

Methodology for measuring Student Outcomes (1-7) of ABET using SOLO taxonomy

Jesús Gabalán-Coello, Ph.D. en Medición y Evaluación en Educación¹ y Kevin Huggins, Ph.D. en Ciencias Computacionales²

¹Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, jgabalan@uao.edu.co

²Harrisburg University, USA, khuggins@harrisburgu.edu

Abstract— In this article, a methodological proposal is presented to perform the measurement of student outcomes (SO) published by the ABET Engineering Accreditation Commission. Previously there were eleven student outcomes known as the A-K, at the end of 2017 these outcomes have been modified by receiving seven outcomes (1-7). This proposal uses SOLO (Structure of Observed Learning Outcomes) taxonomy aligned with SO ABET.

Keywords—ABET, Learning Evaluation, Student Outcomes, SOLO Taxonomy.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.63>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

Desarrollo de una metodología para la medición de los Student Outcomes (1-7) de ABET empleando taxonomía SOLO

Jesús Gabalán-Coello, Ph.D. en Medición y Evaluación en Educación¹ y Kevin Huggins, Ph.D. en Ciencias Computacionales²

¹Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, jgabalán@uao.edu.co

²Harrisburg University, USA, khuggins@harrisburgu.edu

Resumen – En este artículo, se presenta una propuesta metodológica para realizar la medición de los resultados de estudiantes (SO) publicados por la Comisión de Acreditación de Ingeniería de ABET. Anteriormente se contaba con once resultados de estudiantes conocidos como los A-K, a finales del 2017 estos resultados han sido modificados acogiendo siete resultados fundamentales (1-7), como consecuencia de una discusión al interior de las asociaciones profesionales y del comité designado por la comisión de ABET para tal fin. Esto implica que los programas deben orientar sus procesos de medición logrando que los estudiantes evidencien dichos resultados en desarrollo de su plan de estudios. Por otra parte, la propuesta que aquí se presenta involucra el uso de la taxonomía SOLO (Structure of Observed Learning Outcomes) de Biggs para identificar los procesos cognitivos: uniestructural, multiestructural, relacional y abstracto ampliado, así como el despliegue evaluativo alineado con los resultados de estudiantes propuestos desde ABET.

Palabras clave – ABET; evaluación del aprendizaje; resultados de estudiantes; taxonomía SOLO.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de medición y evaluación del aprendizaje supone contar con lineamientos claramente definidos sobre los objetivos de aprendizaje que se persiguen con el desarrollo de las propuestas curriculares. Es por este motivo que el proceso de evaluación del aprendizaje debe tener su génesis en el contexto institucional, edificado sobre la sólida base de un proyecto educativo institucional. Dichos proyectos contienen los fundamentos conceptuales sobre la razón de ser de la institución a través de sus funciones sustantivas: docencia, investigación y proyección social.

A la función de docencia convergen los procesos de enseñanza – aprendizaje y los ejes orientadores del significado institucional del aprendizaje y su evaluación.

En consonancia con lo anterior, diversas taxonomías se han formulado para categorizar los niveles de complejidad inmersos en los dominios cognitivos del aprendizaje de los estudiantes. La taxonomía SOLO [1] es una de ellas.

Este proceso de medición y evaluación se potencia, al analizarlo en el marco de los procesos de autoevaluación de programas académicos, en los cuales se tiene como postulado

de base la perspectiva sistémica del programa inmerso en un contexto macroinstitucional, con el fin de identificar fortalezas y oportunidades de mejoramiento que propendan por garantizar cada vez más, mayor niveles de calidad.

Es en este punto en el cual las instituciones de educación superior, generan procesos de autoevaluación que permitan por un lado, incentivar la autorregulación institucional y la cultura de evaluación con fines de mejoramiento, y por otro lado, dar cuenta a la sociedad sobre la responsabilidad y compromiso con la educación de alta calidad (garantía pública de la calidad). Existen referentes de orden nacional a través de las agencias de acreditación de los países, así como referentes internacionales que desde miradas certificativas o de acreditación, intentan generar discusiones sobre lo que debería ser la formación acorde con los perfiles de egreso de referencia. Generalmente estas discusiones se orientan desde perspectivas disciplinares. En el ámbito de la ingeniería un referente internacional lo constituye la organización ABET. Este documento presenta una propuesta de medición y evaluación del aprendizaje bajo la taxonomía SOLO para un proceso de autoevaluación con base en referentes internacionales.

Aunque el artículo se refiere específicamente a una propuesta metodológica para un programa de ingeniería industrial que se encuentra en proceso de autoevaluación con base en referentes internacionales bajo los nuevos lineamientos de ABET en su criterio 3 a través de la Comisión de Acreditación en Ingeniería (EAC), los resultados pueden ser aplicados en otra comisión de acreditación de igual forma.

II. ANTECEDENTES

ABET es una de las principales organizaciones de acreditación en el campo de la ingeniería [2]. ABET está dividida en cuatro comisiones de acreditación diferentes que son responsables de acreditar los programas relacionados: Ciencias Naturales y Aplicadas (ANSAC), Computación (CAC), Ingeniería (EAC) y Tecnología de Ingeniería (ETAC) [3]. Todas estas comisiones requieren evaluar ocho diferentes criterios relacionados con el programa respectivo:

- Criterio 1: Estudiantes.

- Criterio 2: Objetivos educativos del programa.
- Criterio 3: Resultados de estudiantes.
- Criterio 4: Mejoramiento continuo.
- Criterio 5: Currículo.
- Criterio 6: Profesores.
- Criterio 7: Instalaciones.
- Criterio 8: Soporte institucional.

Los ocho criterios deben ser explicados en un documento de autoestudio que es enviado a la comisión asignada antes de presentarse la visita de acreditación. Después de una revisión exhaustiva del autoestudio y de los resultados de la visita, la comisión proporcionará una evaluación del programa con la decisión de acreditación, y en caso de ser positiva el tiempo de vigencia de dicha acreditación. Aunque los ocho criterios son importantes, los criterios 3 y 4 relacionados con los resultados de estudiantes y mejoramiento continuo son particularmente importantes en la medida que requieren intervenciones directas en el aula de clase que impactan directamente en los procesos académicos del programa [4].

Centrando la atención en programas acreditados por la comisión de acreditación en Ingeniería, el criterio 3 proporciona siete resultados de estudiantes que deben ser alcanzados por los estudiantes para cuando se gradúen [5]:

- 1) Capacidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería mediante la aplicación de principios de ingeniería, ciencia y matemáticas.
- 2) Capacidad de aplicar el diseño de ingeniería para producir soluciones que satisfagan necesidades específicas en consideración de la salud pública, la seguridad y el bienestar, así como factores globales, culturales, sociales, ambientales y económicos.
- 3) Capacidad para comunicarse efectivamente con una gama de audiencias.
- 4) Capacidad para reconocer responsabilidades éticas y profesionales en situaciones de ingeniería y emitir juicios informados, los cuales deben considerar el impacto de las soluciones de ingeniería en contextos globales, económicos, ambientales y sociales.
- 5) Capacidad de funcionar eficazmente en un equipo cuyos miembros juntos proporcionan liderazgo, crean un entorno colaborativo e inclusivo, establecen metas, planifican tareas y cumplen objetivos.
- 6) Capacidad de desarrollar y llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar datos, y usar el juicio de ingeniería para sacar conclusiones.

7) Capacidad de adquirir y aplicar nuevos conocimientos según sea necesario, utilizando estrategias de aprendizaje apropiadas.

Los siete resultados arriba listados deben ser medidos un mínimo de dos veces durante el ciclo de acreditación, y los resultados de la medición y evaluación requieren ser utilizados en un proceso que proporcione mejoramiento continuo al programa, debido a que la evaluación efectiva es un componente integral del proceso de aprendizaje [6]. Aunque la forma en que los programas evalúan los resultados de estudiantes (1-7) y alimentan los resultados en el proceso de mejora continua no está definida por ABET, se proporciona a continuación una propuesta metodológica para realizar esta tarea en las siguientes secciones.

Como se mencionó anteriormente, diversas taxonomías se han formulado para categorizar los niveles de complejidad inmersos en los dominios cognitivos del aprendizaje de los estudiantes. Un ejemplo de ello es la taxonomía Bloom, que ha sido empleada a efectos de medición ABET [7].

Biggs y Collis [1] desarrollan una propuesta para evaluar los diferentes niveles de complejidad estructural en los resultados de aprendizaje alcanzados. La taxonomía SOLO (Structure of Observed Learning Outcomes) se desarrolló al analizar cuidadosamente las respuestas de los estudiantes a las tareas de evaluación [1] [8] y ha sido validada para su uso en una amplia gama de disciplinas [9]. En esta taxonomía, Biggs y Collis tuvieron en cuenta muchos factores que afectan el aprendizaje de los estudiantes, tales como el conocimiento previo, las concepciones alternativas, motivos e intenciones con respecto a la educación y sus estrategias de aprendizaje. El resultado es una construcción que tiene dimensiones tanto cuantitativas como cualitativas.

En este sentido, a medida que los estudiantes aprenden, los resultados de su aprendizaje muestran fases similares de creciente niveles de complejidad. Se desarrolla una taxonomía que consta de cinco niveles a saber: pre-estructural (estado de ignorancia), uniestructural, multiestructural, relacional y abstracto ampliado. El desarrollo del pensamiento en los niveles uniestructural y multiestructural supone un mejoramiento en términos cuantitativos a medida que aumenta la cantidad de en la respuesta de los estudiantes, mientras que el desarrollo del pensamiento en los niveles relacional y abstracto ampliado supone un mejoramiento en términos cualitativos a medida que los detalles se integran en un modelo estructural.

En el nivel uniestructural, los estudiantes han aprendido un aspecto relevante del todo. Es posible que puedan establecer conexiones simples y obvias, pero el significado, el valor y la importancia de la idea aún pueden ser confusos para ellos, o puede que realmente no lo vean en absoluto [10].

Algunas acciones para resultados de aprendizaje de nivel uniestructural [11] son los siguientes: parafrasear, definir, identificar, contar, nombrar, recitar, seguir instrucciones simples, calcular, reproducir, organizar, reconocer, encontrar, observar, buscar, esbozar, recoger, entre otras.

En el nivel multiestructural, los estudiantes comprenden varios aspectos relevantes de una idea completa, o varias ideas que están relacionadas entre sí de alguna manera, aunque pueden no entender muy bien las relaciones. Ahora pueden hacer algunas conexiones y podrían haber aprendido varios aspectos bastante bien, pero les cuesta ver el panorama general [10]. Algunas acciones para resultados de aprendizaje de nivel multiestructural [11] son las siguientes: combinar, clasificar, estructurar, describir, enumerar, hacer un algoritmo, aplicar el método, contabilizar, ejecutar, formular, solucionar, conducir, probar, completar, ilustrar, expresar, caracterizar, entre otras.

En el nivel relacional, los estudiantes pueden integrar ideas en un todo, reconociendo las relaciones y conectando ideas entre sí. Pueden entender algunas meta-conexiones "detrás de escena", encontrar relaciones entre teoría y práctica, propósitos, y la importancia de las ideas es más clara para ellos. Los patrones están expuestos, o impuestos a las ideas [10]. Algunas acciones para resultados de aprendizaje de nivel relacional [11] son las siguientes: analizar, comparar, contrastar, integrar, relacionar, explicar causas, aplicar la teoría (a su dominio), argumentar, implementar, planificar, resumir, construir, diseñar, estructurar, concluir, corroborar, ejemplificar, derivar, adaptar, entre otras.

Finalmente, en el nivel abstracto ampliado, los estudiantes pueden organizar, juzgar y generalizar todo su aprendizaje para usar y adaptar su conocimiento en situaciones nuevas. Pueden hacer conexiones entre sus cursos, así como entre sus cursos y el mundo exterior, y usar esas conexiones para mejorar su comprensión [10]. Algunas acciones para resultados de aprendizaje de nivel abstracto ampliado [11] son las siguientes: teorizar, generalizar, hipotetizar, predecir, juzgar, transferir teoría (a un nuevo dominio), evaluar, reflexionar críticamente, predecir, criticar, razonar, entre otras.

III. METODOLOGÍA

A partir del método propuesto se toma como referencia la misión institucional para irradiarla por diferentes niveles hasta llegar a la construcción concreta del modelo de evaluación centrado en la coherencia institucional. Este proceso implica pasar por diferentes niveles de concreción al interior de la institución y particularmente del programa objeto de valoración.

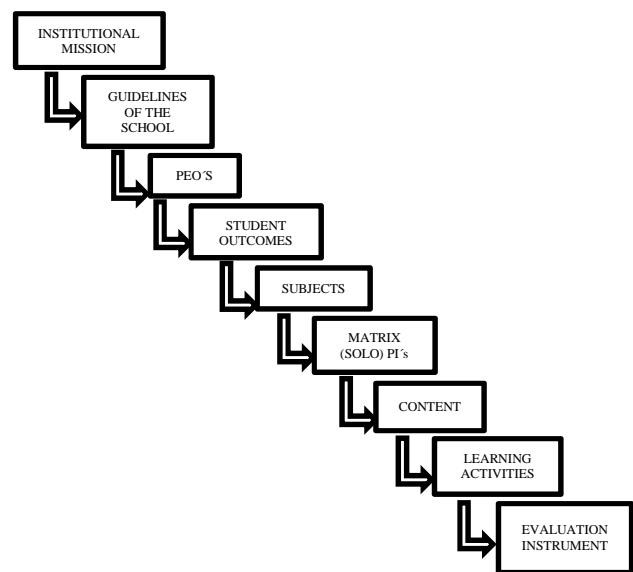


Fig.1. Ruta evaluativa para la descomposición de la misión institucional.

A. Misión institucional

La misión institucional es el eje central desde el cual parte el análisis. Esta misión permea todos los niveles jerárquicos de la organización y constituye el ideario colectivo de trabajo de la comunidad académica.

B. Lineamientos de la Facultad

Corresponde a la traducción que se realiza en el ámbito de una Facultad de Ingeniería de los componentes y declaraciones principales de la misión institucional. Es decir, a qué se compromete la Facultad de Ingeniería y de qué manera lo hace evidente en su trabajo académico disciplinar.

C. Objetivos educativos del programa

Es una construcción colectiva y es potestad de los constituyentes del programa (profesores, estudiantes, egresados y empresarios), tanto su diseño como las revisiones definidas en los ciclos de autoevaluación. Se utilizan como insumos fundamentales de contrastación los lineamientos de la facultad, los resultados de estudiantes (Student Outcomes 1-7 para EAC) y los proyectos educativos de los programas en los cuales se incluye una amplia discusión sobre la pertinencia del programa y su papel al tenor de referentes nacionales e internacionales.

D. Resultados de estudiantes

El objetivo principal de evaluar los resultados de estudiantes es determinar si el programa está ayudando a los estudiantes a alcanzar el conocimiento especificado en los resultados al momento de graduarse [4]. Los resultados empleados (1-7) hacen parte de los criterios para acreditar programas de ingeniería para ciclos de acreditación en 2019-2020.

E. Asignaturas

Es necesario permear los resultados de estudiantes de tal forma que a lo largo del plan de estudios se evidencie su progreso. Para ello se seleccionan asignaturas definidas previamente por el programa, las cuales contribuyan al fortalecimiento de las competencias de los estudiantes y constituyan un referente en el componente técnico, socio-humanístico y profesionalizante. Estas oscilan entre 12 y 15 por programa académico y deben cubrir integralmente todos los resultados de estudiantes ABET.

TABLA I
ASIGNATURAS VS STUDENT OUTCOMES

	Resultados de estudiantes						
	1	2	3	4	5	6	7
Asignatura 1	x	x	x				
Asignatura 2		x			x		x
Asignatura 3	x		x	x			
.							
.							
.							
Asignatura N		x				x	x

F. Matriz SOLO – Indicadores de Desempeño

Como se muestra en la tabla II, para cada asignatura se construye una matriz de especificaciones identificando los indicadores de desempeño de acuerdo con la taxonomía SOLO (Structure of Observed Learning Outcomes) de Biggs [6].

El campo conceptual se define como una categoría a la que subyacen varios temas que se desarrollan en el curso. En un campo confluyen diversas situaciones que se analizan a luz de diversos conceptos formando un sistema. Lo que supone es una interrelación entonces de unidades temáticas a través de una articulación de conceptos y situaciones. Presenta homogeneidad intraclase (aspectos contenidos) y heterogeneidad extraclase (con otros campos).

Se observan los niveles de desempeño, asociados a la taxonomía de referencia: uniestructural, multiestructural, relacional y abstracto ampliado. El cruce entre los campos y los niveles de taxonomía corresponde a los indicadores de desempeño, que representan las evidencias concretas a obtener de los estudiantes. Se formulan en voz activa, de tal forma que es el sujeto (estudiante) quien realice, ejecute o controle la acción del verbo, es decir, sea sujeto agente.

Los indicadores de desempeño se construyen de acuerdo al siguiente arreglo (1), así:

$$I = C_i L_j P_k \quad (1)$$

Donde:

C_i = Campo conceptual abordado por el indicador.

L_j = Nivel de taxonomía del indicador ($j = U, M, R, E$)

P_k = Posición arbitraria del indicador en la celda.

TABLA II
MATRIX SOLO

Campo Conceptual	Niveles de desempeño			
	Uniestructural	Multiestructural	Relacional	Abstracto ampliado
C1	1.U.1. 1.U.2.	1.M.1. 1.M.2.	1.R.1. 1.R.1.	1.E.1. 1.E.2.
C2	2.U.1. 2.U.2.	2.M.1. 2.M.2.	2.R.1. 2.R.1.	2.E.1. 2.E.2.
C3	3.U.1. 3.U.2.	3.M.1. 3.M.2.	3.R.1. 3.R.1.	3.E.1. 3.E.2.

Posteriormente, se hace necesario construir una matriz auxiliar que se denomina matriz de alineación curricular cuya pretensión es la de integrar los resultados de estudiantes (1-7) con todo el proceso académico a través del currículo del programa. Por ello, en esta matriz se relacionan los resultados de estudiantes con los campos conceptuales de las asignaturas, los indicadores de desempeño, el contenido del curso sobre el cual se enfatiza la evidencia de los indicadores y las actividades de aprendizaje que los potenciarán.

TABLA III
MATRIZ DE ALINEACIÓN CURRICULAR

Resultados de estudiantes	Campo Conceptual	Indicador de desempeño	Contenido del curso	Actividades de aprendizaje
1	C1, C2, C3...CN	$C_i L_j P_k$	Unidades temáticas del indicador	Actividades inductoras del indicador
.
.
7	C1, C2, C3...CN	$C_i L_j P_k$	Unidades temáticas del indicador	Actividades inductoras del indicador

G. Contenido

El contenido del curso debe permitir la adquisición del indicador por parte de los estudiantes, de tal forma que cada unidad temática tenga una intencionalidad que se encuentra totalmente articulada con un indicador. Es importante generar una codificación hacia los contenidos que permita de manera detallada conocer tanto la alineación como la ejecución del mismo.

H. Actividades de aprendizaje

Corresponden a las diferentes maneras y fórmulas pedagógicas en las que el profesor se propone generar el aprendizaje del indicador propuesto desde la taxonomía. Incluye actividades como lecturas, solución de ejercicios, casos, observación de sistemas reales, etc. Es importante apalancar la adquisición de los contenidos asociados al indicador desde diversas estrategias que conlleven a la identificación de fortalezas y debilidades en los estudiantes, generando un ciclo de mejoramiento continuo.

I. Instrumento de evaluación

Es necesario que los instrumentos de evaluación seleccionados por el profesor se encuentren alineados con los indicadores propuestos. Para ello se establece la planeación del despliegue evaluativo que esté orientada a satisfacer los requerimientos de información del indicador de desempeño. Es decir, se convierte en un acto totalmente intencionado.

TABLA IV
MATRIZ DE CARGA EVALUATIVA

Instrumento	%	Resultados de estudiantes						
		1	2	3	4	5	6	7
		I ₁ - I _N	I ₁ - I _N	I ₁ - I _N	I ₁ - I _N	I ₁ - I _N	I ₁ - I _N	I ₁ - I _N
Prueba 1	%	x				x		
Prueba 2	%		x	x				
Prueba 3	%				x	x		
.								
.								
.								
Prueba N						x	x	x
Total	100							

Una asignatura podrá tener uno o más resultados de estudiantes por los cuales responder. En muy pocos casos una asignatura podrá dar cuenta de todos los resultados, puesto que aunque teóricamente es deseable y plausible, la medición y todo el ciclo de mejoramiento se convierte en una labor infactible si se tratase de todos los resultados. En virtud de lo anterior, se concibe un espacio específico para que se evidencien todos los resultados y este es el proyecto final (Capstone Project).

Finalmente, para cada curso existen dos métricas de desempeño: nivel de cumplimiento por indicador y nivel de cumplimiento por resultado de estudiante.

Las fórmulas de cálculo se relacionan a continuación:

$$FPI_{ijk} = \frac{\sum_{e=1}^n P(C_i L_j P_k)_e}{\sum_{e=1}^n M(C_i L_j P_k)_e} \quad (2)$$

Donde:

FPI_{ijk} = Porcentaje de cumplimiento para cada indicador de desempeño del curso.

$P(C_i L_j P_k)_e$ = Rendimiento obtenido por un estudiante para cada indicador de desempeño del curso.

$M(C_i L_j P_k)_e$ = Puntaje máximo posible a obtener por un estudiante para cada indicador de desempeño del curso.

La siguiente fórmula se establece para los indicadores de desempeño asociados con cada resultado de estudiante (1-7). Por tanto, se tiene la misma fórmula para cada resultado de estudiante que se encuentre presente en el curso:

$$FSO_{ijk} = \frac{FPI_{iUk} + 2FPI_{iMk} + 3FPI_{iRk} + 4FPI_{iEk}}{MSO} \quad (3)$$

Donde:

FSO_{ijk} = Porcentaje de cumplimiento para cada resultado de estudiante del curso.

FPI_{iUk} = Porcentaje de cumplimiento para cada indicador de desempeño del curso de nivel uniestructural.

FPI_{iMk} = Porcentaje de cumplimiento para cada indicador de desempeño del curso de nivel multiestructural.

FPI_{iRk} = Porcentaje de cumplimiento para cada indicador de desempeño del curso de nivel relacional.

FPI_{iEk} = Porcentaje de cumplimiento para cada indicador de desempeño del curso de nivel abstracto ampliado.

MSO = Puntaje máximo posible a obtener en porcentaje de cumplimiento para los indicadores relacionados con el resultado de estudiante (1-7).

Es necesario mencionar que en la formulación del porcentaje de cumplimiento para cada resultado de estudiante del curso, se toma en consideración los niveles de complejidad involucrados en la taxonomía. Por tanto, en una escala arbitraria se propone que el desempeño de un estudiante a nivel multiestructural tiene el doble de peso que a nivel uniestructural. De la misma forma, si se considera el pensamiento relacional tendrá el triple, y cuatro veces en la categoría de abstracto ampliado. Con lo anterior, se intenta privilegiar los procesos de pensamiento complejo en relación a los sencillos.

IV. UNA VALIDACIÓN EMPÍRICA

A partir del método propuesto se selecciona como prueba piloto una facultad de ingeniería perteneciente a una universidad colombiana (Universidad Autónoma de Occidente –UAO). La facultad de ingeniería cuenta con 10 programas académicos, dentro de los cuales se encuentra el programa de ingeniería industrial el cual está acreditado por el Consejo Nacional de Acreditación y se encuentra en proceso de autoevaluación con base en referentes internacionales bajo los estándares ABET. Este programa ofrece la asignatura de investigación de operaciones 2 (modelos estadísticos para la

toma de decisiones) la cual será objeto de la siguiente validación empírica desde la metodología propuesta en los párrafos anteriores.

Para el segundo periodo académico del año 2017, uno de los grupos de la asignatura albergó un total de 27 estudiantes, todos ellos pertenecientes al programa de ingeniería industrial.

Siguiendo la ruta propuesta en la figura 1, la universidad tiene como misión integrar, con perspectiva internacional, las funciones sustantivas de docencia, investigación y proyección social para contribuir a la formación de personas con visión humanística, creativa y emprendedora, a la generación de conocimiento y a la solución de problemas del entorno regional, nacional e internacional.

La interpretación de la misión institucional en la facultad de ingeniería se resume en la figura 2 [12]. En esta nemotecnia se puede apreciar una integral, en cual las variables a integrar son las funciones sustantivas de la educación superior: docencia, investigación y proyección social. El diferencial de la integral es la internacionalización y el área bajo la curva, es decir el resultado de la integración es la formación de personas con visión humanística, creativa y emprendedora, la generación de conocimiento y la solución de problemas del entorno regional, nacional e internacional. Finalmente, se trata de una integral definida, puesto que la misión se encuentra sustentada en el horizonte de planeación institucional del plan de desarrollo respectivo.

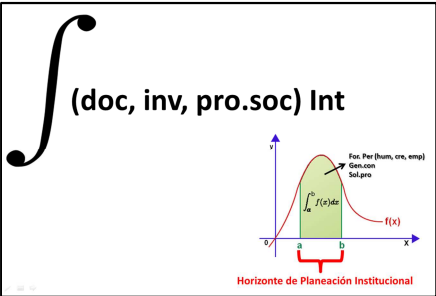


Fig.2. Interpretación de la misión institucional en la Facultad de Ingeniería.

Existen cuatro grandes ejes dinamizadores de la facultad de ingeniería, que representan la manera en que la facultad aterriza la misión institucional. Estos son lo cívico, las conexiones, la innovación y la responsabilidad [12].

Los programas académicos en una facultad innovadora deben tener una estructura curricular flexible, usar las TIC de manera intensiva, promover la solución de problemas interdisciplinarios, incorporar metodologías de aprendizaje activo y colaborativo, y promover una cultura de innovación y emprendimiento. Los programas académicos de una facultad de ingeniería conectada propician un diálogo permanente de conocimiento dentro de sus objetivos educativos. A tal efecto,

diversos enfoques y paradigmas convergen en la educación de un ingeniero de esta universidad. En ese sentido, debe haber conexiones dentro de los cursos y con otras áreas disciplinarias. Los programas académicos de una facultad de ingeniería cívica y conectada deben mantener un compromiso cercano con la ciudad y con los contextos regionales y globales. El modelo educativo de una facultad de ingeniería responsable incorpora educación para el desarrollo humano sostenible y mantiene una posición crítica con los modelos que consideran el desarrollo como un sinónimo de crecimiento económico [12].

El programa de ingeniería industrial toma estos planteamientos y formula a través de sus constituyentes cuatro objetivos educativos, los cuales pasan por un análisis de consistencia en el que se evidencia articulación tanto con los lineamientos de la facultad como con las declaraciones que se enmarcan en la misión institucional.

Con el ánimo de alcanzar dichos objetivos, la facultad permea a nivel del plan de estudios los siete resultados de estudiantes (tabla V).

TABLA V
ASIGNATURAS VS STUDENT OUTCOMES INGENIERÍA INDUSTRIAL

	Resultados de estudiantes						
	1	2	3	4	5	6	7
Pensamiento sistémico		x	x	x			
Gestión del conocimiento y del factor humano			x				x
Gestión de seguridad y salud en el trabajo		x		x			x
Simulación	x					x	
Control estadístico de calidad	x		x			x	
Investigación de Operaciones 1	x		x			x	
Investigación de Operaciones 2	x			x		x	
Diseño de instalaciones	x	x	x				
Logística	x	x					
Planeación y control de la producción	x	x				x	
Sistema de producción e inventarios	x	x					
Estudio del trabajo	x			x		x	
Gerencia de proyectos				x	x		x
Gestión avanzada de la producción		x	x	x			
Ambiente y desarrollo sostenible		x		x	x		

La asignatura de investigación de operaciones 2 da cuenta por los resultados de estudiantes:

- 1) Capacidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería mediante la aplicación de principios de ingeniería, ciencia y matemáticas.
- 4) Capacidad para reconocer responsabilidades éticas y profesionales en situaciones de ingeniería y emitir juicios informados, los cuales deben considerar el impacto de las

soluciones de ingeniería en contextos globales, económicos, ambientales y sociales.

6) Capacidad de desarrollar y llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar datos, y usar el juicio de ingeniería para sacar conclusiones.

Para esta asignatura se construye la matriz SOLO (anexo A) en la cual se generan los 19 indicadores de desempeño que involucran los cuatro niveles de la taxonomía: uniestructural, multiestructural, relacional y abstracto ampliado.

Estos indicadores se encuentran alineados con los resultados de estudiantes que corresponden a la asignatura (1, 4 y 6), como se puede apreciar en su respectiva matriz de alineación curricular (tabla VI). Cada indicador de desempeño se encuentra apalancando un resultado de estudiante del curso, así como se sustenta en la incorporación de unos contenidos específicos de la asignatura que se encuentran totalmente codificados. De la misma forma, existen una serie de actividades de aprendizaje que marcan el liderazgo en la inducción del indicador, sin embargo pueden existir multiplicidad de ellas (aquí solo se relacionan las principales).

TABLA VI
MATRIZ DE ALINEACIÓN CURRICULAR INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES 2

RE	Campo	Indicador de desempeño	Contenido	Actividades
1	1	1.U.1.	(1.1.) (1.2.) (1.3.) (1.4.)	Lecturas
		1.U.2.	(1.1.) (1.2.) (1.3.) (1.4.)	Lecturas
	2	2.U.1.	(2.1.) (2.2.) (2.3.) (2.4.) (2.5.) (2.8.) (2.9.) (2.13.)	Solución de ejercicios, lecturas
		2.M.1.	(2.7.)	Solución de ejercicios, lecturas
		2.R.1.	(2.10.) (2.11.) (2.12.)	Solución de ejercicios
		2.R.2.	(2.6.) (2.10.) (2.11.)	Solución de ejercicios, lecturas
		2.E.2.	Módulo 2	Proyecto
	3	3.U.1.	(3.1.) (3.2.) (3.5.)	Observación de sistemas reales, lecturas
4	1	1.E.1.	Módulo 1	Proyecto
	2	2.E.1.	Módulo 2	Proyecto
	3	3.E.1.	Módulo 3	Proyecto
6	1	1.M.1.	(1.5.) (1.6.) (1.7.) (1.8.) (1.9.)	Solución de ejercicios, casos
		1.M.2.	(1.10.) (1.11.) (1.12.) (1.13.) (1.14.) (1.15.) (1.16.)	Solución de ejercicios, casos
		1.R.1.	(1.17.)	Solución de ejercicios
		1.R.2.	(1.18.) (1.19.) (1.20.) (1.21.) (1.22.) (1.23.) (1.24.)	Solución de ejercicios
	3	3.U.2.	(3.3.) (3.4.)	Lecturas
		3.M.1.	(3.6.) (3.7.) (3.8.) (3.9.) (3.10.) (3.11.)	Solución de ejercicios
		3.R.1.	(3.12.)	Solución de ejercicios, lecturas, casos
		3.R.2.	(3.12.)	Solución de ejercicios, lecturas, casos

La fase siguiente consiste en el diseño de los momentos evaluativos y las cargas que se incorporan. Como se puede ver en el anexo B, cada uno de los indicadores se mide en uno o varios momentos a lo largo del curso. Esto se encuentra asociado a las evaluaciones parciales dentro del curso, así como a los porcentajes de peso de la nota definitiva.

Con base en lo anterior se determinan las cargas evaluativas en el curso. Por ejemplo, la nota obtenida en el primer examen parcial tiene una ponderación del 70% dentro del primer corte evaluativo que representa un 20% de la nota definitiva. En el primer examen parcial el 20% estará orientado a dar cuenta de los indicadores que conforman el resultado de estudiante 1, 10% el resultado de estudiante 4 y el 40% el resultado de estudiante 6 (la sumatoria de estos porcentajes representa el 70% que corresponde a la ponderación del primer examen parcial) (ver anexo B). Vale la pena resaltar que existen diversas mediciones de un mismo indicador que se determina en la matriz de carga evaluativa.

TABLA VII
MÉTRICAS DE DESEMPEÑO INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES 2

RE	Campo	Indicador de desempeño	FPI	FSO
1	1	1.U.1.	55,56%	56,93%
		1.U.2.	55,56%	
	2	2.U.1.	34,81%	
		2.M.1.	32,59%	
		2.R.1.	49,01%	
		2.R.2.	56,12%	
4	3	2.E.2.	78,52%	41,98%
		3.U.1.	70,37%	
		1.E.1.	43,95%	
	1	1.E.1.	43,95%	
	2	2.E.1.	37,04%	
	3	3.E.1.	44,94%	
6	1	1.M.1.	55,56%	49,23%
		1.M.2.	78,52%	
		1.R.1.	49,44%	
		1.R.2.	45,68%	
	3	3.U.2.	70,37%	
		3.M.1.	48,52%	
		3.R.1.	38,15%	
		3.R.2.	33,33%	

Finalmente, en la tabla VII se muestran las métricas de desempeño para el curso de investigación de operaciones 2. Estas métricas contribuyen a identificar fortalezas y oportunidades de mejoramiento y se convierten en un insumo significativo en los análisis curriculares que hace la comunidad académica en los diversos espacios de discusión establecidos para tal fin.

V. CONCLUSIONES

Preparar un proceso evaluativo centrado en los resultados de estudiantes requiere un cambio de paradigma en el cual la labor docente se direcciona a levantar evidencias concretas que den cuenta del proceso de enseñanza – aprendizaje. Esto implica llevar a cabo una serie de estrategias que permitan

concebir y diseñar el proceso evaluativo como un proceso que debe suministrar información válida y confiable, así como mostrar el camino para establecer el mejoramiento del programa. Por tanto, la propuesta metodológica que aquí se presenta permite apreciar una manera de realizar un seguimiento de los resultados de estudiante, que se encuentren en armonía con la misión institucional, es decir una aproximación contextualizada.

Por otra parte, se emplea la taxonomía SOLO de Biggs para establecer los indicadores de desempeño que dan cuenta de la efectividad del proceso de enseñanza – aprendizaje. Dichos indicadores se encuentran alineados a los recientes resultados de estudiantes publicados por ABET para los ciclos de revisión y acreditación de 2019 en adelante.

REFERENCIAS

- [1] J. Biggs and K. F. Collis. *Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome)*. 1st ed., New York: Academic Press. 1982.
- [2] ABET Web Site. <http://www.abet.org>.
- [3] ABET Accreditation Commissions Web Site. <http://www.abet.org/aboutabet/governance/accreditation-commissions/>.
- [4] J. Miller. Minimizing effort for ABET Student Outcomes Assessment while maintaining effective results. International Conference on Computational Science and Computational Intelligence. 365-369, 2016.
- [5] ABET Approved Revisions to Criteria for Accrediting Engineering Programs for implementation in the 2019-2020 accreditation cycle. <http://www.abet.org/wp-content/uploads/2017/11/EAC-Criterion-3-5-Revisions.pdf>
- [6] K. Schoepp, M. Danaher and A. Kranov. The computing professional skills assessment: an innovative method for assessing ABET's Student Outcomes. IEEE Global Engineering Education Conference. 45-52, 2016.
- [7] S. Z. Qamar, A. Ramanathan and N. Al-Rawahi. Teaching product design in line with Bloom's taxonomy and ABET student outcomes. IEEE Global Engineering Education Conference. 1017-1022, 2016.
- [8] K. F. Collis and J. Biggs. "Using the SOLO taxonomy". Set: Research Information for Teachers, 2 (4), 1986.
- [9] .A.C Hattie and G.T.L. Brown, Cognitive Processes in asTTle: The SOLO Taxonomy. Technical Report #43, University of Auckland/Ministry of Education. (2004, September).
- [10] M. K. Potter and E. Kustra. A primer on learning outcomes and the SOLO taxonomy. Center for teaching and learning. University of Windsor. <http://www1.uwindsor.ca/ctl/system/files/PRIMER-on-Learning-Outcomes.pdf>, 2012.
- [11] C. Brabrand and B. Dahl. "Using the SOLO taxonomy to analyze competence progression of university science curricula". Higher Education, 58 (4), 531 – 549, 2009.
- [12] F. Naranjo. Hacia una Facultad innovadora, conectada, cívica y responsable. Documento no publicado.

ANEXO A – MATRIZ SOLO ASIGNATURA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES 2

CAMPO CONCEPTUAL	DESEMPEÑO			
	UNIESTRUCTURAL	MULTIESTRUCTURAL	RELACIONAL	ABSTRACTO AMPLIADO
1. ANÁLISIS DE DECISIONES	1. Identifica escenarios de certeza, certidumbre y riesgo para la toma de decisiones. 2. Identifica la información necesaria de un contexto para establecer los valores de pagos (rentabilidad o costos) en el proceso de toma de decisiones.	1. Aplica métodos de decisión en condiciones de incertidumbre: Maximax, Maximin, Savage, Laplace y Hurwicz. 2. Aplica métodos de decisión en condiciones de riesgo: Valor Esperado.	1. Compara el rango para las mejores decisiones de acuerdo con un análisis de sensibilidad. 2. Contrasta el Valor Esperado de la Información Perfecta y/o Valor Esperado de la Información Muestral con referentes de contexto.	1. Reflexiona críticamente de acuerdo a su responsabilidad ética y profesional, sobre el impacto de las decisiones en función de la responsabilidad, el civismo, la conectividad y la innovación.
2. CADENAS DE MARKOV	1. Identifica los principales componentes de una Cadena de Markov (estado, tiempo, transición, etc.).	1. Clasifica los estados y clases existentes (transitorio, recurrentes, absorbente) en una Cadena de Markov.	1. Analiza las estructuras básicas para la solución de modelos de Cadenas de Markov (Ergódicas y/o Absorbentes). 2. Analiza el comportamiento de una variable aleatoria, en términos de probabilidades y/o tiempos.	1. Reflexiona acerca de lo costos esperados en el tiempo para la variable aleatoria, teniendo en cuenta la responsabilidad, la conectividad, el civismo y la innovación. 2. Transfiere los resultados obtenidos en las Cadenas de Markov, como insumo clave en el análisis de Teoría de Decisiones.
3. LÍNEAS DE ESPERA	1. Identifica situaciones que son susceptibles de abordar bajo la teoría de Líneas de Espera. 2. Reconoce la información necesaria para establecer la tasa de llegada y/o la tasa de servicio en un sistema.	1. Aplica adecuadamente modelos de líneas de espera (M/M/1, M/M/K, M/G/1, M/G/K Unid Bloq. M/M/1 Pobl. Finita).	1. Compara diversas soluciones de modelos de líneas de espera utilizado análisis económico de la línea de espera. 2. Relaciona el análisis del desempeño del sistema frente al análisis económico del mismo.	1. Reflexiona críticamente sobre las medidas de desempeño del sistema, no solamente en función del factor económico, sino también en términos de responsabilidad, civismo, conectividad e innovación.

ANEXO B – MATRIZ DE CARGA EVALUATIVA ASIGNATURA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES 2

ANEXO B – MATRIZ DE CARGA EVALUATIVA ASIGNATURA INVERSIÓN DE OPERACIONES 2																							
CORTE	INSTRUMENTO	% Relativo	% Global	STUDENT OUTCOMES																			
				1									4			6							
				1.U.1.	1.U.2.	2.U.1.	2.M.1.	2.R.1.	2.R.2.	2.E.2.	3.U.1.	1.E.1.	2.E.1.	3.E.1.	1.M.1.	1.M.2.	1.R.1.	1.R.2.	3.U.2.	3.M.1.	3.R.1.	3.R.2.	
PRIMER CORTE	PRIMER PARCIAL	70%	20%	X	X							X			X	X	X	X					
	TALLERES, QUICES, TAREAS	30%		X	X								X			X	X	X	X				
SEGUNDO CORTE	SEGUNDO PARCIAL	70%	25%			X	X	X	X				X		X								
	TALLERES, QUICES, TAREAS	30%				X	X	X	X	X			X										
TERCER CORTE	EXAMEN FINAL	70%	35%						X		X			X			X		X	X	X		
	TALLERES, QUICES, TAREAS	30%									X			X					X	X	X	X	
CUARTO CORTE	TRABAJO ESCRITO	30%	20%					X	X	X		X	X	X			X	X			X	X	
	EXPOSICIÓN	30%										X	X	X									
	AVANCE 1	20%															X	X					
	AVANCE 2	20%						X	X														
TOTAL ASIGNATURA			100%																				