM. *Ingeniería 2030* [online]. Available at: <http://www.ingenieria2030.org/about/>

## EQUIPO DE INVESTIGADORES / RESEARCH TEAM



Javiera  
Valenzuela

Belén  
Hirmas

Constanza  
Miranda

Catalina  
Cortázar