

## INFLUENCIA DE LOS DOMINIOS CONCEPTUALES EN LAS COMPETENCIAS ACADÉMICAS: ÁREA DE MATEMÁTICAS PARA INGENIERÍA

### *INFLUENCE OF CONCEPTUAL DOMAINS IN ACADEMIC SKILLS: AREA FOR ENGINEERING MATHEMATICS*

**Guillermo Mejía A., Adolfo L. Arenas I. y Daniel A. Sierra B.**

Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia)

#### Resumen

La educación, como factor de desarrollo económico de un país, demanda adoptar una documentación sistemática sobre los desempeños académicos, especialmente en ingeniería. Considerando la falta de documentación, en especial en educación en ingeniería, la preocupación generalizada por el bajo nivel de competencias académicas de los estudiantes que ingresan a la universidad ha llevado a la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la Universidad Industrial de Santander a preguntarse por el desempeño de sus estudiantes. El presente estudio indaga sobre los procesos cognitivos en matemáticas de los estudiantes de ingeniería, analizando los dominios conceptuales y las competencias evaluadas por la prueba EXIM. El estudio encontró evidencia estadística suficiente para sugerir que la enseñanza de las matemáticas del ciclo básico de los programas de ingeniería tiende a desarrollar de manera predominante la habilidad de aplicar conocimientos y no la de abstraer y solucionar problemas. Por otro lado, hay indicios de la influencia que los programas de ingeniería y sus dominios conceptuales ejercen sobre las competencias en matemáticas de los estudiantes de ingeniería de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la UIS. Los resultados parecen indicar que los diseños curriculares en ingeniería promocionan la enseñanza de las matemáticas durante el ciclo básico predominantemente hacia el pensamiento determinístico más que al probabilístico.

**Palabras claves:** competencias académicas, pruebas EXIM, dominios conceptuales.

#### Abstract

Education, as an economic development factor, needs of a systematic documentation to assess the academic performance of students, especially in engineering education. In addition to this lack of documentation, the concern about the poor academic performance of students during the first years in

the undergraduate programs, has led the faculty members of Engineering at the Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga –Colombia, to wonder for the performance of their students. This study investigated about the cognitive processes of the engineering students in mathematics through the knowledge domains and cognitive skills based on the standardize test EXIM. The study found enough statistical evidence to suggest that the teaching of mathematics in the engineering programs predominantly develops the academic skill to apply knowledge instead of skills to abstract or solve problems. Moreover, the study found interaction between the specialty of the engineering program and the knowledge domains over the mathematics skills of the engineering students. The results suggest that the engineering curricula promote the teaching of mathematics based on the deterministic thinking rather than probabilistic one.

**Keywords:** cognitive skills, EXIM test, content knowledge.

## Introducción

Hoy resulta evidente que la relación educación-ingeniería adquiere una importancia sustancial para el desarrollo de los países. El nivel de educación del capital humano influye en factores de desarrollo económico como la productividad, las capacidades de innovación y de transformación del conocimiento en tecnología (Hanushek and Woßmann, 2010). En ese sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), es consciente de la importancia de la educación para el desarrollo mundial en el siglo XXI; por ello ha orientado una política hacia la universalidad, internacionalización y mejoramiento de la calidad de la educación (Unesco, 2010). De igual manera, Colombia no desconoce la relevancia de la educación como factor de desarrollo, razón por la cual, organizaciones como la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (Acofi) llaman a favorecer la excelencia y la calidad de la enseñanza en ingeniería, a modernizar la estructura curricular de los programas, a trabajar por la homologación internacional de estudios y a mejorar las estrategias de instrucción (Acofi, 2006).

Si bien es cierto que la búsqueda de la calidad ha comenzado a hacer eco en el ámbito colombiano de la educación en ingeniería, parece que los esfuerzos hechos por lograr mejores resultados no han sido significativos durante los últimos años. Los programas de ingeniería en Colombia no cuentan con una documentación sistemática sobre índices de efectividad de las estrategias de enseñanza para la formación, ni sobre los factores académicos que inciden en el desempeño de los estudiantes. En 2004, el Icfes empezó a documentar, con sus pruebas estandarizadas Saber

Pro, el desempeño de los estudiantes de educación superior. Acofi, de igual manera, desde 2008 ha apoyado este proceso de documentación de los estudiantes de ingeniería, con sus pruebas EXIM. Ante estas laudables iniciativas, urge en primera instancia analizar el desempeño académico de los estudiantes de ingeniería, más allá de los promedios, lo cual es posible con las pruebas estandarizadas, como las del Icfes o las de Acofi.

## Identificación del problema

Ante la necesidad de realizar análisis más elaborados y sistemáticos sobre desempeños académicos en ingeniería, existe una preocupación generalizada por el bajo nivel de competencias académicas de los estudiantes que ingresan a la universidad. Las competencias académicas de quienes cursan los primeros semestres de los programas de ingeniería no satisfacen los requerimientos mínimos exigidos para atender las asignaturas del ciclo básico y del ciclo básico profesional. Casos de estudio en algunas universidades, como el de la Universidad Nacional con sede en Palmira (Valle), arrojaron cifras preocupantes. Datos de 2012 muestran que en la evaluación semestral de matemáticas realizada a 428 estudiantes de primer semestre, el 88,6 % reprobó y sólo el 11,4 % aprobó. El 45,1 % obtuvo calificaciones entre 0,0 y 1,0 (Tutalcha et al, 2013). En la Universidad de Antioquia, de los 727 estudiantes de ingeniería que ingresaron a primero en el segundo semestre de 2005, el 75 % tuvo bajo rendimiento académico (Valencia et al., 2007). En el caso de la Universidad Industrial de Santander (UIS) los indicadores de desaprobación de asignaturas en los cursos del primer semestre de 2012 arrojaron resultados también preocupantes: reprobaron el curso

el 60 % de los estudiantes de Cálculo, el 45 % del de Álgebra Lineal I, el 22 % de Taller de Lenguaje y el 21 % de Geometría Descriptiva (UIS, 2012).

Conscientes de la problemática evidente, directivos y profesores de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la UIS se han planteado preguntas con respecto al desempeño académico de los estudiantes adscritos: ¿cuál es el desempeño de los estudiantes en áreas básicas como matemáticas?, ¿hay evidencias para explicar dicho desempeño basados en competencias académicas?, ¿el desarrollo de dichas competencias es independiente del dominio del conocimiento adquirido?, ¿el tipo de programa de ingeniería influye en las competencias en matemáticas? El presente estudio espera responder a estas preguntas a partir de los resultados de las pruebas EXIM. Más que el análisis de los resultados finales de las pruebas, que en cierto modo indicaría el grado de eficacia del desempeño del estudiante, el propósito es conocer sus procesos cognitivos y su grado de efectividad, analizando los dominios conceptuales y competencias evaluadas por la prueba EXIM.

### Marco teórico

El Ministerio de Educación Nacional (MEN), por medio de la Resolución 2773 de 2003, estableció que la formación básica científica del ingeniero debe estar soportada por estudios en matemáticas y ciencias naturales, ya que estas áreas del saber brindan las herramientas conceptuales necesarias para explicar los fenómenos físicos a los que se enfrenta un ingeniero en su desempeño disciplinar. Es importante, entonces, definir particularmente para el área de matemáticas qué tipo de competencias académicas se requieren en ingeniería, cómo entenderlas y analizarlas y cómo han sido evaluadas en las pruebas EXIM.

### Competencias académicas

Las competencias académicas juegan un papel importante, no sólo para el desarrollo personal y profesional del estudiante, sino para el avance económico de las regiones. La calidad de la educación, medida con base en las competencias académicas y profesionales

de la fuerza laboral, constituyen un factor de desarrollo económico (Hanushek and Woßmann, 2010). Específicamente, algunos investigadores resaltan la importancia de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM, por su sigla en inglés), como el eje propulsor del desarrollo (Sabag y Trotskovsky, 2013). Pero ¿qué debe entenderse por competencia académica en educación de la ingeniería?

Hay diversas propuestas que se han dado en torno a la definición de competencias, desde cuando se comenzó a acuñar el término por el profesor McClelland de la Universidad de Harvard, en los años sesenta. Inicialmente, el término nació como producto de la necesidad de predecir el desempeño laboral a partir del académico (Vásquez, 2010). Para los propósitos del presente estudio, la definición adoptada por Duque (2006) se ajusta al caso particular de educación en ingeniería. Una competencia se refiere a aquellas actividades que el ingeniero ejerce haciendo uso del conocimiento, las habilidades, actitudes y herramientas disponibles para cumplir un fin determinado. Académicamente, en educación en ingeniería se han seguido dos grandes corrientes sobre la formación basada en competencias, las cuales se describen a continuación.

### *Tuning*

El proyecto Tuning nace del interés de las universidades europeas de unificar la enseñanza universitaria según el modelo de competencias, que se concretó en el acuerdo de Bolonia del año 2000 (González y Wagenaar, 2008). En este contexto, las competencias se conciben como la combinación de conocimiento, entendimiento, capacidades, habilidades y responsabilidades que describen el desempeño de un estudiante al finalizar el proceso educativo (Pagani, 2003).

Las habilidades y competencias, tanto académicas como profesionales, pueden ser genéricas o específicas de un área disciplinar. Según Tuning, las competencias genéricas involucran competencias instrumentales (capacidades cognitivas, metodológicas, tecnológicas y lingüísticas), y también interpersonales y sistémicas (González y Wagenaar, 2008). Entre las 22 competencias más importantes que Tuning encontró en sus estudios iniciales para América Latina se pueden

mencionar las siguientes: las capacidades de analizar y sintetizar, de aprender, de aplicar conocimientos de forma práctica y de resolver problemas. En cuanto a las competencias específicas, por ejemplo para ingeniería civil, se encontró que la más elemental tiene que ver con la aplicación de conocimientos de las ciencias básicas y de las ciencias de la ingeniería (Beneitone et al., 2007).

### **ABET**

El Consejo de Acreditación para Ingeniería y Tecnología (ABET por su sigla en inglés), es el ente regulador y orientador de las políticas sobre educación en ingeniería en Estados Unidos. Dentro de sus criterios de evaluación de programas, ABET sugiere definir los logros educativos que deben alcanzar los estudiantes, acordes con los objetivos del programa y expresados en términos de conocimientos, habilidades y valores. En términos específicos, por ejemplo, los programas de ingeniería deben demostrar que sus estudiantes, al terminar el ciclo educativo, han adquirido y desarrollado una habilidad para aplicar los conocimientos en matemáticas, ciencias básicas e ingeniería (Lattuca et al., 2006). Para el caso específico del Programa de Ingeniería Civil, debe demostrar que sus egresados tengan la habilidad para aplicar el conocimiento adquirido en matemáticas mediante el uso de ecuaciones diferenciales, conceptos físicos basado en procedimientos de cálculo integral y diferencial. Se espera que el ciclo básico desarrolle al menos los tres primeros niveles de la taxonomía de Bloom, como son el conocimiento, el entendimiento y la aplicación: que el estudiante pueda poner en práctica reglas, métodos, conceptos, principios y teorías en situaciones específicas (ASCE, 2007).

## **Taxonomía de Bloom**

Para entender y analizar las competencias académicas se han desarrollado diversas taxonomías, entre las cuales la más conocida y usada en ingeniería es la de Bloom, una clasificación sistemática de los objetivos de aprendizaje que persigue la enseñanza basada en tres tipos de dominios o dimensiones: cognitivo, afectivo y psicomotor (Bloom et al., 1956). El presente estudio se centra en el dominio cognitivo.

Según Bloom et al. (1956), el dominio cognitivo en una actividad de enseñanza permite identificar seis tipos de procesos de pensamiento que tienen un orden jerárquico: el nivel inferior, denominado nivel de *conocimiento*, corresponde a procesos de retención y reproducción de información; el segundo nivel, de *comprensión*, es la reproducción de información basada en el entendimiento; el tercero, de *aplicación*, es la habilidad para usar el conocimiento aprendido en diferentes situaciones; el cuarto, de *análisis*, es la habilidad para entender un problema por medio de sus componentes; el quinto, de *síntesis*, es la habilidad para configurar un todo a partir de sus elementos y darle un nuevo enfoque; y el nivel superior corresponde a procesos más complejos. Se denomina de *evaluación*, y en él se hacen juicios de valoración sobre los recursos y procesos necesarios para un determinado propósito.

Para algunos investigadores, la taxonomía de Bloom define claramente las competencias cognitivas del aprendizaje, por cuanto propone un modelo jerárquico de procesos cognitivos (Vásquez, 2010), y por ello ha servido como marco de referencia para evaluar las competencias académicas que resultan de un proceso de enseñanza (Howard, Carver and Lane, 1996; Bell and Floger, 1995) y también para determinar los objetivos curriculares y didácticos de un programa de educación. En este estudio, la taxonomía de Bloom se utiliza como referencia jerárquica de los procesos cognitivos presentes en la enseñanza de las matemáticas de los estudiantes de ingeniería. Hay que tener en cuenta que la taxonomía de Bloom es un modelo discreto de competencias académicas esperadas mas no un modelo verdadero de las competencias empleadas por los estudiantes cuando resuelven un test de evaluación (Gierl 1997).

## **Pruebas EXIM**

La prueba EXIM que lidera Acofi nace de un compromiso con la política de aseguramiento de la calidad en la educación superior, alineada con la política nacional de evaluación de competencias en la educación superior (Decreto 1781 de 2003). Como organismo que agrupa a las ingenierías en el país, Acofi se ha propuesto evaluar la pertinencia de las ciencias básicas con los

perfiles profesionales propuestos en los programas de ingeniería. Dicha evaluación pretende conocer el nivel de formación en matemáticas, física, química y biología como herramienta de mejoramiento en la educación superior de la ingeniería (Acofi, 2007).

Según Acofi (2007), la prueba EXIM estructura su evaluación en cuatro áreas fundamentales: matemáticas, física, química y biología y define en forma transversal tres competencias académicas básicas: capacidad de abstracción, análisis y síntesis; capacidad de aplicación de conocimientos; y capacidad de identificación, planteamiento y solución de problemas. Adicionalmente, por cada área disciplinar define sus dominios conceptuales. Para el área de matemáticas, los dominios conceptuales son: variación y cambio, medición, convergencia, estructuras y aleatorio; para el área de física, los dominios son campos, ondas, sistemas de partículas y medición y modelos experimentales. La prueba está compuesta por 140 preguntas, con la siguiente composición: matemáticas, 45 preguntas; física, 35; química, 30; y biología, 30. Estas preguntas evalúan tanto los dominios conceptuales como las competencias. La interpretación de los puntajes por nivel se ha sugerido de la siguiente manera: nivel alto, entre 71 y 100; nivel medio, entre 50 y 70; y nivel bajo, puntajes iguales o inferiores a 49.

## Metodología

La presente sección enuncia los objetivos y el alcance formulados para el estudio. Describe el método de investigación, las técnicas de análisis estadísticos diseñadas para lograr dichos objetivos, la unidad de análisis y, finalmente, las variables involucradas en los análisis.

## Objetivos y alcance

Para dar respuesta al problema y a las preguntas planteadas en la introducción, este estudio se propuso analizar los resultados logrados por los estudiantes de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de

la Universidad Industrial de Santander, en el **área de matemáticas** de la prueba EXIM. De manera específica, el estudio se propuso: 1) analizar las relaciones entre los dominios conceptuales y las competencias y 2) determinar si el tipo de programa de ingeniería influye en las posibles diferencias encontradas entre los dominios y competencias.

Los objetivos anteriormente descritos tienen el siguiente alcance: 1) el periodo de observación del estudio está definido entre 2009 y 2013; 2) la muestra estuvo conformada por estudiantes de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas pertenecientes a las escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería de Sistemas, Ingenierías Eléctrica y Electrónica, Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecánica; 3) los resultados de las pruebas EXIM analizados correspondieron al área de matemáticas.

## Diseño de la investigación y método de análisis

Para lograr los objetivos descritos se implementó un estudio transversal retrospectivo de los resultados de las pruebas EXIM durante el periodo 2009-2013, correspondiente a los estudiantes de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la UIS. Para cada objetivo específico se definió un método o modelo de análisis. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa comercial de análisis estadístico SPSS™ versión 21.

Los modelos de regresión lineal múltiple responden al primer objetivo específico del estudio, planteando hipótesis de asociación entre los dominios y las competencias relacionadas con las matemáticas. Con estos modelos se buscó explicar: a) la proporción de la modificación de una variable dependiente (Y) que representa la competencia, asociada a un grupo de variables independientes ( $X_i$ ) que representan los dominios; y b) el impacto de cada variable independiente –dominio–, sobre la variable dependiente –competencia–. La ecuación tipo de este modelo se muestra a continuación:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$$

Un modelo general de ecuaciones lineales responde al segundo objetivo específico. Con este modelo se buscó determinar dos condiciones: a) si hay efecto combinado de programa y dominio/competencia sobre los resultados; y b) en caso de no encontrar

evidencia de interacción, determinar el impacto del programa y de los dominios/competencias, de manera independiente. La ecuación tipo de este modelo se muestra a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j X_i + \beta_k X_i + (\alpha \beta)_{jk} X_i + \varepsilon$$

### Unidad de análisis y población

Las unidades de análisis definidas para este estudio son el programa de ingeniería y, de manera agregada, la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Toda la información recolectada, tabulada y analizada correspondió a los resultados mostrados en las pruebas EXIM de los estudiantes de la Facultad de

Ingenierías Físico-Mecánicas de la UIS, durante el periodo 2009-2013. La muestra poblacional estuvo conformada por 575 estudiantes en total. La Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas tiene adscritos los siguientes programas de ingeniería: civil, de sistemas, eléctrica y electrónica, industrial y mecánica. La distribución de la muestra por programa se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución por programa

Escuela/Departamento	N	%
Ingeniería Civil	98	17 %
Ingeniería de Sistemas	102	18 %
Ingeniería Eléctrica/Electrónica	172	30 %
Ingeniería Industrial	96	17 %
Ingeniería Mecánica	107	18 %
Total	575	100 %

El periodo de observación y análisis del estudio abarcó de 2009 a 2013 y el porcentaje de participación por año se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Distribución por año

Año	N	%
2009	100	17 %
2010	113	20 %
2011	74	13 %
2012	182	32 %
2013	106	18 %
Total	575	100 %

## Variables que intervinieron en el estudio

A continuación se describen las variables que fueron analizadas en el área de matemáticas (tabla 3).

Tabla 3. Número de preguntas por variable

Variable	Descripción	Número de preguntas				
		2009	2010	2011	2012	2013
	Dominio conceptual					
MK1	Variación y cambio	17 (38 %)	15 (33 %)	16 (36 %)	15 (33 %)	16 (36 %)
MK2	Medición	12 (27 %)	10 (22 %)	11 (24 %)	11 (24 %)	11 (24 %)
MK3	Convergencia	6 (13 %)	8 (18 %)	7 (16 %)	8 (18 %)	7 (16 %)
MK4	Estructuras	5 (11 %)	7 (16 %)	6 (13 %)	7 (16 %)	6 (13 %)
MK5	Aleatorio	5 (11 %)	5 (11 %)	5 (11 %)	4 (9 %)	5 (11 %)
	<b>Subtotal</b>	<b>45 (100 %)</b>	<b>45 (100 %)</b>	<b>45 (100 %)</b>	<b>45(100 %)</b>	<b>45(100 %)</b>
	Competencia					
MC1	Abstracción, análisis y síntesis	16 (36 %)	17 (38 %)	13 (29 %)	16 (36 %)	18 (40 %)
MC2	Aplicación de los conocimientos en la práctica	15 (33 %)	16 (36 %)	22 (49 %)	16 (36 %)	16 (36 %)
MC3	Identificar, plantear y resolver problemas	14 (31 %)	12 (27 %)	10 (22 %)	13 (29 %)	11 (24 %)
	<b>Subtotal</b>	<b>45 (100 %)</b>	<b>45 (100 %)</b>	<b>45 (100 %)</b>	<b>45 (100 %)</b>	<b>45 (100 %)</b>

## Resultados

Esta sección presenta los resultados de acuerdo con el orden de las hipótesis formuladas anteriormente en la sección de metodología. Primero se analizarán los resultados obtenidos al probar las hipótesis de asociación entre dominios y competencias, y posteriormente los resultados relacionados con las hipótesis de interacción entre programas de ingeniería y dominios/competencias.

Hipótesis de asociación entre dominios y competencias  
Las estadísticas básicas de las variables involucradas

en el análisis se muestran en la tabla 4. Se puede notar que “Variación y cambio” (MK1) muestra el mejor promedio y la mejor desviación dentro del grupo de dominios conceptuales en matemáticas ( $\bar{x} = 53,8$ ;  $STD = 9,8$ ;  $N = 575$ ), mientras que la variable “Aleatorio” (MK5) muestra el más bajo promedio ( $\bar{x} = 50,7$ ;  $STD = 10,0$ ;  $N = 575$ ). En cuanto a las competencias, “Aplicación de conocimientos” (MC2) tiene el mejor promedio y la mejor desviación ( $\bar{x} = 54,0$ ;  $STD = 10,7$ ;  $N = 575$ ), mientras que “Resolución de problemas” (MC3) muestra un promedio más bajo ( $\bar{x} = 53,2$ ;  $STD = 10,3$ ;  $N = 575$ ).

Tabla 4. Estadísticas básicas de las competencias en matemáticas (N=575)

	MK1	MK2	MK3	MK4	MK5	MC1	MC2	MC3
Media	53,77	53,24	53,18	52,72	50,66	53,42	54,00	53,20
error	0,41	0,42	0,45	0,43	0,42	0,42	0,45	0,43
DS	9,76	10,12	10,77	10,38	9,99	9,94	10,71	10,31
Mínimo	23	30	27	34	31	26	24	25
Máximo	80	79	84	88	77	82	84	80
Asimetría	-0,088	0,038	0,179	0,219	0,083	0,149	-0,068	0,095
Error	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
Curtosis	-0,250	-0,343	-0,364	-0,407	-0,591	-0,110	-0,332	-0,473
Error	0,203	0,203	0,203	0,203	0,203	0,203	0,203	0,203

Todos los supuestos asumidos para los modelos de regresión lineal se cumplen. Particularmente, el supuesto de multicolinealidad, con sus indicadores de tolerancia (ninguno menor de 0,2) y VIF (ninguno mayor de 3,0) mostraron que los modelos no presentan fuertes correlaciones entre las variables. Una vez comprobado que no se violaban los supuestos básicos para los modelos de regresión lineal múltiple, se evaluaron las hipótesis de asociación.

El estadístico  $R^2$  del modelo de regresión, que es un indicador de la cantidad de variación explicada por el modelo, fue evaluado estadísticamente en cada uno de los cinco modelos que se plantearon, y sus resultados se muestran en la tabla 5. En el modelo 1,

los dominios conceptuales pueden explicar en un 70 % el comportamiento de la competencia “Aplicación de conocimientos” (MC2). Mientras que las otras dos competencias, “Abstracción” y “Solución de problemas” sólo pueden explicarse en un 57 %, con los modelos 2 y 3, respectivamente. Esto indica que los dominios evaluados generan una incidencia notable en la competencia de aplicación de conocimientos, más que sobre las otras competencias de mayor nivel, de acuerdo con la taxonomía de Bloom. Por otro lado, cuando se plantean competencias como variables que expliquen otra competencia (modelos 4 y 5) dichos modelos muestran un grado de explicación bajo ( $R^2$ : 14% y 27%), menos que los modelos que usan dominios conceptuales para explicar competencias.

Tabla 5. Valores de  $R^2$  de los modelos (N=575)

Modelo	variable dependiente	R	$R^2$	$R^2$ corregida	F	GI	Significado ( $\alpha=0,05$ )
1	MC2 - aplicación de conocimientos en la práctica	0,84	0,70	0,70	262,75	5	$p < 0,001$
2	MC1 - abstracción, análisis y síntesis	0,75	0,57	0,57	149,90	5	$p < 0,001$
3	MC3 - identificación, planteamiento y resolución de problemas	0,76	0,58	0,57	155,28	5	$p < 0,001$
4	MC1 - abstracción, análisis y síntesis	0,37	0,14	0,14	91,63	1	$p < 0,001$
5	MC3 - identificación, planteamiento y resolución de problemas	0,53	0,28	0,27	109,12	2	$p < 0,001$

Una vez evaluado el grado de variación explicada, el análisis de impacto de cada dominio sobre la

competencia para cada modelo mostró los siguientes resultados (tabla 6).

Tabla 6. Orden de importancia de las variables independientes (N=575)

Modelo	Variable dependiente	Variable independiente	Coefficiente estandarizados	Significado ( $\alpha = 0,05$ )	Orden de Importancia
Modelo 1	MC2	MK2	0,36	$p < 0,001$	1
		MK1	0,28	$p < 0,001$	2
		MK3	0,26	$p < 0,001$	3
		MK5	0,22	$p < 0,001$	4
		MK4	0,19	$p < 0,001$	5
Modelo 2	MC1	MK1	0,51	$p < 0,001$	1
		MK2	0,19	$p < 0,001$	2
		MK3	0,17	$p < 0,001$	3
		MK4	0,11	$p < 0,001$	4

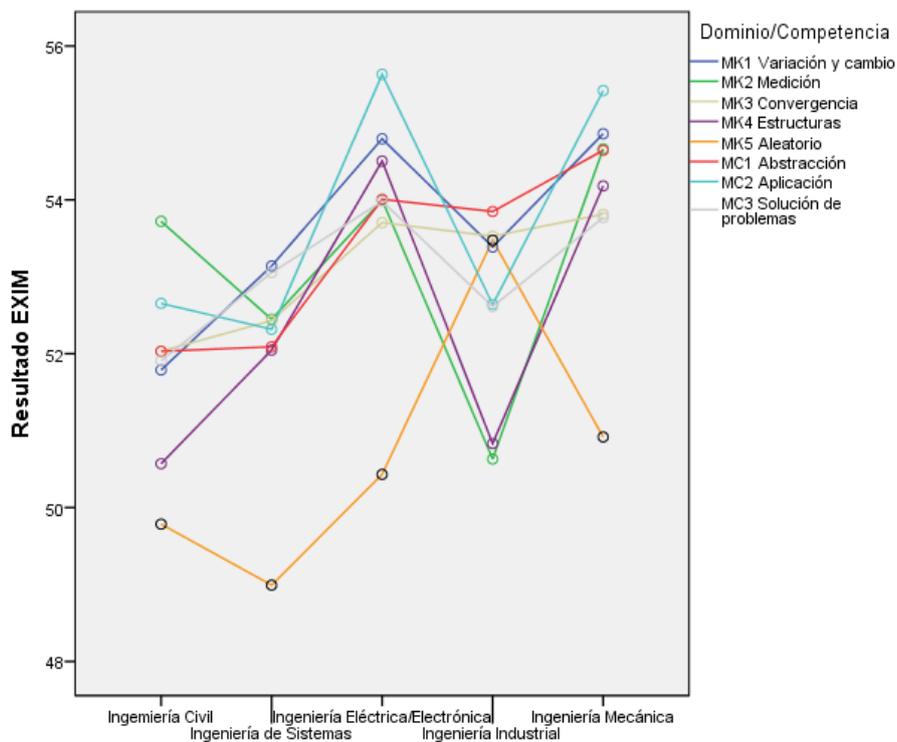
Modelo	Variable dependiente	Variable independiente	Coefficiente estandarizados	Significado ( $\alpha = 0,05$ )	Orden de Importancia
		MK5	0,08	p = 0,005	5
Modelo 3	MC3	MK4	0,28	p < 0,001	1
		MK3	0,28	p < 0,001	1
		MK1	0,26	p < 0,001	2
		MK2	0,22	p < 0,001	3
		MK5	0,18	p < 0,001	4
Modelo 4	MC1	MC2	0,38	p < 0,001	-
Modelo 5	MC3	MC2	0,40	p < 0,001	1
		MC1	0,22	p < 0,001	2

El modelo 1 muestra que la competencia “Aplicación de conocimientos” se explica de manera visible por el dominio “Medición” -MK2 (: 0,36), mientras que el dominio “Estructuras” MK4, no tiene mucha incidencia como factor de explicación (: 0,19). El modelo 2 muestra que la competencia “Abstracción, análisis y síntesis” se explica de manera predominante por el dominio “Variación y cambio” MK1 (: 0,51), mientras que el dominio “Aleatorio” MK5 no tiene incidencia alguna (: 0,08). El modelo 3 muestra una incidencia aproximadamente pareja de los dominios sobre la competencia “Identificación, planteamiento y resolución de problemas”.

### Hipótesis de influencia del programa sobre los dominios y competencias

Los programas de ingeniería que dirige la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la UIS mostraron los siguientes promedios en los dominios y competencias del área de matemáticas (anexo 1). En la tabla podemos observar que de manera predominante las escuelas de Ingeniería Eléctrica/Electrónica y de Ingeniería Mecánica presentan los mejores desempeños en todas los dominios y competencias, excepto en el dominio “aleatorio”, en el que la Escuela de Ingeniería Industrial evidencia el mejor desempeño.

Gráfico 1 Valores promedio de los dominios y competencias en matemáticas por programa



Todos los supuestos asumidos para el modelo lineal general fueron revisados y se comprobó que se cumplían. Particularmente, las pruebas de Box, de homogeneidad de varianzas de Levene y de Mauchly. La evaluación del efecto de interacción resultó estadísticamente significativo  $F(23; 3.192) = 1,77; p = 0,013$ . Se concluye que hay evidencia estadística suficiente para afirmar que los dominios y competencias interactúan con los programas generando un efecto de influencia sobre el desempeño de los estudiantes en las pruebas. El gráfico 1 muestra las medias de cada dominio y competencia por programa.

Como se muestra en la gráfica, el efecto de los dos factores actuando conjuntamente, programa de estudio y competencia, influyen en los resultados. El más evidente es con los resultados del dominio “Aleatorio” MK5, en el que los estudiantes de la facultad en general tuvieron el más bajo desempeño; sin embargo, los estudiantes de Ingeniería Industrial mostraron el mejor desempeño en este dominio, en relación con los otros programas de ingeniería. Otras diferencias ligeramente notables son: los programas de Ingeniería Eléctrica/Electrónica y de Ingeniería Mecánica tienen mejor desempeño en la competencia “Aplicación de conocimientos” con respecto a los otros programas. El programa de Ingeniería Civil se desempeña mejor que los otros programas en el dominio conceptual “Medición”. Los resultados de los modelos de regresión lineal explicando la competencia “Aplicación de conocimientos” por programa de estudio figuran en el anexo 2. Según estos resultados, el dominio conceptual “Medición” es el que más influye en el desempeño de la competencia “Aplicación de conocimientos”.

## Discusión

Esta sección presenta una discusión de los resultados obtenidos en el estudio, tratada en dos temas: la influencia de los dominios conceptuales sobre las competencias académicas y la de los programas de ingeniería en los dominios conceptuales y las competencias académicas.

### Influencia de los dominios conceptuales en las competencias

Los resultados encontrados sugieren que, en educación en ingeniería, el conocimiento en matemáticas que

se evidencia por medio de los dominios conceptuales –variación y cambio, medición, convergencia, estructuras y aleatorio–, explican en mayor proporción los resultados de la competencia “Aplicación de conocimientos” más que las otras dos competencias evaluadas. Es decir, el aprendizaje en matemáticas de los estudiantes de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la UIS evidencia un notable desarrollo de la habilidad de aplicación de conocimientos y muy poco sobre las habilidades de abstracción-análisis-síntesis y solución de problemas.

Este estudio confirma resultados encontrados en contextos diferentes al de educación en ingeniería, pero relacionados con el aprendizaje de las matemáticas, y se sugiere la existencia de una relación de dependencia entre el contenido (conocimiento) y el nivel cognitivo (competencia) desarrollado por los estudiantes (Gierl, 1997). Dado que el desempeño en matemáticas depende, generalmente, de un cuerpo de dominios conceptuales como definiciones, axiomas, métodos y procedimientos, parece como si esta área disciplinar permitiera desarrollar, de manera predominante, la capacidad de aplicar los modelos y algoritmos estudiados a problemas típicos en los que se empleen fórmulas y ecuaciones conocidas. Contrariamente, los procesos de abstracción-análisis-síntesis, como los de identificación-solución de problemas, no son tan marcadamente desarrollados durante la enseñanza de las matemáticas. Hay estudios que sugieren que los estudiantes afrontan obstáculos al identificar la estructura o principios detrás de la formulación de un problema en matemáticas, es decir, tienen cierta dificultad para plantear en expresiones matemáticas un problema presentado en lenguaje natural (Kontra, 2001). En educación, la manera de enseñar y usar el conocimiento influye en las habilidades cognitivas del estudiante; en consecuencia, algunos autores sugieren crear espacios de enseñanza en los que el conocimiento y la habilidad se vuelvan objetivos de la enseñanza (Glaser, 1985).

Si bien es cierto que los contenidos influyen en las competencias, en el estudio se observó que hay una tendencia de asociación entre ciertos dominios y el desarrollo de una competencia específica. Por ejemplo, la competencia académica “Aplicación de conocimientos” requerida para calcular áreas, volúmenes, momentos, centros de masa y cálculo de

densidades, se explica visiblemente por el dominio conceptual “medición” que involucra conocimiento en funciones, integración y derivadas. Por el contrario, el dominio conceptual “estructuras” que involucra conocimiento en campo ordenado completo, estructura del espacio vectorial, producto escalar, producto vectorial, conceptos más abstractos y complejos, no tiene mucha incidencia en esta competencia. Similarmente, los resultados muestran que la competencia académica “abstracción-análisis-síntesis”, que involucra la identificación de variables, constantes, parámetros, relaciones y su modelado matemático, se explica de manera predominante por el dominio “Variación y cambio” que involucra funciones, límites y derivadas, mientras que el dominio “Aleatorio” que involucra probabilidad, no tiene incidencia alguna. Estos resultados parecen indicar que los diseños curriculares en los programas de ingeniería promocionan la enseñanza de las matemáticas durante el ciclo básico, predominantemente hacia el pensamiento determinístico más que al probabilístico. Como evidencia, se encontró que los estudiantes de la facultad tuvieron el más bajo desempeño en el dominio aleatorio.

### Influencia de los programas en los dominios y competencias

El estudio mostró evidencia estadística suficiente para afirmar que los dominios y competencias interactúan con los programas de ingeniería generando un efecto de influencia sobre el desempeño de los estudiantes en las pruebas. Los resultados muestran el predominio de los programas de Ingeniería Eléctrica/Electrónica y de Ingeniería Mecánica en el desempeño de la mayoría de los dominios y competencias, excepto en el aleatorio, en el que el programa de Ingeniería Industrial muestra el mejor desempeño, y en el dominio “Medición”, en el cual el programa de Ingeniería Civil se desempeña mejor que los demás programas.

En el programa de estudio, los resultados de los modelos de regresión lineal que explican la competencia “Aplicación de conocimientos”, muestran que el dominio conceptual “Medición” es el que más influye en ella. La estructura del plan curricular en la fundamentación básica de las matemáticas de cada programa de ingeniería, parece que promoviera una habilidad de procesamiento lineal para abordar las matemáticas, con la cual los estudiantes aplican una secuencia de pasos para obtener una respuesta ante un problema matemático.

### Conclusión

El presente estudio muestra evidencia para sugerir que la enseñanza de las matemáticas del ciclo básico de los programas de ingeniería tiende a desarrollar de manera predominante la competencia “Aplicación de conocimientos” y no las competencias abstracción-análisis-síntesis y de solución de problemas. Los dominios más determinísticos y menos abstractos tienen mayor influencia sobre las competencias. El dominio conceptual “Medición” influye notoriamente sobre la competencia académica “Aplicación de conocimientos”; similarmente, el dominio “Variación y cambio” influye en la competencia “Abstracción-análisis-síntesis”, mientras que el dominio “Aleatorio”, que involucra probabilidad, no tiene incidencia alguna.

Por otro lado, hay indicios de la influencia que las disciplinas, sus programas de estudio y sus dominios conceptuales ejercen en las competencias en matemáticas de los estudiantes de ingeniería de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la UIS. Los resultados parecen indicar que los diseños curriculares en los programas de ingeniería promocionan la enseñanza de las matemáticas durante el ciclo básico de manera predominante hacia el pensamiento determinístico más que el probabilístico.

## Anexos

Anexo 1 Estadísticas básicas de las competencias evaluadas en Matemáticas (N=469)

Dominio/ Competencia	Programa	Media	DS	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
MK1	Ingeniería Civil	51,8	8,1	33	75	0,172	0,046
Variación y cambio	Ingeniería de Sistemas	53,1	9,7	28	79	-0,145	0,025
	Eléctrica/ Electrónica	54,8	9,7	28	76	-0,116	-0,632
	Ingeniería Industrial	53,4	10,0	28	74	0,092	-0,353
	Ingeniería Mecánica	54,9	10,9	23	80	-0,427	0,070
MK2	Ingeniería Civil	53,7	9,6	30	79	0,090	-0,147
Medición	Ingeniería de Sistemas	52,5	9,4	30	74	0,285	-0,466
	Eléctrica/ Electrónica	54,0	10,5	30	79	-0,190	-0,438
	Ingeniería Industrial	50,6	8,9	30	71	0,180	-0,255
	Ingeniería Mecánica	54,7	11,2	30	79	-0,098	-0,202
MK3	Ingeniería Civil	52,0	10,6	30	76	-0,011	-0,823
Convergencia	Ingeniería de Sistemas	52,4	9,5	31	77	0,290	-0,466
	Eléctrica/ Electrónica	53,7	11,5	27	84	0,294	-0,297
	Ingeniería Industrial	53,5	11,1	30	76	0,021	-0,494
	Ingeniería Mecánica	53,8	10,7	27	84	0,110	-0,121
MK4	Ingeniería Civil	50,6	10,3	34	75	0,469	-0,423
Estructuras	Ingeniería de Sistemas	52,1	10,4	34	88	0,417	0,387
	Eléctrica/ Electrónica	54,5	10,5	34	84	0,144	-0,206
	Ingeniería Industrial	50,8	9,9	34	75	0,196	-0,693
	Ingeniería Mecánica	54,2	10,2	34	75	-0,063	-0,864
MK5	Ingeniería Civil	49,8	9,9	34	77	0,395	-0,192
Aleatorio	Ingeniería de Sistemas	49,0	10,6	31	70	0,220	-0,878
	Eléctrica/ Electrónica	50,4	9,8	31	77	-0,061	-0,526

Dominio/ Competencia	Programa	Media	DS	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
	Ingeniería Industrial	53,5	9,7	35	77	0,104	-0,361
	Ingeniería Mecánica	50,9	9,6	34	69	-0,050	-0,791
MC1	Ingeniería Civil	52,0	10,0	31	81	0,427	0,289
Abstracción y	Ingeniería de Sistemas	52,1	8,7	30	71	-0,245	-0,584
síntesis	Eléctrica/ Electrónica	54,0	10,4	26	81	0,131	-0,223
	Ingeniería Industrial	53,9	9,7	31	78	0,121	-0,238
	Ingeniería Mecánica	54,6	10,3	26	82	0,088	0,084
MC2	Ingeniería Civil	52,7	9,3	28	80	0,279	0,069
Aplicación de	Ingeniería de Sistemas	52,3	9,6	28	74	-0,165	-0,260
conocimientos	Eléctrica/ Electrónica	55,6	11,6	28	84	-0,332	-0,430
	Ingeniería Industrial	52,6	9,7	32	77	-0,098	-0,164
	Ingeniería Mecánica	55,4	11,9	24	80	-,112	-0,453
MC3	Ingeniería Civil	51,9	9,1	30	74	-0,162	-0,367
Solución de	Ingeniería de Sistemas	53,1	9,5	34	78	0,015	-0,433
problemas	Eléctrica/ Electrónica	54,0	10,9	28	78	-0,151	-0,506
	Ingeniería Industrial	52,6	10,4	34	80	0,010	-0,618
	Ingeniería Mecánica	53,8	10,9	25	76	-0,248	-0,428

Anexo 2. Orden de importancia de las variables independientes (N=575) por programa

Programa	Modelo	Variable dependiente	Variable independiente	Coficiente estandarizados	Significado ( $\alpha = 0,05$ )	Orden de importancia
Ingeniería	1	MC2	MK2	0,34	$p < 0,001$	1
Civil			MK4	0,16	$p < 0,001$	5
Ingeniería de	1	MC2	MK2	0,38	$p < 0,001$	1
Sistemas			MK3	0,26	$p < 0,001$	5
Ingeniería	1	MC2	MK2	0,32	$p < 0,001$	1
Eléctrica			MK4	0,15	$p < 0,001$	5
Ingeniería	1	MC2	MK2	0,39	$p < 0,001$	1

Programa	Modelo	Variable dependiente	Variable independiente	Coficiente estandarizados	Significado ( $\alpha = 0,05$ )	Orden de importancia
Industrial			MK4	0,20	$p < 0,001$	5
Ingeniería	1	MC2	MK2	0,40	$p < 0,001$	1
Mecánica			MK5	0,17	$p < 0,001$	5

## Referencias

- American Society of Civil Engineers ASCE (2007). On the ABET engineering criteria for civil and similarly named programs in the context of the civil engineering body of knowledge. Versión 3.4 (Mayo 10, 2007)
- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería Acofi (2008). Examen de ciencias básicas EXIM: Matemáticas, Física, Química y Biología. Informe 2007. Bogotá: Acofi.
- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería Acofi (2006). Educación en ingeniería frente a los acuerdos de libre comercio. *Revista de Ingeniería*. N.º 24. Bogotá.
- Bell, J. T., & Fogler, H. (1995). Investigation and application of virtual reality as an educational tool. ASEE Annual Conference Proceedings, 2 (Investing in the Future), pp. 1718-1728.
- Beneitone, P., Esquetini, C., González, J., Mary, M., Siufi, G. & Wagenaar, R. (eds.). (2007). *Reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina: informe final Proyecto Tuning América Latina 2004-2007*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D. & Committee of College and University Examiners. (1956). *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals*. London: Longmans.
- Decreto 1781 de 2003. Reglamentación de los Exámenes de Estado de Calidad de la Educación Superior (Ecaes) de los estudiantes de los programas académicos de pregrado.
- Duque E., M. (2006). Competencias, aprendizaje activo e indagación: un caso práctico en ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, (2), pp. 7-18.
- Hanushek, E. A. & Wößmann, L. (2010), Education and Economic Growth. In: Penelope Peterson, Eva Baker, Barry McGaw (ed.). *International Encyclopedia of Education*. Volume 2, pp. 245-252. Oxford: Elsevier.
- Howard, R. A., Carver, C. A. & Lane, W. D. (1996). Felder's learning styles, Bloom's taxonomy, and the kolb learning cycle: tying it all together in the CS2 course. *Sigcse Bulletin*, 28 (1), pp. 227-231.
- Gierl, M. J. (1997). Comparing cognitive representations of test developers and students on a mathematics test with Bloom's taxonomy. *The Journal of Educational Research*, 91 (1), pp. 26-32.
- Glaser, R. (1985). *Education and thinking: the role of knowledge*. Pittsburg, Pa.: Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.
- González, J. & Wagenaar, R. (2008). *Universities' contribution to the Bologna process, an introduction*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Kontra, J. (2001). *Factors influencing problem solving and successfulness in mathematics*. Doctorate Dissertation University of Szeged, Hungary.
- Lattuca, L. R., Terenzini, P. T., Volkwein, J. F., Accreditation Board for Engineering & Technology (U.S.), & Pennsylvania State University. (2006). *Engineering change: a study of the impact of EC2000*. Baltimore, Md: ABET, Inc.
- Ministerio de Educación Nacional MEN (2003). Resolución 2773 de 2003 sobre la calidad para los programas de formación profesional de pregrado en ingeniería.
- Pagani, R. (2003). *Glosario Tuning educational structures in europe*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Sabag, N., & Trotskovsky, E., (2013) IEEE Global Engineering Education Conference, Educon 2013. (August 7, 2013). Using lab experiments in electric circuits to promote achievements in mathematics. *Ieee Global Engineering Education Conference, Educon*, pp. 123-129.
- Tutalcha, Martha C. et al. (2013) Preocupa bajo nivel de matemáticas en bachilleres. Recuperado de <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/preocupa-bajo-nivel-de-matematicas-en-bachilleres.html> el 3 de octubre de 2013.

Universidad Industrial de Santander (UIS). (2012). Balance Académico 2012. Reporte interno.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco). (2010). "Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development. Unesco International Engineering Report. World Federation of Engineering Organizations; International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences; International Federation of Consulting Engineers. Recuperado de [http://](http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001897/189753e.pdf)

[unesdoc.unesco.org/images/0018/001897/189753e.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001897/189753e.pdf) el 3 de octubre de 2013.

Valencia G., A., Mejía V., L. F., Restrepo G., G., Parra M., C. M., Muñoz O., L. D. & Ochoa Á., J. (2007). Primer año en ingeniería: más allá del rendimiento académico. *Revista Educación en Ingeniería*, (4), pp. 55.

Vásquez C., A. (2010). Competencias cognitivas en la educación superior. *Revista Electrónica de Desarrollo de Competencias (Redec)*, 6 (2). Universidad de Talca.

## Sobre los autores

---

### Guillermo Mejía Aguilar

Ph.D. Profesor de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. . Tel (57) (7) 634 4000 ext. 1301, Bucaramanga (Colombia). [gmejia@uis.edu.co](mailto:gmejia@uis.edu.co)

### Adolfo León Arenas Landínez

M.Sc. Profesor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. [aleon20484@gmail.com](mailto:aleon20484@gmail.com)

### Daniel Alfonso Sierra Bueno

Ph.D. Profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica/Electrónica de la Universidad Industrial de Santander. [dasierra@uis.edu.co](mailto:dasierra@uis.edu.co)

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.