

Revisión y consolidación de la fundamentación conceptual y especificaciones de prueba correspondientes al Examen de Calidad de la Educación Superior para Ingeniería

Sección 2

**ASOCIACIÓN COLOMBIANA
DE FACULTADES DE INGENIERÍA**
NIT. 860.047.524-0



Bogotá D.C. – Colombia
Carrera 68 D Núm. 25 B – 86 Oficina 205
Edificio Torre central
PBX: (1) 427 3065
acofi@acofi.edu.co
www.acofi.edu.co

Bogotá D.C., julio de 2010

Gerente del Convenio

Álvaro Enrique Pinilla Sepúlveda, Universidad de los Andes

Equipo técnico estratégico

Amparo Camacho Díaz, Universidad del Norte
Julio Cesar Cañón, Universidad Nacional de Colombia
Adolfo León Arenas, Universidad Industrial de Santander
Mauricio Duque Escobar, Universidad de los Andes

Coordinación por ACOFI

Luis Alberto González Araujo

Director Ejecutivo ACOFI

Eduardo Silva Sánchez

Consejo Directivo ACOFI

Francisco Javier Rebolledo Muñoz, Pontificia Universidad Javeriana
Elkin Libardo Ríos Ortiz, Universidad de Antioquia
Pedro José Guardela Vásquez, Universidad de Cartagena
Héctor Vicente Vega Garzón, Universidad de La Salle
Javier Páez Saavedra, Universidad del Norte
Adolfo León Arenas, Universidad Industrial de Santander
Diego Hernández Losada, Universidad Nacional de Colombia
Piedad Gañán Rojo, Universidad Pontificia Bolivariana
Alberto Ocampo Valencia, Universidad Tecnológica de Pereira

Derechos reservados de autor, 2010.

Bogotá D.C., Colombia

Documento desarrollado en el marco del Convenio 440 de 2009 entre ACOFI y el ICFES.

Tabla de contenido

SECCIÓN DOS: CONSTRUCTO DE LA PRUEBA.....	5
1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	5
1.1. <i>Marco teórico</i>	5
1.1.1. Objetivos de la evaluación	5
1.1.1. Pilar propuesto para la evaluación	6
1.2. <i>Referentes sobre el concepto de competencias</i>	8
1.3. <i>El enfoque de formación por competencias y la evaluación de desempeños</i>	12
1.4. <i>Competencias e indicadores de desempeños</i>	13
1.5. <i>Tendencias en la evaluación</i>	17
1.6. <i>Expresión del marco conceptual en el marco de la ingeniería</i>	17
2. EL OBJETO DE ESTUDIO EN DESEMPEÑOS	19
2.1. <i>Objeto de estudio para ingeniería – práctica de la ingeniería</i>	19
2.2. <i>La solución de problemas</i>	23
2.3. <i>Componentes de la prueba y objetivos a evaluar</i>	24
2.3.1. Dimensiones del objeto de estudio	27
2.3.2. Componentes.....	41

Índice de figuras

Figura 7: Componentes de la evaluación propuestos por el National Research Council, NRC	7
Figura 8: Componentes que se deben incluir en un proceso de evaluación, según Shavelson	7
Figura 9: Esquema de competencias.....	10
Figura 10: Principios de la formación por competencias.....	11
Figura 11 : Tipos de conocimiento que se pueden evaluar.....	16
Figura 12: Relación entre tipos de conocimientos, desempeños y niveles de la taxonomía de Bloom.....	18
Figura 13: Relación entre los componentes del objeto de estudio.....	22
Figura 14: Resumen de los elementos de la Resolución 2773	23
Figura 15: Dimensiones del objeto de estudio y su relación la prueba genérica profesional	26
Figura 16: Desarrollo del objeto de estudio en componentes, niveles, desempeños y referencias temáticas..	27
Figura 17: Una posible trayectoria en el diseño en ingeniería.	41
Figura 18: Estructura de las tablas para especificar el objeto de estudio a evaluar.....	42

Índice de tablas

Tabla 15: Atributos de la competencia.....	9
Tabla 16: Facetas de la ingeniería.....	21
Tabla 17: Atributos de un ciudadano ilustrado en tecnología e ingeniería.....	36
Tabla 18: Posibles componentes y preguntas en relación con la naturaleza de la ingeniería	39
Tabla 19: Habilidades matemáticas y científicas	43
Tabla 20: Diseño en ingeniería	44
Tabla 21: Investigación y Manejo de información	45
Tabla 22: Formulación de proyectos.....	46
Tabla 23: Naturaleza de la ingeniería	47

Sección dos: Constructo de la prueba

1. Marco teórico y conceptual

1.1. Marco teórico

Como ya se mencionó, el creciente número de publicaciones sobre el tema de evaluación hace imposible una revisión, aún muy parcial, de una porción importante de dicha documentación. Se indicarán a continuación algunos documentos recientes que se han venido utilizando en diferentes contextos y que brindan ideas concretas sobre el tema.

1.1.1. Objetivos de la evaluación

Según [55], el objetivo de la evaluación se puede resumir así:

La evaluación en educación busca determinar qué tan bien están aprendiendo los estudiantes, siendo esta labor una parte integral de la búsqueda para mejorar la educación. La evaluación provee realimentación a estudiantes, educadores, padres de familia, políticos y público acerca de la efectividad del servicio educativo. Con el movimiento a lo largo de las dos pasadas décadas en la definición de estándares académicos retadores y la medición del progreso de los estudiantes en relación con estos estándares, la evaluación en educación está jugando un papel cada vez más importante en la toma de decisiones, como no lo había hecho hasta ahora. Por su parte, los interesados en la educación se preguntan si las prácticas de evaluación a gran escala están produciendo la información necesaria para mejorar la educación. Entre tanto, la evaluación en el aula, que tiene la capacidad para mejorar la enseñanza y el aprendizaje, no se está utilizando en todo su potencial.

En la misma referencia [55] se indica:

Los adelantos de las ciencias cognitivas y de la medición brindan oportunidad para pensar de nuevo los principios científicos y premisas filosóficas fundamentales, así como los fundamentos de las aproximaciones actuales en evaluación. Los adelantos de las ciencias cognitivas han ampliado la concepción de los aspectos del aprendizaje cuya evaluación es indispensable, y los adelantos de la medición han extendido la capacidad de interpretar formas más complejas de evidencia que se derivan del desempeño de los estudiantes.

Más adelante se afirma:

El propósito de una evaluación determina sus prioridades y el contexto de su uso, e impone restricciones en su diseño. Es indispensable reconocer que un tipo de evaluación no puede cumplir con todos los objetivos deseados. A menudo, una evaluación es utilizada con múltiples propósitos; en general, sin embargo, entre más propósitos se le adjudiquen a una prueba, más se compromete el logro de cada uno de ellos.

A pesar de que las evaluaciones se utilicen en varios contextos y con diferentes propósitos, y en consecuencia tengan diferentes presentaciones, todas ellas comparten ciertos principios comunes. Uno de ellos es que la evaluación es siempre un proceso de razonamiento con sustento en las evidencias.

Un tipo de evaluación, y que resulta relevante en este documento, son las evaluaciones de carácter masivo que pretenden medir aprendizajes de los estudiantes en un sistema de educación completo, local o nacional, a un nivel dado. Este tipo de pruebas, por razones prácticas, tienen limitaciones importantes en el tipo de actividad que se le puede proponer al estudiante. Muchas de estas pruebas se sustentan en preguntas con respuestas de opción múltiple incluyendo con mucha menor frecuencia preguntas abiertas y pruebas de desempeño. Sin embargo, las tecnologías de la información y la comunicación están reduciendo estas limitaciones, por lo que se puede esperar en un futuro que estas pruebas masivas incluyan una variedad importante de actividades para los estudiantes que se están evaluando.

1.1.1. Pilar propuesto para la evaluación

En relación con los pilares de una evaluación, en [55] se afirma:

Cada evaluación, sin importar su propósito, se sustenta en tres pilares: un modelo de cómo los estudiantes representan el conocimiento y cómo desarrollan competencias en un dominio particular; tareas o situaciones que permiten observar el desempeño de los estudiantes; y un método de interpretación que permita proponer inferencias a partir de las evidencias de desempeño obtenidas.

Estos elementos se denominan generalmente *Cognición, Observación e Interpretación*. Toda evaluación incluye, implícita o explícitamente, estos tres pilares. En consecuencia, corre el riesgo de presentar incoherencias entre las premisas utilizadas en las tres dimensiones. En particular, la concepción sobre lo que es el conocimiento y cómo se evidencia en los desempeños de los estudiantes representa la piedra angular de toda evaluación. En resumen, estos tres pilares implican (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

- el rol central de un modelo de cognición y aprendizaje;
- la alineación del modelo de interpretación con el modelo de cognición y aprendizaje;

- el diseño de actividades cuyo desarrollo exija a los estudiantes poner en práctica desempeños que permitan al evaluador recoger evidencias para alimentar el modelo de interpretación.

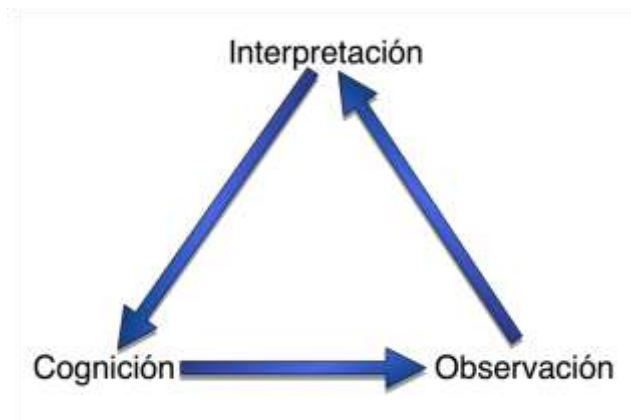


Figura 1: Componentes de la evaluación propuestos por el National Research Council, NRC
 En [57] se agrega un cuarto pilar que estaba implícito en el triángulo. El nuevo esquema se resume en la Figura 2:

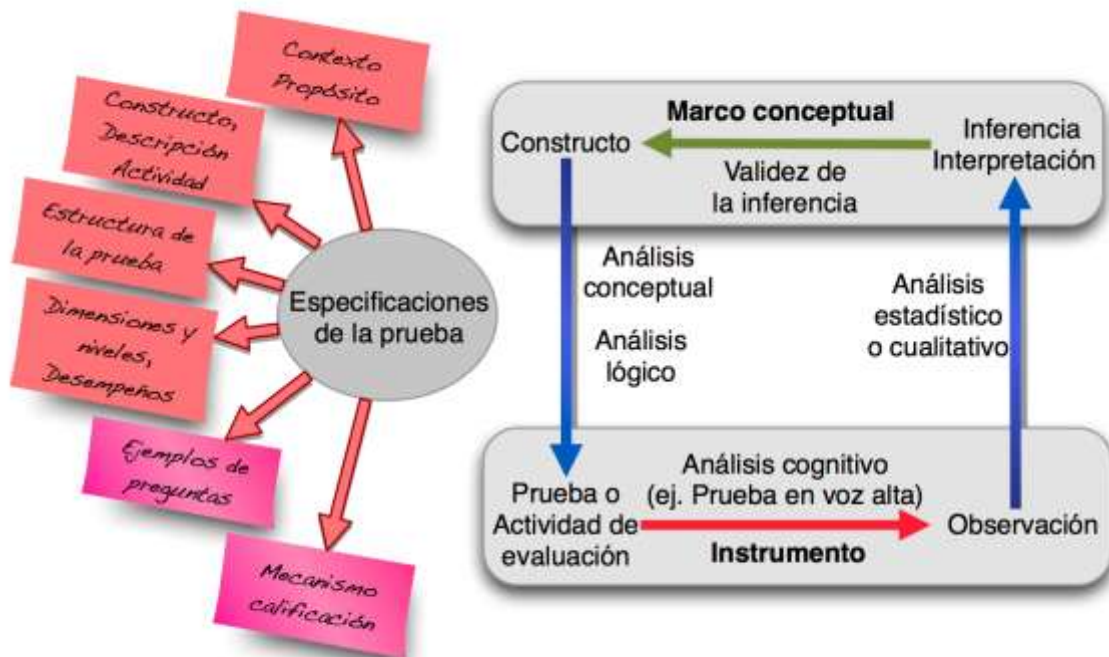


Figura 2: Componentes que se deben incluir en un proceso de evaluación, según Shavelson
 El constructo¹ incluye el modelo conceptual, que involucra el modelo de cognición y de aprendizaje. La definición de este constructo es el corazón de la evaluación y

¹ Un constructo se refiere a un conjunto de ideas y premisas que sirven de sustento y de guía a un desarrollo. El constructo, en general, requiere ser validado identificando evidencias que lo confirmen.

de la determinación final de la validez de la prueba. La influencia de las ciencias cognitivas es central en la determinación de los componentes del constructo [55]:

Este cuerpo de conocimiento indica que las prácticas de evaluación deben evitar limitarse a examinar componentes de habilidades o fragmentos de conocimientos, y buscar evaluar aspectos más complejos de los logros de los estudiantes.

La comprensión de la forma como el novato y el experto se desempeñan, organizan y utilizan el conocimiento, dan claves importantes para orientar la evaluación.

En particular, los aspectos de comunicación se revelan cada vez más importantes en una mirada holística del desempeño de los estudiantes [55]:

La evaluación requiere que se examine cómo se involucran los estudiantes en prácticas de comunicación apropiadas a un dominio de conocimientos y habilidades, qué entienden ellos sobre estas prácticas y cómo utilizan herramientas apropiadas a cada dominio.

1.2. Referentes sobre el concepto de competencias

Se entiende por competencias el conjunto de características individuales que le permiten a un individuo afrontar una situación o desempeñarse de forma exitosa dentro de un contexto específico a partir del conocimiento, comprensión, intervención y transformación de las problemáticas de su entorno. Dichas características se expresan o enuncian como acciones que se pueden evidenciar y que por lo tanto están sujetas a un proceso de validación para verificar su cumplimiento. Las competencias hacen referencia al individuo como un ser integral contemplando de este modo cuatro grandes esferas del desarrollo humano: el ser, el convivir, el saber y el hacer.

El auge del enfoque de formación por competencias es tal, que ha sido objeto de estudio de diferentes corrientes, tanto psicológicas, como filosóficas, sociológicas, lingüísticas, entre otras; esto ha dificultado un poco la unificación de criterios para la conceptualización del término, sin embargo se comparte la idea de que la formación por competencias implica, por un lado, estimular en el individuo el desarrollo de cualidades que le permitan intervenir en contextos diversos y, por otro lado, identificar de qué manera se pueden evidenciar y evaluar dichas cualidades. A continuación, se retoman dos perspectivas básicas, la de McClelland y la de Delors, con el fin de entender mejor este enfoque.

McClelland hace interesantes aportes al tema de formación por competencias, él es uno de los primeros que plantea que no basta con poseer conocimientos y habilidades para desempeñarse idóneamente en una tarea, sino que los valores, las actitudes y las creencias, cumplen también un papel fundamental. Inicialmente, los estudios de McClelland estuvieron orientados a la optimización de los procesos de selección de personal, pero éstos se transfirieron al campo de la Educación, pues se empezó a pensar qué tipo de formación debería poseer una persona, para desenvolverse con éxito en un determinado puesto. En el año 1973, McClelland demuestra que los expedientes académicos y los test de inteligencia por si solos

no son capaces de predecir con fiabilidad la adecuada adaptación a los problemas de la vida cotidiana, y en consecuencia el éxito profesional. En este contexto, nacen las competencias destinadas a evaluar aquello que "realmente causa un rendimiento superior en el trabajo" y no los "factores que describen confiablemente todas las características de una persona, en la esperanza de que algunas de ellas estén asociadas con el rendimiento en el trabajo" [68]

McClelland define la competencia como *el conjunto de factores individuales, cuya identificación permite predecir un posible desempeño exitoso en cierta actividad dentro de una parte concreta de la realidad*. En este sentido, las competencias son definidas como un conjunto de atributos que combinan conocimientos, actitudes, valores y habilidades para hacer frente a la incertidumbre en situaciones diversas, dentro de una sociedad globalizada y cambiante [69]. Desde esta perspectiva los atributos corresponden a elementos clave para la construcción de una visión integradora de las competencias, es decir que un atributo integra inteligencia, conocimientos, funciones, aptitudes, habilidades, actitudes, destrezas, capacidades, etc, cada uno de estos elementos tienen significados distintos, éstos representan medianamente los aspectos que se ponen a prueba cuando se evalúa una competencia. La siguiente tabla describe cada uno de los elementos mencionados.

Atributo de la competencia	
Atributo	Descripción
Inteligencia	Estructura general mediante la cual los seres vivos procesan la información con el fin de relacionarse con los entornos en los cuales se hallan inmersos con base en procesos de percepción, atención, memoria e inferencia.
Conocimientos	Conjunto organizado de datos e información destinados a resolver un problema determinado.
Funciones	Actividades que una persona debe desarrollar en el campo de desempeño.
Aptitudes	Hacen referencia a la facilidad, ocurrencia, autonomía, imaginación, confianza para un determinado tipo de tareas o actividades. Son una disposición innata del individuo y actúan como materia prima para el desarrollo de habilidades.
Habilidades	Se refieren a conocimientos del individuo puestos en acción para realizar tareas y actividades de forma eficaz y eficiente.
Actitudes	Se concibe como la predisposición antes de ejecutar un comportamiento o conducta que puede estar influenciado por algún tipo de componente de carácter personal. Están relacionadas con lo cognitivo, conductual y afectivo.
Destrezas	Hacen referencia a las habilidades motoras requeridas para realizar ciertas actividades con precisión.
Capacidades	Son condiciones cognitivas, afectivas y psicomotrices fundamentales para aprender y denotan la dedicación a una tarea.

El Paradigma de Las Competencias hacia la Educación Superior²

Tabla 1: Atributos de la competencia

Visto de otro modo, la figura que se presenta a continuación, muestra cómo el atributo recoge varias características para el desempeño de tareas, las cuales siempre tienen una implicación directa en el contexto.

² Adaptado de RODRÍGUEZ Zambrano, Hernando. Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Militar Nueva Granada, 2007.



Figura 3: Esquema de competencias³

Ahora, se presenta la visión que Delors propone frente al tema de formación por competencias.

El análisis de las exigencias y retos de los objetivos y las necesidades de la Educación en el siglo XXI, lleva a Jacques Delors a plantear, en el informe “La Educación Encierra un Tesoro” [70], una estructura ideal para la educación basada en cuatro pilares fundamentales o aprendizajes fundamentales:

- *Aprender a conocer*: Implica aprender a aprender ejercitando la memoria, la atención y el pensamiento. Este proceso puede nutrirse de todo tipo de experiencias y no tiene un punto de conclusión.
- *Aprender a hacer*: Hace referencia a la adquisición no sólo de una calificación profesional sino de una **competencia** que capacite al individuo para poner en práctica sus conocimientos y adaptar las enseñanzas para afrontar situaciones de incertidumbre de acuerdo con las condiciones cambiantes del entorno profesional.
- *Aprender a vivir juntos*: Involucra la capacidad para reconocer tanto la diversidad de la especie humana como la interdependencia entre todos los seres humanos, con el fin de desarrollar proyectos comunes y de combatir los prejuicios que llevan a enfrentamientos.
- *Aprender a ser*: Este aprendizaje está orientado hacia la maduración constante de la personalidad, el fortalecimiento del pensamiento autónomo y crítico, la capacidad de elaborar un juicio propio, la libertad de pensamiento, juicio, sentimientos e imaginación, y sobre todo el conocimiento de sí mismo, que permite la construcción de relaciones sanas con los demás.

La formación por competencias ha demostrado ser una herramienta válida de concreción de los saberes que denomina Delors; pilares de aprendizaje para el

³ BUESO Lara, Jaime 2007. (<http://buesolara.wordpress.com/category/educacion-superior/>)

siglo XXI. Al respecto se han propuesto 5 principios básicos del enfoque de formación por competencias.

PRINCIPIOS DE LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS				
Todo aprendizaje es individual	El individuo, al igual que cualquier sistema se orienta por las metas a lograr,	El proceso de aprendizaje es más fácil cuando el individuo sabe qué es exactamente lo que se espera de él	El conocimiento preciso de los resultados también facilita el aprendizaje	Es más probable que un alumno haga lo que se espera de él y lo que él mismo desea, si tiene la responsabilidad de las tareas de aprendizaje

Figura 4: Principios de la formación por competencias

Martínez, en [71], resume las principales características del enfoque de competencias, explicando la innovación que ésta representa para los procesos de formación.

- Formación atenta a las necesidades cambiantes de la sociedad y sus profesionales.
- Enfoque centrado en el aprendizaje y la gestión del conocimiento.
- Importancia de la formación integral y permanente.
- Parte de la necesidad de potenciar las competencias genéricas, transversales y específicas de los colectivos a los que va dirigida.
- Currículo integrado y flexible.
- Metodología diversa, activa y participativa.
- El alumno es el agente de su propio aprendizaje.

Para otros autores, como Vasco, las competencias son el conjunto de conocimientos, actitudes, disposiciones y habilidades (cognitivas, socioafectivas y comunicativas) que se relacionan entre sí para facilitar el desempeño flexible y con sentido de una actividad en contextos relativamente nuevos y retadores [72]. En el primer concepto de competencias que propusieron el ICFES, la Universidad Nacional y la Secretaría de Educación de Bogotá, ésta se definió como un saber-hacer flexible que puede actualizarse en distintos contextos. Dice Vasco que, en otras palabras, una competencia es una **capacidad para el desempeño de tareas relativamente nuevas**, en el sentido de que son distintas a las tareas de rutina que se hicieron en clase o que se plantean en contextos distintos de aquéllos en los que se enseñaron. Las pruebas deben evaluar competencias en vez de objetivos y contenidos, y más aún habilidades de pensamiento cognitivas y metacognitivas.

En resumen, el enfoque de formación por competencias busca que el estudiante alcance el dominio en su área y desarrolle las habilidades para resolver problemas, aplicando conocimiento teórico-práctico y atendiendo a las características del contexto en el que está inmerso. Las competencias dotan al egresado de la capacidad de actuar adecuadamente en el marco de una tarea

profesional, respaldado por los conocimientos pertinentes a su formación disciplinar y en coherencia con una serie de principios éticos [73].

Las competencias se pueden definir como el estado potencial del egresado desarrollado a través del proceso de formación, que le permite abordar, afrontar, formular y solucionar problemas de diferente nivel de complejidad. Esta visión articula los conocimientos teórico-prácticos, las necesidades del entorno institucional, las necesidades del entorno social y las demandas del sector industrial.

1.3. El enfoque de formación por competencias y la evaluación de desempeños

La competencia se evidencia a través del desempeño, es decir, la competencia evalúa los niveles de rendimiento que logra un estudiante frente a unas metas planteadas, allí una persona hace visible su destreza para resolver problemas o tareas en contextos laborales específicos, al respecto, algunos autores mencionan que el desempeño es la medida de las capacidades con las cuales el estudiante demuestra saber, hacer, ser y capacidad de convivir⁴.

El objetivo principal de la evaluación por desempeños está centrado en evidenciar el estado en que se encuentra un estudiante, de acuerdo a unas metas establecidas; por ello la información que arroje la prueba ECAES puede ser utilizada por las instituciones de Educación Superior para supervisar la calidad de los procesos de formación educativa que llevan a cabo, analizando los niveles de rendimiento de sus estudiantes⁵.

En evidencia, la evaluación por desempeños no sólo compromete aspectos de tipo cognitivo, sino también actitudinales y sociales; el estudiante pone a prueba conocimientos disciplinares, además de habilidades interpersonales e intrapersonales, de ahí que las preguntas de la prueba, se plantean teniendo en cuenta estos elementos.

Para evaluar desempeños se debe definir claramente la competencia, pero además se deben definir unos criterios y niveles. Los criterios de desempeño describen los requisitos de calidad para el resultado obtenido en el desempeño profesional; éstos permiten establecer si el profesional alcanza o no el resultado descrito en la competencia⁶; por otra parte los niveles de desempeño definen el grado de avance alcanzado por cada estudiante, frente al criterio de desempeño planteado.

Este tipo de evaluación acude a las tablas de desempeño para organizar los criterios y niveles que se van a evaluar en el estudiante. Estas deben ser

⁴ Arbeláez López, R. Corredor Montagut. M. Pérez Ángulo, M. (2007) *Concepciones sobre competencias*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colección docencia universitaria.

⁵ Galindo, cárdenas. L. (2008) *Acerca de un sistema de evaluación por competencias en la formación por ciclos propedéuticos*. Capítulo II. De cómo evoluciona el concepto de evaluación de los aprendizajes. Medellín. Universidad de Antioquia.

⁶ Fernando Vargas Zúñiga (2004). *la formación basada en competencias en América Latina*. CINTEFORD

ampliamente conocidas por los estudiantes y en efecto evalúan la producción y el desempeño.

La perspectiva de evaluar desempeños se enriquece con la propuesta de la enseñanza para la comprensión: los **desempeños de comprensión**; los cuales proponen una forma de evaluar que exige ir más allá de la mera información, supone que los estudiantes creen, reconfiguren, transfieran, expandan, extrapolen y apliquen lo que ya saben a otros contextos⁷.

Comprender, en estos términos, implica poder realizar una variedad de tareas y actividades de pensamiento, utilizando los esquemas previos de conocimiento para proponer, argumentar, generar alternativas de actuación en situaciones nuevas, explicar, generalizar, presentar analogías, representar, reconstruir, reflexionar. Cuando un estudiante alcanza desempeños que evidencian comprensión, puede inferirse que se ha apropiado del conocimiento y lo utiliza para entender su mundo, su campo y orientar su acción de manera creativa y responsable.

1.4. Competencias e indicadores de desempeños

Hasta este punto se ha introducido el tema de formación por competencias y evaluación de desempeños. En este apartado se presentan los referentes, a partir de los cuales se definirán los posibles criterios y niveles de desempeño de la prueba, acudiendo a dos taxonomías: la de tipo de conocimiento de Shavelson y la del dominio cognitivo de Bloom.

En general, en Colombia se le ha dado una gran importancia al concepto de competencia, que articula el desempeño de un individuo en un dominio particular de conocimiento (saber), poniendo en práctica ciertas habilidades (saber hacer) y ciertas actitudes (saber ser). En el campo de la evaluación se han buscado conceptos más específicos y en consecuencia más funcionales. En efecto, la formulación de objetivos en términos de definiciones muy generales de competencia resulta poco funcional. Por ello, otros documentos que indican estándares recurren a la descripción de una competencia en términos un inventario de posibles desempeños que resultan más funcionales como sustento de una evaluación.

Una definición interesante de competencia en el marco de la ingeniería se encuentra en [2]:

La competencia profesional integra conocimiento, comprensión, habilidades y valores. El proceso de formación a través del cual los profesionales en ingeniería llegan a ser competentes generalmente incluye una combinación de educación formal, experiencia y entrenamiento posterior (conocido normalmente como desarrollo profesional). Sin embargo, estos diferentes elementos no están separados ni son secuenciales y pueden no encontrarse en forma estructurada.

⁷ Tina Blythe and Associates (1998). *Desempeños de comprensión*. Universidad de los Andes.

En [74] se aclara la relación entre competencia y destreza:

Es importante enfatizar que el término de competencia y destreza no son utilizados como sinónimos. Destreza se utiliza para designar una habilidad para realizar una acción motora o cognitiva compleja con facilidad y precisión, así como una adaptabilidad a condiciones cambiantes, mientras el término competencia se refiere a un sistema de acciones complejas que involucra destrezas, actitudes y otros componentes no cognitivos. En este sentido, el término competencia es holístico.

Más adelante la misma referencia propone una definición para las competencias:

Una competencia se define como la habilidad para satisfacer requerimientos complejos o para llevar a cabo una actividad o tarea. Esta definición funcional orientada a lo requerido, sin embargo, requiere una comprensión de la competencia como una estructura interna mental de habilidades, capacidades y disposición embebida en el individuo. En consecuencia, cada competencia corresponde a una combinación cognitiva interrelacionada de destrezas prácticas, conocimiento (que incluye conocimiento tácito), motivación, valores y ética, actitudes, emociones, y otros componentes sociales y de comportamiento que conjuntamente pueden ser movilizados para una acción efectiva en un contexto particular.

Ahora bien, al declinar una competencia en múltiples desempeños resulta práctico organizarlos según alguna propiedad en una taxonomía apropiada. Entre las distintas alternativas, en ingeniería se ha optado con frecuencia por la taxonomía de Bloom [60, 61]. Sin embargo, sólo parte de su propuesta taxonómica se ha tenido en cuenta. Bloom propone tres grandes dimensiones en su taxonomía en relación con las habilidades:

- Dominio afectivo
- Dominio psicomotor
- Dominio cognitivo

En el dominio afectivo se incluyen actitudes, emociones y sentimientos. Aquí se definen cinco niveles (recibir, responder, valorar, organizar y caracterizar)⁸.

En el dominio psicomotor se incluyen las habilidades físicas relacionadas con el control de movimientos en múltiples tareas.

Finalmente, el dominio cognitivo involucra el conocimiento, la comprensión y el pensamiento crítico en torno a un tema particular. Aquí se definen 6 niveles:

- **Conocer:** ser capaz de recordar información, terminología, hechos específicos, clasificaciones, categorías, principios, leyes, teorías, entre otros.

⁸ Esta categoría se relaciona con la dimensión "saber ser" utilizada en la descripción de una competencia.

- **Comprender:** ser capaz de organizar, comparar, describir, interpretar, proponer, extrapolar. En general, se refiere a encontrar sentido y significado a la información⁹.
- **Aplicar:** ser capaz de resolver problemas aplicando conocimiento, información, técnicas, reglas, entre otros.
- **Analizar:** ser capaz de descomponer información en partes y encontrar la relación entre las mismas, identificar motivos, causas, y evidencias que permitan sustentar generalizaciones.
- **Sintetizar:** ser capaz de compilar información en nuevos patrones o proponer soluciones alternativas.
- **Evaluar:** ser capaz de emitir juicios justificándolos, validar información e ideas.

Esta taxonomía ha tenido muchos adherentes, pero igualmente ha tenido un número importante de críticos. Uno de los aspectos más criticados es el de la jerarquía implícita entre los diferentes niveles, pues ésta no funciona en todos los casos (ver, por ejemplo, [62] pág. 49). Adicionalmente, el segundo nivel puede entrar en conflicto con algunas aproximaciones al concepto de comprensión [63].

A pesar de las posibles dificultades que enuncian sus críticos, el modelo propuesto por Bloom resulta comprensible y funcional en muchos campos, lo cual explica su frecuente utilización en la actualidad. En ingeniería, en particular, la categoría de síntesis se ha interpretado como diseño. De esta forma, las tres categorías superiores de análisis, diseño y evaluación encuentran, en el marco de la ingeniería, una definición bastante clara. Sin embargo, un estudio más profundo de las categorías propuestas por Bloom podría llevar a la conclusión de que la categoría de diseño no puede asociarse a la de síntesis, pues en el diseño se reúnen de alguna forma todas las categorías propuestas por Bloom.

Otra alternativa es una taxonomía reciente propuesta por [57] [64] [58, 65], que se describe en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que se centra en la actividad cognitiva realizada:

⁹ El concepto de comprender o comprender tiene dos posibles interpretaciones: ser capaz de enunciar el sentido y significado de algo, o ser capaz de demostrar desempeños flexibles que den fe de una comprensión profunda. En esta categoría se utiliza la primera interpretación.

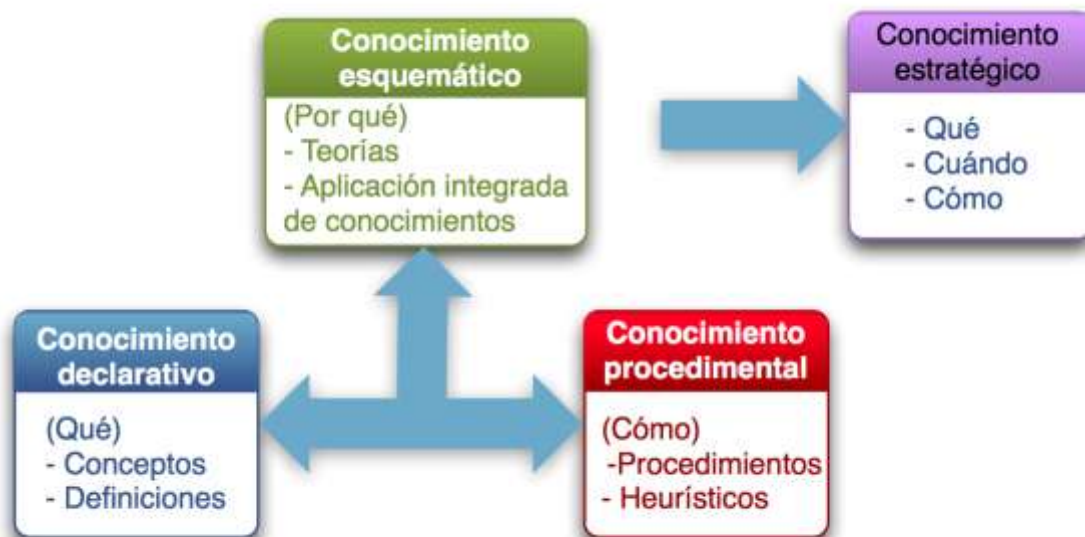


Figura 5 : Tipos de conocimiento que se pueden evaluar.

Conocimiento declarativo: hace referencia a la información que se enuncia, como las definiciones, las leyes, o incluso las explicaciones aprendidas de memoria. Se trata de información que responde a la pregunta ¿qué? Desde la perspectiva de Bloom, corresponde entonces a la primera y segunda categoría. Desde la perspectiva de las competencias corresponde a la faceta del conocimiento (saber). Vale la pena resaltar que los conceptos y las relaciones entre los mismos forman parte de esta categoría si corresponden a información aprendida de memoria por el sujeto.

Conocimiento procedimental: se refiere a saber cómo hacer algo. La descripción de un procedimiento es conocimiento declarativo, pero saberlo ejecutar efectivamente corresponde al conocimiento procedimental. En relación con la taxonomía de Bloom, corresponde directamente al tercer nivel (aplicar) y en buena medida a los demás niveles, que incluyen el desarrollo de procesos y procedimientos.

Conocimiento esquemático: implica saber el porqué de algo. El estudiante que domina este conocimiento puede explicar, argumentar y justificar sus argumentos. Es capaz de producir explicaciones basadas en evidencia y sacar conclusiones a partir de un conjunto de información. El dominio de este tipo de conocimiento implica una visión holística de los conceptos y de sus conexiones, así como una comprensión de las relaciones causa-efecto que permiten predecir, estimar, explicar e interpretar. Esta categoría se relaciona de forma bastante directa con la categoría de síntesis de Bloom, pero también incluye, aunque en menor medida, la de análisis y la de evaluación. Incluye también la categoría de aplicación en la medida en que se examina el porqué de lo aplicado.

Conocimiento estratégico: como se observa en el diagrama, involucra los tres componentes anteriores. Implica ser capaz de plantear una estrategia para abordar una situación novedosa. Se refiere a saber responder a preguntas como

¿cuándo?, ¿dónde?, ¿cómo? Desde la perspectiva de la enseñanza para la comprensión [63], es la demostración de la comprensión en el marco de desempeños flexibles.

1.5. Tendencias en la evaluación

Otro aspecto fundamental del cambio de paradigma en evaluación tiene que ver con el rol del estudiante en este proceso. En efecto, el estudiante ha pasado de ser un simple objeto de evaluación a desempeñar un rol más activo en ella [55]:

Para que la evaluación sea efectiva, tanto en el ámbito de la clase como en el de la evaluación de gran escala, el estudiante debe comprender y compartir sus objetivos.

Un instrumento de evaluación es una herramienta diseñada para observar el comportamiento de los estudiantes y producir datos que puedan ser utilizados para proponer inferencias razonables acerca de lo que saben los estudiantes. El tipo de proceso para recolectar evidencia que soporte las inferencias que se quieren realizar es conocido como razonar desde las evidencias.

Finalmente, es importante resaltar la creciente visión holística y sistémica de la evaluación [55]:

El énfasis en investigación, desarrollo y formación debe dirigirse hacia el aula de clase, donde ocurren la enseñanza y el aprendizaje. Una visión hacia el futuro muestra que la evaluación a todos los niveles, desde el aula de clases hasta el nivel nacional, debe funcionar de forma articulada en un sistema global, coherente y continuo.

1.6. Expresión del marco conceptual en el marco de la ingeniería

En esta sección se definirá el objeto de estudio desde la perspectiva de desempeños utilizando la taxonomía propuesta por Shavelson. De esta forma, las competencias se declinan en desempeños observables. La Figura 6 ilustra la estructura básica adoptada en este trabajo, incluyendo un cruce con la taxonomía de Bloom que, como se dijo anteriormente, se utiliza frecuentemente en ingeniería [61].

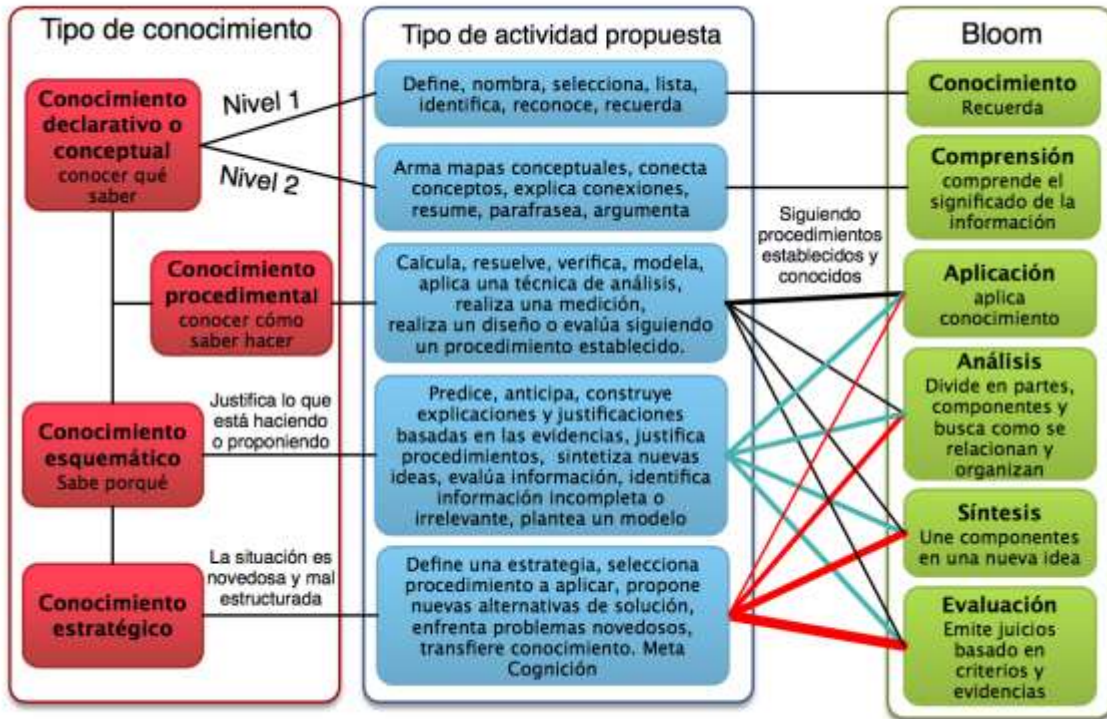


Figura 6: Relación entre tipos de conocimientos, desempeños y niveles de la taxonomía de Bloom

Adicionalmente, en este marco se definirán las dimensiones sobre las cuales se quiere emitir un juicio o una inferencia a partir de la observación de los desempeños que logran los estudiantes en el marco de las actividades que la prueba les propone.

2. El objeto de estudio en desempeños

2.1. Objeto de estudio para ingeniería – práctica de la ingeniería

Uno de los referentes normativos es la Resolución 2773 del 13 de noviembre de 2003 [9], donde se exponen las características específicas de los programas de formación de pregrado en ingeniería. Esta fuente nos muestra que uno de los aspectos básicos que se deben tener en cuenta para conceptualizar el objeto de estudio es el dominio de herramientas teórico-prácticas en ciencias y matemáticas. Éstas son necesarias para proponer creativamente diseños, desarrollos y aplicaciones que permitan resolver problemas propios de cada especialidad de la disciplina, y que sean de utilidad para el progreso de la sociedad, la ciencia y la tecnología.

Continuando con el marco normativo, se referencia la Ley 842/03 [5], por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el código de ética profesional y se dictan otras disposiciones. Allí se define la ingeniería como “toda aplicación de las ciencias físicas, químicas y matemáticas”. Ello nos permite identificar sus principios teóricos fundamentales.

Otros referentes son la Ley 50 de 1986 y la resolución 51 del 2 de septiembre de 2008. La primera reglamenta el ejercicio de las profesiones de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y profesiones afines y se dictan otras disposiciones; la segunda amplía el alcance de las actividades contenidas en la clasificación nacional de ocupaciones

Aunado a lo anterior, se indagan otras fuentes que discurren alrededor del objeto de estudio de la ingeniería o de los campos en los que interviene la actividad formativa y profesional de un ingeniero. Ello con el fin de proponer un objeto de estudio que responda a las necesidades actuales y que sirva como referente para formar estudiantes capaces de enfrentar las exigencias propias del área de conocimiento de la ingeniería.

Se presentaron igualmente algunas consideraciones relevantes referentes a la labor de un ingeniero que son de gran apoyo para la definición del objeto de estudio. Recordemos, por ejemplo:

La ingeniería es un proceso profundamente creativo. Una descripción más elegante es que la ingeniería es diseño bajo restricciones. El ingeniero diseña dispositivos, componentes, subsistemas y sistemas, y para lograr diseños exitosos en el sentido de mejorar directa o indirectamente la calidad de vida, debe trabajar con restricciones derivadas de aspectos técnicos, económicos, financieros, políticos, sociales y éticos. La tecnología es un producto de la ingeniería; resulta poco frecuente que la ciencia se transforme directamente en tecnología, de la misma forma en que la ingeniería no se puede interpretar como ciencia aplicada ([3] p.7).

Otra definición de objeto de estudio de la ingeniería es el que brinda la iniciativa internacional CDIO¹⁰. Ésta se enfoca en la concepción, el diseño, la implementación y la operación que deben realizar los ingenieros para crear servicios, sistemas y productos [75].

La ingeniería es una profesión cuyos fundamentos son las ciencias (matemática, física, química, biología), los distintos tipos de tecnología (mecánica, informática) y la economía, el derecho y la seguridad. El objeto de la ingeniería es diseñar, construir y operar artefactos, estructuras o sistemas, aplicando y combinando conocimientos científicos y tecnológicos, teniendo en cuenta los aspectos legales, la economía y la seguridad. La ingeniería diseña, construye y opera con un propósito determinado, es la aplicación regulada de la tecnología y la ciencia.

- La ingeniería tiene un interés en la producción de materiales, bienes y servicios. Para ello debe estar a la vanguardia de los progresos del mundo globalizado, teniendo en cuenta los avances científicos y tecnológicos y haciendo buen uso de recursos naturales, económicos y sociales.
- Además de poseer conocimientos disciplinares, un profesional en ingeniería, debe tener claro en qué momento puede utilizar el conocimiento y ser consciente de su validez y alcance. Por otra parte, debe conocer su rol como profesional en la sociedad y lo que se espera de él en términos ingenieriles, científicos, matemáticos, tecnológicos y sociales.
- Uno de los grandes retos sociales que enfrenta hoy la ingeniería consiste en repensar la relación entre el hombre los instrumentos tecnológicos y la sociedad. La filosofía de la ingeniería plantea que en el estudio del conocimiento debemos hacer preguntas de tipo ontológico, epistemológico, metodológico y axiológico. Por ejemplo, ¿cuál es la realidad que puede conocer la ingeniería?, ¿qué es conocimiento en ingeniería?, ¿cómo puede ser construido el conocimiento en ingeniería?, ¿cuáles son las cuestiones éticas que indagan por el valor y la verdad del conocimiento? Las respuestas a estas preguntas serán las directrices en el proceso de consolidación del objeto de estudio [76].
- Otro referente importante es la propuesta de ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology), en la cual se caracteriza el ingeniero como un profesional responsable y con un sentido de la ética, capaz de diseñar un sistema, componente o proceso que satisfaga requerimientos dentro de restricciones realísticas de tipo económico, ambiental, social, político, ético, de seguridad, manufacturabilidad y sostenibilidad.
- La visión de la ingeniería y de la formación de ingenieros expuesta en los puntos anteriores corresponde con la visión de AHELO (Assesment of Higher Education Learning Outcomes), que sostiene que la ingeniería explora principios científicos y matemáticos para desarrollar herramientas y objetos útiles para resolver problemas mediante el trabajo interdisciplinario, el análisis, el diseño, la investigación y estrategias de resolución de problemas, etc.

¹⁰ CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) <http://www.cdio.org>

Si bien hay matices entre las concepciones de la ingeniería citadas hasta este punto, también es cierto que hay entre ellas elementos comunes:

- la estrecha relación de la ingeniería con los campos de conocimiento de las matemáticas, la tecnología, la ciencia, las ciencias sociales, entre otros;
- se resalta que el ingeniero debe ser capaz de diseñar y operar utilizando herramientas propias de su área de especialización;
- sus productos deben estar en la vanguardia de los avances del mundo globalizado.
- La ingeniería no se puede interpretar simplemente como matemática y ciencia aplicada, pues incluye procesos propios relacionados con el diseño bajo restricciones y la utilización de heurísticos, por ejemplo.

Estos aspectos constituyen una base importante para construir la definición del objeto de estudio de la ingeniería.

Para definir el objeto de estudio de la ingeniería se retoman las preguntas directrices de la Filosofía de la ingeniería [76] en el cuadro que se presenta a continuación, y se analizan la dimensión ontológica, epistemológica, metodológica y axiológica.

Facetas de la ingeniería	Preguntas directrices	Objeto de estudio	Dimensiones del Objeto de estudio
<i>Ontológico</i>	¿Cuál es la realidad que puede conocer la ingeniería?	<i>Contextos de desempeño y situaciones disciplinares</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Formulación de proyectos</i>
<i>Epistemológico</i>	¿Qué es conocimiento en ingeniería?	<i>Operación, diseño, evaluación de artefactos, sistemas, procesos y ambientes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Naturaleza de la ingeniería</i> • <i>Diseño en ingeniería</i>
<i>Metodológico</i>	¿Cómo puede ser construido el conocimiento en ingeniería?	<i>Aplicación de herramientas teórico-prácticas, con base en conocimientos de tipo científico, tecnológico y matemático</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Investigación y manejo de información.</i> • <i>Habilidades matemáticas y científicas</i> • <i>Diseño en ingeniería</i>
<i>Axiológico</i>	Incluye las cuestiones éticas e indaga por el valor y la verdad del conocimiento en ingeniería	<i>Resolución de problemas que contribuyan al progreso de la sociedad</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Naturaleza de la ingeniería</i>

Tabla 2: Facetas de la ingeniería

Con base en lo anterior, una aproximación a la definición del objeto de la práctica de la ingeniería es la siguiente:

La resolución de problemas y el aporte a la generación de conocimiento en contextos y situaciones disciplinares que requieran de la concepción, el diseño, la implementación, y la operación de artefactos, sistemas, procesos y ambientes de trabajo, con base en los conocimientos de la ciencia, las matemáticas, la tecnología y la ingeniería, y la capacidad innovadora e inventiva del profesional; considerando las condiciones ambientales, económicas, sociales, culturales, financieras, éticas del entorno y de seguridad, con el fin de promover la productividad y la competitividad de las organizaciones y la mejora en la calidad de vida de la sociedad.

En la Figura 7 se relacionan algunos de los soportes conceptuales que sustentan el objeto de estudio.

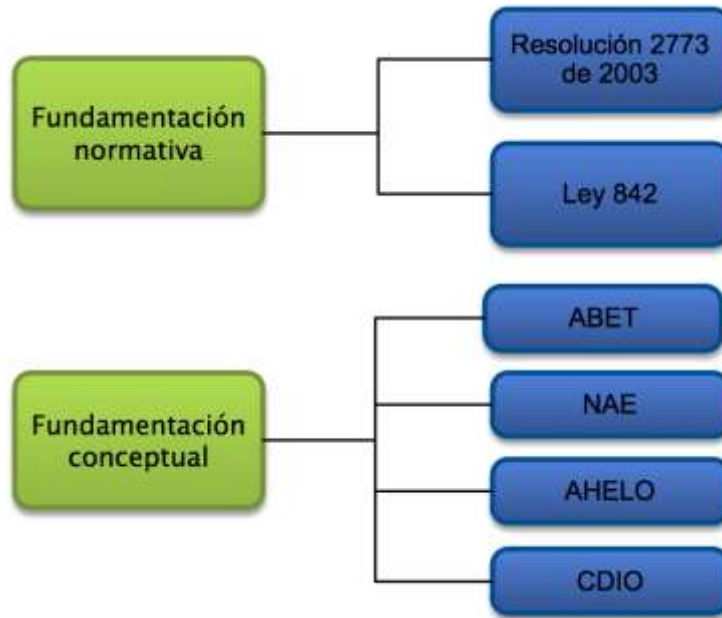


Figura 7: Relación entre los componentes del objeto de estudio

En particular la Resolución 2773 de 2003 es específica del objeto de estudio de la ingeniería. En esta resolución se busca establecer los contenidos que el ingeniero debe comprender. La Figura 8 ilustra de forma esquemática un resumen de esta resolución.

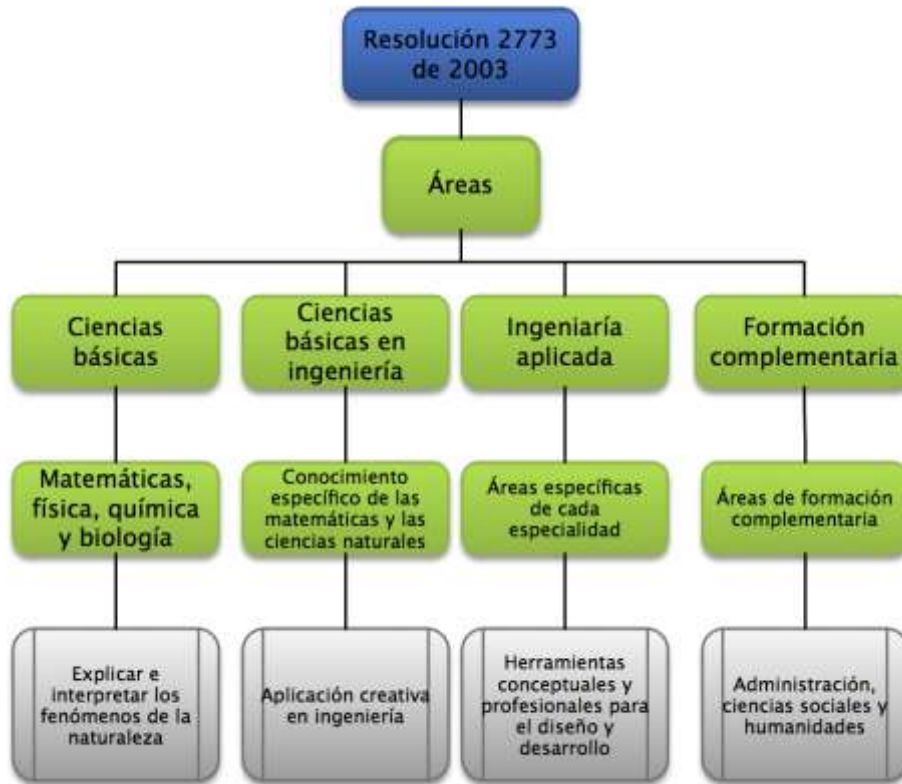


Figura 8: Resumen de los elementos de la Resolución 2773

2.2. La solución de problemas

El concepto de problema y los desempeños asociados a la solución de problemas han sido objeto de múltiples trabajos y de un gran interés en el marco de procesos educativos en las últimas décadas. Finalmente, un papel central de un sistema educativo es formar a los ciudadanos para enfrentar y solucionar problemas de diferente índole en diferentes contextos.

Las diferentes definiciones que puede tener la palabra *problema* generan variadas interpretaciones. En el lenguaje cotidiano, la palabra problema tiene a menudo una connotación negativa pues se asocia a disgustos, dificultades, preocupaciones, carencias y, en general, a situaciones indeseables.

Sin embargo en el campo de la educación, la definición de problema se asocia a [77-80]:

Una situación en la cual se identifica un estado actual, un estado deseado, un conjunto de restricciones y un interés en cambiar la situación del estado actual al deseado, esto es, un problema existe donde un ser humano tiene una meta pero no sabe cómo puede alcanzar esta meta. Esta definición permite incluir toda actividad profesional que va desde la resolución de una dificultad o de una situación negativa hasta el aprovechamiento de una oportunidad o la generación de una innovación.

Un examen más cuidadoso de las definiciones propuestas por diferentes escuelas de investigación, muestra diferencias importantes. Particularmente en la corriente de investigación europea, se indica adicionalmente que el camino entre los dos estados no es un camino trivial, simple o conocido completamente por quien debe resolver el problema. Lo que para muchos investigadores es un problema, como una operación de suma o la realización de una integral, por ejemplo, para la escuela europea se trata de un ejercicio y no de un problema. En esta escuela el problema implica necesariamente encontrar o diseñar una estrategia de solución que involucra conocimiento estratégico. En este sentido, la definición de problema (o de situación problemática) depende más de la distancia entre el individuo y la situación y no en la naturaleza de la situación. Lo que para un novato en un contexto dado es un problema, para un experto es simplemente un ejercicio.

La naturaleza de un problema de otra parte cambia de disciplina a disciplina. La investigación muestra que la solución de problemas entre diferentes disciplinas y contextos tiene más diferencias que similitudes [78]. En buena parte esto se debe a que el factor más importante en la solución de problemas es el conocimiento específico relacionado con la naturaleza del problema, con el contexto en que se debe resolver y con los conocimientos que se requieren [77]. En particular, los tipos de conocimiento requeridos para solucionar un problema se pueden expresar en términos de conocimiento declarativo, procedimental, esquemático y estratégico, además de conocimiento situacional [77]. Este último se refiere al tipo de problema específico y al contexto en que se propone.

En resumen, la actividad propia de la ingeniería puede enmarcarse en la solución de problemas donde se utilizan los conocimientos técnicos, tecnológicos, de las matemáticas, de las ciencias y de la ingeniería[81]:

Analizar problemas abiertos, complejos, mal definidos, para transformarlos en problemas técnicos que pueden resolverse, estimar los resultados, lograr soluciones de diseño innovadoras y creativas en contextos de alta incertidumbre y evaluar su calidad y cumplimiento de las especificaciones y requerimientos en relación con estándares éticos y profesionales.

Es en el marco de los problemas que se resuelven en ingeniería, que se proponen las dimensiones y los componentes que a continuación se describe.

2.3. Componentes de la prueba y objetivos a evaluar

La prueba ECAES tiene como finalidad evaluar el avance en el aprendizaje de los estudiantes que cursen programas de ingeniería en el país. Esto implica establecer los dominios del objeto de conocimiento que todo ingeniero debe desempeñar de manera genérica.

En esta sección se define una estructura de evaluación de la prueba ECAES de ingeniería en la que se especifica qué y cómo se va a evaluar, con el fin de identificar cómo se desempeña un estudiante de ingeniería en las diversas áreas de su campo disciplinar, en donde debe poner en evidencia su nivel de aprendizaje frente a las referencias temáticas estudiadas en el transcurso de su formación académica.

Dicha estructura tiene en cuenta los siguientes elementos:

- Dimensiones del objeto de estudio: son los campos generales en los que el estudiante debe evidenciar dominio teórico-práctico (investigación y manejo de información, formulación de proyectos, naturaleza de la ingeniería, diseño en ingeniería, habilidades matemáticas y científicas en ingeniería).
- Cada dimensión contempla una serie de **componentes**, que son las áreas de actuación del campo.
- El estudiante puede alcanzar **desempeños** de cuatro tipos (declarativo, procedimental, esquemático, estratégico) en cada componente.

La estructura de evaluación descrita se representa a continuación, en la Figura 9.

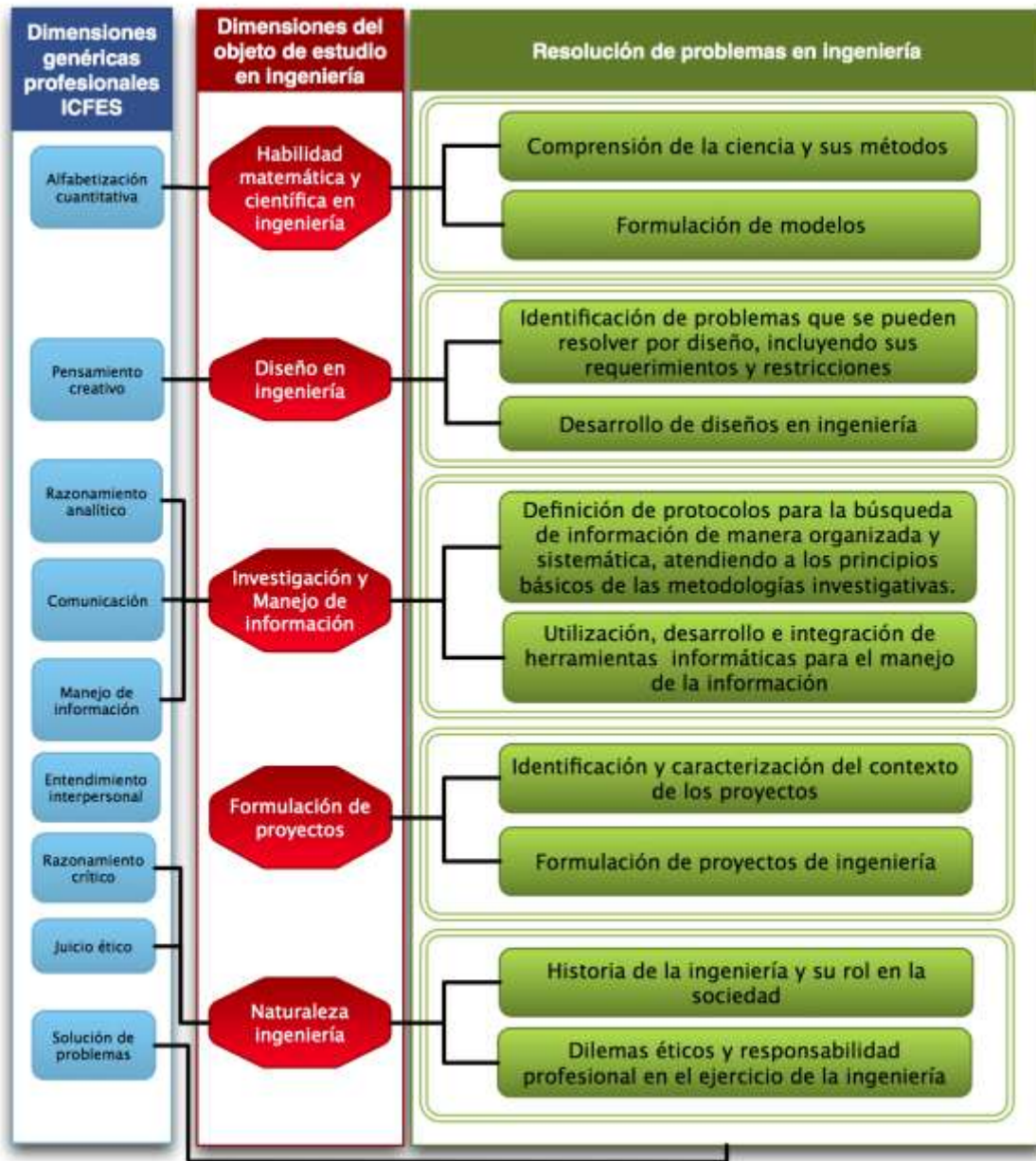


Figura 9: Dimensiones del objeto de estudio y su relación la prueba genérica profesional

En el marco de cada una de las dimensiones, el objeto de estudio se especificará en componentes y niveles:

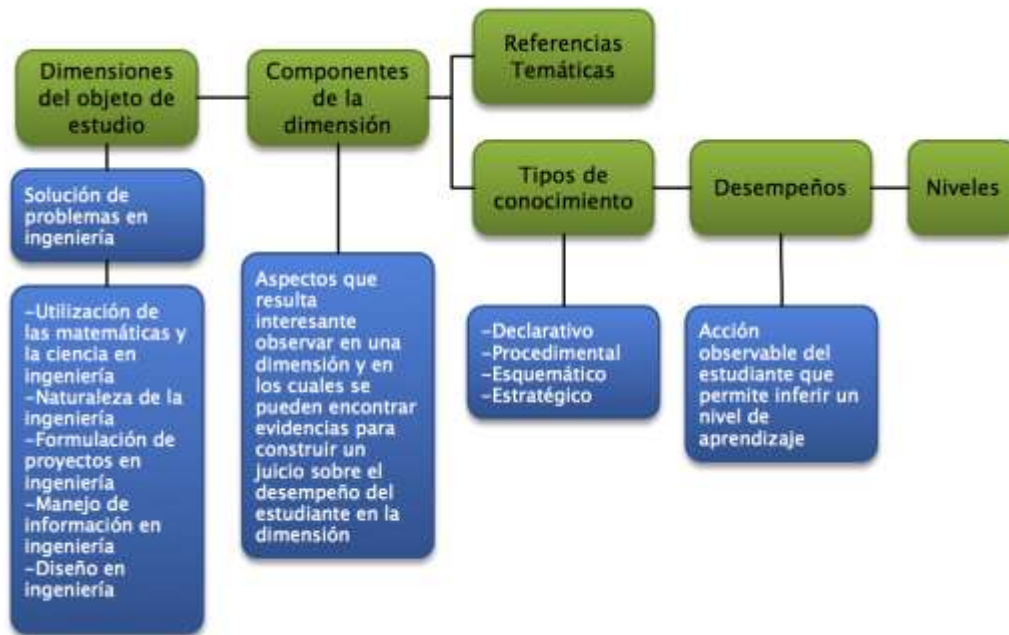


Figura 10: Desarrollo del objeto de estudio en componentes, niveles, desempeños y referencias temáticas

Los elementos que aparecen en la figura anterior son afines al enfoque de formación por competencias y corresponden a la visión de evaluar desempeños. A continuación se define cada uno de estos elementos.

2.3.1. Dimensiones del objeto de estudio

Son los campos conceptuales del conocimiento que conforman el objeto de estudio de la ingeniería.

Las dimensiones del objeto de estudio de la ingeniería son: naturaleza de la ingeniería, formulación de proyectos, investigación y manejo de la Información, diseño en ingeniería, habilidades matemáticas y científicas en ingeniería (ver Figura 9). Cada dimensión del objeto de estudio corresponde a una dimensión de la filosofía de la ingeniería. Como conjunto, las dimensiones brindan las herramientas necesarias para el aprendizaje del campo disciplinar.

Cada dimensión del objeto de estudio se divide en componentes y desempeños, con el fin de especificar la manera en que se orientan los procesos de formación en cada dimensión, y por tanto la forma en que se procederá a evaluarla.

A continuación se describen cada una de las dimensiones seleccionadas para el marco de la prueba.

2.3.1.1. Habilidad matemática y científica en ingeniería

Múltiples trabajos muestran la importancia de una educación pertinente en Ciencia, Tecnología y Matemáticas para una formación de calidad en ingeniería¹¹. Varios reportes internacionales muestran que la integración de estos tres campos del conocimiento en la formación de ingenieros es aún muy limitada [82]. Algunos documentos presentan recomendaciones para la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de estas disciplinas [83].

En las últimas décadas se han planteado grandes dudas sobre la educación científica y matemática que se propone en el sistema educativo terciario. Algunas investigaciones han mostrado que las estrategias de enseñanza propuestas actualmente tienen con frecuencia efectos negativos. En [84] se muestra la que algunos profesionales con formación intensiva en ciencias tienen mayores dificultades para comprender algunos aspectos básicos de la ciencia que otros estudiantes que no siguen una formación científica universitaria. Si bien la raíz del problema está en la insuficiencia de la formación científica y matemática en la educación básica y media, no deja de ser sorprendente que la educación terciaria, lejos de resolverlo a menudo lo agrave.

En ingeniería la enseñanza de la ciencia y la matemática suele situarse cerca de un extremo:

- Una enseñanza realizada por científicos y matemáticos en contextos lejanos a la ingeniería
- Una enseñanza realizada por ingenieros en contextos de ingeniería.

Cada uno de estos extremos presenta grandes inconvenientes. El primer extremo presenta al estudiante un cuerpo de conocimiento sin conexión a su quehacer como Ingeniero, dificultando la comprensión de la temática y entorpeciendo los procesos de transferencia del conocimiento al contexto de la ingeniería. En el segundo caso, la ciencia y la matemática se abordan usualmente desde una perspectiva completamente instrumental, dificultando la comprensión de los conceptos y la naturaleza de estas dos disciplinas fundamentales para la ingeniería.

Para el marco de la prueba se propone evaluar la ciencia y la matemática desde una perspectiva más amplia, que abarque tanto su utilización en el marco de la ingeniería como la comprensión de los elementos básicos de la naturaleza de cada una:

- Comprensión de la ciencia y sus métodos incluyendo la comprensión de fenómenos cotidianos de la naturaleza
- Utilización del conocimiento científico y matemático para producir modelos que permiten predecir comportamientos

¹¹ En EEUU se conoce este campo de trabajo como STEM –Science, Technology, Engineering and Mathematics.

2.3.1.2. Investigación y manejo de la información

En secciones anteriores, se ha mostrado la necesidad de formar profesionales competentes en la búsqueda, uso y manejo de la información, atendiendo a principios básicos de metodologías investigativas y haciendo uso de las tecnologías. Las habilidades para manejar información son aspectos básicos en la construcción del conocimiento, la intención es que el estudiante pueda implementar estrategias, utilizando TIC para buscar, utilizar y analizar información necesaria en la resolución de problemas diversos.

El manejo de información (Information management) abarca la investigación en temas como: bases de datos, modelamiento de datos hipertexto y hipermedia, recuperación de información y data warehouse¹².

En [85], Pozo plantea una serie de procesos relacionados con el manejo de la información, éstos pueden servir como referente para entender el proceso regular que se transcurre cuando se busca información para la resolución de problemas: adquisición, interpretación, análisis y realización de inferencias, comprensión y organización conceptual de la información, y comunicación de la información. Cada uno de estos procesos implica unos procedimientos, como se describe a continuación:

- El primer procedimiento es la **observación**. Ésta puede ser de tipo directo o indirecto (a través de técnicas e instrumentos). La observación suele requerir el registro y la toma de notas, a las cuales el observador se deberá referir más adelante.
- Posteriormente viene un proceso de **selección y análisis crítico de la información**, que puede captarse por fuente oral, gráfica o visual. En efecto, los procedimientos que permiten seleccionar la información pretenden no sólo aplicarse a la observación, sino también al discurso oral y escrito y a la información presentada de manera gráfica.
- Para recoger y seleccionar información los estudiantes deben realizar una **búsqueda de información**. La creciente complejidad y diversidad de las fuentes exige el dominio de una cantidad creciente de recursos técnicos y conocimientos prácticos. La búsqueda de información se puede hacer en bibliotecas (textos, documentos), medios de comunicación (radio, prensa) y otras fuentes documentales.

No basta con que el estudiante encuentre estrategias adecuadas para la ubicación de la información, pues además debe saber qué hacer con ella y para qué le puede servir. Para ello se requiere un proceso de **interpretación de la información**.

En el manejo de la información, la interpretación es el proceso de decodificación y traducción de la información a un nuevo código de lenguaje con el que el alumno

¹² De esta manera lo ha definido la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción. Chile, para varios de sus programas académicos.

no esté familiarizado y con el que pueda conectar la nueva información recibida. Estos procedimientos tienen como finalidad facilitar la conexión de la nueva información con contenidos de la memoria del estudiante, jugando un papel importante la activación de conocimientos previos.

Algunos procedimientos que deben utilizar los estudiantes para interpretar la información son:

- **La decodificación de la información:** en este paso el estudiante debe dominar procedimientos específicos de decodificación, para que surjan deducciones (intercódigos) o para profundizar en la temática presentada (intracódigo). Igualmente debe poseer el conocimiento y las habilidades necesarias para decodificar apropiadamente la información.
- **La aplicación de modelos para interpretar situaciones:** la comprensión de un problema requiere de la construcción activa de modelos que le permitan al estudiante integrar la nueva información.
- Otro ejemplo de interpretación presente en clasificaciones de contenidos procedimentales es la **formulación y uso de analogías y metáforas para interpretar la información.**

Después de interpretar y decodificar la información suele ser necesario analizarla, es decir, realizar **inferencias** con el fin de extraer nuevos conocimientos implícitos en la información trabajada. Para ello se requieren técnicas y destrezas de razonamiento. Como ejemplo se presentan algunos procedimientos que podrían implementarse en esta etapa del manejo de la información.

- El primer grupo de procedimientos es el **análisis y comparación de información.** Ello implica el establecimiento de relaciones entre varios modelos o entre un modelo y unos datos.
- **Construcción de inferencias:** consiste en sacar conclusiones con respecto a consecuencias probables (inferencias predictivas), en buscar las causas de una información (inferencias causales), o en extraer, entre líneas, datos o suposiciones que amplíen la información (inferencias deductivas).
- **Investigación:** los procedimientos expuestos anteriormente pueden incluirse en actividades de este tipo, en las que pueden reconocerse las tradicionales fases de planificación, diseño, formulación de hipótesis, ejecución de la experiencia, verificación de las hipótesis y evaluación de los resultados obtenidos.

Otro proceso es el de **comprensión y organización conceptual de la información**, en el que también se definen una serie de procedimientos o estrategias para facilitar la comprensión de textos de diversa naturaleza.

- El primer procedimiento es la **comprensión del discurso**, tanto escrito como oral. Entre estos contenidos se incluirá la identificación de las características propias de cada tipo de texto y/o discurso, diferenciándolas entre sí.
- **Establecer relaciones conceptuales** que den significado a la información. El significado de una información depende de las relaciones potenciales

que puedan establecerse entre esa información y otros conocimientos previos. En esta etapa se relacionan diversos factores causales en la explicación de la información, se integra la información de diversos factores causales para explicar un fenómeno, la diferenciación entre diversos niveles de análisis de un fenómeno, y el análisis y validación de explicaciones diversas de un mismo fenómeno.

- Lo anterior se complementa con el uso de procedimientos destinados a promover la **organización conceptual** de los conocimientos en la mente del estudiante. Este tipo de técnicas (mapas conceptuales o redes de conocimiento) ocupan un lugar destacado en algunos programas de entrenamiento y enriquecimiento intelectual.

El último proceso relacionado con el manejo de la información es la **comunicación de la información** utilizando diversos tipos de recursos expresivos (orales, escritos, gráficos o de otra naturaleza).

- Una parte esencial de la comunicación se realiza a través de procedimientos de **expresión oral**, cuyo perfeccionamiento requiere, entre otras habilidades, la planificación y elaboración de guiones, el análisis y la diferenciación de distintos tipos de exposiciones, la habilidad para responder preguntas, la justificación y defensa de la propia opinión.
- Otra manera de comunicar la información es la **expresión escrita**, en donde también se planifican y elaboran guiones y se usan técnicas de expresión (resúmenes, esquemas, informes, diferenciación de los diversos tipos de expresión escrita...).
- **Otros tipos de expresión** son los gráficos, mapas, tablas, diagramas, videos, fotografía.

2.3.1.3. Formulación de proyectos

La ingeniería moviliza importantes y cuantiosos recursos para atender sus compromisos con el desarrollo de la sociedad. La identificación y organización de los recursos, así como su utilización eficiente, contribuyen de manera determinante al mejoramiento de la calidad de vida de todos los miembros de la sociedad.

Los proyectos se reconocen como instrumentos adecuados para los propósitos de identificación y caracterización de problemas y oportunidades, jerarquización de necesidades, construcción de alternativas y toma de decisiones sobre inversión de los recursos, públicos y privados. Los proyectos de ingeniería son elementos de un sistema dinámico y complejo, expuesto a variadas exigencias políticas, culturales, técnicas, económicas, sociales y ambientales.

Consideraciones socioeconómicas y ambientales

El interés por asegurar la calidad en la formación de los ingenieros está plenamente justificado por el impacto que la ciencia, la tecnología y la ingeniería tienen en la vida de la sociedad contemporánea. La ingeniería canaliza hacia la producción y la dotación de infraestructura los resultados de los avances científicos y tecnológicos. Las repercusiones que tiene la ingeniería en la vida de

las personas y la universalización de los riesgos tecnológicos y ambientales asociados con sus procesos y productos obligan a asegurar a la sociedad que las nuevas generaciones de ingenieros disponen de los conocimientos, criterios, competencias y buen juicio necesarios para alentar, de manera sustentable, el progreso material al tiempo con un escrupuloso respeto por los recursos sociales, los derechos y expectativas de las personas y el medio ambiente.

A las dimensiones universales del compromiso de los ingenieros se suman las consideraciones específicas sobre las condiciones sociales reinantes en cada país. En los países en vía de desarrollo, en particular, los ingenieros deben enfrentar el doble reto de atender los compromisos tecnológicos y las exigencias de la globalización, y de procurar la solución de las necesidades de infraestructura y servicios básicos que afectan todavía a sectores considerables de la población.

Criterios básicos de gestión, calidad y sostenibilidad

La credibilidad y la confianza de la sociedad en la ingeniería dependen en gran medida de la imagen que las ejecutorias profesionales proyectan sobre los ciudadanos. Desde las etapas más tempranas de su formación, los ingenieros deben trabajar en la construcción de un clima de ejercicio profesional que responda a criterios y reconocimientos basados en la gestión eficiente y equitativa de los recursos naturales, económicos, científicos, tecnológicos y sociales. Desde esta perspectiva, es esencial promover la evaluación y el mejoramiento como ejes de proyectos de ingeniería que garanticen a la sociedad productos, bienes y servicios de alta calidad, consistentes con normas, especificaciones y prácticas que garanticen su sostenibilidad y sus efectos de largo plazo.

El creciente ejercicio interdisciplinario que acompaña las actividades de los ingenieros hace necesario profundizar en el reconocimiento y valoración de las relaciones de la ingeniería con otras disciplinas y profesiones. Por ejemplo, resulta importante alentar el interés por la economía para asegurar el buen uso de los recursos, destacar la importancia y conveniencia de los Proyectos como mecanismos adecuados de inversión, procurar una alta calidad de los resultados mediante una sólida fundamentación ética y una exigente gestión administrativa que incluya respeto escrupuloso por los límites de tiempo y costos planeados a partir de la definición de criterios claros de viabilidad, rentabilidad y sostenibilidad.

Análisis y selección de alternativas

Los estudiantes de ingeniería necesitan comprender en forma clara las alternativas mediante las cuales pueden alcanzarse el fin y el propósito de un proyecto. Deben tener presente que sus decisiones afectan el futuro y que no siempre es posible identificar todos los posibles cursos de acción. Esto implica que las decisiones siempre estarán envueltas en un ambiente de incertidumbre, tanto desde el punto de vista cuantitativo (factores que pueden medirse en términos numéricos, como el tiempo, los costos y los ingresos), como cualitativo (factores asociados con variables como las relaciones laborales, el apoyo de la sociedad, el riesgo del cambio tecnológico, el clima político internacional y las exigencias de cumplimiento de criterios, procedimientos y estándares de calidad).

En un proceso de preparación de proyectos, los estudiantes deben emplear herramientas relacionadas con prospectiva, análisis de riesgo, árboles de problemas, objetivos y alternativas que les permitan alcanzar una visión clara de variables críticas para la sostenibilidad del proyecto, tales como los costos de producción, la magnitud de la inversión, el precio del producto, el tamaño y características del mercado y la apreciación de los beneficios derivados del proyecto.

Análisis financiero básico

Es un proceso crítico orientado a evaluar las características financieras de un proyecto en un ambiente dinámico y complejo, con el objetivo de establecer las mejores estimaciones y predicciones posibles sobre las condiciones y resultados futuros de las inversiones, públicas o privadas, asociadas con el desarrollo del proyecto.

Además de un adecuado conocimiento de las técnicas contables básicas, el análisis financiero requiere del dominio de las herramientas matemáticas que permiten identificar y cuantificar las relaciones entre el tiempo, el costo del dinero y los factores operativos de la gestión del proyecto. Los datos cuantitativos más importantes, por su carácter objetivo y su mensurabilidad, son los datos financieros, pues éstos ayudan a la toma de decisiones.

La necesidad del conocimiento de los principales indicadores económicos y financieros, así como su interpretación, son imprescindibles para aproximarse competentemente a la realidad socioeconómica que conforma el entorno de los proyectos. Por esta razón, los estudiantes de ingeniería deben profundizar en el análisis financiero como base esencial para el proceso de toma de decisiones.

El objetivo fundamental de dicho análisis es revelar el comportamiento de las proyecciones realizadas, anticipar eventuales desviaciones y proponer el uso más eficiente de los recursos, tanto desde la perspectiva de los inversionistas como desde la óptica de la aplicación de los recursos públicos. Para el efecto, el análisis financiero debe realizarse en condiciones que garanticen un carácter sistémico, concreto y objetivo.

Estimación de tiempos y recursos

La estimación del tiempo forma parte del proceso de Administración de Proyectos e incluye los procesos necesarios para lograr la conclusión de los proyectos a tiempo. Los estudiantes de ingeniería deben conocer y manejar solventemente las diferentes etapas asociadas a la gestión del recurso temporal, a saber:

- 1 Identificación y definición de actividades
- 2 Establecimiento de la secuencia de las actividades
- 3 Estimación de recursos asociados con el desarrollo de las actividades
- 4 Estimación de la duración de las actividades
- 5 Desarrollo y control del cronograma

La estimación de costos es una actividad esencial en la etapa de preparación de un proyecto, al punto que la preparación y la determinación de los costos pueden ser términos muy cercanos. La cuantificación de los costos probables de los

recursos necesarios para ejecutar un proyecto (el presupuesto) requiere un conocimiento detallado de todos los insumos necesarios: mano de obra, materiales, equipos, servicios, instalaciones, tecnología de la información, costo del dinero (inflación y reservas), seguros y contingencias.

La estimación de recursos y costos se ve afectada por factores que el estudiante de ingeniería debe identificar y caracterizar en un proyecto: la complejidad derivada de la naturaleza técnica del proceso y de sus relaciones con el entorno, la dimensión, localización y estructura de las actividades, y el tipo de producto o servicio que proveerá el proyecto.

Identificación de impacto de decisiones

La toma de decisiones puede definirse como la selección de un curso de acción entre un conjunto de alternativas. Los estudiantes de ingeniería deben reconocer la toma de decisiones como una de las principales responsabilidades de su futuro trabajo profesional y, en consecuencia, deben conocer el proceso que conduce a la toma de decisión: la elaboración de premisas, la identificación y caracterización de alternativas, la evaluación de las mismas y la selección de aquella que responda con la mayor eficiencia a las demandas de factibilidad, viabilidad y sustentabilidad.

2.3.1.4. Naturaleza de la ingeniería

El desempeño responsable de la ingeniería no se reduce a saber y saber hacer, sino que necesariamente requiere comprender lo que es la ingeniería, su papel en la sociedad, así como el impacto que producen sus soluciones. Igualmente requiere conocer cómo se construye el conocimiento en ingeniería, así como su relación con otras disciplinas como las ciencias, las matemáticas y la tecnología. De igual manera, un ingeniero debe tener suficiente claridad sobre el rol de la ingeniería en la sociedad, sobre los compromisos de la profesión y sobre los códigos de conducta aceptables y no aceptables en el ejercicio de la misma.

Un examen de los programas de ingeniería y de los programas de los cursos muestra que este tema se aborda explícitamente ni en forma extendida en la formación de ingenieros. Podría pensarse que la simple participación en cursos disciplinares en ingeniería y en proyectos de ingeniería le brinda a los estudiantes la oportunidad de construir este tipo de conocimiento. El examen del caso de la ciencia, disciplina cercana a la ingeniería en la que se ha realizado esta reflexión, muestra que la participación en actividades científicas no desarrolla comprensión, (ni siquiera básica) sobre la naturaleza del conocimiento científico, su construcción y su validez [84].

Múltiples autores insisten en la importancia de comprender muy bien la naturaleza de las matemáticas, la ciencia, la tecnología y la ingeniería para todos los ciudadanos [83, 86, 87], así como para todas las profesiones. No menos se podrá afirmar en la formación de los ingenieros.

Las concepciones erradas en ingeniería, y en particular sobre la tecnología, pueden producir dificultades mayores [87]:

... la mayoría de las personas piensan que la tecnología es poco más que la aplicación de la ciencia en la solución de problemas prácticos. No existe conciencia sobre el hecho de que la tecnología moderna es el fruto de una compleja relación entre ciencia, ingeniería, política, ética, leyes, y otros factores. Las personas que proceden bajo esta concepción errada tienen una habilidad limitada para pensar críticamente sobre la tecnología.

En la misma referencia se indica:

La tecnología es el producto de la ingeniería y la ciencia, el estudio del mundo natural. La ciencia tiene dos partes: (1) un cuerpo de conocimiento que ha sido acumulado a lo largo del tiempo y (2) un proceso (indagación científica) que construye conocimiento sobre el mundo natural. La ingeniería se compone también de un cuerpo de conocimiento –en este caso, conocimiento sobre el diseño y la creación de productos hechos por el hombre– y un proceso para resolver problemas.... La tecnología se asocia también con la innovación, la transformación de ideas en procesos y productos útiles.

En este sentido se ha construido la noción de la alfabetización o ilustración en ciencia, tecnología e ingeniería. Durante la última década ha crecido la evidencia que permite afirmar que es fundamental que todo ciudadano de este siglo tenga suficiente ilustración en tecnología y en ingeniería. En la siguiente tabla se resumen las características de un ciudadano ilustrado en tecnología según [87]:

Conocimientos	Capacidades
<ul style="list-style-type: none"> • Comprende conceptos y términos básicos de ingeniería, como sistemas, restricciones y compromisos. • Está familiarizado con la naturaleza y las limitaciones de los procesos de diseño en ingeniería • Comprende cómo la tecnología ha dado forma a la historia de la humanidad y cómo las personas le han dado forma a la tecnología. • Sabe que toda tecnología involucra riesgos, y que solamente algunos de ellos se pueden anticipar. • Es consciente de los compromisos que involucra el desarrollo y la utilización de la tecnología. • Comprende que la tecnología refleja los valores y la cultura de la sociedad. • Es capaz de ejercer el pensamiento crítico y tiene capacidad de decisión. • Plantea preguntas pertinentes, a si mismo o a otros, en relación con los beneficios y riesgos de la tecnología. • Pondera la información disponible sobre los beneficios, riesgos, costos y compromisos de la tecnología desde una perspectiva sistémica. • Participa, cuando es apropiado, en decisiones sobre el desarrollo y utilización de la tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene un rango de habilidades manuales, tales como operar una variedad de equipos de hogar y oficina, y usa el computador para escribir o navegar en Internet • Puede identificar y reparar problemas mecánicos o tecnológicos sencillos en casa o en el trabajo. • Puede aplicar conceptos básicos matemáticos relacionados con probabilidad, escala y estimación para producir juicios informados sobre los riesgos y beneficios tecnológicos. • Puede utilizar un proceso de pensamiento de diseño para resolver problemas de su vida cotidiana. • Puede obtener información necesaria sobre temas tecnológicos desde múltiples fuentes.

Tabla 3: Atributos de un ciudadano ilustrado en tecnología e ingeniería

Como se indica, estos son atributos deseables para todo ciudadano en el siglo XXI, por lo que se debería esperar que formen parte de los fundamentos de una formación en ingeniería.

Naturaleza de la ingeniería y formación de ingenieros

Como se ha mencionado antes, algunos de estos atributos se presentan en la formación de los ingenieros de forma sistemática, pero otros no necesariamente. Pensar en incluirlos explícitamente en los currículos de ingeniería, o al menos en los planes de estudio, se impone como una necesidad. Esta decisión debe acompañarse de su inclusión, en la medida de lo posible desde el punto de vista técnico, en los procesos de evaluación.

Si se examina la importancia y el impacto de la ingeniería en la sociedad actual, esta afirmación encuentra sustento rápidamente. En [6], Buigliarello indica:

La ingeniería afecta virtualmente cada aspecto de nuestra sociedad y compromete a una parte sustancial de la población en desarrollar planes y diseños de ingeniería. ¿Pero cuál es la naturaleza de esta actividad? ¿Cuál es el rol de la ingeniería en responder a las necesidades de la sociedad así como en darle forma? ¿Qué tan bien desarrolla la ingeniería este rol?

Más adelante, el mismo autor indica que los ingenieros deben participar activamente en formular la razón de ser de la tecnología:

En la actualidad, la profesión de la ingeniería está pobremente equipada para responder a esto (la razón de ser de la tecnología), en este país (EE.UU.) y en cualquier otro. A diferencia de lo que ha pasado en la ciencia, pocos ingenieros se han preocupado por desarrollar una filosofía de la tecnología y por enseñar el tema en las escuelas de ingeniería. Ya a comienzos del siglo XX, John Dewey vislumbró que los problemas de la tecnología y la filosofía eran inseparables. La separación de la ingeniería y la filosofía afecta la sociedad entera. Los ingenieros, que dan forma a nuestro futuro, necesitan ser guiados por un claro sentido y significado del rol de la tecnología en la sociedad. Los grandes retos sociales que enfrentamos requieren repensar la relación humano-artefacto-sociedad...

En relación con los planes de estudio, Adams indica en [88]:

Los cursos que introducen la realidad compleja del cambio tecnológico no pueden ser relegados a un estatus electivo para estudiantes informados. Hacerlo implicaría que los componentes sociales y políticos del cambio son periféricos. Como he mostrado en este ensayo, los componentes políticos y sociales y los problemas que éstos presentan son a menudo el núcleo de la complejidad del problema al cual los ingenieros y científicos deben enfrentarse. Puedo dar incontables ejemplos de ingenieros y científicos experimentados que deben enfocar sus energías en aspectos políticos y sociales con el fin de sacar adelante una innovación. Si no preparamos a los ingenieros y científicos para esta flexibilidad imaginativa, entonces estaremos relegando la responsabilidad del cambio tecnológico a largo plazo a otras profesiones.

Pero ¿qué significa enseñar y aprender la filosofía de la ingeniería? Según Dias de Figuereido, aproximar la filosofía de la ingeniería implica responder al menos a cuatro preguntas que se indican en la Tabla 2 y que se retoman nuevamente [76]:

1. Ontológica: ¿cuál es la realidad que puede conocer la ingeniería?
2. Epistemológica: ¿qué es conocimiento en ingeniería?
3. Metodológica: ¿cómo puede ser construido el conocimiento en ingeniería?
4. Axiológica: incluye las cuestiones éticas e indaga por el valor y la verdad del conocimiento en ingeniería.

ABET y la naturaleza de la ingeniería

Un examen de los criterios ABET en la acreditación de los programas muestran de forma inmediata la dimensión de naturaleza de la ingeniería (ver [39]):

- Habilidad para diseñar un sistema, componente, o proceso que satisfaga necesidades con restricciones económicas, sociales, políticas, éticas, de salud de seguridad y de realización realistas.
- Comprensión de la responsabilidad profesional y ética.

- Una educación amplia necesaria para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global, económico, ambiental y social.
- Conocimiento de problemas contemporáneos.

Dimensiones y competencias a evaluar en relación con la naturaleza de la ingeniería

La evaluación de este componente presenta grandes dificultades. La falta de un trabajo de caracterización suficientemente desarrollado por la comunidad académica en ingeniería y la poca reflexión de corte epistemológico existente son dificultades mayores para caracterizar esta dimensión. Por ello, en este documento se propone explorar únicamente los elementos más sólidos de esta dimensión, dejando a futuros trabajos la tarea de mejorar la aproximación al tema. Dichos trabajos deben resultar de procesos de investigación rigurosamente sustentados en evidencias.

Para construir un marco funcional, se propone en consecuencia examinar en esta dimensión los aspectos que se expresan en algunas preguntas que se formulan más adelante. Es entendible que muchas de estas preguntas sean muy complejas para los estudiantes en el tramo final de su carrera, pero se podría esperar que algunas de ellas puedan ser abordadas en niveles iniciales de complejidad.

Naturaleza del conocimiento	Ingeniería, tecnología, ciencia y sociedad	Juicio ético
Este componente no sólo es fundamental para los ingenieros, matemáticos y científicos, sino para todos los ciudadanos. Se trata de alfabetización en matemáticas, ciencia, tecnología e ingeniería para la ciudadanía.	Aborda la razón de ser de la ingeniería y la responsabilidad social del ingeniero.	Aborda la capacidad del egresado para identificar dilemas éticos en el marco de soluciones y proyectos de ingeniería.
<p>¿Qué es ser ingeniero, qué es hacer ingeniería?</p> <p>¿Qué es un problema de ingeniería?</p> <p>¿Cuáles son las características de un problema en ingeniería?</p> <p>¿Cómo se relacionan los problemas en ingeniería con los problemas en ciencias o matemáticas?</p> <p>¿Cuál es la relación de la ingeniería con la tecnología?</p> <p>¿Cómo se produce el conocimiento en ingeniería?</p> <p>¿Cuál es la validez del conocimiento en ingeniería?</p> <p>¿En qué se diferencian y en qué se parecen los procesos de construcción de conocimiento en ingeniería y en otras disciplinas, como las matemáticas o la ciencia?</p> <p>¿Qué impacto tiene el desarrollo de la ciencia y la matemática en la ingeniería?</p> <p>¿Qué impacto tiene el desarrollo de la ingeniería en la ciencia y la tecnología?</p> <p>¿Cuál es la relación entre ingeniería y tecnología?</p> <p>¿Cuál es el rol de la ciencia en la ingeniería?</p>	<p>¿Cuál es el rol de la ingeniería en la sociedad?</p> <p>¿Qué se puede esperar a futuro de este rol?</p> <p>¿Cuál es el impacto de la sociedad en la ingeniería, cuál es el impacto de la ingeniería en la sociedad?</p> <p>¿Cómo se relaciona la labor de la ingeniería con la de otras profesiones?</p> <p>¿En qué consiste la responsabilidad profesional del ingeniero?</p> <p>¿Cuál es el marco legal del ejercicio de la ingeniería?</p> <p>¿Qué aspectos deben ser tenidos en cuenta para medir el impacto de las soluciones en ingeniería? ¿Qué profesiones están a cargo de estimar estos impactos?</p> <p>¿Cuál es el papel de la ingeniería en las decisiones ciudadanas que competen a la utilización de soluciones tecnológicas?</p> <p>¿Cuáles son los medios principales de participación ciudadana y de la ingeniería en estas decisiones?</p>	<p>¿Cuáles son elementos de los códigos de comportamiento profesional en ingeniería? Frente a una situación realista en ingeniería, ¿dónde se podrían encontrar dilemas éticos? ¿Qué análisis se puede realizar?</p>

Tabla 4: Posibles componentes y preguntas en relación con la naturaleza de la ingeniería

2.3.1.5. Diseño en ingeniería

Uno de los factores centrales en la competitividad es la innovación en procesos, servicios y productos, labores que involucran actividades de diseño. La innovación no puede ser considerada como una responsabilidad exclusiva de una profesión particular como la ingeniería, dado que ésta se produce en sociedades optimizadas para la innovación [89]:

Donde una vez optimizábamos las organizaciones para la eficiencia y la calidad, ahora debemos optimizar la sociedad entera para la innovación.

Innovar no implica simplemente hacer cosas nuevas o de forma novedosa. La innovación implica lograr algo que sirve efectivamente, que es aceptado como tal por la sociedad (por ejemplo, por el mercado). Sin esta aceptación, simplemente se trata de ideas novedosas [90].

El rol de la ingeniería en el marco de una sociedad innovadora es central. Sin ciencia, tecnología e ingeniería enmarcadas en procesos de diseño, la capacidad de innovación se reduce.

En la dimensión de *diseño en ingeniería* entra en juego la creatividad, que se refiere a la capacidad de generar ideas y productos (artefactos, instrumentos tecnológicos, procesos, sistemas).

Crear implica combinar elementos que ya existen para generar algo nuevo. La creatividad se puede definir entonces como la capacidad de generar nuevas relaciones entre objetos ya existentes [91].

La capacidad de crear es una de las características que se esperan de un ingeniero. Los retos del nuevo siglo requieren de personas capaces de abordar problemas conocidos y nuevos con alternativas de soluciones novedosas y eficaces.

Dentro de las características de un proceso creativo se pueden mencionar las siguientes [91]:

- Todo proceso creativo es generado a partir de una necesidad sentida o anticipada.
- Para abordar dicha necesidad es necesario conocer el tema sobre el que se está trabajando. Es necesario partir de una información previa para que surja la idea creativa.
- Existe una fase de concepción o incubación, donde se generan las ideas a partir de las conexiones hechas entre preconceptos y mapas mentales que se han construido con anterioridad.
- Finalmente, hay una fase de acción donde se organizan los datos, se planea el trabajo a realizar y se llevan a cabo las pruebas y los análisis correspondientes para evaluar e implementar las soluciones generadas.

La siguiente figura ilustra los momentos que pueden caracterizar el proceso de diseño [92].



Figura 11: Una posible trayectoria en el diseño en ingeniería.

2.3.2. Componentes

Con el fin de definir los objetivos de aprendizaje a evaluar en cada dimensión, se proponen un conjunto de componentes que corresponden a diferentes miradas en el desempeño del estudiante. Éstos pueden constituirse en evidencias que permitan inferir niveles de competencia logrados por el profesional en ingeniería. Se busca que entre estos componentes exista el mayor nivel de independencia posible; sin embargo, esto se puede lograr sólo parcialmente. También se seleccionan componentes fundamentales cuyas características posibiliten su evaluación.

Las especificaciones de la prueba se desarrollan a partir del marco antes descrito, indicando las dimensiones de desempeño, los componentes de cada dimensión, los desempeños asociados a cada tipo de conocimiento sobre los que se deberán desarrollar los instrumentos para recoger las evidencias necesarias para emitir un juicio.

La siguiente figura ilustra esta estructura para las tablas relacionadas con las dimensiones y los componentes propuestos para la prueba.



Figura 12: Estructura de las tablas para especificar el objeto de estudio a evaluar

A continuación se presentan las tablas propuestas.

Tabla 5: Habilidades matemáticas y científicas

DIMENSIÓN: HABILIDADES MATEMÁTICAS Y CIENTÍFICAS

Se refiere a la competencia para comprender la naturaleza del conocimiento de las matemáticas y de las ciencias naturales, así como para utilizar apropiadamente habilidades para modelar procesos o fenómenos naturales o artificiales.

COMPONENTES	CONOCIMIENTO DECLARATIVO	CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL	CONOCIMIENTO ESQUEMÁTICO	CONOCIMIENTO ESTRATÉGICO	CRITERIO DE DESEMPEÑO
Comprensión de la ciencia y sus métodos	El estudiante tiene conocimientos en probabilidad y en estadística, y conoce los principios y leyes de la física básica universitaria para ingeniería.	Entre varias preguntas, el estudiante identifica aquéllas que pueden y aquéllas que no pueden ser respondidas por la ciencia. Desarrolla un protocolo experimental para resolver una pregunta de carácter científico.	Dado un conjunto de resultados de una investigación, el estudiante valora las conclusiones teniendo en cuenta la metodología de trabajo utilizada y analiza las evidencias presentadas.	El estudiante propone protocolos experimentales en situaciones novedosas.	Frente a una pregunta de investigación sobre el mundo natural, el estudiante puede valorar la funcionalidad de la pregunta desde una perspectiva científica, proponer un protocolo de experimentación, desarrollar la experiencia, registrar datos y organizarlos de forma apropiada, y proponer respuestas y conclusiones basadas en las evidencias identificadas.
Formulación de modelos	El estudiante conoce los principios y leyes de la física básica universitaria para ingenieros, al igual que los contenidos en matemáticas relacionados con variación y cambio, medición, convergencia, estructuras y aleatoriedad.	El estudiante identifica variables de entrada y salida en un sistema. Obtiene modelos a partir de datos o de características de los sistemas y las leyes y principios que lo describen.	El estudiante realiza predicciones a partir de los modelos y sus características, identificando respuestas transitorias y permanentes en los mismos. Explica el efecto de la realimentación en los sistemas.	Frente a un sistema novedoso, el estudiante puede proponer una estrategia adecuada para encontrar y validar un modelo.	Dado un sistema natural o artificial sobre el cual se quiere trabajar, el estudiante puede identificar las leyes que lo rigen, plantear un modelo que permita aproximar su comportamiento, validar el modelo y utilizarlo para predecir el comportamiento del sistema.

Tabla 6: Diseño en ingeniería

DIMENSIÓN: DISEÑO EN INGENIERIA

Se refiere a la competencia para planificar, concebir, optimizar y desarrollar sistemas, productos o servicios. Para ello se integran conocimientos y principios de las ciencias básicas y de las distintas disciplinas de Ingeniería, con el fin de satisfacer necesidades y cumplir con requerimientos y restricciones técnicas, financieras, de mercado, ambientales, sociales, éticas y económicas.

COMPONENTES	CONOCIMIENTO DECLARATIVO	CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL	CONOCIMIENTO ESQUEMÁTICO	CONOCIMIENTO ESTRATÉGICO	CRITERIOS DE DESEMPEÑO
Identificación de problemas que se pueden resolver por diseño, incluyendo sus requerimientos y restricciones	El estudiante diferencia conceptualmente especificaciones de restricciones y tipos de restricciones (de diseño, de desempeño, económicos, ambientales, jurídicos, sociales, obligatorios, deseables).	El estudiante identifica problemas que se pueden resolver mediante diseño de ingeniería. Analiza problemas de diseño con el fin de determinar especificaciones y restricciones directamente relacionadas con el tipo de problema enfrentado.	El estudiante evalúa las especificaciones y restricciones para el diseño en el contexto en el cual será utilizada la solución.	El estudiante evalúa el valor agregado que puede tener el diseño sobre el estado del arte en la materia e identifica nuevas oportunidades que pueden eventualmente desprenderse de esta labor.	Frente a una situación problemática, el estudiante puede identificar oportunidades de solución basadas en el diseño en ingeniería, puede identificar especificaciones y restricciones técnicas y de otra naturaleza, estructurar y delimitar el problema de diseño, así como evaluar el impacto eventual del diseño que se pretende realizar.
Desarrollo de diseños en ingeniería	El estudiante conoce los principios, las herramientas y las técnicas requeridas para diseñar y optimizar soluciones. Así mismo, conoce las normas y estándares de ingeniería y las técnicas de modelado y simulación necesarias en el diseño.	El estudiante aplica las herramientas y las técnicas que conoce para diseñar y optimizar la solución, cumpliendo con requerimientos y restricciones.	Frente a un problema de diseño, el estudiante identifica diferentes alternativas de solución, las evalúa, y selecciona la más apropiada para un contexto dado.	En un contexto novedoso, el estudiante propone estrategias de diseño apropiadas.	Frente a un problema que requiere un proceso de diseño estructurado, el estudiante puede identificar posibles soluciones técnicamente viables y estimar el cumplimiento de las especificaciones y restricciones. Selecciona una alternativa de diseño apropiada y la desarrolla.

Tabla 7: Investigación y Manejo de información

DIMENSIÓN: INVESTIGACIÓN Y MANEJO DE INFORMACIÓN

Se refiere a la competencia para diseñar y desarrollar estrategias para recolectar, organizar y sistematizar información, utilizando herramientas informáticas que permitan solucionar situaciones disciplinares en un marco de responsabilidad social, ética y profesional.

COMPONENTES	CONOCIMIENTO DECLARATIVO	CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL	CONOCIMIENTO ESQUEMÁTICO	CONOCIMIENTO ESTRATÉGICO	CRITERIO DE DESEMPEÑO
Definición de protocolos para la búsqueda de información de manera organizada y sistemática, atendiendo a los principios básicos de las metodologías investigativas.	El estudiante conoce protocolos de manejo de información, técnicas de investigación documental, técnicas de recolección y organización de datos, técnicas estadísticas de análisis y representación de datos.	El estudiante formula preguntas de investigación pertinentes y elige estrategias adaptadas para resolver la pregunta de investigación que se plantea. Utiliza técnicas e instrumentos para recolectar, seleccionar, validar e interpretar información, apoyándose en bases de datos y fuentes referenciales diversas.	El estudiante analiza, evalúa y propone explicaciones, inferencias e hipótesis a partir de la información recolectada y de las evidencias identificadas.	El estudiante diseña estrategias de investigación pertinentes en contextos novedosos para él.	El estudiante puede proponer una pregunta de investigación, diseñar y desarrollar estrategias pertinentes para recolectar el tipo de información buscada, organizarla, identificar evidencias y proponer respuestas y explicaciones basadas en las evidencias.
Utilización, desarrollo e integración de herramientas informáticas para el manejo de la información	El estudiante conoce algunos componentes de las Tecnologías de Información y Comunicación relacionados con bases de datos, hojas de cálculo, aplicativos estadísticos y desarrollo de aplicaciones informáticas sencillas que permiten buscar, almacenar y procesar información.	El estudiante utiliza diferentes herramientas informáticas para hacer búsquedas de información, simples y especializadas; desarrolla aplicativos informáticos sencillos para procesar y transformar la información.	El estudiante valora y valida la calidad de la información obtenida haciendo uso de herramientas informáticas.	El estudiante selecciona e integra herramientas informáticas en el procesamiento de información.	El estudiante utiliza flexiblemente herramientas informáticas para buscar, organizar, analizar y presentar información.

Tabla 8: Formulación de proyectos

DIMENSIÓN: FORMULACIÓN DE PROYECTOS

Se refiere a la competencia para contextualizar y formular proyectos de ingeniería mediante la identificación, caracterización, organización y cuantificación óptima de recursos, procesos y actividades en el tiempo, así como para identificar y estimar los impactos principales de las alternativas propuestas para la solución de situaciones problemáticas.

COMPONENTES	CONOCIMIENTO DECLARATIVO	CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL	CONOCIMIENTO ESQUEMÁTICO	CONOCIMIENTO ESTRATÉGICO	CRITERIO DE DESEMPEÑO
Identificación y caracterización del contexto de los proyectos	El estudiante conoce los indicadores utilizados en la formulación y el desarrollo de proyectos de ingeniería para caracterizar las poblaciones demográfica, ambiental, económica y socialmente.	El estudiante utiliza los indicadores que permiten caracterizar las principales variables demográficas, sociales, económicas y ambientales relacionadas con la formulación de un proyecto de ingeniería.	El estudiante relaciona las variables sociales, económicas, demográficas y ambientales procedentes del entorno e identifica compromisos entre ellas. Ello le permite identificar especificaciones, características y restricciones técnicas, normativas, administrativas y operativas para formular el proyecto con criterios de optimización.	Frente a una situación novedosa en términos del tipo de problema enfrentado y/o en términos del contexto en el que se presenta el problema, el estudiante identifica las condiciones socioeconómicas específicas del entorno y las toma en cuenta para formular alternativas de solución.	El estudiante identifica las condiciones socio-económicas, ambientales y culturales del entorno requeridas para definir las restricciones, especificaciones y características que debe tener un proyecto de ingeniería con miras a resolver un problema.
Formulación de proyectos de ingeniería	El estudiante conoce los criterios y características de seguridad, calidad y sostenibilidad de un proyecto de ingeniería. Conoce las expresiones matemáticas básicas empleadas en el análisis financiero. Conoce los fundamentos de organización y administración necesarios para la gestión de un proyecto. Tiene igualmente conocimientos básicos de probabilidad y estadística.	El estudiante hace cálculos para estimar la rentabilidad de las inversiones realizadas en un proyecto. Aplica técnicas de programación y de control de actividades. Elabora representaciones gráficas de flujo de recursos y de desarrollo de actividades (cronogramas). Sabe descomponer un proceso en actividades simples y cuantificar tiempos y recursos.	El estudiante utiliza información del entorno para estimar las contingencias y los riesgos que se pueden presentar a lo largo del desarrollo del proyecto e identifica posibles planes alternativos de mitigación.	El estudiante plantea diferentes alternativas para desarrollar un proyecto en contextos de incertidumbre y las tiene en cuenta al formular su propuesta. Establece la demanda de los insumos requeridos por un proyecto y la relaciona con el tamaño del proyecto y la producción esperada (estudio de mercado). Considera las relaciones del proyecto con el entorno físico y antrópico.	El estudiante formula un proyecto teniendo en cuenta el marco normativo, las buenas prácticas de organización, gestión, seguridad y aseguramiento de la calidad, y las estimaciones de tiempos y costos. Al formular un proyecto, el estudiante estima su impacto en el entorno físico y antrópico.

Tabla 9: Naturaleza de la ingeniería

DIMENSIÓN: NATURALEZA DE LA INGENIERÍA

Se refiere a la comprensión de la Ingeniería como disciplina, de su papel en la sociedad, y del impacto de sus actuaciones en el entorno. Ello implica comprender la forma en que se construye el conocimiento en Ingeniería y sus límites así como sus interacciones con otras disciplinas como las ciencias (naturales y sociales) y las matemáticas. Implica igualmente comprender el rol del ingeniero en la sociedad, sus compromisos éticos, y los códigos de conducta, aceptables y no aceptables, en el ejercicio de su profesión.

COMPONENTES	CONOCIMIENTO DECLARATIVO	CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL	CONOCIMIENTO ESQUEMÁTICO	CONOCIMIENTO ESTRATÉGICO	CRITERIO DE DESEMPEÑO
Historia de la ingeniería y su rol en la sociedad	El estudiante conoce aspectos centrales de la historia de la construcción de la ciencia y de la ingeniería como campos disciplinares, así como aspectos centrales de la historia del desarrollo técnico y tecnológico de la humanidad. Identifica las dimensiones sociales inherentes a la construcción del conocimiento en ciencia y en ingeniería.	En un proyecto interdisciplinario, el estudiante identifica el rol y la responsabilidad de la ingeniería.	El estudiante enmarca y analiza, desde una perspectiva epistemológica, el rol de la ingeniería en un proyecto interdisciplinario y su relación con el rol de las demás profesiones.	Frente a una situación problemática nueva para él, el estudiante plantea una perspectiva, desde su rol de ingeniero, sobre la importancia, los límites y el impacto de las soluciones ingenieriles en el mundo contemporáneo y la interacción que se requiere con otras profesiones en la solución del problema.	El estudiante identifica hitos históricos y roles de la ingeniería a lo largo de la historia. Igualmente puede diferenciar el tipo de problemas que resuelve la ingeniería de los que resuelven las ciencias (naturales y sociales). Frente a una situación problemática cuya solución involucra expertos de múltiples profesiones, el estudiante de ingeniería identifica el rol de la ingeniería, así como el de las demás profesiones, en la solución.
Dilemas éticos y responsabilidad profesional en el ejercicio de la ingeniería	El estudiante conoce normas y principios que regulan la responsabilidad y la ética en el manejo de la información y en el ejercicio de la profesión.	El estudiante identifica dilemas éticos en el manejo de la información y en el ejercicio de la práctica profesional en ingeniería.	El estudiante adopta una posición sustentada frente a las dificultades y los impactos generados por el mal ejercicio profesional, basado en la existencia de un sistema de valores del campo disciplinar.	El estudiante propone lineamientos y políticas relevantes para un ejercicio profesional responsable.	Frente a una situación en la que interviene la ingeniería, el estudiante puede identificar y analizar dilemas éticos y de responsabilidad profesional.

Observaciones: Esta dimensión será piloteada en el ECAES 2011 y será computada en los resultados de la prueba únicamente en ECAES posteriores.