

**Revisión y consolidación de la fundamentación
conceptual y especificaciones de prueba
correspondiente a la prueba Saber Pro de ingeniería
2011 – 2023**

**MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL, OBJETO DE
ESTUDIO Y CONSTRUCTO PARA LA PRUEBA SABER
PRO DE INGENIERÍA**



**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., diciembre de 2010

Equipo técnico estratégico

Amparo Camacho Díaz
Yanneth Castelblanco Marcelo
Adolfo León Arenas Landínez
Julio Cesar Cañón Rodríguez
Mauricio Duque Escobar
Álvaro Enrique Pinilla Sepúlveda

Coordinación por ACOFI

Luis Alberto González Araujo

Consejo Directivo ACOFI

Francisco Rebolledo Muñoz, Pontificia Universidad Javeriana
Carlos Palacio Tobón, Universidad de Antioquia
Ramón Torres Ortega, 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

Director Ejecutivo ACOFI

Eduardo Silva Sánchez

Derechos reservados de autor, 2010
Bogotá, Colombia

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

Tabla de contenido

<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>6</u>
1. Intención del documento.....	6
2. La ingeniería, profesión central del siglo XXI.....	6
3. Los programas de ingeniería en Colombia.....	8
<u>MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....</u>	<u>9</u>
1. Marco teórico y conceptual.....	9
1.1. OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN.....	9
1.2. PILARES PROPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN.....	10
2. Referentes sobre el concepto de competencias.....	12
3. El enfoque de formación por competencias y la evaluación de desempeños.....	16
4. Competencias e indicadores de desempeños.....	17
5. Tendencias en la evaluación.....	21
6. Evaluación de aprendizajes en educación superior y en Ingeniería.....	21
7. Expresión del marco conceptual en el marco de la ingeniería.....	23
<u>EL OBJETO DE ESTUDIO EN DESEMPEÑOS.....</u>	<u>24</u>
8. Objeto de estudio para ingeniería – práctica de la ingeniería.....	24
8.1. LA NORMATIVIDAD.....	24
8.2. BREVE HISTORIA DE LA INGENIERÍA Y SU CARACTERIZACIÓN COMO DISCIPLINA.....	24
8.3. CARACTERIZACIÓN DE LA INGENIERÍA Y SU PRÁCTICA.....	25
9. Componentes de la prueba y objetivos a evaluar.....	29
9.1. DIMENSIONES DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	31
9.1.1. Indagación, modelamiento e incertidumbre en ingeniería.....	32
9.1.2. Manejo de la información.....	33
9.1.3. Formulación y evaluación de proyectos.....	36
9.1.4. Naturaleza de la ingeniería.....	39
9.1.5. Diseño en ingeniería.....	44
9.2. COMPONENTES.....	46
<u>ESPECIFICACIONES DE PRUEBA.....</u>	<u>47</u>
Propósito de la Evaluación.....	47
Objetivos de la prueba Saber Pro Ingeniería.....	47
Población objetivo.....	47
¿Qué se evalúa?.....	48
Modelo basado en evidencias.....	48
10. Indagación, modelamiento e incertidumbre.....	50
10.1. INDAGACIÓN.....	50

10.2.	MODELAMIENTO.....	51
10.3.	MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE	52
11.	Manejo de información	52
11.1.	INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS	52
11.2.	HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL MANEJO DE INFORMACIÓN.....	53
12.	Formulación de proyectos en ingeniería.....	54
12.1.	IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS EN INGENIERÍA	54
12.2.	FORMULACIÓN DE PROYECTOS EN INGENIERÍA.....	54
13.	Diseño en ingeniería	55
13.1.	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE DISEÑO.....	55
13.2.	DISEÑO CONCEPTUAL	56
13.3.	DISEÑO DE DETALLE	56
14.	Naturaleza de la ingeniería	57
<u>ESTRUCTURA PROPUESTA PARA EL EXAMEN.....</u>		<u>59</u>
<u>REFERENCIAS</u>		<u>62</u>

Tabla de figuras

Figura 1: Componentes de la evaluación propuestos por el National Research Council, NRC.....	11
Figura 2: Componentes que se deben incluir en un proceso de evaluación, según Shavelson	11
Figura 3: Esquema de competencias.....	14
Figura 4: Principios para la formación por competencias	15
Figura 5 : Tipos de conocimiento que se pueden evaluar.	20
Figura 6: Estructura de los sistemas modernos de acreditación	21
Figura 7: Marco de referencia para el aprendizaje en educación superior según Shavelson.....	22
Figura 8: Relación entre tipos de conocimientos, desempeños y niveles de la taxonomía de Bloom	23
Figura 9: Relación entre los componentes del objeto de estudio	28
Figura 10: Resumen de los elementos de la Resolución 2773.....	28
Figura 11: Dimensiones del objeto de estudio y su relación la prueba genérica profesional.....	30
Figura 12: Desarrollo del objeto de estudio en componentes, niveles, desempeños y referencias temáticas	31
Figura 13: Una posible trayectoria en el diseño en ingeniería.....	46
Figura 14: Estructura de las tablas para especificar el objeto de estudio a evaluar.....	46
Figura 15: Desarrollo del objeto de estudio en componentes, niveles, desempeños y referencias temáticas	49

Tablas

Tabla 1: Atributos de la competencia.....	13
Tabla 2: Facetas de la ingeniería.....	27
Tabla 3: Atributos de un ciudadano ilustrado en tecnología e ingeniería	40
Tabla 4: Posibles componentes y preguntas en relación con la naturaleza de la ingeniería	43
Tabla 5: Tipos de conocimiento en indagación.....	51
Tabla 6: Tipos de conocimiento en modelamiento.....	52
Tabla 7: Tipos de conocimiento en manejo de la incertidumbre.....	52
Tabla 8: Tipos de conocimiento en investigaciones y estudios	53
Tabla 9: Tipos de conocimiento en utilización de herramientas informáticas.....	53
Tabla 10: Tipos de conocimiento en identificación de proyectos.....	54
Tabla 11: Tipos de conocimientos en formulación de proyectos en ingeniería	55
Tabla 12: Tipos de conocimiento en identificación del problema de diseño.....	56
Tabla 13: Tipos de conocimientos en naturaleza de la ingeniería.....	58

Desde su origen, ACOFI ha trabajado permanentemente en procura del mejoramiento de la calidad de la educación en ingeniería en Colombia, siendo éste un objetivo misional. Con el correr de los años, ACOFI ha desarrollado una amplia gama de material escrito sobre el tema, que han servido como soporte a algunas secciones del presente documento. Es por esto que el trabajo que aquí se presenta pertenece al conjunto de la comunidad académica de la ingeniería, representada por profesores, directivos e individuos que durante años han aportado a la discusión acerca de la educación en ingeniería.

1. Intención del documento

En el marco del Convenio N° 440 de diciembre de 2009 entre ACOFI y el ICFES se convino la elaboración y presentación de tres productos, los cuales responden al documento del ICFES titulado “Lineamientos para la elaboración del marco de referencia de pruebas y estudios”, código B2.1.G01, versión 1. En particular, este primer producto responde a los lineamientos 4 (Objeto de estudio) y 5 (Definición y caracterización del aspecto cognitivo, y componentes) del documento del ICFES.

2. La ingeniería, profesión central del siglo XXI

El concepto de ingeniería es casi tan antiguo como la humanidad misma [1]:

El concepto de ingeniería ha existido desde cuando los primeros hombres lograron invenciones fundamentales como la polea, la palanca y la rueda. Cada una de estas invenciones es consistente con la definición moderna de ingeniería, que explota principios mecánicos y científicos básicos para desarrollar herramientas, objetos y soluciones a problemas identificados.

La misma referencia indica sobre su historia:

La forma original de utilización del término ingeniería aplica a la construcción de máquinas militares, tales como catapultas. Más tarde, en la medida en que el diseño de estructuras civiles, como puentes y edificios, fue madurando como una disciplina técnica, el término de ingeniería civil entra en el léxico como un medio para diferenciar estas especializaciones de construcción en el marco de proyectos no militares de aquéllos que corresponden a la antigua disciplina de la ingeniería militar. A medida que la tecnología avanza, otros campos de especialización tales como ingeniería mecánica, eléctrica y química emergen.

Igualmente propone la siguiente definición:

Ingeniería se ha definido clásicamente como la profesión que se encarga de la aplicación del conocimiento técnico, científico y matemático con el fin de utilizar las leyes naturales y los recursos físicos para ayudar a diseñar y

desarrollar materiales, estructuras, máquinas, dispositivos, sistemas y procesos que en forma segura logren un objetivo deseado. Como tal, la ingeniería se encuentra en la interfaz entre el conocimiento científico y matemático y la sociedad humana. La actividad primaria de un ingeniero es concebir, diseñar, implementar y operar soluciones, aparatos, procesos y sistemas novedosos para mejorar la calidad de vida, responder a las necesidades o problemas sociales y mejorar la competitividad y el éxito comercial de la sociedad.

Según [2] :

La profesión de ingeniería no es sólo un trabajo, es un modo de pensar, una forma de vida. Los ingenieros utilizan su criterio y experiencia para resolver problemas cuando los límites del conocimiento científico o matemático son evidentes. Su premisa constante es reducir el riesgo. Sus más exitosas creaciones reconocen la falibilidad humana. La complejidad es su compañera constante.

Otra definición de ingeniería viene de [3]:

Ingeniería es un proceso profundamente creativo. Una descripción más elegante indica que la ingeniería tiene que ver con diseño bajo restricciones. El ingeniero diseña dispositivos, componentes, subsistemas y sistemas, y crea diseños exitosos, en el sentido que éstos se orientan, directa o indirectamente, a mejorar la calidad de vida, trabajando bajo restricciones técnicas, económicas, de negocio, políticas, sociales y éticas.

Nunca había estado tan de actualidad la ingeniería [4]:

La explosión de nuevas tecnologías de la información, robótica, biotecnología, el incremento de la mezcla de innovación con descubrimientos científicos: existen factores poderosos que está afectando la vida del día a día de maneras inesperadas.

Y sobre la definición de ingeniería menciona:

La práctica de la ingeniería es, en su esencia, resolución de problemas. Existen muchas formas para describir este trabajo. El departamento del trabajo de EEUU describe la ingeniería como la aplicación de “teoría y principios de ciencias y matemáticas para investigar y desarrollar soluciones económicas a problemas técnicos... el enlace entre las necesidades sociales percibidas y las aplicaciones comerciales (EEUU Departamento del trabajo y oficina de estadísticas 2007)... ABET¹ describe la práctica de la ingeniería como “un proceso de toma de decisiones (a menudo iterativo), en el cual las ciencias básicas, las matemáticas y las ciencias de la ingeniería se aplican para convertir recursos de forma óptima para satisfacer un objetivo propuesto.

¹ Accreditation Board for Engineering and Technology

3. Los programas de ingeniería en Colombia

Para el año 2008, Colombia contaba con 842 programas de pregrado de ingeniería, con cerca de 100 denominaciones diferentes. Casi 30.000 estudiantes se graduaron de ingenieros ese mismo año. Cerca de 160 instituciones de educación superior cubren esta amplia oferta de programas de pregrado en ingeniería. Estas cifras claramente justifican la importancia de un trabajo que promueva y facilite la consolidación de un sistema de evaluación de los aprendizajes de los estudiantes de ingeniería. Se espera que los resultados de este trabajo beneficien a todos los programas de ingeniería que en la actualidad existen en el país.

1. Marco teórico y conceptual

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. Objetivos de la evaluación

Según [5], 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 [5] 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.

1.2. Pilares propuestos para la evaluación

En relación con los pilares de una evaluación, en [5] 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 Figura 1):

- 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.

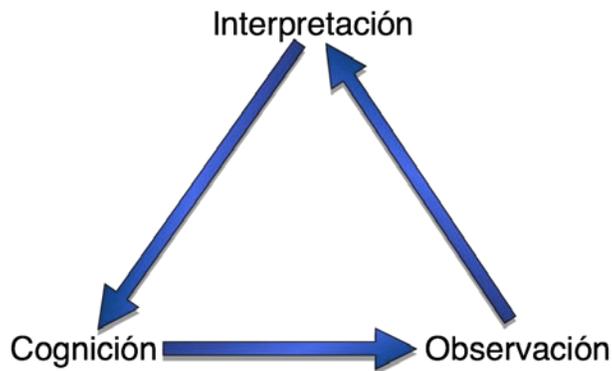


Figura 1: Componentes de la evaluación propuestos por el National Research Council, NRC

En [6] se agrega un cuarto pilar que estaba implícito en el triángulo. El nuevo esquema se resume en la Figura 2:

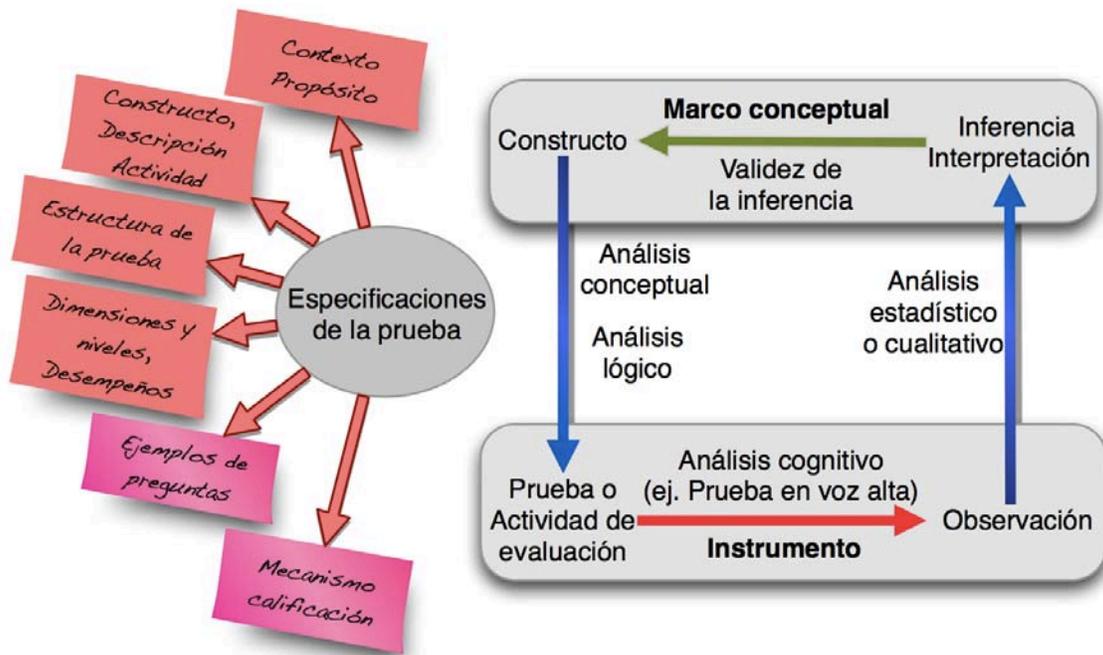


Figura 2: Componentes que se deben incluir en un proceso de evaluación, según Shavelson

El constructo² 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

² 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 [5]:

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 [5]:

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.

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 [7] y la de Delors [8], 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" [9]

McClelland en [7] 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 [10]. Desde esta perspectiva los atributos corresponden a elementos claves para la construcción de una visión integradora de las competencias, es decir que un atributo integra inteligencia, conocimientos, funciones, aptitudes, habilidades, actitudes, destrezas, capacidades, entre otros, 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.

Tabla 1: Atributos de la competencia

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
Inteligencia	Posibilidad del ser humano para procesar y transferir información necesaria para resolver problemas en entornos diversos, comprometiendo facultades mentales de orden superior (atención, memoria, lenguaje, análisis)
Conocimientos	Conjunto organizado de saberes e información que describe y explica fenómenos y que los individuos llegan a apropiarse y dominar en su ejercicio diario.
Funciones	Actividades que una persona debe desarrollar en el campo de desempeño, de acuerdo al rol que ejerce.
Aptitudes	Conjunto de características que posee un individuo que le facilitan o dificultan el desarrollo de tareas.
Habilidades	El conocimiento y la capacidad puestos en acción. Las habilidades son necesarias para realizar tareas y actividades de forma eficaz y eficiente.
Actitudes	Estado que se antepone y determinan comportamientos y conductas. Las actitudes están influenciadas por lo cognitivo, lo social y lo afectivo especialmente.
Destrezas	Hacen referencia a las habilidades motoras (hacer algo) requeridas para realizar ciertas actividades con precisión.
Capacidades	Son condiciones cognitivas, afectivas y psicomotrices que poseen los seres humanos y que son fundamentales para aprender. Las capacidades se potencian gracias a las experiencias y los aprendizajes.

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.

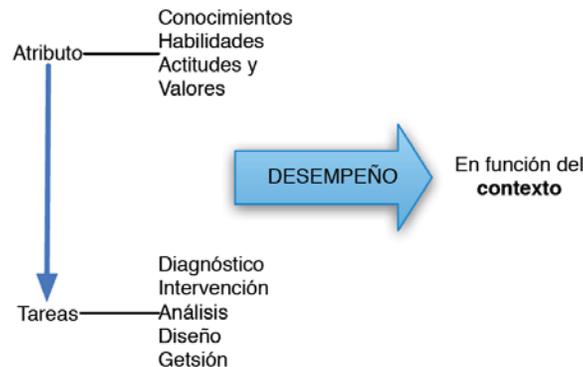


Figura 3: Esquema de competencias⁴

Ahora, se presenta la visión que Delors en [8] 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” [8], 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

³ Adaptado de RODRÍGUEZ Zambrano, Hernando. Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Militar Nueva Granada, 2007.

⁴ BUESO Lara, Jaime 2007. (<http://buesolara.wordpress.com/category/educacion-superior/>)

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

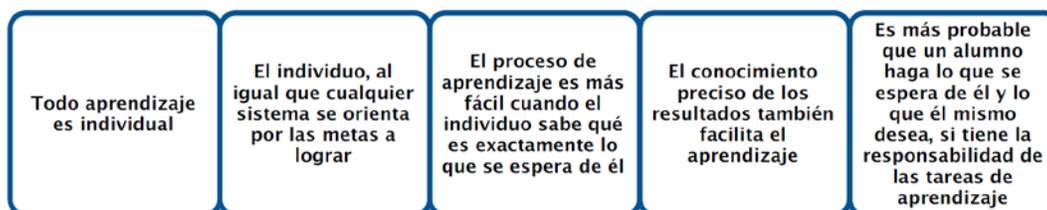


Figura 4: Principios para la formación por competencias

Martínez en [11] 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 [12], 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 [12]. 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. 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 [13].

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.

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 convivir⁵.

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 Saber Pro 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 estudiantes⁶.

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 competencia⁷; por otra parte los niveles de desempeño definen el

⁵ Arbeláez López, R. Corredor Montagut. M. Pérez Ángulo, M. (2007) *Concepciones sobre competencias*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colección docencia universitaria.

⁶ 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.

⁷ Fernando Vargas Zúñiga (2004). *la formación basada en competencias en América Latina*. CINTEFORD

grado de avance alcanzado por cada estudiante, frente al criterio de desempeño planteado.

Este tipo de evaluación acude a las rúbricas para organizar los criterios y niveles de desempeño que se van a evaluar en el estudiante. Estas deben ser 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 contextos⁸.

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.

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

⁸ Tina Blythe and Associates (1998). *Desempeños de comprensión*. Universidad de los Andes.

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.

En [14] 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 [15, 16]. 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)⁹.

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:

⁹ Esta categoría se relaciona con la dimensión “saber ser” utilizada en la descripción de una competencia.

- **Conocer:** ser capaz de recordar información, terminología, hechos específicos, clasificaciones, categorías, principios, leyes, teorías, entre otros.
- **Comprender:** ser capaz de organizar, comparar, describir, interpretar, proponer, extrapolar. En general, se refiere a encontrar sentido y significado a la información¹⁰.
- **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, [17] pág. 49). Adicionalmente, el segundo nivel puede entrar en conflicto con algunas aproximaciones al concepto de comprensión [18].

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 [6] [19] [20, 21], que se describe en la Figura 5 que se centra en la actividad cognitiva realizada:

¹⁰ 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 dimensión 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 esta dimensión 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 [18], es la demostración de la comprensión en el marco de desempeños flexibles.

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 [5]:

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 [5]:

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.

6. Evaluación de aprendizajes en educación superior y en Ingeniería

La visión que se presenta a continuación, se enmarca en un sistema de aseguramiento de calidad más cercano al de las normas internacionales como la ISO9001, que al de las aproximaciones tradicionales a la acreditación institucional. El siguiente triángulo, propuesto en [20], da cuenta de esta nueva aproximación en el terreno de la educación:



Figura 6: Estructura de los sistemas modernos de acreditación

Estos sistemas no buscan un ordenamiento de las instituciones desde una perspectiva de insumos o de resultados, sino procuran dar cuenta de la existencia efectiva de un sistema capaz de asegurar y mejorar la calidad de los resultados.

En [20] y [22] se ponen de relieve tres grandes objetivos para la evaluación en la educación superior:

- Evaluación en el aprendizaje de la disciplina (conocimiento)
- Evaluación de habilidades cognitivas genéricas (habilidades genéricas)
- Evaluación de competencias en relación con responsabilidades individuales y sociales (responsabilidad)
- Evaluación en el aprendizaje de la disciplina. Incluyen la evaluación de conocimientos y de capacidades de razonamiento y de resolución de problemas en las categorías de conocimiento declarativo, procedimental, esquemático y estratégico que desarrolla el estudiante en su disciplina. En este componente suele ser difícil lograr consensos entre los expertos en la disciplina y los expertos en su enseñanza. Hay varios ejemplos de evaluación de logros disciplinares (los ECAES –ahora Saber Pro– en Colombia, el GRE¹¹ en Estados Unidos).
- Evaluación de habilidades cognitivas genéricas. El pensamiento crítico, el razonamiento analítico, la resolución de problemas y la comunicación clara, efectiva y concisa, hacen parte de este componente. Varias propuestas se han venido desarrollando en este marco, entre las que se encuentran MAPP¹², CAAP¹³, CLA¹⁴, y GSA¹⁵.
- Evaluación de competencias en relación con responsabilidades individuales y sociales. En esta dimensión se toman en cuenta habilidades no cognitivas (soft skills) tales como la responsabilidad cívica, el razonamiento ético, o el interés por aprender a lo largo de la vida. La Figura 7 se ilustra un posible marco de referencia para la evaluación del aprendizaje.



Figura 7: Marco de referencia para el aprendizaje en educación superior según Shavelson

¹¹ GRE: Graduate record exam, producido por ETS EEUU, <http://www.ets.org/gre/>

¹² Measure of Academic Proficiency and Progress

¹³ Collegiate Assessment of Academic Proficiency

¹⁴ Collegiate Learning Assessment

¹⁵ Graduate Skills Assessment

7. 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 desdoblán en desempeños observables. La Figura 8 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 [16].

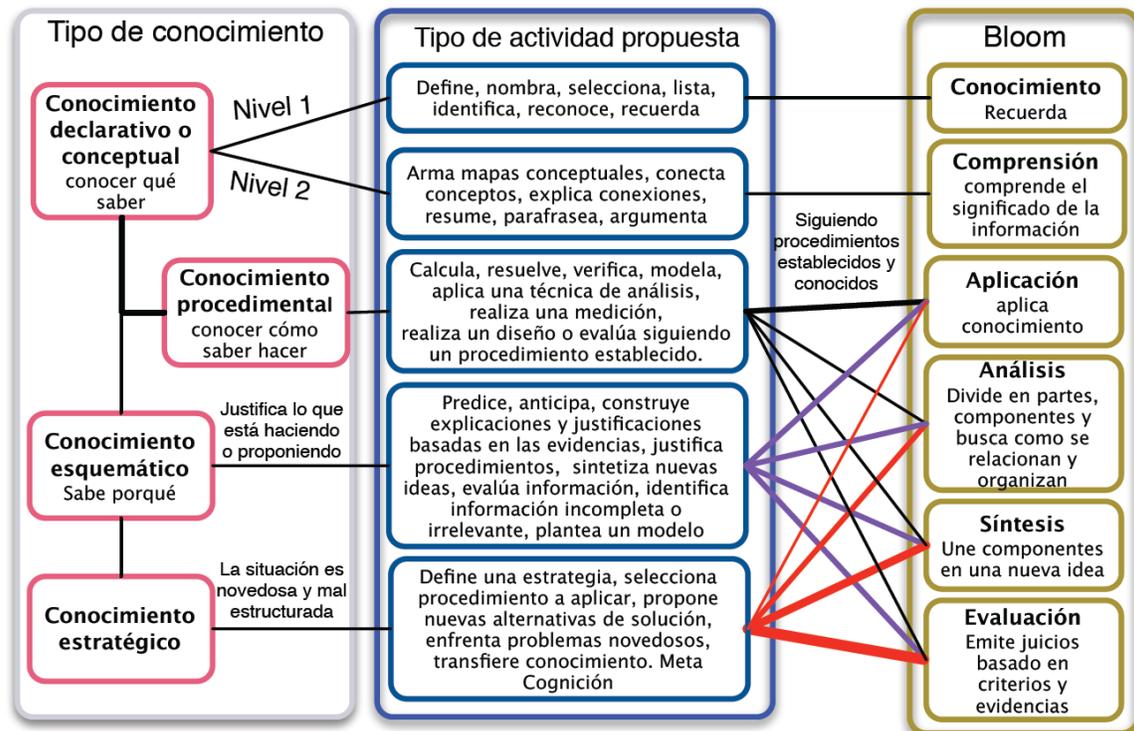


Figura 8: Relación entre tipos de conocimientos, desempeños y niveles de la taxonomía de Bloom

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.

El objeto de estudio en desempeños

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

8.1. La normatividad

Uno de los referentes normativos es la resolución 2773 del 13 de noviembre de 2003 [23], 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 [24], 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.

8.2. Breve historia de la ingeniería y su caracterización como disciplina

La ingeniería, como transformación intencional de la naturaleza para satisfacer necesidades nace por lo menos 8000 años a. C. Obras como la muralla China, las pirámides de Egipto o los grandes acueductos romanos son ejemplos bien reconocidos en la antigüedad. Prácticamente hasta el siglo XIX la ingeniería se desarrolla en torno al desarrollo empírico y las buenas prácticas de ingeniería eran su conocimiento central. Igualmente al siglo XIX llegan fundamentalmente dos ingenierías, la militar y la civil. Es solamente a finales del siglo XIX y siglo XX que comienzan a aparecer las diferentes especializaciones en la ingeniería al mismo tiempo que las matemáticas comienzan a ser utilizadas de forma intensiva. Esta disciplina le dio a la ingeniería el poder de anticipar el desempeño de sus soluciones y en consecuencia ir optimizándolas cada vez con mayor éxito. La

ingeniería de buena parte del siglo XX se centra en la combinación de los conocimientos en ingeniería, con el poder de las ciencias naturales y las matemáticas.

Lo que caracteriza la ingeniería de la primera parte del siglo XX en consecuencia, es la utilización intensiva de las matemáticas y la ciencia para el diseño, desarrollo y operación de objetos tecnológicos de diferente índole.

En la segunda parte del siglo XX se produce una nueva transformación de la ingeniería, algunas de sus nuevas especialidades reducen la utilización de las ciencias naturales y se centran más en las matemáticas. Tal es el caso de la ingeniería de la computación, conocida también como informática o ingeniería de sistemas. Esta diferencia es reconocida por ABET que le dedica un capítulo diferente. Sin embargo, la característica central de la ingeniería se mantiene: el trabajo sobre objetos tecnológicos. Esta característica es la que continúa definiendo el campo de la ingeniería incluida la utilización de las ciencias naturales y las matemáticas, pues aun en el trabajo de un ingeniero de sistemas, sus realizaciones se desarrollan sobre artefactos tecnológicos basados en la transformación del mundo físico para producir elementos artificiales como el computador. El advenimiento de la computación genética, biológica y cuántica posiblemente lleve de nuevo al ingeniero de sistemas a profundizar en las ciencias naturales.

8.3. Caracterización de la ingeniería y su práctica

Ya se han indicado algunas definiciones sobre lo que es la ingeniería:

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 ([25] p.7).

Otra definición de objeto de estudio de la ingeniería es la que brinda la iniciativa internacional CDIO¹⁶. Ésta se enfoca en la concepción, el diseño, la implementación y la operación de objetos tecnológicos que deben realizar los ingenieros para ofrecer servicios, sistemas y productos [26].

La ingeniería moderna como profesión tiene sus fundamentos en las ciencias naturales, las matemáticas, la tecnología y las ciencias de la ingeniería, y en conjunción con consideraciones legales, ambientales, culturales, sociales, de

¹⁶ CDIO: Conceive, Design, Implement, Operate. <http://www.cdio.org>

seguridad y económicas, propone soluciones tecnológicas a los problemas de la sociedad en un marco de especificaciones y restricciones.

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 [27].

Otro referente importante es la propuesta de ABET, 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 realistas 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 AHELO¹⁷, 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.

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 la producción y utilización de tecnología al punto de poderse afirmar que no puede existir ingeniería sin tecnología. La tecnología es el producto de la ingeniería,
- la estrecha relación entre ingeniería con las ciencias naturales y las matemáticas, las cuales utiliza intensivamente,
- sin embargo, 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, normas, procedimientos y buenas prácticas,
- la importancia de incluir otros tipos de conocimientos que le permitan al ingeniero aportar soluciones con conciencia del impacto económico, social, ambiental, cultural y de seguridad,
- se destaca que el ingeniero debe ser capaz de diseñar y operar tecnología de su área de especialización,

¹⁷ Assesment of Higher Education Learning Outcomes

- buena parte de la responsabilidad en los procesos de competitividad, productividad, innovación y globalización reposan sobre la ingeniería.

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 [27] en el cuadro que se presenta a continuación, y se analizan la dimensión ontológica, epistemológica, metodológica y axiológica.

Tabla 2: Facetas de la ingeniería

Facetas de la Filosofía de la ingeniería	Preguntas directrices	Objeto de estudio	Dimensiones del Objeto de estudio
Ontológico	¿Cuál es la realidad que puede conocer la ingeniería?	Contextos de desempeño y situaciones disciplinares	<ul style="list-style-type: none"> • Formulación de proyectos
Epistemológico	¿Qué es conocimiento en ingeniería?	Operación, diseño, evaluación de artefactos, sistemas, procesos y ambientes	<ul style="list-style-type: none"> • Naturaleza de la ingeniería • Diseño en ingeniería
Metodológico	¿Cómo puede ser construido el conocimiento en ingeniería?	Aplicación de herramientas teórico-prácticas, con base en conocimientos de tipo científico, tecnológico y matemático	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación y manejo de información. • Habilidades matemáticas y científicas • Diseño en ingeniería
Axiológico	Incluye las cuestiones éticas e indaga por el valor y la verdad del conocimiento en ingeniería	Resolución de problemas que contribuyan al progreso de la sociedad	<ul style="list-style-type: none"> • Naturaleza 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 práctica de la ingeniería tiene por objeto encontrar soluciones innovadoras a problemas de la sociedad con base en el diseño, desarrollo y utilización de objetos tecnológicos (artefactos, procesos, sistemas e infraestructura) en un marco de recursos limitados, con utilización intensiva de las matemáticas, las ciencias naturales, las tecnologías y las ciencias de la ingeniería, involucrando en la optimización de las soluciones aspectos ambientales, económicos, financieros, sociales, culturales y de sostenibilidad y de seguridad. Estas soluciones deben aportar a mejorar la calidad de vida y al incremento de la productividad y la competitividad.

En la Figura 9 se relacionan algunos de los soportes conceptuales que sustentan el objeto de estudio.

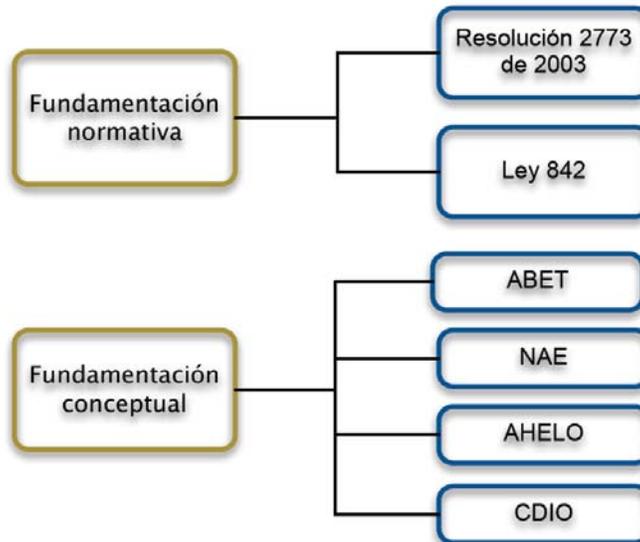


Figura 9: Relación entre los componentes del objeto de estudio

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 10 ilustra de forma esquemática un resumen de esta resolución.

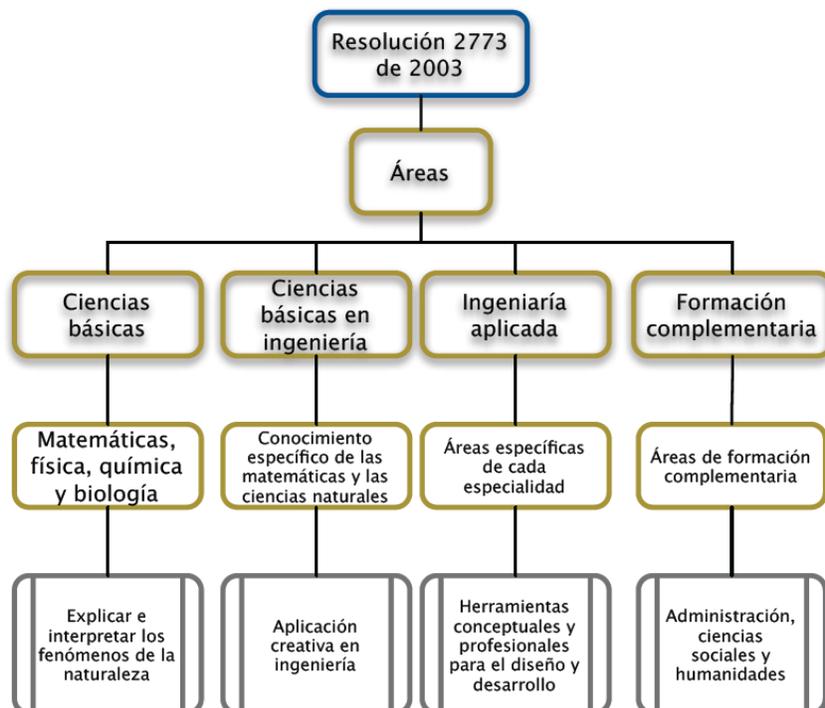


Figura 10: Resumen de los elementos de la Resolución 2773

9. Componentes de la prueba y objetivos a evaluar

La prueba Saber Pro 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 definen las categorías de evaluación para la prueba Saber Pro de ingeniería. En ellas se detalla qué y cómo se va a evaluar, con el fin de identificar las características del desempeño de un estudiante de ingeniería en las diversas áreas de su campo disciplinar, en las cuales pone en evidencia su nivel de aprendizaje frente a las referencias temáticas estudiadas en el transcurso de su formación académica.

Las categorías son:

- 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 11.

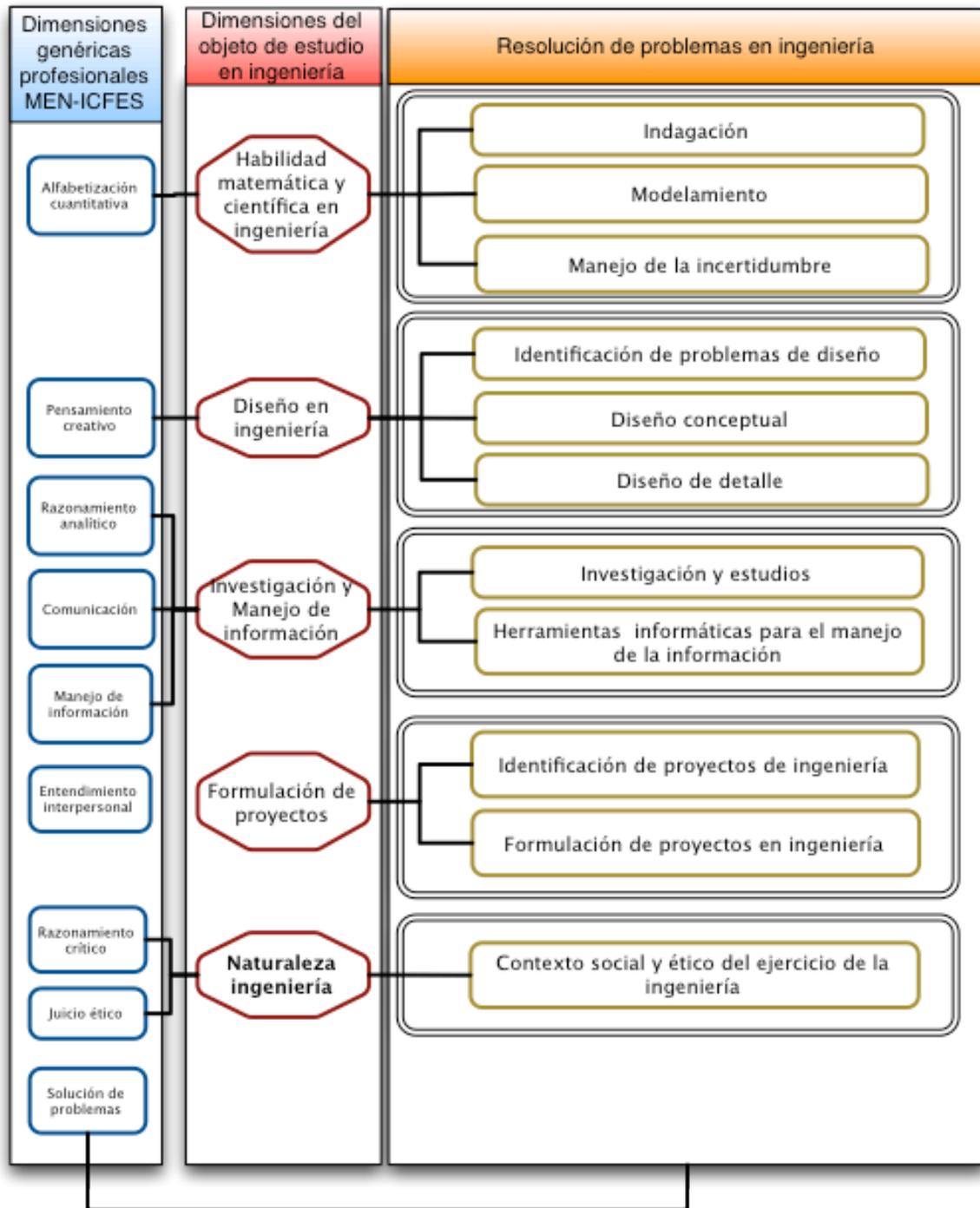


Figura 11: Dimensiones del objeto de estudio y su relación la prueba genérica profesional

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

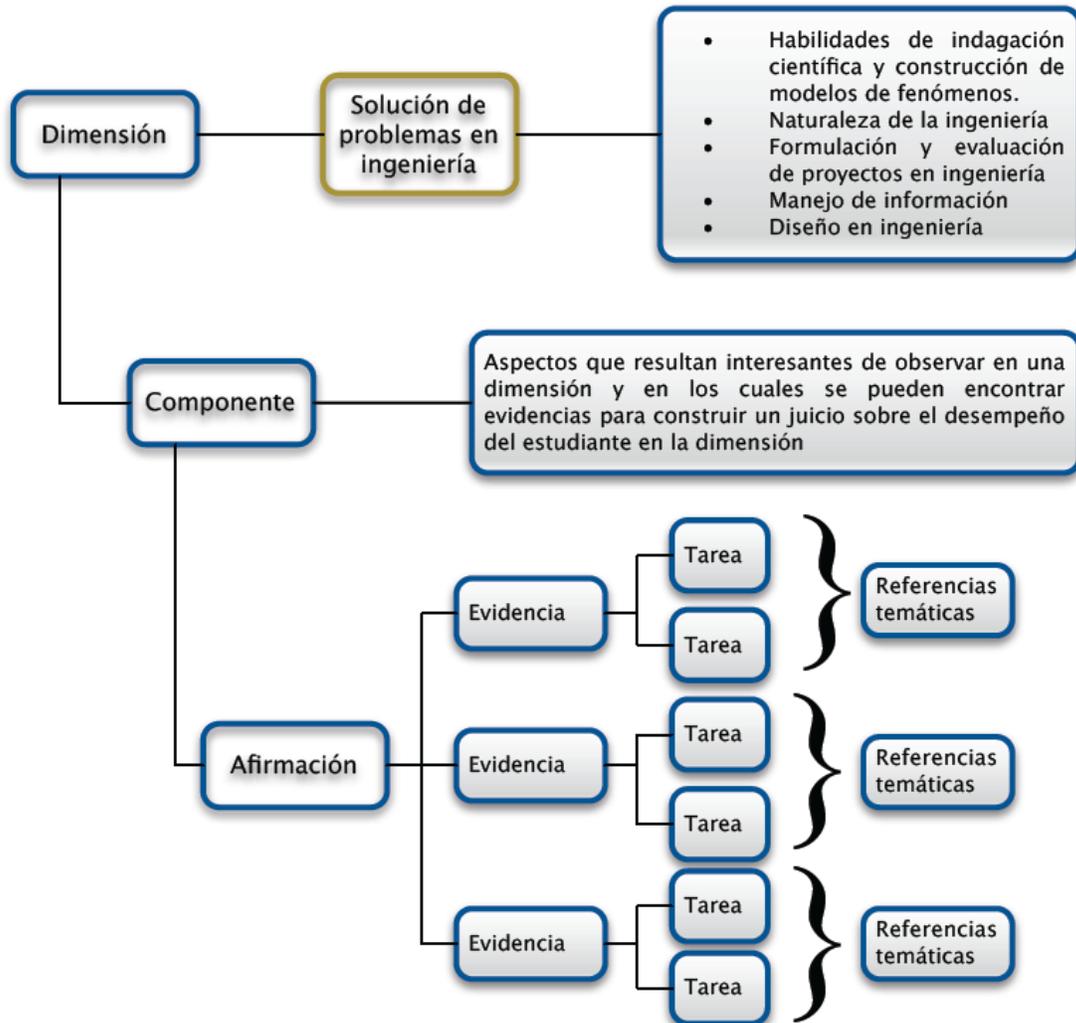


Figura 12: Desarrollo del objeto de estudio en componentes, niveles, desempeños y referencias temáticas

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.

9.1. 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 11). 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, desempeños y referencias temáticas, 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.

9.1.1. Indagación, modelamiento e incertidumbre en ingeniería

Múltiples trabajos muestran la importancia de una educación pertinente en Ciencia, Tecnología y Matemáticas para una formación de calidad en ingeniería¹⁸. Varios reportes internacionales muestran que la integración de estos tres campos del conocimiento en la formación de ingenieros es aún muy limitada [28]. Algunos documentos presentan recomendaciones para la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de estas disciplinas [29].

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 [30] 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

¹⁸ En EE.UU. se conoce este campo de trabajo como STEM –Science, Technology, Engineering and Mathematics.

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
- Capacidad para estimar y decidir en un marco de incertidumbre

9.1.2. 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 managment) abarca la investigación en temas como: bases de datos, modelamiento de datos hipertexto e hipermedia, recuperación de información y data warehouse¹⁹.

En [31], 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

¹⁹ De esta manera lo ha definido la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción. Chile, para varios de sus programas académicos.

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 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.

9.1.3. Formulación y evaluación 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 crecientes 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 los resultados de los avances científicos y tecnológicos hacia el desarrollo de componentes, sistemas o procesos para mejorar la calidad de vida del ser humano. 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 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 de inversión adecuados, procurar una alta calidad de los resultados mediante una sólida fundamentación ética y una exigente gestión administrativa, un respeto por los límites de tiempo planeados, y una definición de criterios claros de viabilidad, rentabilidad y sostenibilidad.

El concepto de calidad igualmente se ha venido extendiendo, definiendo y estandarizando, con lo cual han crecido las exigencias para el cumplimiento de criterios y estándares de calidad.

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 o el clima político internacional).

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.

9.1.4. 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 [30].

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 [29, 32, 33], 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 [33]:

... la mayoría de la 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 [33]:

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

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, así 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.

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 [34]:

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 [27]:

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 [35]):

- 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.

Elementos 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.

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

Naturaleza del conocimiento	Ingeniería, tecnología, ciencia y sociedad	Juicio ético
<p>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.</p>	<p>Aborda la razón de ser de la ingeniería y la responsabilidad social del ingeniero.</p>	<p>Aborda la capacidad del egresado para identificar dilemas éticos en el marco de soluciones y proyectos de ingeniería.</p>
<p>¿Qué es ser ingeniero, qué es hacer ingeniería? ¿Qué es un problema de ingeniería? ¿Cuáles son las características de un problema en ingeniería? ¿Cómo se relacionan los problemas en ingeniería con los problemas en ciencias o matemáticas? ¿Cuál es la relación de la ingeniería con la tecnología? ¿Cómo se produce el conocimiento en ingeniería? ¿Cuál es la validez del conocimiento en ingeniería? ¿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? ¿Qué impacto tiene el desarrollo de la ciencia y la matemática en la ingeniería? ¿Qué impacto tiene el desarrollo de la ingeniería en la ciencia y la tecnología? ¿Cuál es la relación entre ingeniería y tecnología? ¿Cuál es el rol de la ciencia en la ingeniería?</p>	<p>¿Cuál es el rol de la ingeniería en la sociedad? ¿Qué se puede esperar a futuro de este rol? ¿Cuál es el impacto de la sociedad en la ingeniería, cuál es el impacto de la ingeniería en la sociedad? ¿Cómo se relaciona la labor de la ingeniería con la de otras profesiones? ¿En qué consiste la responsabilidad social del ingeniero? ¿Cuál es el marco legal del ejercicio de la ingeniería? ¿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? ¿Cuál es el papel de la ingeniería en las decisiones ciudadanas que competen a la utilización de soluciones tecnológicas? ¿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>

9.1.5. 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 [36]:

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 [37].

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 diseñar, desarrollar y utilizar objetos tecnológicos (artefactos, procesos, sistemas e infraestructura), que pretenden mejorar la calidad de vida, en este sentido, el diseño permite la evolución y el desarrollo de la sociedad. El diseño en ingeniería es un proceso creativo que incluye la generación, evaluación sistemática y puesta a prueba de especificaciones para la creación de artefactos, sistemas, procesos e infraestructura cuya forma y función permitan lograr unos objetivos establecidos y satisfacer una serie de restricciones especificadas a partir de una necesidad o situación problemática²⁰²¹ (Dym & Little,2002) (Boccardo,2006).

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 [38].

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 eficaces²²²³. Diversos perfiles de egreso de profesionales de ingeniería enfatizan

²⁰ El proceso de Diseño en Ingeniería: Cómo Desarrollar Soluciones Efectivas / Clive L. Dym, Patrick Little, Mexico : Limusa Wiley : Noriega, c2002

²¹ Creatividad en la ingeniería de diseño, Renzo Boccardo. Editorial Equinoccio, Universidad Simón Bolívar. Venezuela, 2006. Disponible en

<http://books.google.com.co/books?id=9QfSinuNUrUC&printsec=frontcover&dq=dise%C3%B1o+ingenieria&cd=9#v=onepage&q=dise%C3%B1o%20ingenieria&f=false>

²² European Accreditation of Engineering Programmes–EUR-ACE. (2008). EUR-ACE Framework Standards for the Accreditation of Engineering Programmes. [Versión PDF]. Disponible en http://www.enaee.eu/pdf/Commentary_on_EUR-ACE_Framework_Standards110209.pdf

²³ Engineers Australia.(2006). Engineers Australia National Generic Competency Standards – Stage 1 Competency Standard for Professional Engineers. [Versión PDF]. Disponible en http://www.engineersaustralia.org.au/shadomx/apps/fms/fmsdownload.cfm?file_uid=5EDFBDF5-B8D8-FB15-66DA-23E7F8E58C58&siteName=ieaust

en la capacidad de realizar diseños de ingeniería, empleando técnicas y recursos para cumplir requerimientos específicos y contemplando además de especificaciones técnicas consideraciones relacionadas con el bienestar, la seguridad y el ambiente entre otras. Surge además el reto de diseñar sistemas cada vez más complejos en lugar de diseñar solo partes aisladas (EUR ACE, 2008) (Engineers Australia, 2006).

En la formulación de este tipo de soluciones intervienen el pensamiento creativo y el pensamiento crítico. El pensamiento creativo involucra procesos tanto de análisis como de síntesis. El análisis permite traducir una necesidad o problema en un conjunto de requerimientos y restricciones que delimiten su solución. Así mismo la división de un problema de diseño en partes más pequeñas, permite el establecimiento de especificaciones técnicas que conducen a la selección de una solución detallada.

Dentro de las características de un proceso creativo se pueden mencionar las siguientes [38]:

- 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.

El pensamiento crítico, como la actividad mental de evaluar argumentos o proposiciones haciendo juicios que guíen la toma de decisiones, es un elemento fundamental en el proceso de diseño. La toma de decisiones se apoya en métodos, técnicas y herramientas formales que ayudan a pensar con más claridad, a tomar mejores decisiones y a elaborar diseños de forma más eficiente.

La integración de estos elementos permiten identificar los momentos o fases que se siguen en un proceso de diseño: Se parte de un planteamiento abstracto de un objetivo de diseño, hasta llegar a niveles crecientes de detalle a partir de los cuales se puede construir un modelo del objeto tecnológico probarlo, optimizarlo, afinar algunas de sus características y documentar las especificaciones de diseño, como se resume en la siguiente la figura.



Figura 13: Una posible trayectoria en el diseño en ingeniería.

9.2. Componentes

Con el fin de definir los desempeños 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 del objeto de estudio, los componentes de cada dimensión, los desempeños asociados a cada nivel y las temáticas de referencia sobre las que se deberán evaluar cada uno de los componentes en sus diferentes afirmaciones, evidencias y tareas.

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

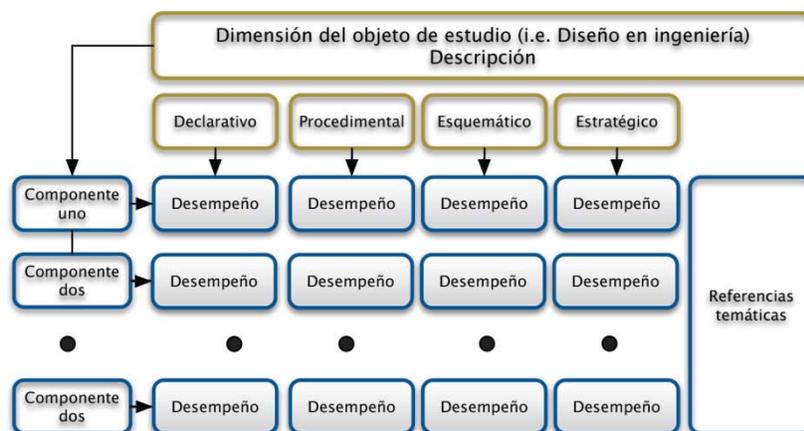


Figura 14: Estructura de las tablas para especificar el objeto de estudio a evaluar

Propósito de la Evaluación

Serán objeto de evaluación del Examen de Estado de Calidad de la Educación Superior – Saber Pro las competencias²⁴ de los estudiantes que hayan aprobado por lo menos el 75% de los créditos académicos de los distintos programas de pregrado en Ingeniería en Colombia, en la medida en que éstas puedan ser valoradas con exámenes externos de carácter masivo, incluyendo aquellas competencias comunes que son necesarias para el adecuado desempeño profesional o académico, independientemente del programa de Ingeniería que estén cursando.

Objetivos de la prueba Saber Pro Ingeniería

1. Comprobar el grado de desarrollo de las competencias de los estudiantes que hayan aprobado por lo menos el 75% de los créditos académicos de los distintos programas de pregrado en Ingeniería en Colombia.
2. Producir indicadores de valor agregado de la educación superior en relación con el nivel de competencias de quienes ingresan a este nivel; proporcionar información para la comparación entre programas, instituciones y metodologías, y mostrar su evolución en el tiempo.
3. Servir de fuente de información para la construcción de indicadores de evaluación de la calidad de los programas e instituciones de educación superior y del servicio público educativo, que fomenten la cualificación de los procesos institucionales y la formulación de políticas, y soporten el proceso de toma de decisiones en todos los órdenes y componentes del sistema educativo.

Población objetivo

La población objetivo es la totalidad de los estudiantes de programas en Ingeniería en instituciones de educación superior en Colombia que hayan aprobado por lo menos el 75% de los créditos académicos o que tengan previsto graduarse en el año siguiente a la aplicación del examen. Esta prueba es de carácter obligatorio y la presentación de la prueba Saber Pro es requisito para la obtención del correspondiente título de Ingeniería. También, podrán presentar el examen aquellos graduados de los programas académicos de pregrado en Ingeniería.

²⁴ Estas competencias se evalúan por medio de evidencias.

¿Qué se evalúa?

Una buena evaluación, ya sea la que realizan los docentes en sus aulas o la que se lleva a cabo a través de pruebas estandarizadas, debe sustentarse en instrumentos con un alto grado de validez, de manera que permitan establecer con precisión qué saben y saben hacer los estudiantes y, con base en ello, identificar cuáles son sus fortalezas y debilidades para poder avanzar en el proceso formativo.

De esta manera, para obtener resultados confiables en una evaluación es necesario que las dimensiones conceptuales y cognitivas y los logros que definen cada nivel de desempeño a evaluar estén adecuadamente representados en especificaciones de contenido, pues es en éstas en donde se apoyarán las interpretaciones que se hagan de los resultados de una prueba.

Características como la exigencia particular de una pregunta en un cruce de dominios evaluados, la dificultad de la misma, el tipo de estímulos o situaciones en las que se formulan las tareas de evaluación y el alcance de los conceptos particulares a evaluar en la población objetivo; deben quedar explícitas en las especificaciones de prueba para lograr construir bloques de preguntas paralelos dentro de una misma aplicación y la comparación entre aplicaciones.

En el caso de la prueba SABER PRO de ingeniería, las competencias, los componentes y los desempeños que se esperan cubrir, se definieron con suficiente detalle en las especificaciones de contenido, las cuales permiten replicar los dominios evaluados en formas paralelas de la prueba. Esto es necesario para asegurar que la construcción de diferentes formas de pruebas tenga características de contenido y dificultad similares con lo que se logra la comparabilidad entre aplicaciones.

Las especificaciones para SABER PRO de ingeniería se definieron bajo la metodología denominada diseño basado en evidencias, que consiste en un conjunto de procesos que parten de la identificación de las competencias que serán evaluadas y llegan hasta la definición de las tareas que debe responder un estudiante, de manera que estas últimas se constituyan en evidencias que den cuenta de los conocimientos, habilidades o capacidades que se quieren medir.

Modelo basado en evidencias

SABER PRO de ingeniería que, como se dijo anteriormente, es una prueba estandarizada que busca evaluar los desempeños de los estudiantes de ingeniería que hayan aprobado por lo menos el 75% del programa, se estructuró bajo la metodología de diseño basado en evidencias, la cual permitió definir las especificaciones de contenido a ser evaluadas cada una de las dimensiones definidas, como se muestra en la figura:

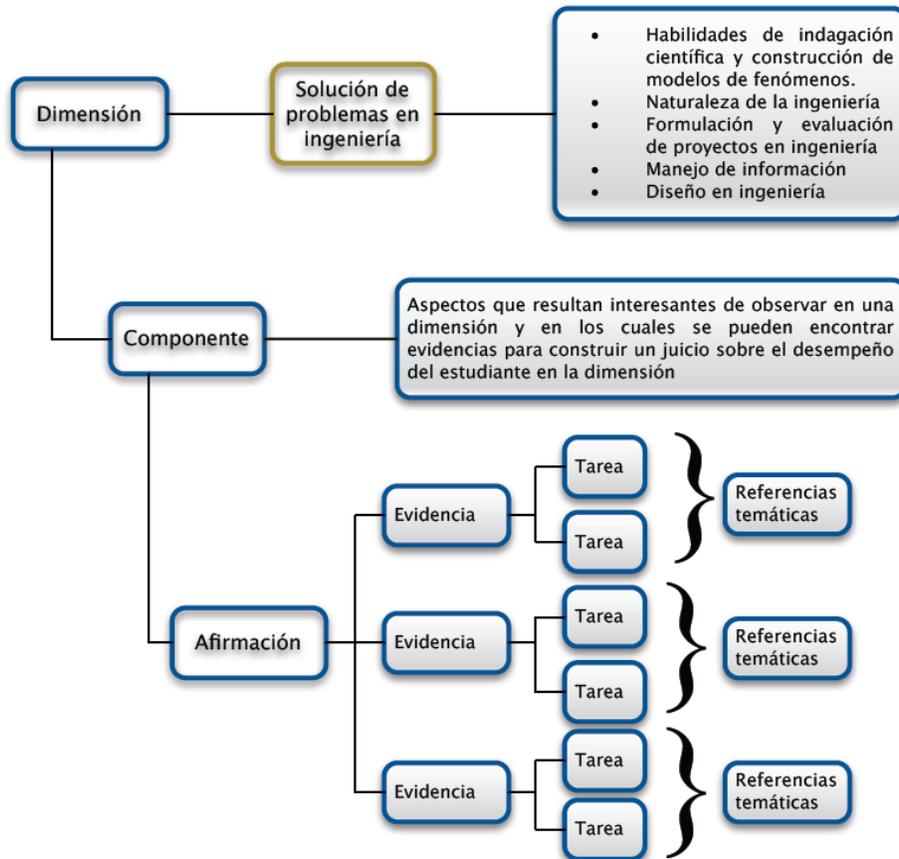


Figura 15: Desarrollo del objeto de estudio en componentes, niveles, desempeños y referencias temáticas

En desarrollo de la metodología, se partió de la definición de las competencias específicas deseables para los estudiantes de ingeniería sin importar su especialidad. La naturaleza de estas competencias y sus respectivos componentes hace que no todas sean evaluables a través de pruebas de papel y lápiz; por lo tanto, dependiendo del proceso de evaluación que se pretenda desarrollar, se eligen aquellas que, además de permitir dar cuenta de un conjunto de habilidades y conocimientos fundamentales que los estudiantes deben desarrollar durante su formación en el pregrado, pudieran ser medidas a través del tipo de instrumento que se ha definido para la evaluación.

Para cada una de las competencias y componentes definidos en el marco de referencia, se formulan afirmaciones. Éstas son enunciados que se hacen acerca de los conocimientos, capacidades y habilidades de los estudiantes, atendiendo a la pregunta: ¿qué se quiere decir sobre los estudiantes a partir de sus respuestas a una evaluación?

Las evidencias se refieren a enunciados que representan conductas o productos observables mediante los cuales es posible verificar los desempeños a los que se refieren las afirmaciones. Las evidencias responden a la pregunta: ¿qué tiene que hacer el evaluado que permita inferir lo que sabe o sabe-hacer?

Cada afirmación debe tener el número de evidencias suficiente y necesario para poder sustentarla, y debe ser pertinente con las características o restricciones de una prueba.

Finalmente, a partir de la descripción de las evidencias que dan cuenta de una afirmación, se proponen tareas que se refieren a lo que se pide a los evaluados que hagan en una prueba. Estos enunciados representan una tarea específica, una descripción de un potencial o familia de preguntas. Para construir una tarea de evaluación, es necesario caracterizar qué afecta su dificultad y también lo que puede afectar su validez.

En este proceso de construcción de las especificaciones participaron docentes en ejercicio y expertos en la enseñanza de diferentes campos ingeniería. Seguir esta metodología garantiza la homogeneidad de los instrumentos que se elaboren durante un período largo de tiempo, pues provee los elementos necesarios para que grupos diferentes de constructores de preguntas puedan producir pruebas equivalentes.

A continuación, se hace una breve descripción de la evaluación en cada una de las dimensiones y de las especificaciones de las pruebas en términos de competencias y componentes definidos. Así mismo, se presentan las afirmaciones que sustentan los dominios evaluados.

10. Indagación, modelamiento e incertidumbre

Definición de la dimensión: Competencia para comprender la naturaleza del conocimiento de las matemáticas y las ciencias naturales, utilizar apropiadamente habilidades para modelar procesos o fenómenos naturales o artificiales, e identificar factores que introducen incertidumbre y estimar su efecto.

10.1. Indagación

Descripción: se refiere a la comprensión de la ciencia y sus métodos.

Afirmación: Se aproxima al mundo natural por medio de un enfoque científico basado en indagación.

Criterio de desempeño: 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.

Contexto: La actividad del ingeniero, independientemente de su especialidad, implica un conocimiento y utilización de las ciencias naturales y las matemáticas en las actividades de modelado y de diseño. Igualmente parte de la solución de problemas en ingeniería se hacen en el laboratorio donde se construyen y prueban prototipos, se hacen mediciones, se modelan comportamientos de sistemas físicos naturales o producidos por el hombre. Independientemente de la especialidad del ingeniero, éste debe comprender suficientemente bien los aspectos fundamentales del mundo natural así como los mecanismos por los cuales la ciencia construye

conocimiento científico, en un mayor nivel que el del ciudadano del común y que muchas otras profesiones.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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.

Tabla 5: Tipos de conocimiento en indagación

10.2. Modelamiento

Descripción: Aborda la formulación de modelos

Afirmación: Propone modelos válidos para aproximar fenómenos, predecir su comportamiento y analiza críticamente las predicciones que indican estos modelos.

Criterio de desempeño: 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.

Contexto: La actividad del ingeniero, independientemente de su especialidad, implica un conocimiento y utilización de las ciencias naturales y las matemáticas en las actividades de modelado y de diseño. Igualmente parte de la solución de problemas en ingeniería se hacen en el laboratorio donde se construyen y prueban prototipos, se hacen mediciones, se modelan comportamientos de sistemas físicos naturales o producidos por el hombre. Independientemente de la especialidad del ingeniero, éste debe comprender suficientemente bien los aspectos fundamentales del mundo natural así como los mecanismos por los cuales la ciencia construcción conocimiento científico, en un mayor nivel que el del ciudadano del común y que muchas otras profesiones.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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.

Tabla 6: Tipos de conocimiento en modelamiento

10.3. Manejo de la Incertidumbre

Descripción: aborda la identificación de situaciones de incertidumbre y su manejo

Afirmación: Comprende la importancia de la incertidumbre y su efecto en la solución y toma de decisiones en situaciones problemáticas.

Criterio de desempeño: Frente a una situación problemática en ingeniería el ingeniero debe tomar decisiones para las cuales no cuenta con toda la información necesaria y la que tiene puede tener errores. Para ello, debe identificar y estimar niveles de incertidumbre, utilizando conocimientos de probabilidad y estadística, de modo que pueda desempeñarse y tener criterio en estas situaciones.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
El estudiante conoce los conceptos y las herramientas básicas de la probabilidad y la estadística que permiten manejar la incertidumbre y el riesgo.	El estudiante identifica características fundamentales para estimar la incertidumbre en un sistema, fenómeno o proceso	El estudiante realiza predicciones a partir de modelos que involucran incertidumbre.	El estudiante toma decisiones en una situación de incertidumbre en forma racional.

Tabla 7: Tipos de conocimiento en manejo de la incertidumbre

11. Manejo de información

Definición de la dimensión: Competencia para diseñar y desarrollar estrategias para recolectar, organizar, sistematizar y analizar información utilizando herramientas informáticas que permitan solucionar situaciones disciplinares en un marco de responsabilidad ética y profesional.

11.1. Investigación y estudios

Descripción: incluye la definición de protocolos para la búsqueda de información de manera organizada y sistemática, atendiendo a los principios básicos de una aproximación científica.

Afirmación: obtiene la información necesaria para abordar una situación específica, de forma organizada y sistemática.

Contexto: Parte de la solución de problemas de ingeniería se hacen en el marco de estudios tales como predicción de demandas, inventario de necesidades, estudios demográficos, estudios de fallas, en los cuales se requiere la capacidad

para buscar, validar, procesar y utilizar diferentes tipos de información provenientes de estudios previos, documentos y bases de datos.

Criterio de desempeño: 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.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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.

Tabla 8: Tipos de conocimiento en investigaciones y estudios

11.2. Herramientas informáticas para el manejo de información.

Descripción: observa la utilización de herramientas informáticas en el procesamiento de la información.

Afirmación: es capaz de utilizar herramientas informáticas para buscar, organizar, procesar, analizar y presentar información.

Contexto: Parte de la solución de problemas de ingeniería se hacen en el marco de estudios tales como predicción de demandas, inventario de necesidades, estudios demográficos, estudios de fallas, en los cuales se requiere la capacidad para buscar, validar, procesar y utilizar diferentes tipos de información provenientes de estudios previos, documentos y bases de datos.

Criterio de desempeño: El estudiante utiliza flexiblemente herramientas informáticas para buscar, organizar, analizar y presentar información.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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.

Tabla 9: Tipos de conocimiento en utilización de herramientas informáticas

12. Formulación de proyectos en ingeniería

Definición: 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

12.1. Identificación de proyectos en ingeniería

Descripción: Identificación y caracterización de los proyectos en un contexto determinado

Afirmación: Reconoce e identifica condiciones políticas, legislativas, socioeconómicas, técnicas y ambientales del entorno, relevantes para el tratamiento de aspectos esenciales de la formulación del proyecto.

Contexto: La preparación y formulación de proyectos de ingeniería se plantea para ejecutarse en escenarios en escenarios o sectores específicos, cuya caracterización resulta esencial para contextualizar decisiones acciones y metodologías.

Criterio de desempeño: El estudiante identifica las condiciones socioeconómicas, 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.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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.

Tabla 10: Tipos de conocimiento en identificación de proyectos

12.2. Formulación de proyectos en ingeniería

Descripción: se refiere a la formulación básica de proyectos en el marco de la ingeniería

Afirmación: Formula y evalúa el proyecto, apoyándose en un marco metodológico pertinente, a partir de las consideraciones del entorno y del análisis de alternativas.

Contexto: La adecuada formulación y evaluación de proyectos de ingeniería acordes con las necesidades de su entorno requiere elementos metodológicos,

tecnológicos y de gestión necesarios para garantizar que se consideren alternativas de solución competitivas.

Criterio de desempeño: 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.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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.

Tabla 11: Tipos de conocimientos en formulación de proyectos en ingeniería

13. Diseño en ingeniería

Definición de la dimensión: 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.

13.1. Identificación del problema de diseño

Descripción: Identificación y análisis de las necesidades del usuario para traducirlas en especificaciones técnicas.

Afirmación: Comprende y estructura problemas a partir de un diagnóstico de necesidades y requerimientos e identifica restricciones y formula especificaciones técnicas.

Contexto: En el marco de la disciplina específica o grupo de disciplinas (según se acuerde), el estudiante debe ser capaz de elaborar las especificaciones del diseño que de solución a las necesidades particulares planteadas por un usuario/cliente, en una situación problemática planteada. El proceso de diseño permite aplicar conocimientos, experiencias y opiniones técnicas a la creación de aparatos, dispositivos, estructuras, programas y procesos adecuados para resolver un problema.

Criterio de desempeño: 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.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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.

Tabla 12: Tipos de conocimiento en identificación del problema de diseño

13.2. Diseño conceptual

Descripción: Formulación y estructuración de alternativas de solución para cumplir con especificaciones y restricciones

Afirmación: Frente a un problema que requiere un proceso de diseño estructurado, puede identificar y proponer soluciones técnicamente viables y puede configurar la estructura de la solución para determinadas especificaciones y restricciones.

Contexto: Independientemente del resultado esperado el proceso de diseño en ingeniería se materializa a través de la investigación, la creatividad, la toma de decisiones y la preparación de especificaciones que detallan y caracterizan la solución seleccionada.

Criterio de desempeño: 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.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
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

13.3. Diseño de detalle

Descripción: se refiere al desarrollo en detalle haciendo uso del conocimiento en ciencias, matemáticas y ciencias de la ingeniería.

Afirmación: Aplica conocimientos en matemáticas, ciencias e ingeniería para desarrollar en detalle el diseño requerido.

Contexto: Una vez definido el problema, explorado diferentes posibilidades y seleccionado una en particular, el ingeniero debe hacer uso intensivo del conocimiento de las matemático, las ciencias y la ingeniería para avanzar en el detalle del diseño. En este componente se examina la capacidad del estudiante para completar un diseño que debe llevar al posterior desarrollo del producto, proceso, sistema o infraestructura

Criterio de desempeño:

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
El estudiante conoce el vocabulario propio de diseño en campos específicos	El estudiante puede aplicar conocimiento de las matemáticas, las ciencias naturales, las ciencias de la ingeniería y específicos del área para realizar los cálculos necesarios.	El estudiante anticipa el orden de magnitud esperado en los cálculos, así como estima el efecto de pequeños cambios en algunas variables	El estudiante propone nuevas estrategias en el diseño en detalle en situaciones novedosas.

14. Naturaleza de la ingeniería

Definición de la dimensión: Comprensión de la Ingeniería como profesión, 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 y profesiones 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 en el ejercicio de su profesión.

Afirmación: Reconoce su papel y responsabilidad técnica, social y ética como ingeniero en un contexto.

Contexto: Ser ingeniero implica comprender que es la ingeniería, cuál es su rol y responsabilidad en la sociedad y las implicaciones de todos tipo de las decisiones en ingeniería. 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.

Criterio de desempeño: Frente a una situación en la que interviene la ingeniería, el estudiante puede identificar y analizar dilemas éticos y de responsabilidad profesional.

Declarativo	Procedimental	Esquemático	Estratégico
<p>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.</p> <p>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.</p>	<p>En un proyecto interdisciplinario, el estudiante identifica el rol y la responsabilidad de la ingeniería.</p> <p>El estudiante identifica dilemas éticos en el manejo de la información y en el ejercicio de la práctica profesional en ingeniería.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p>	<p>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 de ingeniería en el mundo contemporáneo y la interacción que se requiere con otras profesiones en la solución del problema.</p> <p>El estudiante propone lineamientos y políticas relevantes para un ejercicio profesional responsable.</p>

Tabla 13: Tipos de conocimientos en naturaleza de la ingeniería

Estructura propuesta para el examen

La estructura planteada para el Examen Saber Pro de Ingeniería se justifica desde el trabajo realizado durante el desarrollo del Convenio 440 de 2009 entre ACOFI y el ICFES, el cual consistió en la elaboración de los lineamientos del marco de referencia y especificaciones de las pruebas Saber Pro período 2011 a 2023, es decir, para los próximos 12 años. Dentro del convenio se ha contado con la participación de la comunidad académica en Ingeniería.

El tipo de pregunta que se propone utilizar entre los años 2011 y 2015 es de selección múltiple con única respuesta. Se propone realizar para el año 2011 a manera de piloto preguntas abiertas para el componente de Naturaleza de la Ingeniería.

La dimensión Diseño en Ingeniería, en el componente Diseño de Detalle tiene cuatro variantes: artefactos, procesos, sistemas e infraestructura, para lo cual cada programa debe definir sobre que variante va a contestar las preguntas.

Una vez se tenga desarrollada la prueba por computador, el examen se puede aplicar de manera adaptativa y con una porción de preguntas de respuesta abierta de forma definitiva en la dimensión de Naturaleza de la Ingeniería. Con esta propuesta de preguntas adaptativas y de respuesta abierta, se debe revisar y redefinir el número de preguntas a realizar y su correspondiente distribución por la dimensión a evaluar.

Para la prueba Saber Pro de Ingeniería entre los años 2011 y 2015 se propone evaluar su aplicación por computador en una única sesión de 4,5 horas. El examen tendrá 110 preguntas de selección múltiple de 4 opciones con única respuesta. De acuerdo a la evidencia se estimará el número de preguntas por dimensión. La mayoría de las preguntas deberán preferiblemente estar asociadas con un caso, y cada caso estará acompañado de tres o cuatro preguntas.

La distribución por preguntas es la siguiente:

Dimensión	Componente	Afirmación	Número de preguntas por componente	Número de preguntas por dimensión
Indagación, modelamiento e incertidumbre	Indagación: Comprensión de la ciencia y sus métodos	Se aproxima al mundo natural por medio de un enfoque científico basado en indagación.	10	29
	Formulación de modelos	Propone modelos válidos para aproximar fenómenos, predecir su comportamiento y analiza críticamente las predicciones que indican estos modelos.	10	
	Identificación y estimación de la incertidumbre	Comprende la importancia de la incertidumbre y su efecto en la solución y toma de decisiones en situaciones problemáticas	9	

Dimensión	Componente	Afirmación	Número de preguntas por componente	Número de preguntas por dimensión
Manejo de Información	Definición de protocolos para la búsqueda de información de manera organizada y sistemática, atendiendo a los principios básicos del método científico.	El estudiante obtiene la información necesaria para abordar una situación específica, de forma organizada y sistemática.	13	26
	Utilización, desarrollo e integración de herramientas informáticas para el manejo de información.	El estudiante es capaz de utilizar herramientas informáticas para buscar, organizar, procesar, analizar y presentar información.	13	
Formulación de proyectos	Identificación y caracterización de los proyectos en un contexto determinado	Reconoce e identifica condiciones políticas, legislativas, socioeconómicas, técnicas y ambientales del entorno, relevantes para el tratamiento de aspectos esenciales de la formulación del proyecto.	14	25
	Formulación de proyectos de ingeniería	Formula y evalúa el proyecto, apoyándose en un marco metodológico pertinente, a partir de las consideraciones del entorno y del análisis de alternativas.	11	
Diseño en Ingeniería	Identificación y análisis de necesidades del usuario para traducirlas especificaciones técnicas.	Comprende y estructura problemas a partir de un diagnóstico de necesidades y requerimientos e identifica restricciones y formula especificaciones técnicas.	9	30
	Formulación y estructuración de alternativas de solución para cumplir con especificaciones y restricciones	Frente a un problema que requiere un proceso de diseño estructurado, el estudiante analiza alternativas técnicamente viables y estructura la solución.	9	
	Diseño en detalle	Aplica conocimientos en matemáticas, ciencias e ingeniería para desarrollar en detalle el diseño requerido.	12	
Total de preguntas				110

La Dimensión Naturaleza de la Ingeniería, tendrá cinco preguntas de respuesta abierta, que en el año 2011 se aplicarán en forma de piloto y de acuerdo con su comportamiento será incluida en la estructura del examen a partir del año 2012

En el anexo se incluye la descripción de cada una de las evidencias, tareas y la sugerencia del número de preguntas para cada una de ellas.

A continuación se describirá la forma en cómo se deben diseñar los casos y las preguntas.

Nota: el examen Saber Pro se encuentra dirigido a los estudiantes de Ingeniería que han cursado por lo menos el 75% del programa académico.

Características de los casos

- El caso **no** debe tener una extensión de más de 150 palabras.
- El caso debe estar asociado con las dimensiones, componentes y evidencias evaluadas.
- El caso debe plantear un problema o situación realista en Ingeniería que el estudiante pueda resolver.
- El caso debe ser lo suficientemente genérico para que cualquier estudiante de Ingeniería lo pueda resolver.
- El caso debe contener información suficiente para poder generar entre tres y cuatro preguntas.
- El caso debe estar contextualizado.
- El caso puede incluir gráficas, tablas, figuras, fórmulas, etc.
- El caso **no** debe contener información irrelevante, al menos que se quiera evaluar la dimensión investigación y manejo de la información.
- No todos los casos deben tener preguntas con todos los tipos de conocimiento.

Características de las preguntas

Para cada caso escribir entre tres y cuatro preguntas con las siguientes características:

- Las preguntas pueden evaluar conocimientos declarativo, procedimental y esquemático. Se sugiere incluir preguntas para cada tipo de conocimiento a evaluar.
- Todas las preguntas son independientes, es decir, que la respuesta de una pregunta **no** debe depender de la respuesta de otra.
- Las preguntas solamente se pueden contestar leyendo y entendiendo el caso.
- Las preguntas pueden evaluar diferentes dimensiones, componentes y evidencias.

Características sobre las opciones de respuesta

- Solamente una de las opciones es correcta.
- Todas las opciones deben ser plausibles.
- Todas las opciones deben tener longitud y estructura similar.
- Todas las opciones son congruentes.
- Las opciones pueden ser palabras, gráficos, figuras, fórmulas, etc.
- Si las opciones son números, estos deben aparecer en orden.
- Las opciones no deben contener palabras claves del caso, al menos que todas las opciones tengan palabras claves.

Referencias

1. OECD, *A tuning-Ahelo Conceptual framework of expected/desired learning outcomes in engineering*, 2009, OECD: Paris.
2. UK Engineering Council, *UK standard for professional engineering competence*, 2003, UK Engineering council: Londres.
3. NRC and National Academy of Engineering, *The engineering 2020: vision of engineering in the new century*, ed. NAP2003: NAP.
4. Sheppard, S., et al., *Educating engineers: designing for the future of the field* 2009, San Francisco: Jossey-Bass.
5. Pellegrino, J., N. Chudowsky, and R. Glaser, eds. *Knowing what students know: the science and design of educational assessment: the science and design of educational assessment*. ed. NRC2001, National Academy Press (NAP): Washington D.C. 382.
6. Shavelson, R., et al., *Evaluating new approaches to assessing learning*, 2003, National Center for reserach on evaluation, Standard and student testing, California University, : Los Angeles.
7. McClelland, D., *Testing for competence rather than for intelligence*". American Psychologist, 1973. **28**(1): p. 1-14.
8. Delors, J., *La educación Encierra un tesoro*1996: UNESCO.
9. McClelland, D., *Testing for competence rather than for intelligence*". American Psychologist, 1973. **28**(1): p. 1-14.
10. Tobón, S., *Formación basada en competencias. Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica* 2004, Bogotá: ECOE Ediciones.
11. Martinez, P., M. Martinez, and J. Muñoz, *Formación basada en competencias en educación sanitaria: aproximaciones a enfoques y modelos de competencias*. Relieve, 2008. **14**(2).
12. Vasco, C.E. *Hay que educar el cerebro, la mano y el corazón*. 2003.
13. Larrain, A.M. and L.E. Gonzalez, *Formación universitaria pro competencias*, 2007.
14. UNESCO, *Key competences for all: an overarching conceptual frame of reference*, 2003, International Bureau of Education Geneva: Geneve.
15. Bloom, B., B.B. Mesia, and D. Krathwohl, *Taxonomy of Educational Objectives*1964, New York: David McKay Company Inc.
16. American Society of Civil Engineers, *Civil engineering Body of Knowledge for the 21st Century: Preparing the civil engineer for the future*. Second Edition ed2008, Reston.

17. Duque, M., et al., eds. *Ciencia e ingeniería en la formación de ingenieros para el siglo XXI: fundamentos, estrategias y casos*. Duque, Mauricio ed. 2008, ACOFI: Bogotá.
18. Stone, M., et al., *Teaching for understanding: linking research with practice*, ed. M. Stone 1998: Jossey-bass publishers.
19. Ruiz-Primo, M.A., *Assessment in Science and mathematics: lessons learned*, in *Assessment of technology education*, M. Hoepfl and M. Lindstrom, Editors. 2007, Mc Graw Hill: Chicago.
20. Shavelson, R., *Chapter 10: learning assessment and accountability for higher education*, in *Measuring college learning responsibility: accountability in a new era* 2009, Stanford University Press: Stanford.
21. Hoepfl, M. and M. Lindstrom, *Assessment of Technology Education* 2007, New York: Mac Graw Hill.
22. Australian universities quality agency, *Setting and monitoring academic standards for Australian higher education*, 2009.
23. MEN, *Resolución 2773 de noviembre 13 de 2003: Por la cual se definen las características específicas de calidad para los programas de formación profesional de pregrado en Ingeniería*, MEN, Editor 2003.
24. Congreso de Colombia, *Ley 842: 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*, C.d. Colombia, Editor 2003.
25. National Academy of engineering and NRC, *The engineering 2020: vision of engineering in the new century*, ed. NAP 2003: NAP.
26. The Royal Academy of Engineering, *Educating Engineers for the 21st Century*, ed. T.R.A.o. Engineering 2007, London.
27. Dias de Figueiredo, A., *Toward an epistemology of engineering*, in *2008 Workshop on philosophy and engineering*, T.R.A.o. engineering, Editor 2008: London.
28. Committee on science, *Undergraduate science, math, and engineering education: what's working*, 2006: Washington.
29. National Research Council, *Evaluating and improving undergraduate teaching in science, technology, Engineering and mathematics* 2003, Washington: NAP.
30. Liu, S.-y. and C.-C. Tsai, *Differences in the scientific Epistemological views of undergraduate Students*. International journal of science education, 2008. **30**(8): p. 1055-1073.
31. Pozo, J.I. and Y. Postigo, *La solución de problemas como contenido procedimental de la educación obligatoria*, in *La solución de problemas*, Santillana, Editor 1994: Madrid.

32. National Research Council and National Academy of Engineering, *Technically speaking: why all americans need to know more about technology*, ed. NAP2002, Washington: NAP.
33. Garmire, E. and G. Pearson, eds. *Tech Tally: approaches to assessing technological literacy* ed. NAE2006, NAP: Washington.
34. Hugues, T., et al., *Engineering as a social enterprise*, H. Sladovich, Editor 1991, NAP: Washington.
35. ABET, *Criteria for accrediting engineering programs. Effective for evaluation during the 2010-2011 accreditation cycle*, 2009, ABET: Washington.
36. Council of competitiveness, *Innovate America: Thriving in a World of Challenge and Change*, National Innovation Initiative, 2004.
37. Portnoff, A.-Y., *Pathways to innovation*2004, Paris: Futuribles.
38. Grech, P., *Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño*2001, Bogotá: Pearson educación de Colombia LTDA.