

**MANUAL MARCO PARA LA ACREDITACIÓN  
BAJO CRITERIOS INTERNACIONALES  
DE CARRERAS DE  
INGENIERÍA DE BASE CIENTÍFICA**

**Versión 2.0**

**Válido para el ciclo de acreditación del año 2023-2024**

Este Manual Marco es complementario a los siguientes documentos:

- Manual de Normas y Procedimientos para la acreditación bajo criterios internacionales de carreras de Ingeniería versión 4.0 - septiembre de 2020
- Guía de Autoevaluación para la acreditación bajo criterios internacionales de carreras de Ingeniería de Base Científica versión 1.0 Ciclo 2023-2024
- Informe Final del comité de pares evaluadores para ingenierías de base científica versión 1.0 Ciclo 2023-2024

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>LA ACREDITACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>REQUISITOS PARA ACCEDER AL PROCESO DE ACREDITACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>ATRIBUTOS DEL GRADUADO</b> .....	<b>4</b>
<b>5.</b>	<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN</b> .....	<b>5</b>
	<i>CRITERIO 1: ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN</i> .....	6
	<i>CRITERIO 2: OBJETIVOS EDUCACIONALES</i> .....	7
	<i>CRITERIO 3: PERFIL DE EGRESO</i> .....	7
	<i>CRITERIO 4: PLAN DE ESTUDIOS</i> .....	9
	<i>CRITERIO 5: PERSONAL DOCENTE</i> .....	11
	<i>CRITERIO 6: INFRAESTRUCTURA Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE</i> .....	12
	<i>CRITERIO 7: VINCULACIÓN CON EL MEDIO</i> .....	13
	<i>CRITERIO 8: RESULTADOS DEL PROCESO FORMATIVO.</i> .....	13
	<i>CRITERIO 9: AUTORREGULACIÓN Y MEJORA CONTINUA</i> .....	15
<b>6.</b>	<b>LA DECISIÓN DE ACREDITACIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>7.</b>	<b>PROCESO E INFORME DE AUTOEVALUACIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>8.</b>	<b>LA EVALUACIÓN EXTERNA POR PARTE DEL COMITÉ DE PARES EVALUADORES</b> .....	<b>18</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>21</b>
9.1.	DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES COMPLEJAS DE INGENIERÍA.....	21
9.2.	EJEMPLOS DE PROBLEMAS COMPLEJOS DE INGENIERÍA .....	21
9.3.	PERFIL DE COMPETENCIAS PROFESIONALES .....	26
9.4.	CLASIFICACIÓN DE LOS ATRIBUTOS DEL GRADUADO .....	28
9.5.	EJEMPLOS DE ASIGNATURAS DE MATEMÁTICAS, CIENCIAS BÁSICAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA.....	28
9.6.	GLOSARIO DE TÉRMINOS ESPECÍFICOS.....	29

## 1. Introducción

Acredita CI pone a disposición de las instituciones de educación superior el presente Manual en el que se establecen los criterios de evaluación y las principales orientaciones para el desarrollo de los procesos de acreditación para carreras de ingeniería de base científica bajo criterios internacionales de calidad.

La International Engineering Alliance, IEA, en su documento titulado: “Graduate Attributes and Professional Competencies” versión 2021.1<sup>1</sup>, define: La ingeniería es una actividad que es esencial para satisfacer las necesidades de las personas, el desarrollo económico y la prestación de servicios a la sociedad. La ingeniería implica el uso intencionado de las matemáticas y las ciencias naturales y de un cuerpo de conocimientos de las tecnologías y de las técnicas de ingeniería. La ingeniería busca producir soluciones cuyos efectos se prevén en contextos a menudo inciertos. Si bien trae beneficios, la actividad de ingeniería tiene potenciales efectos adversos. En consecuencia, la ingeniería debe llevarse a cabo de manera responsable y ética, utilizando los recursos disponibles de manera eficiente. Además, debe ser económica, debe salvaguardar la salud y la seguridad, ser ecológica y sostenible y, generalmente debe gestionar los riesgos a lo largo del ciclo de vida de un sistema.

El modelo de acreditación de Acredita CI se basa en criterios de evaluación comparables a los utilizados a nivel internacional por las agencias acreditadoras miembros del Acuerdo de Washington que se orientan a las carreras de ingeniería de base científica. Tienen el propósito de aportar a las mejores prácticas para asegurar la calidad de la formación que reciben los futuros ingenieros en Chile, de tal manera que esta formación sea sustancialmente equivalente a la recibida por los ingenieros a nivel mundial.

## 2. La acreditación

La acreditación es una certificación de la calidad que se otorga a una carrera de ingeniería luego de un proceso de revisión y evaluación de la formación que imparte. Para que una carrera obtenga la acreditación debe demostrar que cumple los criterios de evaluación de Acredita CI.

La acreditación asegura que los titulados de la carrera están preparados para ingresar a la práctica profesional de la ingeniería y que son personas capaces de diseñar y/o desarrollar soluciones a problemas complejos de ingeniería. En estos procesos de diseño y/o desarrollo, los titulados demuestran poseer los atributos del graduado<sup>2</sup> establecidos por la Agencia.

El diseño y/o desarrollo de soluciones a problemas complejos de ingeniería se refiere al diseño de sistemas, componentes o procesos que satisfacen necesidades específicas considerando debidamente los asuntos de salud y seguridad pública, culturales, sociales, y ambientales, cuando corresponda<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Actualizado al 21 de junio de 2021

<sup>2</sup> Capítulo 4 de este Manual

<sup>3</sup> Ver ejemplos en Anexo 9.2 de este Manual

### 3. Requisitos para acceder al proceso de acreditación

Una carrera podrá presentarse al proceso de acreditación cuando:

- a. Cuento con dos cohortes de titulados, y con titulados ejerciendo la profesión.

En caso de que una carrera presente dos planes de estudios vigentes, un plan que está terminando que tiene titulados ejerciendo la profesión y un plan como resultado de un proceso de innovación curricular que todavía no presenta titulados, Acredita CI aplicará la siguiente política:

#### Política de Acredita CI

La acreditación se otorga por resultados, con evidencia del desempeño de los titulados. Cabe señalar que si la carrera no tiene titulados del plan de estudios innovado, debe tener titulados del plan que está terminando. En este escenario, la carrera podría incluso estar funcionando con dos planes de estudio, en paralelo, lo que es común en la práctica.

La carrera podrá presentarse al proceso. La Guía de Autoevaluación entrega orientaciones específicas para realizar el proceso bajo estas condiciones.

- b. Se imparta en jornada diurna, con ingreso regular en modalidad presencial. Además, si la carrera se dicta en más de una sede, en jornada vespertina (ya sea en modalidad presencial o semipresencial) o en un programa especial de titulación, debe presentar al proceso en forma simultánea todas estas sedes, jornadas y modalidades.
- c. La carrera debe impartirse por una Institución de Educación Superior autónoma según establece la legislación chilena.

### 4. Atributos del graduado

Los atributos del graduado son indicadores del potencial que tiene el estudiante para desarrollar las competencias necesarias para la práctica de la ingeniería. Una carrera acreditada asegura que incluye en su proceso formativo estos atributos.

De esta manera, la calidad de una carrera depende de un conjunto de factores entre los cuales se encuentran el diseño curricular, los recursos comprometidos, la organización y ejecución del proceso de enseñanza y aprendizaje y de la evaluación de los estudiantes, incluida la confirmación de que los atributos del graduado se satisfacen.

Los atributos del graduado se eligen para que sean universalmente aplicables, para que reflejen estándares mínimos aceptables y sean medidos objetivamente. Estos se establecen genéricamente, siendo aplicables a todas las disciplinas de ingeniería. La carrera los aplica dentro de un contexto disciplinario, dándoles un énfasis particular y acorde al modelo educativo institucional, pero no deben alterarse en sustancia ni se deben ignorar los elementos individuales aplicables a cada disciplina.

Este documento presenta los atributos del graduado vigentes y que serán exigibles en los procesos de acreditación a partir del año 2024.

## 5. Criterios de evaluación

Como se indicó previamente, para que una carrera obtenga la acreditación debe demostrar que cumple los criterios de evaluación de Acredita CI. Los criterios de evaluación están definidos con el propósito de que, a través de su aplicación, se pueda llegar a conocer en la forma más fidedigna posible en qué medida la carrera asegura la calidad de su proceso formativo. Específicamente, Acredita CI ha definido los siguientes criterios:

1. Organización y administración.
2. Objetivos educacionales.
3. Perfil de egreso.
4. Plan de estudios.
5. Personal docente.
6. Infraestructura y recursos para el aprendizaje.
7. Vinculación con el medio.
8. Resultados del proceso formativo.
9. Autorregulación y mejora continua.

Con el propósito de facilitar y precisar la aplicación de estos criterios, para cada uno de ellos se ha definido un conjunto de “aspectos a considerar”.

## CRITERIO 1: ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN

La unidad académica cuenta con un adecuado sistema de gobierno y una gestión docente y administrativa eficaz y eficiente de los recursos necesarios para cumplir con los compromisos declarados.

1.a. La unidad académica cuenta con un cuerpo directivo calificado y con dedicación suficiente para cumplir con las responsabilidades, funciones y atribuciones establecidas.

1.b. La unidad planifica la gestión académica y económica para el logro de los propósitos de la carrera.

1.c. La unidad académica dispone de personal administrativo, técnico y de apoyo debidamente capacitado, suficiente en número y con dedicación horaria en relación con la jornada/modalidad para cumplir con sus funciones y cubrir las necesidades del plan de estudios.

1.d. La carrera cuenta con al menos un directivo que supervisa la asignación de tareas, la provisión de los recursos, el registro y procesamiento de la información para el control de gestión administrativa. También convoca a los docentes, el personal de apoyo y a las demás instancias que concurren para impartir la carrera, según lo establecido en el plan de estudios y de acuerdo con la reglamentación y obligaciones existentes.

1.e. La carrera cuenta con mecanismos sistemáticos de orientación académica para los estudiantes mientras cursan el plan de estudios y demuestra la eficacia de su aplicación.

1.f. La carrera se organiza para otorgar las facilidades necesarias para llevar a cabo prácticas profesionales, salidas a terreno, trabajos de titulación y de tesis o cualquier otra actividad contemplada en el plan de estudios

1.g. La carrera cuenta con instancias efectivas de comunicación y participación de los docentes. La carrera demuestra que estas instancias facilitan la coordinación con las autoridades de la carrera respecto a las materias propias de las funciones docentes.

1.h. La unidad académica cuenta con sistemas de información y herramientas de gestión académica y administrativa adecuadas a las necesidades de gestión y comunicación en la carrera.

1.i. La institución ha comprometido recursos financieros que garantizan la sustentabilidad de la carrera y que aseguran la permanencia proyectada de los estudiantes en el tiempo. Producto de lo mismo, la unidad académica dispone de recursos financieros suficientes y un presupuesto anual actualizado y fundamentado, que le permite mantener condiciones adecuadas para el funcionamiento de la carrera, con mecanismos eficaces de control presupuestario.

## CRITERIO 2: OBJETIVOS EDUCACIONALES

La carrera cuenta con una clara definición de sus objetivos educacionales, que responden a la misión institucional.

2.a. La carrera declara sus objetivos educacionales y el campo ocupacional de manera formal y los expresa con claridad.

2.b. Los objetivos educacionales de la carrera son coherentes con la misión institucional.

### Definición

*Objetivos Educacionales: declaración sobre la aspiración del profesional que se desea formar y que se verifica luego de al menos dos años de ejercicio profesional. Es sinónimo de perfil profesional.*

## CRITERIO 3: PERFIL DE EGRESO

La carrera cuenta con un perfil de egreso pertinente que responde a los objetivos educacionales e incluye los atributos del graduado. Es conocido por los estudiantes y la comunidad académica en general y es difundido al medio externo relevante para la carrera.

3.a. El perfil de egreso está formalizado y se expresa con claridad. En caso de existir menciones, estas se encuentran descritas en el perfil de egreso.

3.b. El perfil de egreso ha sido definido de acuerdo con los propósitos institucionales, el modelo educativo y los objetivos educacionales de la carrera.

3.c. El perfil de egreso es consistente con el título entregado y el nivel educacional de la carrera.

3.d. El perfil de egreso considera los siguientes atributos del graduado.

*Las competencias del perfil de egreso que se indican a continuación se declaran de forma genérica y son aplicables a las ingenierías de base científica. Cada declaración puede ser ampliada y dársele un énfasis particular en un contexto disciplinario específico mediante un perfil de egreso propio que considere el modelo educativo institucional y la especialidad, pero esta declaración no debe ser alterada en su esencia ni omitir sus elementos individuales.*

Se presentan a continuación los atributos del graduado que serán exigibles en los procesos de acreditación a partir del año 2024. Las carreras podrán optar a trabajar con estos atributos para sus procesos de acreditación del año 2023, si así lo definen.



Atributos del graduado	Para titulados de una carrera de ingeniería de base científica
<b>Conocimiento de ingeniería:</b>	<b>1:</b> aplica conocimientos de matemáticas, ciencias naturales, computación, fundamentos de ingeniería y de una especialización de ingeniería para la solución de problemas complejos en ingeniería (ver perfil de conocimientos 1-4).
<b>Análisis de problemas</b>	<b>2:</b> identifica, formula, busca literatura y analiza problemas complejos en ingeniería, alcanzando conclusiones fundamentadas en el uso de principios de matemáticas, ciencias naturales y ciencias de la ingeniería, con consideraciones para el desarrollo sostenible* (ver perfil de conocimientos 1-4).
<b>Diseño/ desarrollo de soluciones</b>	<b>3:</b> diseña soluciones para problemas complejos de ingeniería y diseña sistemas, componentes o procesos que satisfacen las necesidades identificadas, considerando aspectos de salud y seguridad pública, costo de ciclo de vida del proyecto, carbono neto cero, así como también aspectos de recursos culturales, sociales o ambientales, según se requiera (ver perfil de conocimientos 5).
<b>Indagación</b>	<b>4:</b> conduce estudios de problemas complejos usando conocimientos basados en investigaciones y métodos de investigación, incluyendo diseño de experimentos, análisis e interpretación de datos y síntesis de la información para producir conclusiones válidas (ver perfil de conocimientos 8).
<b>Uso de herramientas</b>	<b>5:</b> crea, selecciona, aplica y reconoce las limitaciones de las técnicas, de los recursos y de las herramientas de ingeniería y TI modernas, incluida la predicción y el modelamiento para problemas complejos de ingeniería (ver perfil de conocimientos 2 y 6).
<b>El ingeniero y el mundo</b>	<b>6:</b> analiza y evalúa el impacto para la sociedad, la economía, los efectos legales y ambientales, de salud y seguridad que conllevan la práctica como ingeniero profesional en la solución de problemas complejos de ingeniería que contribuyan a un desarrollo sostenible* (ver perfil de conocimientos 1, 5 y 7).
<b>Ética</b>	<b>7:</b> aplica principios éticos, de diversidad e inclusión, en los ámbitos profesional, tecnológico, de manejo de datos; y cumple con las normas de la práctica de la ingeniería (ver perfil de conocimientos 9).
<b>Trabajo individual y en equipo</b>	<b>8:</b> se desenvuelve eficazmente como individuo y como miembro o líder en equipos diversos e inclusivos y en entornos multidisciplinarios presenciales y remotos (ver perfil de conocimientos 9).
<b>Comunicación</b>	<b>9:</b> se comunica eficaz e inclusivamente con respecto a actividades complejas de ingeniería con la comunidad de ingenieros y con la audiencia objetivo. Es capaz de comprender, escribir y presentar ante una variedad de audiencias (ver perfil de conocimientos 9).
<b>Gestión de proyectos y finanzas</b>	<b>10:</b> Aplica conocimiento y comprensión de los principios de administración y de toma de decisiones económicas en ingeniería a su propio trabajo, como miembro o líder en un equipo y como gestor de proyectos en entornos multidisciplinarios.
<b>Aprendizaje permanente</b>	<b>11:</b> reconoce la necesidad y tiene la preparación y capacidad para el aprendizaje autónomo permanente; e incorpora creatividad, adaptabilidad y pensamiento crítico en el contexto de los cambios tecnológicos (ver perfil de conocimientos 8).

\*Representado en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.

3.e. El perfil de egreso es conocido por los estudiantes y comunidad académica en general y difundido al medio externo relevante para la carrera.

**CRITERIO 4: PLAN DE ESTUDIOS.**

El diseño del plan de estudios es consistente con el modelo educativo y con el perfil de conocimientos de una carrera de ingeniería de base científica. La carrera demuestra que el plan de estudios está orientado al logro del perfil de egreso y de los atributos del graduado.

4.a. La carrera estructura su plan de estudios, programas de asignaturas y actividades curriculares en función del perfil de egreso y del modelo educativo.

4.b. La carrera establece resultados de aprendizaje en cada asignatura para que los estudiantes logren las competencias del perfil de egreso, incluyendo los atributos del graduado. Los resultados de aprendizaje también pueden establecerse a nivel de ciclos o niveles de formación para demostrar el logro de las competencias.

4.c. La carrera demuestra que el plan de estudios incluye como mínimo los siguientes conocimientos:

**Perfil de conocimientos**

<b>El plan de estudios de una carrera de ingeniería de base científica incluye:</b>
<b>1:</b> una comprensión sistemática, basada en la teoría, de las <b>ciencias naturales</b> , así como de tópicos de <b>ciencias sociales</b> aplicables a la disciplina.
<b>2:</b> <b>matemáticas</b> conceptuales, análisis numérico, estadística, análisis de información y aspectos formales de ciencias computacionales y de la información que soporten el análisis detallado y el modelamiento aplicable a la disciplina.
<b>3:</b> una formulación sistemática, basada en la teoría, de los <b>fundamentos de ingeniería</b> requeridos en una disciplina.
<b>4:</b> <b>conocimientos especializados</b> de ingeniería que proporcionan los marcos teóricos y los conocimientos de las áreas de la práctica de la disciplina de ingeniería; muchos de los cuales están en la vanguardia de la disciplina.
<b>5:</b> conocimiento que apoya el <b>diseño y operaciones en ingeniería</b> utilizando las tecnologías de las área de práctica de la disciplina de ingeniería. Esto incluye, por ejemplo, el uso eficiente de recursos, impactos al medioambiente, costo del ciclo de vida, reutilización de recursos, carbono neto cero y conceptos similares.
<b>6:</b> conocimiento del <b>uso de tecnologías</b> en las áreas de la práctica de la disciplina de ingeniería. Reconocer el uso eficiente de las tecnologías como herramientas de toma de decisiones y la optimización de procesos en distintos ámbitos.
<b>7:</b> conocimientos sobre el <b>rol de la ingeniería en la sociedad</b> y la identificación de situaciones en la práctica de la ingeniería, tales como la responsabilidad profesional de un ingeniero en la seguridad pública y el desarrollo sostenible*
<b>8:</b> conocimiento de la <b>literatura de investigación</b> actualizada de la disciplina. Desarrollo del pensamiento crítico y los enfoques creativos para evaluar los problemas emergentes.
<b>9:</b> <b>ética, comportamiento y conducta inclusiva, comunicación, trabajo en equipo y colaborativo.</b> Conocimiento de la ética, responsabilidades y normas profesionales de la práctica de la ingeniería. Desarrollo de actitudes inclusivas y comprensión de la diversidad producto de etnia, género, edad, habilidad física, etc., considerando el respeto mutuo y desenvolviéndose eficazmente como individuo y como miembro o líder en equipos diversos. Se comunica y colabora utilizando múltiples medios de comunicación de manera clara e inclusiva con la comunidad de ingenieros, con equipos multidisciplinarios y con la audiencia objetivo en el curso de todas sus actividades. Comprende, escribe y presenta temas relevantes de su campo de acción ante una variedad de audiencias.

\*Representado en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.

- 4.d. El plan de estudios considera actividades teóricas y prácticas de manera integrada.
- 4.e. El plan de estudios considera prácticas profesionales consistentes con el perfil de egreso. La carrera entrega orientación sobre lugares de práctica a los estudiantes. Los mecanismos de orientación pueden ser variados, tales como convenios o alianzas, entre otros.
- 4.f. El plan de estudios y las actividades curriculares se dan a conocer de manera formal y sistemática a los estudiantes, quienes tienen acceso a los programas de las asignaturas.
- 4.g. Se cuantifica el trabajo académico real de los estudiantes en unidades comparables (créditos u horas cronológicas), según un estándar razonado y proporcional. Se sugiere adherir al Sistema de Créditos Transferibles (SCT-Chile).
- 4.h. Para el proceso de titulación la carrera ha definido una o más actividades, de acuerdo con el perfil de egreso. Dichas actividades son parte del plan de estudios y son consideradas dentro de la duración declarada de la carrera.

## CRITERIO 5: PERSONAL DOCENTE

La carrera cuenta con un personal docente suficiente e idóneo para cumplir con las actividades y aprendizajes comprometidos en el plan de estudios, lo que permite a sus estudiantes avanzar sistemáticamente hacia el logro del perfil de egreso y de los atributos del graduado.

5.a. La dotación, permanencia y dedicación del personal docente garantiza la implementación del plan de estudios, la docencia directa y las actividades propias del proceso de enseñanza-aprendizaje (evaluaciones, trabajos prácticos, preparación de tareas y ejercicios, uso de tecnologías de la información y la comunicación), así como la atención y guía de los estudiantes fuera del aula.

5.b. La carrera dispone de docentes calificados y competentes para el logro de los objetivos o resultados de aprendizaje del plan de estudios y del perfil de egreso. La calificación y competencia del personal docente considera la formación académica y pedagógica, así como la trayectoria en el campo científico, el profesional o el técnico.

5.c. La carrera cuenta con un cuerpo de profesores estables que le da sustentabilidad en el tiempo al proyecto educativo de la carrera, en todas sus sedes, jornadas y modalidades.

5.d. Se aplican normas y mecanismos sistemáticos conocidos de selección, contratación y desvinculación de los docentes.

5.e. Se aplican políticas y mecanismos sistemáticos para la actualización y perfeccionamiento de los docentes de la carrera en aspectos pedagógicos propios del modelo educativo institucional.

5.f. Se aplican políticas y mecanismos sistemáticos para la actualización y perfeccionamiento de los docentes de la carrera en aspectos disciplinarios asegurando una mejora permanente de sus calificaciones y competencias, acorde a los propósitos institucionales.

5.g. Se aplican mecanismos sistemáticos para la evaluación de la actividad del personal docente, en particular su rol en el logro de los resultados de aprendizaje. Estos mecanismos consideran la opinión de estudiantes y de jefaturas. Los resultados de la evaluación se utilizan para mejorar su desempeño, cuando corresponda.

## CRITERIO 6: INFRAESTRUCTURA Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE

La carrera dispone de la infraestructura, los recursos para el aprendizaje y el equipamiento requerido para que los estudiantes logren los resultados de aprendizaje. Asimismo, se aplican mecanismos para el desarrollo, la reposición, el mantenimiento y la seguridad de dichas instalaciones y recursos.

6.a. La carrera usa infraestructura, como salas de clases, laboratorios, lugares de estudio, entre otros, para el proceso de enseñanza aprendizaje concordante con el perfil de egreso, suficiente y funcional a las necesidades del plan de estudios, a la cantidad de estudiantes, a la jornada y modalidad.

6.b. La carrera usa recursos tecnológicos, computacionales y de apoyo al proceso de enseñanza aprendizaje que concuerdan con el perfil de egreso y el plan de estudios y disponibles para los estudiantes según jornada y modalidad.

6.c. La biblioteca dispone de colecciones, instalaciones, equipos, personal especializado en bibliotecología, acceso a redes y procesos técnicos concordantes con el perfil de egreso y el plan de estudios y disponibles para los estudiantes según jornada y modalidad.

6.d. Existen los recursos financieros necesarios para satisfacer continuamente las necesidades de provisión, reposición, mantenimiento y actualización de la infraestructura, equipos y recursos para la enseñanza.

6.e. Existe un adecuado equilibrio entre el número de alumnos en cada curso y el total de recursos disponibles.

6.f. Se cuenta con protocolos de accesibilidad universal y seguridad que son aplicados rigurosamente en todos los recintos.

### CRITERIO 7: VINCULACIÓN CON EL MEDIO

La carrera mantiene una interacción sistemática con su entorno significativo, de acuerdo con la política de vinculación con el medio de la institución, así como con los propósitos de la unidad académica. Se aplican periódicamente mecanismos de evaluación del resultado de las actividades de vinculación con el medio, de acuerdo con los propósitos de la institución y de la unidad.

7.a. La carrera planifica las actividades, dispone de recursos para su realización y aplica mecanismos para evaluar su resultado. La vinculación con el medio responde a la política institucional en la materia, así como a los propósitos de la unidad académica.

7.b. Las actividades de vinculación con el medio dan a conocer el medio profesional al estudiante.

7.c. La unidad y la carrera evalúan sistemáticamente el resultado de la contribución de las actividades de vinculación con el medio al proceso formativo, de acuerdo con la política institucional y los propósitos de la unidad académica. El resultado de la evaluación es utilizado para la mejora continua de las actividades.

### CRITERIO 8: RESULTADOS DEL PROCESO FORMATIVO.

La carrera cuenta con políticas y mecanismos orientados a apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje, monitorear la consistencia de los instrumentos de evaluación y verificar la progresión académica hacia la titulación. Los resultados de las políticas y mecanismos son evaluados periódicamente y se aplican medidas correctivas cuando corresponda, de acuerdo con los mecanismos de autorregulación existentes. La carrera presenta evidencia sustantiva del cumplimiento del perfil de egreso, así como de los objetivos educacionales.

8.a. La carrera cuenta con reglamentos y mecanismos de admisión explícitos y de público conocimiento. Estas normas son aplicadas de manera sistemática en la admisión y son consistentes con las exigencias del plan de estudios. La carrera explica su sistema de admisión especial cuando corresponda.

8.b. La carrera toma en cuenta las condiciones de ingreso de los estudiantes con respecto a los requerimientos del plan de estudios y provee recursos y actividades para la nivelación, toda vez que se requiera.

8.c. La carrera ha articulado políticas y mecanismos para:

i. Fortalecer hábitos y técnicas de estudio de sus estudiantes.

ii. Intervenir con estrategias de apoyo, para el mejoramiento de resultados de los estudiantes, cuando sea apropiado.

iii. Desvincular a estudiantes de la carrera cuando corresponda, de acuerdo a la reglamentación vigente.

8.d. La carrera, con participación de los docentes, se asegura y demuestra que las estrategias pedagógicas son adecuadas para producir el aprendizaje de los estudiantes y que los instrumentos de evaluación permiten verificar que este aprendizaje se logra, lo que a su vez asegura que se logran las competencias del perfil de egreso y los atributos del graduado. Los mecanismos utilizados consideran la opinión de los estudiantes sobre estos instrumentos de evaluación. Según los resultados, la carrera aplica medidas correctivas que conducen a la mejora continua del aprendizaje.

8.e. En el proceso de titulación los estudiantes demuestran su capacidad para diseñar soluciones a problemas complejos de ingeniería de acuerdo con el perfil de egreso, el que incluye los atributos del graduado.

Un problema complejo de ingeniería es aquel que no puede ser resuelto sin un conocimiento profundo de ingeniería que considere la teoría, los fundamentos de la ingeniería necesarios en la especialidad, conocimientos especializados en la vanguardia de la disciplina y que involucra una o más de las siguientes características:

- a) Asuntos de gran alcance técnicos o no técnicos como éticos, de sostenibilidad, legales, políticos, económicos y sociales y la consideración de requisitos futuros.
- b) No tienen una solución obvia y requieren de pensamiento abstracto, creatividad y originalidad en el análisis para formular modelos adecuados.
- c) Involucran situaciones poco frecuentes o problemas novedosos.
- d) Abordan problemas que no están contemplados en las normas y códigos de la práctica profesional de la ingeniería.
- e) Involucran la colaboración entre disciplinas de la ingeniería, otros campos, y/o diversos grupos de interés con amplia variedad de necesidades.
- f) Son problemas de alto nivel que incluyen muchos componentes o subproblemas que pudiesen requerir de un enfoque sistémico.

8.f. La progresión académica de los estudiantes hacia su titulación es una preocupación permanente de la carrera, la que realiza un análisis sistemático de las causas de deserción, de detección temprana de problemas de retención, asignaturas críticas, tiempo de permanencia, titulación oportuna y tasas de titulación de los estudiantes, consideradas por cohortes, sede, jornada y modalidad. Define y aplica acciones que mejoran los resultados, resguardando el cumplimiento del perfil de egreso y la toma de decisiones respecto a los resultados obtenidos, cuando sea necesario.

8.g. La carrera cuenta con registro del rendimiento académico de sus estudiantes, quienes tienen acceso a la información de su avance curricular.

8.h. La carrera aplica sistemáticamente mecanismos para conocer las tasas de ocupación, el tipo de empleo y las características del desempeño profesional de sus titulados. La carrera compara

esta información con los objetivos educacionales para verificar el logro de estos. Dicha información se utiliza para mejorar el proceso formativo, cuando corresponda.

### CRITERIO 9: AUTORREGULACIÓN Y MEJORA CONTINUA

La carrera cuenta con mecanismos de autorregulación y de mejora continua; para ello utiliza la información disponible, proveniente de los diagnósticos efectuados, para diseñar e implementar acciones de mejora de su proceso formativo. Además, la carrera presenta evidencia del compromiso de los estamentos y de las personas con la cultura de la calidad demostrando que implementa las acciones comprometidas en sus planes de mejoramiento.

9.a. La carrera cuenta con un sistema de aseguramiento de la calidad de su proceso formativo que promueve el fortalecimiento de la capacidad de autorregulación y de su mejora continua.

9.b. La carrera revisa y mantiene actualizado los objetivos educacionales a través de consulta a titulados<sup>4</sup> y empleadores, de todas sus sedes, jornadas y modalidades. La revisión es periódica y también considera la misión institucional.

9.c. La carrera revisa y mantiene actualizado el perfil de egreso a través de la consulta a fuentes y partes interesadas internas y externas, incluyendo titulados y empleadores, de todas sus sedes, jornadas y modalidades, asegurando la consistencia con los objetivos educacionales. La revisión es periódica, considera el modelo educativo institucional y se realiza en un plazo máximo al de la duración formal del plan de estudios.

9.d. La carrera revisa y mantiene actualizado el plan de estudios a través de la consulta a fuentes y partes interesadas internas y externas, incluyendo titulados y empleadores, de todas sus sedes, jornadas y modalidades, asegurando la consistencia con el perfil de egreso. La revisión es periódica, considera el modelo educativo institucional y se realiza de manera permanente.

9.e. El proceso de autoevaluación fue participativo y las conclusiones han sido elaboradas considerando la opinión de docentes, estudiantes, titulados y empleadores, con un amplio nivel de participación.

9.f. En el informe de autoevaluación la carrera ha identificado sus debilidades, en caso de existir, de acuerdo con los criterios de evaluación y ha comprometido acciones de mejora para subsanarlas. El plan de mejoras cuenta con el respaldo de las autoridades institucionales para su concreción.

---

<sup>4</sup> Ver en este mismo manual el anexo 9.3 Perfil de competencias profesionales.



9.g. La carrera demuestra que ha implementado las acciones comprometidas en sus planes de mejoramiento y que ha evaluado su logro periódicamente, como evidencia de la cultura de la calidad interna presente en la carrera.

## 6. La decisión de acreditación

La decisión de acreditación es tomada por el Consejo de Tecnología de Acredita CI y depende de la valoración que este Consejo haga de cada uno de los criterios de evaluación. La valoración se realiza según las siguientes definiciones:

Un criterio **se cumple** cuando hay evidencia de que las políticas y mecanismos se conocen y se aplican de manera sistemática mostrando resultados que se revisan periódicamente.

En caso contrario, estamos en presencia de una debilidad: el criterio **no se cumple** y será valorado ya sea como **en desarrollo**, o bien como **inexistente**. Un criterio que no se cumple está en desarrollo cuando hay evidencia de que las políticas y mecanismos se conocen y aplican, con resultados preliminares, pero no hay evidencia todavía de que sea sistemático. Un criterio que no se cumple es inexistente cuando la carrera presenta defectos en su diseño o no cuenta con políticas o mecanismos formales ni sistemáticos en su proceso formativo, o solo existen declaraciones, pero sin evidencia de su aplicación.

La decisión de acreditación se basa en la siguiente información:

- a. El informe de autoevaluación de la carrera,
- b. El informe final del comité de pares evaluadores
- c. Comentarios y observaciones de la carrera (si las hay)
- d. El resultado del análisis de los comentarios y observaciones de la carrera en conjunto con el presidente del comité de pares evaluadores.

Cuando la carrera se imparta en distintas sedes, jornadas y modalidades presencial o semipresencial todas ellas serán evaluadas en su conjunto. La decisión de acreditación considerará la evaluación más débil, para decidir.

El proceso conduce a uno de los siguientes resultados. La carrera:

- a. **Acredita**
- b. **No Acredita**

### **La carrera acredita y esta acreditación será por el total del período de 7 años:**

La carrera demuestra que cumple con los criterios de evaluación de Acredita CI. La carrera contempla en su diseño los atributos del graduado, los que están incorporados a través de su propio perfil de egreso. Cuenta con mecanismos de mejora continua para el logro de la formación comprometida habiendo evidencia de que las políticas y mecanismos se conocen y se aplican de manera sistemática mostrando resultados que se revisan periódicamente. La carrera demuestra que se logra el perfil de egreso.

**La carrera acredita, pero presenta algunas debilidades en calidad No Cumple – En Desarrollo:**

Se visitará la carrera en tres años. En este caso cumple con los criterios de evaluación de Acredita CI, pudiendo presentar algunos criterios con debilidades en la categoría “no cumple-en desarrollo”. La carrera contempla en su diseño los atributos del graduado, los que están incorporados a través de su propio perfil de egreso. La carrera demuestra que se logra el perfil de egreso. Sin embargo, la evidencia es reciente, faltando verificar su permanencia en el tiempo.

**La carrera no acredita**

La carrera no acredita cuando tiene uno o más criterios de evaluación con debilidades en la categoría “No Cumple – Inexistente”, porque presenta defectos en su diseño, no contempla la totalidad de los atributos del graduado o no cuenta con políticas o mecanismos formales ni sistemáticos en su proceso formativo, o solo existen declaraciones, pero sin evidencia de su aplicación, o hay evidencia de que no se logra el perfil de egreso.

Más detalles sobre la decisión de acreditación se encuentran descritos en el **Manual de Normas y Procedimientos para la Acreditación de Ingenierías bajo criterios internacionales versión 4 de septiembre 2020**.

## **7. Proceso e Informe de Autoevaluación**

Para someterse a acreditación la carrera deberá desarrollar un proceso de autoevaluación y elaborar un informe de autoevaluación como resultado de ese proceso. En el proceso de autoevaluación realiza un análisis crítico, detallado y reflexivo acerca del cumplimiento de los 9 criterios de evaluación de Acredita CI. La autoevaluación es siempre una forma interna de evaluación que está orientada a fortalecer la capacidad de gestión de la unidad para conducir a una planificación sistemática de acciones de mejoramiento de su proceso formativo y a un seguimiento de las mismas, lo que fortalece la cultura interna de la calidad.

El Informe de Autoevaluación es el documento donde la carrera presenta sus argumentos para dar cuenta del logro de los criterios de evaluación, citando la evidencia que respalda el juicio evaluativo que hace acerca de su cumplimiento. Los argumentos y evidencia deben reflejar con claridad y explícitamente la situación de la carrera en cada sede, jornada o modalidad en la que se imparta. El Informe de Autoevaluación podrá presentar fortalezas y debilidades que resultan de la reflexión que ha hecho la carrera, separadas por sede, jornada y modalidad cuando corresponda.

Como conclusión de su reflexión, la carrera se compromete a establecer acciones para mantener sus fortalezas y superar sus debilidades. El compromiso para superar las debilidades quedará explícito en el Plan de Mejoras, indicando claramente la sede, jornada o modalidad en la que aplica, cuando corresponda. El Plan de Mejoras es una guía de acciones futuras, que podrá incorporarse al Plan de Desarrollo de la carrera para asegurar su logro. Acredita CI proporciona el formato para el Informe de Autoevaluación a través del documento “*Guía de Autoevaluación para la acreditación bajo criterios internacionales de carreras de Ingeniería de base científica*” publicada en su sitio web.

En el Informe se hará un análisis crítico de los mecanismos de evaluación y medición de los atributos del graduado, en cada sede, jornada y modalidad, cuando corresponda. Y de la organización y planificación de acciones de mejora si los resultados no son los esperados. En general, la carrera hará el análisis del logro, medición y evaluación de su perfil de egreso y de los atributos del graduado en particular, presentando esa evidencia como anexo al Informe de Autoevaluación.

Acredita CI solicita la presentación de tres anexos específicos y obligatorios:

**TABLA 1:** matriz de contribución de las asignaturas al perfil de egreso y los atributos del graduado.

**TABLA 2:** tabla de correspondencia entre los atributos del graduado y resultados de aprendizaje de las asignaturas.

**TABLA 3:** tablas de progreso en matrícula, retención y titulación de los 10 últimos años.

Más detalles sobre este punto, se encuentran descritos en la **Guía de Autoevaluación para la acreditación bajo criterios internacionales de carreras de ingeniería de base científica**.

## 8. La evaluación externa por parte del comité de pares evaluadores

El proceso de acreditación no está completo sin la evaluación externa realizada por pares evaluadores. El comité de pares evaluadores está constituido por docentes, académicos o profesionales que comprenden el ámbito de acción de la carrera cuyo rol es clave para la Agencia. Son personas técnicamente actualizadas, de excelente trato interpersonal, con competencias de comunicación altamente desarrolladas, que actúan con profesionalismo porque sus observaciones estimulan la innovación en la carrera para que extiendan sus esfuerzos hacia una mejora continua en el proceso formativo. Su mirada es objetiva y bien intencionada.

La evaluación externa se enriquece cuando la unidad académica presenta al proceso de acreditación todas sus carreras en forma simultánea. Esto implica un análisis simultáneo de la unidad académica y el cumplimiento de sus propósitos y una mirada específica por carrera. De esta forma se logra un proceso completo y eficiente. Cada comité estará encabezado por un evaluador transversal, cuya función es analizar y verificar el rol de la Unidad en el desempeño de las carreras y su consistencia interna en relación con los propósitos institucionales liderando al comité completo durante el cumplimiento de su propósito en la visita. Cada carrera estará a cargo de un evaluador, quien, acompañado del secretario de visita, llevará a cabo el proceso de evaluación externa de la carrera.

La evaluación externa se ocupa de verificar en terreno el cumplimiento de los criterios de evaluación, basándose para ello en el Informe de Autoevaluación provisto por la carrera y en la evidencia recopilada durante la revisión y análisis documental realizado previo a la visita. Mayor detalle de las actividades previo y durante la visita realizada por los pares evaluadores, se podrá encontrar en el **Manual de Normas y Procedimientos para la acreditación bajo criterios**

internacionales de ingenierías versión 4 de septiembre 2020 publicado en el Sitio Web de Acredita CI.

#### El programa de visita para el proceso de acreditación

El programa de visita es definido por Acredita CI y es puesto a consideración de la carrera. Será elaborado según definición del comité de pares evaluadores en relación con las características de la carrera.

#### **Programa de visita tipo**

La siguiente propuesta de programa de visita considera una visita a una unidad académica con tres carreras en proceso con un plan común entre las tres carreras. Las carreras se dictan en una sede, en jornada diurna. En el caso de una visita a más de una sede, jornadas o modalidades, se harán los ajustes necesarios, que puede incluir aumentar el número de días de visita o el número de evaluadores.

<b>Día 0</b>	
20:00 hrs.	Reunión interna del Comité de Pares, previa al inicio de la visita
<b>Día 1</b>	
08:30 hrs.	Traslado del Comité de Pares a la Institución
9:00 – 9:30 hrs. Participa todo el comité	Reunión con autoridades institucionales. <i>(Para la revisión de las políticas institucionales sobre docencia y resultados del proceso de formación, recursos institucionales, aseguramiento interno de la calidad y vinculación con el medio que impacten directamente a la carrera).</i>
09:35 – 11:00 hrs. Participa todo el comité	Reunión con autoridades de la unidad que dicta las carreras y con encargados de diseño curricular <i>(Para la revisión de la definición de los propósitos de la unidad y su impacto en la gestión de las carreras). (Para la revisión del diseño del perfil de egreso y del plan de estudios en función de los objetivos educacionales. Para conocer los servicios de apoyo a los estudiantes).</i>
11:05 – 12:05 hrs. Participa todo el comité	Reunión con docentes/académicos de Plan Común. Los asistentes no deben tener cargos directivos.
12:10 – 13:10 hrs. Participa todo el comité	Reunión con estudiantes de Plan Común
13:15 – 15:00 hrs.	Almuerzo y reunión interna del Comité de Pares
15:15 – 16:30 hrs. Participa todo el comité	Recorrido por las instalaciones de asignaturas de Plan Común
16:35 – 18:45 hrs.	Reunión del Comité para revisión de antecedentes
19:00 – 20:00 hrs.	Reunión con empleadores de titulados, <b>sin vínculos contractuales con la Institución, si son egresados de la carrera que tengan más de 10 años de egreso.</b> Asistencia mínima de 5 empleadores que sean jefes directos de los titulados. <i>(Para la revisión del desempeño profesional de los titulados)</i>
20:05 hrs.	Traslado del comité a hotel.

<b>Día 2 – cada comité por separado se reúne con los representantes de cada carrera repitiendo este programa por carrera</b>	
08:30 hrs.	Traslado del Comité de Pares a la Institución.
09:00 – 10:00 hrs.	Reunión con autoridades de la carrera <i>(Para conocer en detalle los mecanismos de enseñanza aprendizaje)</i>
10:05 – 11:00 hrs.	Reunión con docentes de asignaturas específicas del plan de estudios para verificar mecanismos de logro de los resultados de aprendizaje <i>(Especialmente aquellos relacionados con las asignaturas en que se comprometen resultados para el diseño o desarrollo de soluciones de problemas complejos de ingeniería)</i>
11:05 – 11:45 hrs.	Reunión con alumnos representativos de cada cohorte y que incluya alumnos en vías de titulación. <i>(Para la revisión de las actividades de las asignaturas, así como de los servicios de apoyo a los estudiantes).</i>
11:50 – 12:50 hrs.	Recorrido por las instalaciones de especialidad <i>(Para conocer actividades de laboratorio específicas que respalden el aprendizaje de los estudiantes).</i>
13:00 – 14:45 hrs.	Almuerzo y reunión interna del comité.
15:00 – 16:00 hrs.	Reunión con estudiantes de asignaturas específicas del plan de estudios <i>(Para conversar acerca del diseño o soluciones de sus problemas complejos, aquellos que el evaluador solicitó mirar en detalle)</i>
16:05 – 17:30 hrs.	Otras reuniones para la revisión de las evidencias del logro de los aprendizajes de los estudiantes.
18:00 – 19:00 hrs.	Reunión con titulados de la carrera que representen distintas generaciones, <b>sin vínculos contractuales con la Institución</b> . Asistencia mínima de 10 titulados con 6 meses de experiencia laboral. <i>(Para la revisión del desempeño profesional de los titulados).</i>
20:05 hrs.	Término de las actividades del día 2. Retiro de los comités.

<b>Día 3</b>	
08:30 hrs.	Traslado del Comité de Pares a la Institución.
09:00 – 13:00 hrs.	Reunión interna de trabajo del Comité de Pares Evaluadores. Reunión conjunta del comité para analizar los resultados por unidad y por carrera
13:00 – 14:00 hrs.	Almuerzo del Comité.
14:15 – 14:30 hrs.	Socialización de hallazgos entre el Comité de Pares Evaluadores y las autoridades de la carrera.
14:35 hrs.	Término de la visita.

- Se solicita considerar oficina de trabajo adecuada para el trabajo a realizar por el comité de pares evaluadores el día 1, en que actúan conjuntamente.
- Se solicita considerar una oficina de trabajo por cada comité, para las actividades del día 2 y si fuese necesario, se dejará allí información adicional que el comité haya solicitado previo a la visita para verificar durante la misma.
- La carrera pondrá a disposición del comité una persona para apoyar la gestión administrativa y el cumplimiento riguroso del programa de la visita en la puntualidad de las reuniones.
- Cada comité por carrera será acompañado por un secretario de visita.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Definición de Actividades complejas de Ingeniería

**Actividades complejas** significan actividades o proyectos de ingeniería que tienen algunas o todas las características siguientes y que son aquellas que se abordan en el proceso formativo:

Atributo	Definición
Rango de recursos	<b>1:</b> Involucran el uso de diversos recursos, incluyendo personas, datos e información, recursos naturales, financieros y físicos, y tecnologías apropiadas, incluidos <i>software</i> de análisis y/o diseño.
Nivel de interacciones	<b>2:</b> Requieren una resolución óptima de las interacciones entre cuestiones de amplio alcance y/o técnicas, no técnicas, y de ingeniería contradictorias.
Innovación	<b>3:</b> Involucran el uso creativo de principios de ingeniería, soluciones innovadoras para un propósito consciente, y conocimiento basado en la investigación.
Consecuencias para la sociedad y el medio ambiente	<b>4:</b> Tienen consecuencias significativas en una variedad de contextos, caracterizadas por la dificultad de predicción y mitigación.
Familiaridad	<b>5:</b> Pueden ir más allá de experiencias previas aplicando enfoques basados en principios.

### 9.2. Ejemplos de problemas complejos de ingeniería

#### EJEMPLO 1: Ingeniería Civil Mecánica

Examen del curso: **Transferencia de Calor**

El propósito de este examen es operacionalizar los conceptos a situaciones tecnológicas. El tema del examen es “Transferencia de calor en la industria del gas natural”.

1.-Transporte marítimo en contenedores esféricos (40%).

El gas natural (mayoritariamente metano) es un combustible producido principalmente en países del Asia Pacífico. Para su uso en Chile debe pasar por tres procesos: Licuefacción en origen,

transporte marítimo y regasificación en destino. Como la licuefacción requiere llevar el gas desde temperaturas ambiente en estado gaseoso hasta  $-160^{\circ}\text{C}$  en estado líquido, con complejidad termodinámica considerable, dejamos de lado este proceso, focalizando en los otros dos.

Se realiza en barcos de 5 a 6 estanques, de 20000 m<sup>3</sup> cada uno. Los estanques son de aluminio ( $k=177\text{ W/mK}$ ), de 4 cm de espesor, con una capa externa de aislante (perlita,  $k=0,046\text{ W/mK}$ ) y otra capa más externa de aluminio (5 mm) para proteger la aislación. Tienen un flange ecuatorial que divide los dos hemisferios y sirve de soporte al tanque en la bodega. Durante el viaje el gas natural saturado a presión atmosférica se mantiene a  $-160^{\circ}\text{C}$ , gracias a i) una buena aislación del estanque y ii) una auto-refrigeración producida por la evaporación (boil-off) de una pequeña parte del gas. Este gas sirve de combustible para la propulsión del barco. La temperatura media del aire es de  $12^{\circ}\text{C}$ .

a) Se pide encontrar el espesor del aislante para permitir una evaporación de tan solo un 0,05% del contenido inicial de gas (en volumen) por día durante el viaje. Como primera aproximación considere como única resistencia térmica significativa la del aislante.

b) Con el espesor encontrado, evalúe la tasa de evaporación usando la formulación completa del problema: La temperatura del aire es de  $12^{\circ}\text{C}$  pero hay un coeficiente convectivo de  $20\text{ W/m}^2\text{K}$  entre el aire y el estanque. Se considera una ganancia solar promedio de  $350\text{ W/m}^2$ , que afecta a una proyección plana de la esfera (círculo). También existe una radiación desde toda la superficie del estanque hacia el espacio, cuya temperatura efectiva se estima en  $-10^{\circ}\text{C}$ . La emisividad de la cara externa del estanque es de 0,95.

## 2.-Regasificación en plantas ubicadas en Chile (60%).

La regasificación de gas natural tiene como parte central un estanque de almacenamiento y un vaporizador. En las plantas costeras se usa agua de mar como fluido caliente. El agua ingresa al evaporador a  $18^{\circ}\text{C}$  y debe devolverse al mar a no menos de  $13^{\circ}\text{C}$  por razones ambientales.

El equipo es el "Open Rack Vaporizer" (ORV) que se muestra esquemáticamente en la figura adjunta. Está compuesto de tubos verticales de aluminio. Por su interior sube el gas natural líquido, el que se evapora completamente y luego se calienta. Por el exterior de los tubos descende agua de mar, disponible a  $18^{\circ}\text{C}$ . El gas natural ingresa a  $-160^{\circ}\text{C}$  (estado saturado a 1 atm) y sale a  $10^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto en la sección superior de los tubos se transfiere calor sensible.

Los tubos son de 1 pulgada de diámetro exterior ( $0,0254\text{ m} \times 0,0221\text{ m}$ ) y están dispuestos en arreglo cuadrado con  $0,03175\text{ m}$  de separación. A diferencia de un intercambiador de carcasa y tubos, el flujo no es cruzado sino paralelo a los tubos con lo cual se debe definir un diámetro equivalente para aplicar las correlaciones de flujo turbulento. Se pide lo siguiente:

a) Primeramente fije la razón entre los caudales máxicos de agua y gas natural para cumplir con la meta de temperatura de salida del agua. Si se desea cumplir la meta de  $13^{\circ}\text{C}$ , el caudal de agua resultaría desmesuradamente grande. Se toma una temperatura de salida de agua de  $5^{\circ}\text{C}$ , contando con que el agua antes de devolverse al mar se llevará a  $13^{\circ}\text{C}$  mediante la combustión del boil-off del estanque de almacenamiento en tierra, en un cierto equipo que no se estudia en este control.

Ahora analice un tubo del ORV con un caudal de  $250\text{ kg/hr}$  de gas natural.

b) Trace las curvas de temperatura de ambos fluidos a lo largo del tubo. Determine las diferencias medias logarítmicas de temperatura para los tramos de evaporación y calentamiento sensible, y los correspondientes calores a intercambiar.

c) Estime la longitud del tramo de tubo para calentamiento sensible del gas. Puede usar la ecuación de Dittus-Boelter para estimar los coeficientes convectivos en ambos lados.

d) Estime la longitud del tramo de evaporación, considerando una forma simplificada de la ecuación de Gungor-Winterton, solo con el término de evaporación convectiva. Este es:

Coeficiente convectivo bifásico:

El parámetro de flujo bifásico, X (también en versión simplificada):

Propiedades Metano	Líquido	Vapor	unidades
Densidad	422,119	1,865	kg/ m <sup>3</sup>
Entalpías de saturación	287	797,7	kJ/kg
Calores específicos	3497	2235	J/kg K
Viscosidad	4,46×10 <sup>-6</sup>	5,0×10 <sup>-6</sup>	kg/m s
Conductividad térmica	0,26	0,013	W/m K

Propiedad	líquido	unidades
Densidad	1000	m <sup>3</sup> /kg
Calor específico	4194	J/kg K
Viscosidad	1,3×10 <sup>-3</sup>	kg/m s
Conductividad térmica	0,587	W/m K

## EJEMPLO 2: Ingeniería Civil Mecánica

Proyecto del curso **Ingeniería en Termofluidos**

Se ejecutará el proyecto durante el semestre.

Los alumnos forman grupos de a 3. Tienen supervisión continua, con presentaciones semanales.

### Proyecto: Aproximación conceptual a la introducción de potencia de origen nuclear en Chile

El campo energético nacional en la primera mitad del siglo XXI estará cada vez más tensionado por la creciente demanda de energía (si se considera que la electro movilidad hará depender el transporte cada vez más de centrales fijas).

En los últimos años se observa una fuerte incorporación de las energías renovables no convencionales (solar, eólica y geotérmica principalmente), la posible disminución de recursos hídricos para la generación hidroeléctrica, la resistencia del carbón a desaparecer, con nuevos proyectos que comprometen zonas hasta ahora inexplotadas, la importancia cada vez mayor del gas natural, para cuya distribución y uso el país ha realizado ingentes inversiones, entre otros factores relacionados.

Considerando que la generación en base a carbón deberá ir desapareciendo, se puede visualizar la energía nuclear como una de las alternativas para un sistema eléctrico completamente conectado



a nivel de país. (Se debe considerar por supuesto, que la generación a pequeña escala con ERNC y al margen de las redes nacionales seguirá siendo la mejor alternativa para poblaciones pequeñas y aisladas).

Algunos estudios académicos (tesis universitarias) se han desarrollado en Chile sobre energía nuclear, pero tienen una antigüedad de 10 años, esto es, antes del surgimiento masivo de las ERNC en el país. Esto cambia la situación en favor de energías más variables en el tiempo, que requieran la disponibilidad de algunas centrales de menor intermitencia.

Sin embargo, la baja disponibilidad de terrenos planos y con baja pendiente en las regiones de Copiapó y Coquimbo unidas a la enorme superficie requerida por las centrales solares y la baja disponibilidad de agua hacen también considerar como una alternativa la energía nuclear.

Se plantea realizar el proyecto de una central nuclear que se agregue al sistema interconectado, de una capacidad que sea una adición significativa al sistema energético nacional. Se intenta conocer las ventajas e inconvenientes de este tipo de generación en un país como Chile en base a un estudio ingenieril riguroso.

Se sabe que el proyecto de una central nuclear tiene gran importancia los fenómenos de transferencia de calor, en un sistema de flujo impuesto como es el reactor de fisión nuclear. De la capacidad de extraer el calor generado por la fisión depende la seguridad de la central. Este es el principal motivo por el cual se estudia este problema en este curso.

De particular importancia es abordar temas como (lista no exhaustiva):

- a) Aspectos diplomáticos, políticos, compromisos, tratados internacionales
- b) Escala de producción de energía apropiada en MW (e)
- c) Elección del concepto de reactor y planta
- d) Flujo de residuos y su disposición
- e) Impacto ambiental
- f) Ubicación de la central (sismicidad, densidad de población, inserción de la planta en alguna región)
- g) Diseño termo hidráulico de la instalación
- h) Especificación de sistemas de seguridad.
- i) Operación y calificación del personal
- j) Vida útil y desmantelamiento

#### Algunas nociones básicas

La ingeniería de reactores nucleares es multidisciplinaria. Físicos nucleares, ingenieros estructurales, ambientalistas etc., trabajan en el tema además de los ingenieros de termofluidos. Nos centramos en reactores de agua liviana que usan el sistema agua-vapor como fluido de trabajo (otros son: gases o metales líquidos).

La fuente energética de un reactor nuclear es el proceso de fisión en los elementos combustibles.

#### Ciclos de potencia

En el núcleo del reactor circula un refrigerante primario para extraer energía. Según el diseño del reactor, la turbina será energizada por el fluido primario o por un fluido secundario que recibe energía del primario.

Ejemplo del primer caso es el reactor de agua en ebullición (BWR), que usa el ciclo de potencia de Rankine.

En el reactor de agua presurizada (PWR) el refrigerante primario se mantiene en estado de líquido subenfriado. La turbina es energizada por vapor (fluido secundario) formado por intercambio de calor desde el refrigerante primario.

Datos de algunas plantas que usan el sistema agua/vapor:

(Tener en cuenta los datos críticos del agua,  $p=22,12$  Mpa,  $T=374,15^{\circ}\text{C}$ ).

	BWR	PWR
Constructor	General Electric	Westinghouse
N° de sistemas refr.	1	2
Potencia total, MWth	3759	3411
Potencia neta, MWe	1178	1148
N° circuitos primarios	2	4
N° generadores de vapor	-	4 (tipo tubo U)

Refrig. Primario (agua):

	BWR	PWR
Presión (Mpa)	7,17	15,5
T entrada °C	278	286
T salida °C	288	324

Refr. Secundario (agua):

	BWR	PWR
Presión (Mpa) :	-	5,7
Tentrada °C	-	224
T salida °C	-	273

### EJEMPLO 3: INGENIERÍA CIVIL QUÍMICA

#### Asignatura Transferencia de Calor

Se necesita un intercambiador de calor para enfriar 22.000 kg/h de una mezcla de hidrocarburos, desde 80°C a 35°C. Para ello se dispone de agua a 25°C que, como máximo, puede calentarse hasta 50°C. La mezcla de hidrocarburos va a ser circulada por los tubos. Se emplearán tubos de Cu ¾" BWG 16, de 16 pies de largo, en disposición alternada (o triangular) con 'pitch' de 1".

- Puede suponerse que los coeficientes de transferencia de calor tienen valores de 4.500 W/m<sup>2</sup> K por el lado de la mezcla de hidrocarburos y de 6.500 W/m<sup>2</sup> K por el lado del agua. Considere resistencias por incrustaciones de 4x10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup> K/W y de 2x10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup> K/W para el lado de los tubos y para el lado de la carcasa, respectivamente.
  - a) Para un intercambiador de haz tubular 1-2 (1 pasada por la carcasa y 2 pasadas por los tubos) determine una temperatura de salida del agua que asegure que el factor de corrección de la diferencia de temperaturas sea mayor o igual a 0,8
  - b) Para la temperatura determinada en la parte a), calcule el número de tubos por paso, en el intercambiador, para una velocidad deseable de la mezcla de hidrocarburos igual a 1,8 m/s.

- c) Considerando los resultados de las partes a) y b), seleccione un tamaño apropiado de carcasa y el tipo de intercambiador 1-2. Su elección, debe ser tal que la velocidad en los tubos no tenga una desviación mayor que 20% con respecto al valor deseable.

NOTA: Como es bien sabido, la selección de tamaños y configuraciones de carcasas puede llevar a muchos, pocos o ningún resultado que cumpla con los requerimientos exigidos. Por ello, se bonificará el puntaje si Ud. intenta una o más conclusiones y recomendaciones con respecto a la selección, ya sea sugiriendo modificaciones en los requerimientos o bien en configuraciones distintas de las carcasas consideradas en este problema. Para este efecto, sólo comente o sugiera, pero no realice cálculos nuevos.

#### **EJEMPLO 4: INGENIERÍA CIVIL ELÉCTRICA**

**Nombre del proyecto: Ballbot.**

**Definición:** Un Ballbot es un robot autónomo diseñado para estabilizarse sobre una esfera teniendo solo un punto de contacto con el suelo. Por esto, un ballbot es extremadamente ágil siendo capaz de moverse en todas las direcciones del plano. El Ballbot es un diseño versátil y es útil como superficie de trabajo o apoyo, para portar cargas e incluso para el transporte de personas.

El proyecto consiste en la construcción de un Ballbot autónomo capaz de mantenerse estable verticalmente sobre un punto fijo. Se evaluará el desempeño ante perturbaciones que simulen un suave impacto lateral y un aumento de peso en la superficie superior.

**Especificaciones:**

- Está prohibida la compra de kits DIY.
- La elección de estructura es libre y debe ser fabricada por los alumnos.
- El robot debe ser alimentado por baterías.
- El robot debe contar con una superficie superior lisa de al menos 20cm de diámetro en la que debe aceptar cargas de por lo menos 1kg.
- Está permitida la compra de motores y la electrónica de control de ellos.
- Todo el procesamiento debe realizarse a bordo del robot.

### **9.3. Perfil de competencias profesionales**

La carrera ha incorporado los atributos del graduado en el proceso formativo. Un ingeniero que se forma con base en los lineamientos de las páginas anteriores, tendrá un desempeño profesional acorde a las competencias que se detallan a continuación. Estas competencias no son obligatorias al detalle, sino que reflejan los elementos esenciales que deberían estar presentes en los estándares de desempeño profesional.

Estas competencias profesionales dan cabida a diferentes tipos de trabajo (por ejemplo, diseño, investigación y desarrollo y gestión de la ingeniería) mediante el uso de las grandes etapas del ciclo de la actividad ingenieril (análisis de problemas, síntesis, implementación, operación y evaluación) junto con los atributos de gestión necesarios; y también incluyen los atributos personales necesarios para un desempeño competente, independientemente de los requisitos

locales específicos en comunicación, práctica ética, juicio, responsabilidades asumidas y protección de la sociedad.

Este perfil se define de forma genérica y es aplicable a todas las disciplinas de la ingeniería. La aplicación de un perfil de competencia profesional puede requerir una ampliación en diferentes contextos normativos, disciplinarios, laborales o medioambientales. Al interpretar los enunciados dentro de un contexto particular, se pueden ampliar los enunciados individuales y darles un énfasis particular, pero no deben ser alterados en su esencia o ignorados.

La carrera podrá utilizar estas orientaciones generales como apoyo para verificar sus propios resultados u objetivos educacionales incorporando consultas sistemáticas a titulados y sus empleadores acerca de la presencia de estas características en su desempeño profesional, para utilizarlo como retroalimentación:

Característica	Definición
<b>Comprender y aplicar conocimientos universales:</b> amplitud y profundidad de la educación y tipo de conocimiento.	<b>1:</b> Comprende y aplica el conocimiento avanzado de los principios ampliamente utilizados que sustentan las buenas prácticas.
<b>Comprender y aplicar conocimiento local:</b> tipo de conocimiento local.	<b>2:</b> Comprende y aplica el conocimiento avanzado de los principios ampliamente utilizados que sustentan las buenas prácticas específicas de la jurisdicción en la que ejerce.
<b>Análisis de problemas:</b> Complejidad del análisis.	<b>3:</b> Define, investiga y analiza problemas complejos utilizando datos y tecnologías de la información cuando sean aplicables.
<b>Diseño y desarrollo de soluciones:</b> naturaleza del problema y singularidad de la solución.	<b>4:</b> Diseña o desarrolla soluciones a problemas complejos considerando una variedad de perspectivas y teniendo en cuenta las opiniones de los grupos de interés.
<b>Evaluación:</b> tipo de actividad.	<b>5:</b> Evalúa los resultados e impactos de actividades complejas.
<b>Protección de la sociedad:</b> tipos de actividad y responsabilidad ante el público.	<b>6:</b> Reconoce los efectos económicos, sociales y medioambientales previsibles de las actividades complejas y trata de lograr resultados sostenibles*.
<b>Legal y regulatorio:</b>	<b>7:</b> Cumple con todos los requisitos legales, reglamentarios y culturales y protege la salud y la seguridad de las personas en el desarrollo de todas las actividades
<b>Ética:</b>	<b>8:</b> Lleva a cabo éticamente sus actividades.
<b>Gestionar actividades de ingeniería:</b> tipos de actividad.	<b>9:</b> Gestiona parte o la totalidad de una o varias actividades complejas.
<b>Comunicación y colaboración:</b> requisito de comunicación inclusiva	<b>10:</b> Comunica y colabora utilizando múltiples medios de comunicación de forma clara e inclusiva, con una amplia gama de los grupos de interés en el desarrollo de todas las actividades.
<b>Desarrollo profesional continuo y aprendizaje permanente:</b> preparación y profundidad del aprendizaje continuo.	<b>11:</b> Realiza actividades de desarrollo profesional continuo para mantener y ampliar las competencias y mejorar la capacidad de adaptación a las tecnologías emergentes y a la naturaleza siempre cambiante del trabajo.
<b>Juicio:</b> nivel de conocimiento desarrollado, capacidad y juicio en relación con el tipo de actividad.	<b>12:</b> Reconoce la complejidad y evalúa las alternativas a la luz de los requisitos. Ejerce un buen juicio en el desarrollo de todas sus actividades complejas.

**Responsabilidad por las decisiones:** tipo de actividad para la que se toma responsabilidad.

**13:** Es responsable de la toma de decisiones sobre una parte o en la totalidad de las actividades complejas.

(\*) Representado por los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (ODS-NU)

## 9.4. Clasificación de los atributos del graduado

Clasificación según conocimientos, habilidades y actitudes a desarrollar en los estudiantes.

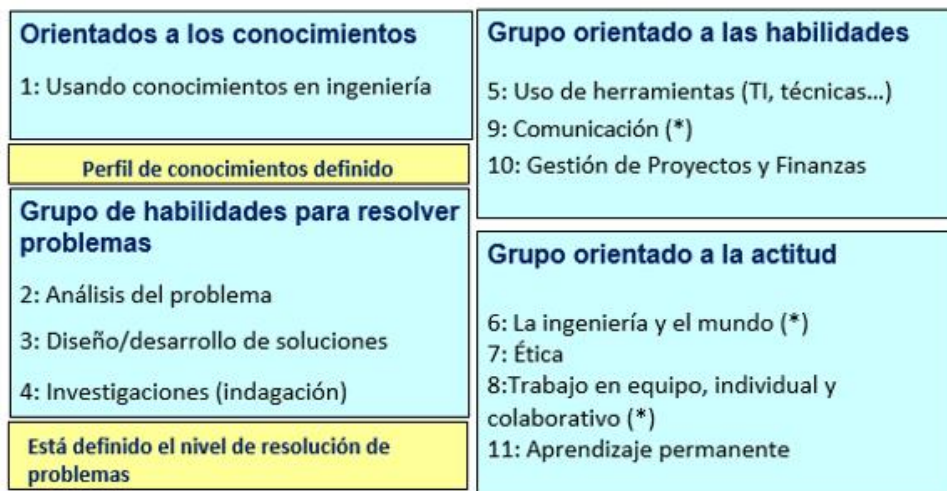


Figura 1: “Clasificación de las 11 competencias de los atributos del graduado”

(\*) referencia a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, de la ONU

## 9.5. Ejemplos de asignaturas de matemáticas, ciencias básicas y ciencias de la ingeniería.

Matemáticas y ciencias básicas	Ciencias de la Ingeniería. Ejemplo de asignaturas tradicionales que proporcionan los fundamentos de la ingeniería. Dependen de la especialidad.
1.- Introducción a la Matemática Superior	1.- Ciencia y Tecnología de los Materiales
2.- Cálculo Diferencial	2.- Mecánica de Sólidos
3.- Cálculo Integral	3.- Resistencia de Materiales
4.- Cálculo Multivariable	4.- Mecánica de Fluidos
5.- Ecuaciones Diferenciales	5.- Termodinámica y utilización de la Energía del Calor
6.- Álgebra Lineal	6.- Electrónica y Electrotecnia
7.- Probabilidades y Estadística	7.- Ingeniería Ambiental
8.- Introducción a la Física	8.- Ingeniería Económica y financiera
9.- Física - Mecánica	9.- Investigación de Operaciones con programación lineal y dinámica
10.- Electricidad y magnetismo	10. Balance de masa y energía de procesos

11.- Ondas y Física Moderna	11. Geometría diferencial
12.- Química	12. Otras propias de cada especialidad

## 9.6. Glosario de términos específicos

**Resultados de aprendizaje:** se refiere a los conocimientos, habilidades y actitudes, individualmente evaluables, que cada unidad/módulo/asignatura del plan de estudios del programa de ingeniería se compromete a lograr en el estudiante.

**El grado de licenciado:** es el que se otorga a un alumno de una universidad u organismo académico equivalente que ha aprobado un programa de estudios que comprende todos los aspectos esenciales de un área del conocimiento o de una disciplina o especialidad determinada.

**Área de práctica:** *en el contexto educativo*, sinónimo de especialidad de ingeniería generalmente reconocida; *a nivel profesional*, área de conocimiento y experiencia generalmente reconocida o distintiva desarrollada por un profesional de la ingeniería en virtud de la trayectoria de educación, formación y experiencia seguida.

**Ciencias de la ingeniería:** incluyen los fundamentos de la ingeniería que tienen sus raíces en las ciencias matemáticas y físicas y, en su caso, en otras ciencias naturales, que amplían los conocimientos y desarrollan modelos y métodos para dar lugar a aplicaciones y resolver problemas, proporcionando la base de conocimientos para las especializaciones de la ingeniería.

**Ciencias naturales:** Proporcionan, según sea aplicable en cada disciplina o área de práctica de la ingeniería, una comprensión del mundo físico, incluyendo la física, la mecánica, la química, las ciencias de la tierra y las ciencias biológicas.

**Conciencia:** Reconocer el contexto y las implicaciones al utilizar o aplicar lo aprendido. La demostración de conciencia puede ser más variada que la demostración de conocimientos. Hacer las preguntas correctas, incluir entre los supuestos realizados, cumplir o respetar ante una situación pueden ser demostraciones aceptables.

**Conocimiento:** Implica tanto el aprendizaje como la demostración de lo aprendido. La demostración de un conocimiento específico se hace invariablemente mediante un trabajo realizado a partir de ese conocimiento.

**Conocimientos complementarios (contextuales):** Disciplinas distintas a la ingeniería, ciencias básicas y matemáticas, que apoyan la práctica de la ingeniería, permiten comprender sus impactos y amplían las perspectivas del titulado en ingeniería.

**Conocimiento de diseño de ingeniería:** Conocimiento que apoya el diseño de ingeniería en un área de la práctica, incluidos los códigos, las normas, los procesos, la información empírica y el conocimiento reutilizado de diseños anteriores.

**Desarrollo formativo:** el proceso que sigue a la obtención de un programa educativo acreditado y que consiste en la formación, la experiencia y la ampliación de conocimientos.

**Desarrollo profesional continuo:** el mantenimiento, la mejora y la ampliación sistemáticos y responsables de los conocimientos y las competencias, así como el desarrollo de las cualidades personales necesarias para la ejecución de las tareas profesionales y técnicas a lo largo de la carrera de un profesional de la ingeniería.

**Especialidad o especialización en ingeniería:** un área de práctica generalmente reconocida o una subdivisión importante dentro de una disciplina de ingeniería, por ejemplo, la ingeniería estructural y geotécnica dentro de la ingeniería civil.

**Fundamentos de ingeniería:** consideran una formulación sistemática de conceptos y principios de ingeniería que se basan en las matemáticas y física, y cuando corresponda, en otras ciencias naturales, que proporcionan la base de conocimiento para las distintas especialidades. Son disciplinas relativas a los materiales, a las energías, a los sistemas y procesos y al medio ambiente, entre otras. Tienen el propósito de entregar la base conceptual y las herramientas de análisis para su utilización en el área de Ingeniería aplicada y que requieren ampliarse para crear marcos teóricos y cuerpos de conocimiento para las diversas áreas de la práctica de la ingeniería.

**Gestionar:** significa planificar, organizar, dirigir y controlar los riesgos, los proyectos, los cambios, las finanzas, la conformidad, la calidad, el seguimiento, el control y la evaluación permanentes.

**Solución:** es una propuesta eficaz para resolver un problema, teniendo en cuenta todas las cuestiones técnicas, jurídicas, sociales, culturales, económicas y medioambientales pertinentes y teniendo en cuenta la necesidad de la sostenibilidad.

**Subdisciplina:** Sinónimo de *especialidad de ingeniería*.

**Vanguardia de la disciplina:** definida por la práctica avanzada en las especialidades dentro de la disciplina.