

---

# Buenas prácticas de **assessment** en programas de ingeniería de Colombia

---



Carrera 68D 25B 86 oficina 205  
Edificio Torre Central, Bogotá D.C., Colombia  
PBX: + 57(1) 427 3065  
acofi@acofi.edu.co www.acofi.edu.co



Km.5 Vía Puerto Colombia  
Barranquilla, Colombia  
División de Ingenierías  
www.uninorte.edu.co

## **Consejo Directivo ACOFI 2018 – 2020**

### **Presidente**

Carlos Arturo Lozano Moncada

Universidad del Valle, Santiago de Cali

### **Vicepresidente**

Roberto Carlos Hincapié Reyes

Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

### **Consejeros**

Jesús Francisco Vargas Bonilla, Consejero.

Miguel Ángel García Bolaños, Consejero.

Fairuz Ospino Valdiris, Consejera.

Eduardo Delio Gómez López, Consejero.

Javier Páez Saavedra, Consejero.

Johann Farith Petit Suárez, Consejero.

Claudio Camilo González Clavijo, Consejero.

María Alejandra Guzmán Pardo, Consejera.

Wilson Arenas Valencia, Consejero.

Universidad de Antioquia, Medellín

Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias

Universidad de la Costa, Barranquilla

Universidad de Nariño, San Juan de Pasto

Universidad del Norte, Barranquilla

Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira

### **Editores**

Amparo Camacho Díaz

Directora Académica, División de Ingeniería

Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia

Luis Alberto González Araujo

Director Ejecutivo ACOFI, Bogotá, D.C., Colombia

### **Revisión de estilo**

Isabel Cristina Salazar Perdomo

ISBN: 978-958-680-086-0

Primera edición: marzo de 2019

Impreso en Colombia

Diseño e impresión

Opciones Gráficas Editores Ltda.

Tels: 51 (1) 237 2023 - 57 (1) 247 5854

Bogotá D.C., Colombia

www.opcionesgraficas.com

Las opiniones expresadas en este libro no son necesariamente las de ACOFI o de la Universidad del Norte.

# Contenido

<b>Presentación</b>	7
<b>Prólogo</b>	9
<b>1</b> "Assessment" de resultados de aprendizaje: Obtención usando un método directo a partir de las calificaciones de los estudiantes	11
<b>2</b> Implementación de assessment en práctica de laboratorio de mecánica de fluidos	23
<b>3</b> Assessment de curso y su importancia en el aseguramiento del logro de las competencias en el programa	39
<b>4</b> Evaluación de cursos según el nuevo sistema de resultados de estudiantes de ABET	55
<b>5</b> Assessment Process in the Biomedical Engineering Program at University of Los Andes	69
<b>6</b> "Metodología estratégica de assessment con fines de acreditación internacional	81
<b>7</b> Buenas prácticas de Assessment en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena para la transición de <i>Student Outcomes</i> según el modelo de acreditación internacional - ABET	101
<b>8</b> Actividades de enseñanza-aprendizaje autoevaluables para la solución de problemas complejos de diseño en ingeniería civil y assessment en el modelo de acreditación de ABET	111
<b>9</b> Integración de los SO-B, C y K en la evaluación del trabajo práctico en programas de ingeniería eléctrica y electrónica	135



---

# Presentación

Las facultades de Ingeniería en el país y en el mundo, para proporcionar una formación de calidad a sus estudiantes, están conformando comunidades académicas y científicas orientadas al estudio e investigación de prácticas educativas que contribuyan a la formación de ingenieros que comprendan y afronten los retos del mundo contemporáneo.

Una de las propuestas que cobra relevancia en la actualidad es el *assessment*, entendido en una concepción amplia que trasciende las tradicionales prácticas educativas al posibilitar el entendimiento e interpretación adecuada de los resultados del aprendizaje de los estudiantes, basándose en evidencias e información pertinente para diseñar e implementar procesos de aprendizaje coherentes con el mundo del ejercicio laboral.

En particular, en la División de Ingeniería de la Universidad del Norte, con el apoyo de ACOFI, realizaron el “I Simposio de buenas prácticas de *assessment* en Ingeniería”, el 16 y 17 de Agosto de 2018, con el objetivo de presentar, discutir y compartir experiencias, casos exitosos y buenas prácticas del desarrollo del proceso *assessment* en los programas de Ingeniería.

Asumimos la realización del simposio como un reto, pero sobre todo como una oportunidad para mostrar, discutir, compartir y vivenciar diferentes experiencias y prácticas educativas, que nos apoyen en la formación de las nuevas generaciones de ingenieros, para el progreso de la humanidad.

Es así como en este simposio se realizaron conferencias internacionales, una nacional, talleres y se presentaron y compartieron buenas prácticas de *assessment* a nivel de experiencias de aula, de programa e incluso de facultad. Seleccionamos varias experiencias de las presentadas en el Simposio, las cuales constituyen los capítulos de la presente publicación.

Es muy grato para la División de Ingenierías de la Universidad del Norte y para ACOFI, presentar a la comunidad académica de Ingeniería del país,

este valioso producto del I Simposio de buenas prácticas de *assessment*, como lo son las presentadas en esta publicación y agradecemos a los autores por su generosidad al compartir las mismas con sus colegas formadores de las nuevas generaciones de ingenieros del país.

**Amparo Camacho Díaz**

Directora Académica División de Ingenierías

Universidad del Norte

---

# Prólogo

Para la División de Ingenierías de la Universidad del Norte y para la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería es muy valioso presentar a la comunidad académica de ingeniería esta publicación sobre buenas prácticas de *assessment* en programas de ingeniería de Colombia, la cual recoge nueve trabajos de 21 profesores de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá y Cali, Universidad de Cartagena, Universidad de los Andes, Universidad del Norte y Universidad ICESI, los cuales aportan elementos para el mejoramiento curricular y de todos los procesos de aseguramiento de la calidad de los programas de ingeniería.

Es de destacar el hecho de lograr presentar algunas de las experiencias que se realizan en Colombia sobre *assessment*, lo cual es una muestra del compromiso de las facultades de ingeniería del país en pro de la formación de mejores ingenieros.

Cada artículo propone, desde su propia visión de facultad o programa, la articulación de los aspectos que tradicionalmente se estudian y analizan durante el proceso de enseñanza, junto a condiciones como los objetivos y resultados de aprendizaje, las rúbricas y las evidencias, entre otros aspectos para la construcción permanente del mejoramiento de los programas de ingeniería.

Los autores, además de su experiencia, incluyen recomendaciones que son una importante contribución a los procesos que actualmente y en el futuro desarrollan los programas de ingeniería, constituyéndose en aportes para la excelencia de las facultades de ingeniería del país.



---

# “Assessment” de resultados de aprendizaje: Obtención usando un método directo a partir de las calificaciones de los estudiantes

---

*Germán A. Chavarro, Mariela J. Curiel*  
*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

## **Resumen**

Este artículo presenta un método para obtener el nivel de logro, en el programa, de un resultado de aprendizaje (“outcome”) a partir de las calificaciones obtenidas directamente por los estudiantes en cursos del programa. El método supone el uso de rúbricas, por parte de los docentes, en la evaluación y retroalimentación de los estudiantes en todos los cursos.

**Palabras claves:** “Assessment”, directo, rúbrica

## I. Introducción

Dentro del modelo de calidad desarrollado en la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana [4], es necesario hacer un seguimiento del nivel alcanzado por los estudiantes en cada uno de los resultados de aprendizaje que le interesan al programa. Esto debe hacerse de una manera que sea confiable y sostenible; que pueda servir para la toma de decisiones y no represente una carga adicional muy alta para los docentes. Por esta razón se aprovechan las evaluaciones que diseñan los profesores para sus asignaturas, y de ahí se obtiene la evaluación de los resultados de aprendizaje del programa.

## II. Fundamentación teórica

Cada programa debe establecer los resultados de aprendizaje (conocidos también como “outcomes” o competencias) que soportan el cumplimiento de los objetivos educativos. A manera de ejemplo, se listan a continuación los resultados de aprendizaje utilizados en la Carrera de Ingeniería de Sistemas:

(a) Habilidad para aplicar el conocimiento de matemáticas discretas y continuas, física, probabilidad, estadística y conceptos y métodos de Ingeniería de Sistemas en el diseño de sistemas y servicios informáticos.

(b) Capacidad de diseñar protocolos para probar, evaluar y gestionar la calidad de sistemas y servicios informáticos, e integrar, analizar e interpretar datos.

(c) Capacidad de diseñar sistemas y servicios informáticos para resolver problemas y aprovechar oportunidades en diferentes contextos, satisfaciendo requerimientos y restricciones cambiantes de tipo económico, ambiental, social, político, ético, de salud y seguridad, construcción y sostenibilidad.

(d) Capacidad de trabajar en equipos multidisciplinarios, comunicándose efectivamente con los miembros del equipo, y habilidad para coordinar y liderar los equipos.

(e) Capacidad de detectar problemas y oportunidades pertinentes para la ingeniería de sistemas en diferentes contextos. Identificar alternativas de solución definiendo criterios para la selección de una de ellas. Realizar la formulación conceptual de la solución, planearla y ejecutarla con tecnologías de información

(f) Capacidad de identificar sus responsabilidades éticas y actuar acorde con ellas en su práctica profesional, teniendo una actitud de servicio hacia la sociedad.

(g) Habilidad para expresar en forma oral y escrita, y con los medios adecuados, las soluciones planteadas de forma que se logre una comunicación asertiva. Escuchar y reflexionar para garantizar la comunicación bidireccional efectiva con sus interlocutores en ambientes técnicos y no técnicos.

(h) Conocimiento del entorno local y global, con el fin de entender los impactos que puede generar la tecnología y las soluciones informáticas en el contexto social, económico y ambiental.

(i) Necesidad de contar con habilidades de autoaprendizaje continuo de nuevos conceptos, tecnologías y herramientas que favorezcan su desarrollo personal y profesional.

(j) Capacidad de mantenerse informado de la actualidad en que vive y relacionarla con su quehacer profesional.

(k) Capacidad para seleccionar y aplicar técnicas, habilidades y herramientas modernas propias de la ingeniería de sistemas para la solución de problemas.

Una vez definidos los resultados de aprendizaje, es necesario hacer un seguimiento del nivel de cumplimiento por parte de los estudiantes durante el plan de estudios. En el caso de la Carrera de Ingeniería de Sistemas, se mide en al menos tres cursos obligatorios; el objetivo es determinar el cumplimiento en cada uno de los tres primeros niveles de la taxonomía de Bloom, o hasta el nivel máximo que decida el programa.

Según la definición de ABET [3], el “assessment” está constituido por “uno o más procesos que identifican, recolectan y preparan datos para evaluar el logro de los resultados de aprendizaje (competencias)”. El objetivo es, entonces, conocer el nivel de logro de una competencia en el programa.

Para evaluar resultados de aprendizaje es posible usar métodos directos e indirectos que sean apropiados. Se permite, igualmente, utilizar algún tipo de muestreo. Puede ocurrir que el nivel de logro de un “outcome” sea el resultado de utilizar una combinación de métodos.

Los métodos directos provienen de una prueba o de observación directa del trabajo de los estudiantes en un curso. Se pueden utilizar instrumentos tales como exámenes, quices, presentaciones, proyectos y reportes. Según ABET, éstos proveen una evidencia fuerte del nivel de aprendizaje de los estudiantes.

Un mismo resultado de aprendizaje puede ser trabajado en diferentes cursos y un curso puede aportar al cumplimiento de varios “outcomes”.

Una vez se decide que un curso va a aportar a un “outcome” específico, se debe asegurar alineación de sus resultados de aprendizaje esperados, como curso, con lo esperado en el “outcome” en el programa y asegurar que dichos resultados se pueden evaluar con instrumentos de medición en el curso. Para ello es útil definir una descripción general de lo que se espera para el “outcome”.

A manera de ejemplo se presenta el caso del curso Comunicaciones y Redes. Uno de sus resultados de aprendizaje es “Desarrollar habilidades para comunicar conceptos técnicos a través de una presentación formal”, que se mide a través de una exposición cuyo valor es del 10 % en el curso. Para hacer la presentación, todos los grupos deben entregar como requisito la versión inicial de un artículo relacionado con el tema de la exposición, la cual se revisa. La versión final del artículo se presenta posteriormente y se da el visto bueno para la exposición; los artículos que no obtengan el visto bueno no se presentarán. Es evidente que hay una clara alineación entre este resultado de aprendizaje del curso y lo esperado en el programa en el “outcome”, etiquetado arriba como (g).

### III. Rúbricas

Una herramienta útil para utilizarla en los métodos directos es la rúbrica. Éste es un instrumento para evaluar los resultados del trabajo realizado por un estudiante que permite entregar una calificación, dar retroalimentación al estudiante y promover su aprendizaje mediante una especificación clara de las expectativas. Con la rúbrica se divide el resultado esperado en partes y se explica lo que constituyen niveles aceptables y no aceptables de rendimiento.

Las rúbricas se dividen en cuatro partes:

- Descripción de la tarea con su objetivo de aprendizaje.
- Escala de niveles de logro (que pueden estar relacionados con una calificación).
- Dimensiones de la tarea (indicadores de desempeño), que corresponden a las habilidades o conocimientos involucrados en ella.
- Descripción de lo que constituye cada nivel de logro en su correspondiente dimensión.

Normalmente la rúbrica se representa en una malla que relaciona los niveles de logro (columnas) con las dimensiones o indicadores de desempeño (filas). En la Figura 1 se puede observar una rúbrica para evaluación de un taller.

La rúbrica que se usa en un instrumento de evaluación (quices, exposiciones, proyectos, etc.) tiene como propósito medir todos los aspectos relacionados con su entrega y es útil para dar una calificación al estudiante en la clase. A cada dimensión se le asigna su peso relativo en la tarea (que debe sumar un 100 %).

#### IV. Creando la rúbrica del “outcome”

El objetivo final es conocer el nivel de logro de una competencia, desde la perspectiva del curso. Para lograrlo, se deben seguir los pasos mencionados a continuación.

Primero, seleccionar entre los instrumentos de evaluación del curso cuáles aportan al cumplimiento del “outcome”. Como es posible que se usen varios instrumentos que aportan al logro del “outcome”, la contribución de cada uno se pondera, teniendo en cuenta su peso relativo original en el curso, de tal manera que para el “outcome” la suma de sus pesos sea 100 %. Como es posible que no se escojan todos los instrumentos usados en el curso, esos pesos pueden variar.

Segundo, una vez escogido un instrumento de evaluación, se seleccionan sólo aquellas dimensiones de la rúbrica del instrumento que aportan para el resultado de aprendizaje que interesa. Por ejemplo, en un proyecto se puede estar evaluando varios aspectos: resolución de problemas, búsqueda de referencias bibliográficas, comunicación escrita, trabajo en equipo, etc. Si el instrumento se escogió para evaluar la competencia relacionada con comunicación escrita, el resto de los aspectos se descarta para la evaluación de dicho “outcome”.

Por esta razón el docente debe escoger cuidadosamente aquellas dimensiones del instrumento que efectivamente aportan al resultado de aprendizaje seleccionado. Como no se usan todas las dimensiones, se debe tener cuidado en ponderar de nuevo el peso relativo de cada dimensión usada, para que constituyan el 100% en relación con el resultado de aprendizaje dentro del instrumento.

Figura 1. Ejemplo de rúbrica para un instrumento (taller en este caso)

1. Descripción de la tarea y su objetivo de aprendizaje		2. Escala de niveles de logro		
<p>CURSO: Problemas de Ingeniería</p> <p>SEMESTRE: 2018-II</p> <p>INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN: Taller Formulación de solución a un Problema planteado</p> <p>Objetivo de Aprendizaje: Estudiar los principios y formular la solución para un problema de ingeniería en un entorno controlado (El problema está dado)</p> <p>Peso en el curso: 15%</p>				
Indicadores de desempeño (ID) para el instrumento de evaluación	Peso (%) de cada ID (debe sumar 100)	Ejemplar [5-3,75]	Competente (3,75-3]	Por debajo del estándar (3-0]
Presentación oral del resultado del Taller	10	La presentación cubre todos los aspectos solicitados. Tiene buen manejo de léxico y buen lenguaje corporal.	La presentación se entiende pero puede faltar algún ítem no trascendental. Falta mayor fluidez en la exposición. Se puede mejorar el lenguaje corporal.	La presentación no permite que los asistentes entiendan el resultado del taller. No hay buen manejo corporal y hay poca fluidez.
Conocimiento de principios necesarios para resolver el problema planteado	10	Realiza una explicación clara de los conceptos necesarios para resolver el problema.	Falta claridad al explicar algunos de los conceptos.	No explica adecuadamente los conceptos claves.
Formula una solución para el problema planteado	80	Presenta un análisis completo del problema y formula una solución que es viable.	Aunque formula una solución viable, falta sustentación de la misma.	La solución formulada no es viable o, está mal sustentada.
3. Las dimensiones de la tarea (indicadores de desempeño), que corresponden a las habilidades o conocimientos		4. Descripción de lo que constituye cada nivel de logro en cada dimensión		

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta selección se construye una nueva rúbrica, que en este caso servirá para medir el logro del resultado de aprendizaje, tomando directamente los resultados obtenidos por los estudiantes en la clase. Con esta técnica se evita un trabajo adicional por parte del profesor que está midiendo un resultado de aprendizaje. La figura 2 muestra un ejemplo de rúbrica para el “outcome” (e), utilizando un proyecto y un taller.

Para facilitar la escogencia de los instrumentos y las dimensiones adecuadas, puede ser útil que la descripción general de lo que se espera del “outcome” se realice utilizando una rúbrica general, del programa, para dicho “outcome”. Estas rúbricas generales pueden elaborarse definiendo un indicador de desempeño para cada nivel de Bloom deseado. Servirán de guía al profesor en la alineación entre las dimensiones de la rúbrica local del instrumento en el curso y la dimensión correspondiente en la rúbrica general del “outcome”.

## V. Obtención del nivel de logro

Una vez se ha construido la rúbrica del “outcome”, es necesario contar con los resultados (calificaciones) obtenidos por los estudiantes en cada uno de los instrumentos utilizados. Como se mencionó, los niveles de logro de la rúbrica están asociados con un rango de calificación, de tal manera que es posible clasificar el resultado del estudiante. Se sugiere el uso de tres niveles de logro: Ejemplar ( $5 \geq$  calificación  $\geq 3,75$ ), Competente ( $3,75 >$  calificación  $\geq 3,0$ ) y Bajo el estándar (calificación  $< 3,0$ ).

Dado un instrumento seleccionado, para cada dimensión utilizada en la rúbrica del “outcome”, se calcula la cantidad y el porcentaje de estudiantes que obtuvieron cada nivel de logro. Luego se calcula el resumen del instrumento, ponderando el porcentaje de estudiantes por dimensión, con el peso relativo de ésta. Así se obtiene el porcentaje de estudiantes en cada nivel de logro para el instrumento. La figura 3 muestra un ejemplo de los valores necesarios para obtener el nivel de logro.

Una vez se tenga el resumen para cada instrumento, se procede a obtener el valor final para el “outcome” en el respectivo nivel de logro, ponderando el resumen de cada instrumento con su peso relativo de la rúbrica del “outcome”. Así se obtiene el porcentaje de estudiantes en cada nivel de logro para el “outcome”, según lo aporta este curso.

Figura 2. Ejemplo de una rúbrica para un "outcome"

RESULTADO DE APRENDIZAJE:		E. Estar en capacidad de identificar, formular y resolver problemas de Ingeniería			
CURSO: SEMESTRE:		Problemas de Ingeniería 2018-II			
Instrumento:	Peso (%) en el curso (debe sumar 100)	Peso (%) ponderado dentro del outcome (debe sumar 100)	Ejemplar [5,3,7,5]	Competente [3,7,5,3]	Por debajo del estándar (3,0)
Entrega Proyecto Identificación y solución de Problema de Ingeniería	40	73			
Indicadores de desempeño (ID) para el Instrumento de evaluación	Peso (%) original del ID dentro del instrumento	Peso (%) ponderado dentro de cada instrumento (debe sumar 100)			
Identificar problema	20	27	Presenta un análisis completo de las circunstancias que enmarcan el problema.	El análisis del contexto del problema existe, aunque le pueden faltar algunos elementos.	Presenta un análisis incompleto del contexto del problema.
Determinar distintas alternativas de solución para resolver un problema	25	33	Selecciona las alternativas necesarias para resolver un problema de ingeniería e identifica y propone mejoras a las alternativas.	Selecciona las alternativas necesarias para resolver un problema de ingeniería.	No determina posibles soluciones o no contempla diferentes puntos de vista para proponer una solución.
Evaluar las distintas alternativas de solución para resolver un problema	20	27	Evalúa las mejoras alternativas dadas para resolver el problema, selecciona la mejor.	Evalúa varias alternativas para resolver el problema. Puede faltar mayor sustentación.	No evalúa correctamente las diferentes alternativas para resolver un problema.
Resolver el problema	10	13	Presenta una solución al problema que funciona correctamente en todos los casos.	Presenta una solución al problema que funciona el más del 70% de los casos.	Presenta una solución que no resuelve el problema identificado.
Instrumento	Peso (%) en el curso (debe sumar 100)	Peso (%) ponderado dentro del outcome (debe sumar 100)			
Taller Formulación de solución a un Problema planteado	15	27			
Indicadores de desempeño (ID) para el Instrumento de evaluación	Peso (%) original del ID dentro del instrumento	Peso (%) ponderado dentro de cada instrumento (debe sumar 100)			
Conocimiento de principios necesarios para resolver el problema planteado	10	11	Realiza una explicación clara de los conceptos necesarios para resolver el problema.	Falta claridad al explicar algunos de los conceptos.	No explica adecuadamente los conceptos claves.
Formula una solución para el problema planteado	80	89	Presenta un análisis completo del problema y formula una solución que es viable.	Aunque formula una solución viable, falta sustentación de la misma.	La solución formulada no es viable o está mal sustentada.

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.** Ejemplo de formato de obtención de nivel de logro para un “outcome”

RESULTADO DE APRENDIZAJE		E. Estar en capacidad de identificar, formular y resolver problemas de ingeniería					
CURSO:	Problemas de Ingeniería						
SEMESTRE:	2018-II						
Cantidad de estudiantes:	20						
Instrumento:	Peso (%) ponderado dentro del outcome (debe sumar 100)	Cantidad estudiantes en el nivel de logro		Cantidad estudiantes en el nivel de logro		Por debajo del estándar (3-0)	
Entrega Proyecto Identificación y solución de Problema de Ingeniería	73	Ejemplar [5-3,75]	Competente (3,75-3)	Cantidad estudiantes en el nivel de logro	Por debajo del estándar (3-0)		
Indicadores de desempeño (ID) para el instrumento de evaluación	Peso (%) ponderado dentro de cada instrumento (debe sumar 100)	Ejemplar [5-3,75]	Competente (3,75-3)	Cantidad estudiantes en el nivel de logro	Por debajo del estándar (3-0)		
Identificar problema	27	60 %	30 %	6	2	10 %	
Determinar distintas alternativas de solución para resolver un problema.	33	65 %	20 %	4	3	15 %	
Evaluar las distintas alternativas de solución para resolver un problema.	27	35 %	40 %	8	5	25 %	
Resolver el problema	13	45 %	45 %	9	2	10 %	
Resumen del instrumento		53 %	31 %			16 %	
Instrumento	% ponderado dentro del outcome (debe sumar 100)	Cantidad estudiantes en el nivel de logro		Cantidad estudiantes en el nivel de logro		Por debajo del estándar (3-0)	
Entrega Proyecto Identificación y solución de Problema de Ingeniería	27	Ejemplar [5-3,75]	Competente (3,75-3)	Cantidad estudiantes en el nivel de logro	Por debajo del estándar (3-0)		
Indicadores de desempeño (ID) para el instrumento de evaluación	% ponderado dentro de cada instrumento (debe sumar 100)	Ejemplar [5-3,75]	Competente (3,75-3)	Cantidad estudiantes en el nivel de logro	Por debajo del estándar (3-0)		
Formula una solución para el problema planteado	11	75 %	25 %	5	0	0 %	
Formula una solución para el problema planteado	89	75 %	15 %	3	2	10 %	
Resumen del instrumento		75 %	16 %			9 %	

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje acumulado de los niveles Ejemplar y Competente dan como resultado el porcentaje de estudiantes que al menos tienen este último. Esto se considera el nivel de logro del “outcome”, aportado desde este curso. La figura 4 muestra el resultado final de nivel de logro para el “outcome”, basado en la rúbrica presentada antes.

**Figura 4.** Ejemplo de resultado del “outcome”

	Ejemplar (5-3,75)	Competente (3,75-3)	Por debajo del estándar (3-0)
Resultado de Aprendizaje	58,90%	27,23%	13,88%
Acumulado (del Resultado de Aprendizaje)	58,90%	86,14%	100,00%

Porcentaje de estudiantes en nivel Ejemplar  
 Porcentaje de estudiantes en nivel, al menos, Competente

Fuente: Elaboración propia

## VI. Conclusiones

En los modelos de calidad, es necesario medir el logro de los resultados de aprendizaje en el programa. Para que los modelos sean sostenibles, es importante reducir la cantidad de trabajo extra que deben realizar los profesores al aplicarlos, por lo que es útil que el nivel de logro del resultado de aprendizaje se pueda obtener de las mediciones realizadas en los cursos. Para que esto funcione adecuadamente debe haber una alineación entre el resultado de aprendizaje del programa y los objetivos de aprendizaje e instrumentos de evaluación de los cursos.

El modelo que se explicó en este documento se basa en la obtención de métodos directos utilizando los instrumentos de evaluación que el docente ha diseñado para su curso. Cada uno de estos instrumentos debe tener su rúbrica correspondiente.

Con las rúbricas es posible realizar una evaluación, retroalimentación y calificación de una tarea realizada por un estudiante, a la vez que se obtienen datos para evaluar el logro de un resultado de aprendizaje. Basta seleccionar cuidadosamente los instrumentos relacionados con el resultado de aprendizaje, dentro de ellos las dimensiones que aplican, y ponderar su peso respectivo.

Es esencial que los profesores estén familiarizados con el concepto de rúbricas y la forma en que se utilizan para procesos de evaluación.

- G. Rogers, "Assessment 101: Assessment Tips with Gloria Rogers, Ph.D. Direct and Indirect Assessment", Agosto 2006. [Online]. Disponible: <http://www.abet.org/wp-content/uploads/2015/04/direct-and-indirect-assessment.pdf>
- D. Stevens y A.J. Levi, Introduction to Rubrics. Sterling, VA, USA: Stylus, 2005.
- ABET, "Criteria for accrediting engineering programs, 2018-2019", 2018. [Online]. Disponible: <http://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2018-2019>.
- G. Chavarro y M. Curiel. (2016). Aseguramiento de la calidad hacia la acreditación internacional: modelo para la medición de los resultados de aprendizaje en la carrera de Ing. de Sistemas. Presentado en Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2016. [Online]. Disponible: <https://www.acofipapers.org/index.php/eiei2016/2016/paper/view/1750>.

**Germán A. Chavarro** es ingeniero de sistemas y computación de la Universidad de los Andes, título recibido en 1982. Recibió un grado de maestría en Ciencias de la Computación de la State University of New York en 1987 y un grado de especialización en Software para Redes de la Universidad de los Andes en 2002.

Trabajó en empresas del sector de seguros como Skandia y Colpatría. Entre 1987 y 1994 estuvo vinculado a Unisys de Colombia como analista de soporte, gerente de soporte y gerente del área de Consultoría y Servicios. Fue consultor en Microsoft Colombia entre 1994 y 1997 y consultor independiente entre 1997 y 2003. Ha sido profesor de planta de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá desde 1997 hasta la fecha. En esta institución fue director del Departamento de Ingeniería de Sistemas entre 2003 y 2010 y de la Carrera de Ingeniería de Sistemas entre 2012 y 2015. Ha sido par académico del CNA desde 2003. Ha participado en múltiples eventos académicos a escala nacional e internacional.

gchavarr@javeriana.edu.co

**Mariela Curiel** obtuvo los grados de ingeniero en computación y magíster en Ciencias de la Computación en la Universidad Simón Bolívar (Venezuela) en los años 1992 y 1994, respectivamente. Recibió su doctorado de la Universidad de las Islas Baleares (España) en 2000 y del 2007 al 2008 realizó un posdoctorado en la Universidad Federal de Minas Gerais (Brasil).

Trabajó durante 20 años en la Universidad Simón Bolívar (Venezuela) como profesora asistente, asociada y titular. Además, desempeñó varios cargos como los de directora de los programas de Ciencias de la Computación (licenciatura, maestría y doctorado) y de Desarrollo Profesional. Desde el 2013 trabaja como profesora de planta en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá y desde 2015 está a cargo de la Dirección de la Carrera de Ingeniería de Sistemas. Sus intereses de investigación incluyen sistemas distribuidos, evaluación del rendimiento de sistemas informáticos, computación móvil y sistemas operativos.

mcuriel@javeriana.edu.co

---

# Implementación de *assessment* en práctica de laboratorio de mecánica de fluidos

---

*Julián Yepes-Martínez, Néstor Durango, Johnnys Bustillo-Maury*  
*Universidad del Norte*

## **Resumen**

— En el presente trabajo se analizan los resultados obtenidos en la evaluación implementada en un curso de laboratorio de la asignatura mecánica de fluidos del Programa de Ingeniería Mecánica, conformado por diez grupos de trabajo para un total de 45 estudiantes. Se implementa una evaluación formativa correspondiente a la habilidad que tienen los grupos de trabajo para realizar y diseñar experimentos, además de analizar e interpretar los datos recolectados. Posteriormente se realiza una evaluación sumativa del informe entregado de la práctica de laboratorio. Se concluye que los estudiantes evaluados demuestran habilidad para realizar experimentos en los niveles de acuerdo y por encima de lo esperado con

un 96,6 %, mientras que en los componentes diseñar experimentos el 60,0 % corresponde a cerca y de acuerdo con el nivel esperado y el restante 40,0 % al nivel por encima de lo esperado. Por último, en el componente analizar e interpretar datos se presenta un 20,0 % por debajo del nivel esperado, y el restante 80,0 % entre los niveles de acuerdo con lo esperado y por encima de los esperado. Los resultados encontrados en la evaluación formativa se relacionan con el tipo de pensamiento desarrollado en los estudiantes de los grupos de trabajo analizados.

**Palabras claves:** evaluación, mecánica de fluidos, laboratorio, diseño de experimento, interpretación de datos.

### Abstract

— *In the present work, we analyzed the results of assessment implemented in the course laboratory of mechanical of fluids of the mechanical engineering program. We analyzed 45 students grouped into 10 groups. Formative evaluation was implemented from the ability of the workgroups to carry out and design experiments, in addition to analyzing and interpreting the data collected. Subsequently, when the workgroups send the experiment report, the teacher carry out a summative assessment. We concluded that the assessment of students about the ability to carry out experiments show 96,6% for level in accordance and upper to expected, while in the component of the design of experiments, the workgroups obtained 60,0% to the levels upper to and in accordance to expected, and rest 40,0% corresponds to upper to expected. Finally, in the component of analysis and interpretation of data is presented in 20,0% in upper to the expected level, and in the rest of 80.0% between the levels upper to and in accordance to expected. The results of the formative assessment are related to the type of thinking developed in the workgroups analyzed.*

**Keywords:** assessment, fluid mechanics, laboratory, experiment design, data interpretation.

## I. Introducción

El término evaluación (*Assessment* en inglés) se define como la recolección de información acerca de un tema, para ser utilizada con un propósito específico en un contexto académico [1]. La evaluación reviste gran importancia en el proceso de formación de los estudiantes universitarios; sin embargo, por errores de aplicación o interpretación, en algunos casos se ha limitado al proceso de calificar y asignar una nota a una labor académica determinada.

Por lo anterior, la evaluación del estudiante se asocia con episodios de ansiedad, estrés, frustración y desmotivación debido al carácter sancionador o etiquetador que algunas veces el docente les impone a estos instrumentos pedagógicos [2]. Y es que en muchos casos los profesores se han apartado del objetivo real de la evaluación formativa, alentadora y desafiante, y en contraste, han promovido en la evaluación el uso de estrategias que producen un nivel de aprendizaje más superficial y más bajo, centrándose sólo en el propósito de promover a un individuo, en ocasiones sin la conciencia metacognitiva del proceso [3]. Por esto cobra importancia la necesidad de mejorar las prácticas docentes e implementar buenas prácticas de evaluación.

En la educación superior el concepto de *Assessment* se ha movilizado desde evaluación “de” para convertirse en evaluación “para” [4], y se ha constituido en un proceso clave ya que acelera la generación de actividades y estrategias adecuadas para la mejora efectiva del currículo de los programas académicos. También mejora el aprendizaje efectivo al superar las falencias propias del proceso enseñanza-aprendizaje y complementa las herramientas que necesita el estudiante para el aprendizaje para toda la vida [5].

En las dos últimas décadas, países como Estados Unidos y España se han enfocado en el análisis y la importancia de la evaluación y su incidencia en la calidad de los currículos de programas académicos en instituciones de educación superior [6]. Todo esto en un contexto globalizado que busca formar estudiantes ciudadanos del mundo, con necesidad de promover el trabajo multidisciplinario y cooperativo [7], y que estén alineados a necesidades legislativas o respaldados por acreditaciones internacionales, como es el caso de Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) [8][9], que, a algunas instituciones, como la Universidad del Norte, no les son indiferentes o extrañas.

La evaluación presenta diferentes tipologías. De acuerdo con quien la aplica, se puede clasificar en autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación [10]; dependiendo del motivo, se puede clasificar en evaluación diagnóstica (baja carga de estrés), formativa (más apreciada por los estudiantes) y sumativa (con alta carga de ansiedad). La búsqueda de un balance entre los aspectos de evaluación formativa y sumativa ha sido tema de investigación de varias universidades que han combinado actividades tradicionales con herramientas computacionales actuales, dejando claro que se es incapaz de dejar totalmente atrás el uso de la evaluación sumativa [4].

Otras investigaciones han concluido que la principal diferencia declarada y valorada por los estudiantes, en cuanto a la evaluación formativa y sumativa, es la retroalimentación [12]. Este factor se considera determinante en los procesos de enseñanza-aprendizaje debido a que puede ser utilizado para empoderar a los estudiantes de su autorregulación en el aprendizaje y, por ende, se refleja en la forma como piensan, se motivan y se comportan durante los procesos de aprendizaje, y basados en principios como la claridad sobre el buen desempeño en la facilidad para autoevaluarse, en la entrega de retroalimentación de calidad, en el fomento del diálogo entre docente y estudiante, la promoción de la motivación positiva, favoreciendo las oportunidades para disminuir la brecha de conocimiento, y el uso de la retroalimentación para el perfeccionamiento de la enseñanza [13].

Todos estos aportes han generado que otros científicos expongan cuáles deberían ser los criterios para establecer una buena práctica de evaluación, resaltando que los esenciales son: tener declarado el objetivo de aprendizaje, establecer una metodología de trabajo, poner a disposición los recursos suficientes para el desarrollo de la actividad, especificar cuáles son los entregables o la evidencia que se espera del desempeño del estudiante, recibir una efectiva retroalimentación del trabajo realizado, determinar el tipo de evaluación, la forma (instrumento) como se realizará la evaluación y la entrega de un análisis de la forma como pueden mejorar los resultados no alcanzados [10].

Por otro lado, en el medio académico, específicamente en programas de formación en ingeniería, se busca desarrollar actividades de docencia que fomenten el logro de un pensamiento formal en los estudiantes. Todo esto de la mano de las teorías planteadas por Piaget, quien definió en sus estudios cuatro estados de pensamiento, los cuales se alcanzan progresivamente desde el nacimiento hasta la edad adulta. Los cuatro estados se presentan a continuación:

**Etapas sensorial-motora (0 a 2 años de vida):** se considera que el individuo es activo y puede aprender el pensamiento orientado a medios y fines.

**Etapas preoperacional (2 a 7 años de vida):** el individuo es intuitivo y desarrolla símbolos y palabras en sus pensamientos; puede anticiparse intuitivamente mediante un pensamiento regido por las consecuencias de sus acciones antes de ejecutarlas.

**Etapas operacional (7 a 11 años de vida):** el individuo es más práctico y aprende operaciones lógicas de seriado, clasificación y conservación. Su pensamiento está ligado a los fenómenos y a objetos del mundo real. No obstante, en este nivel el individuo todavía se basa en estructuras concretas que se encuentran vinculadas a la acción generada sobre objetos concretos o sus representaciones.

Etapas operacional formal (a partir de los 11 años de vida): el individuo es capaz de razonar con proposiciones sin necesidad de objetos, de pensar de forma abstracta e hipotético-deductiva, y de analizar las posibles combinaciones o variaciones que pueden ocurrir en ciertas situaciones. Inicialmente, Piaget planteó que este estado del pensamiento se conseguía entre los 11 y los 15 años; posteriormente realizó modificaciones sobre sus posiciones originales y propuso que habría que esperarse hasta los 20 años para consolidar el pensamiento formal.

En esta clasificación, el cuarto y último estado se denomina pensamiento formal. En éste un individuo es capaz de formular y de probar hipótesis, y por lo tanto tiene la capacidad de aislar y controlar las variables claves del problema, y a su vez excluir aquellas irrelevantes. Esta teoría propone que el ser humano o individuo ya no es un organismo pasivo condicionado y moldeado por el ambiente [13] [14] [15].

La asignatura mecánica de fluidos forma parte del currículo del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte, en Barranquilla (Colombia). Se cursa en el quinto semestre, y en ella se estudian las propiedades de los fluidos y las leyes básicas que los afectan: la hidrostática con respecto a la variación de la presión y la fuerza ejercida sobre superficies y cuerpos sumergidos en un fluido en reposo; y la hidrodinámica, con la clasificación y descripción de los flujos, analizando y aplicando las ecuaciones de transporte, continuidad, cantidad de movimiento, Bernoulli y energía en relación con un volumen de control. Además, se introducen los fundamentos del análisis dimensional y la similitud dinámica y se desarrollan y aplican las ecuaciones de pérdidas

y fuerzas en flujos reales. Cuenta con prácticas de laboratorio que se realizan de forma semanal y corresponden al primer acercamiento del estudiante a la línea básica profesional del programa con componente de experimentación.

De acuerdo con lo expuesto, los estudiantes evaluados en la materia de mecánica de fluidos, en su componente práctico, estarían en capacidad de demostrar sus habilidades para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos, teniendo en cuenta que se encuentran biológicamente en la edad en la cual han desarrollado la etapa operacional formal del tipo de pensamiento deseado en programas de ingeniería. Sin embargo, no han tenido la suficiente exposición a casos de trabajo experimental ni han profundizado en la línea profesional del programa, lo que motiva a realizar la correspondiente evaluación para determinar estados actuales y acciones de mejora con miras a reforzar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## II. Metodología

### Conformación de los equipos de trabajo

Al inicio del semestre académico, los estudiantes se organizan de forma autónoma en grupos de trabajo, con un número de estudiantes entre 4 y 5. La práctica de laboratorio evaluada se realizó en la octava semana de las 16 del primer semestre académico de 2017. Se sometieron a evaluación diez grupos de trabajo, de los cuales cinco estaban conformados por cuatro integrantes y los restantes por cinco integrantes, para un total de 45 estudiantes. El trabajo en el laboratorio se realizó de manera que dos grupos realizaban la práctica simultáneamente en la misma área de trabajo, con el fin de garantizar una mejor evaluación formativa durante el proceso.

### Descripción de la metodología de la práctica

Dentro de las prácticas por realizar durante el semestre en el laboratorio de mecánica de fluidos, se encuentra la denominada “medidores de flujo”, pero en esta oportunidad se realizó una modificación de la guía con la intención de fomentar y a la vez evaluar en el estudiante la capacidad de diseñar y realizar experimentos, así como de analizar e interpretar datos.

El procedimiento general corresponde a la toma de valores de caudal, para lo cual el estudiante puede utilizar diferentes formas (rotámetro, venturi y placa-orificio), las cuales se comparan con el valor obtenido mediante el

método volumétrico, que consiste en medir un volumen determinado y el tiempo requerido de forma manual. Por otra parte, el estudiante tiene a su disposición el sistema de bombeo que alimenta el flujo de agua a los medidores, donde puede medir la presión en diferentes puntos y a partir de la cual puede calcular el caudal. Los equipos de trabajo disponen de recursos como las ecuaciones típicas para los balances de energía y de masa y la ecuación de Bernoulli; además de información constructiva y de operación de los medidores de flujo y de los diferentes manómetros instalados.

El estudiante, con la información y equipos que tienen a su disposición, tendrá que diseñar el experimento y la forma de realizar las medidas correspondientes para encontrar el valor de  $C_d$ , que es el coeficiente de descarga del medidor. Para eso puede usar herramientas computacionales como Excel® o Matlab.

### **Evaluación formativa en el proceso**

Debido a que en el proceso de experimentación es necesario desarrollar ciertas habilidades, se ha dispuesto que los diez grupos de trabajo realicen sus prácticas de laboratorio en cinco jornadas diferentes, por lo que en cada una trabajaban dos grupos, y de esta forma garantizar una mejor evaluación durante el proceso.

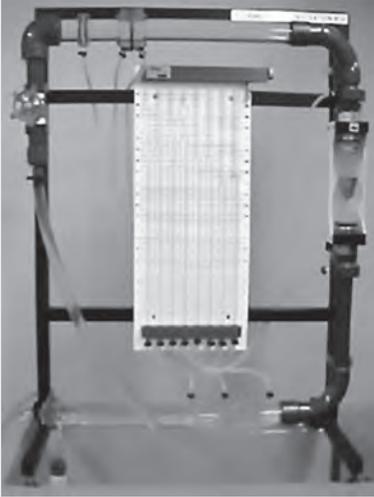
La retroalimentación realizada continuamente durante las prácticas se refirió a la forma de ubicar el equipo de ensayo sobre el banco y asegurar que esté nivelado para la toma de medidas precisas en los manómetros; la forma de conectar los dispositivos al suministro de agua y evitar fugas de agua, el procedimiento para encender la bomba y la ruta para abrir la válvula del banco y la válvula de control de flujo del equipo de ensayo, adicional al proceso de purga de aire en las tomas de presiones y dar así inicio a la experimentación.

Se evaluó la forma de garantizar que todos los niveles del manómetro estén en la escala para máximo caudal de flujo (la lectura en el medidor de área variable en el máximo) y la forma como deben tener en cuenta el rigor, la precisión y la seguridad de las personas que toman los datos.

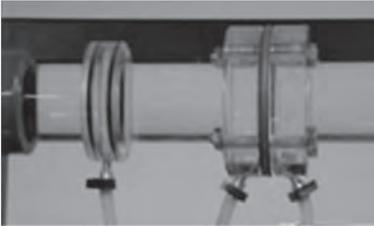
### **Materiales y equipos**

Para el desarrollo de la experiencia, se necesitan los siguientes equipos:

- Banco hidráulico de ensayos
- Accesorio con medidores de flujo
- Cronómetro

**Figura 1.** Banco de medición de caudal

Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.** Medidor de Placa Perforada**Figura 3.** Rotámetro**Figura 4.** Medidor de Tubo Venturi

**Tabla 1.** Reporte de la evaluación de la práctica de laboratorio

Ingeniería Mecánica	Asignatura, tipo de asignatura y número de estudiantes Mecánica de fluidos, básico profesional, 45
Criterios	Descripción
<b>Objetivos</b>	<p>OBJETIVO GENERAL Estudiar el funcionamiento de tres diferentes tipos de medidores de flujo cerrados (venturi, placa perforada y rotámetro)</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deducir la ecuación <math>Q = K(\Delta h)^m</math> que representa los datos para el venturi y la placa perforada.</li> <li>• Calcular el caudal real y teórico para cada uno de los medidores.</li> <li>• Determinar el coeficiente de descarga para cada uno de los medidores.</li> <li>• Establecer los errores en los cálculos para cada tipo de medidor.</li> </ul>
<b>Metodología</b>	<p>Las actividades de laboratorio se realizan en grupos de máximo cinco estudiantes. Ellos mismos escogen su equipo de trabajo. Cada estudiante debe haber leído la temática antes de iniciar la experiencia. Los alumnos deben dejar una hoja (preinforme) con la toma de datos al finalizar los ensayos.</p> <p>La dedicación presencial del estudiante es de dos horas/semana y la entrega del informe final se realiza pasada una semana de haber realizado la práctica.</p>
<b>Recursos</b>	<p>Para desarrollar la experiencia se dispone de los siguientes equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Banco hidráulico de ensayos (banco de pruebas F1-10 Armfield®).</li> <li>- Accesorio con medidores de flujo (demostración y comparación de caudalímetros F1-21 Armfield®).</li> <li>- Cronómetro.</li> <li>- Guía de práctica de laboratorio.</li> </ul>
<b>Evidencias</b>	<p>Preinforme con los datos tomados durante la ejecución de los ensayos. Informe final (una semana después) de la práctica realizada en el formato de presentación establecido.</p>
<b>Retroalimentación</b>	<p>Semanalmente se entregan los informes calificados junto con los comentarios donde se les indican las actividades susceptibles de mejora.</p> <p>Se establece un espacio para que los distintos grupos de trabajo discutan sobre los errores cometidos.</p> <p>La finalidad de este proceso es fortalecer en el estudiante la capacidad de redactar informes técnicos.</p>
<b>Tipo de evaluación</b>	<p>La evaluación la realiza el docente (heteroevaluación).</p> <p>La evaluación es formativa y sumativa: se establece que la evaluación obtenida de la versión corregida corresponde a un 30 % del informe presentado para la práctica correspondiente.</p> <p>La evaluación sumativa de los informes está fundamentada en el cumplimiento con el formato de presentación de informes establecido; por lo tanto, la calificación va acorde con el cumplimiento de cada uno de los ítems, que tiene un peso (%) en la calificación al final del semestre. Al finalizar todas las prácticas se realiza un test para evaluar. La calificación de este test se incluye en la nota final del curso de laboratorio.</p> <p>La calificación final del curso de laboratorio está dada por la calificación promedio de cada uno de los informes realizados, así como de la evaluación (test).</p>

Ingeniería Mecánica	Asignatura, tipo de asignatura y número de estudiantes Mecánica de fluidos, básico profesional, 45
Criterios	Descripción
<b>Instrumentos de evaluación</b>	Se dispone de dos rúbricas: la primera corresponde a la evaluación formativa y la segunda a la evaluación sumativa, y tiene en cuenta el cumplimiento y resultados de cada ítem con su respectivo peso (%) dentro del informe entregado, de la siguiente manera: Resumen (10 %), Introducción (10 %), Metodología (10 %), Resultados (20 %), Discusión (20 %), Conclusiones (25 %) y Presentación (5 %).
<b>Análisis-Plan de mejora</b>	Se revisa el informe de laboratorio durante el semestre. Luego de la aplicación de la evaluación formativa, se propone un tipo de actividad con el fin de analizar las mejoras para próximos cursos de prácticas de laboratorio, teniendo en cuenta la evaluación docente realizada por el estudiante al final del semestre y la realización del test final.

Fuente: Elaboración propia

### III. Resultados y análisis

Una vez realizadas las actividades de evaluación de las prácticas de laboratorio, se tomaron los resultados para cada grupo y se elaboró una tabla resumen de los resultados obtenidos (tabla 3).

**Tabla 2.** Rúbrica de evaluación formativa

Criterios de evaluación y descriptores de nivel				
SO-b Habilidad para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos				
Componentes	Claramente por debajo del nivel esperado: 0,0 – 2,0	Cerca del nivel esperado: 2,0 – 3,0	De acuerdo con el nivel esperado: 3,0 – 4,0	Por encima del nivel esperado: 4,0 – 5,0
<b>1. Realizar experimentos</b>	Varias actividades fueron desordenadas y hubo mediciones que no fueron precisas. Les faltó seguridad a las personas que hicieron las mediciones	Algunas actividades no se hicieron con orden, o ciertas mediciones no fueron precisas, o les faltó seguridad a las personas que hicieron mediciones	El experimento se realizó con orden. Las mediciones fueron precisas. Las personas que realizaron las mediciones estuvieron seguras.	El experimento se realizó con todo rigor y orden. Las mediciones se hicieron con la mayor precisión. Las personas que hicieron las mediciones estuvieron siempre seguras.
Rigor y orden en la ejecución del experimento.				
Precisión de las mediciones.				
Seguridad de las personas en la toma de medidas				

Criterios de evaluación y descriptores de nivel				
SO-b Habilidad para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos				
<b>3. Diseñar experimentos</b>	Algunas hipótesis son confusas y no son relevantes en el experimento. Las variables no están definidas de manera clara. El plan de ejecución del experimento no es claro.	Algunas hipótesis requieren aclaración ; debe revisarse la relevancia de algunos aspectos del experimento. Algunas variables no están definidas con claridad. Hay que aclarar algunos aspectos del plan del experimento.	La mayoría de las hipótesis son claras. El experimento es relevante con las hipótesis. La mayoría de las variables están definidas con claridad. El plan de ejecución del experimento es claro.	Las hipótesis son muy claras. El experimento es muy relevante en relación con las hipótesis. Todas las variables están definidas con mucha claridad. Todo el plan de ejecución del experimento es muy claro.
Claridad de las hipótesis				
Pertinencia del experimento con la hipótesis				
Claridad de la definición de las variables				
Claridad del plan de ejecución del experimento				
<b>2. Analizar e interpretar datos</b>	La interpretación de algunos datos es confusa. La forma como se realizan algunos cálculos es confusa. El análisis carece de pertinencia, claridad y exhaustividad.	Algunos datos no se interpretan con claridad. Algunos cálculos no se realizan con precisión. Algunos aspectos del análisis carecen de pertinencia, claridad o exhaustividad.	La mayoría de los datos se interpretan de manera clara. Los cálculos se realizan con precisión. El análisis realizado es pertinente, claro y exhaustivo.	Todos los datos se interpretan de manera muy clara. Todos los cálculos se realizan con mucha precisión. El análisis es muy pertinente, claro y exhaustivo.
Claridad de la interpretación de los datos.				
Precisión de los cálculos.				
Pertinencia del análisis.				
Exhaustividad y claridad del análisis.				

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Resultados encontrados de la evaluación de la práctica de laboratorio

Criterios de evaluación y descriptores de nivel				
SO-b Habilidad para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos				
Componentes	Claramente por debajo del nivel esperado: 0,0 – 2,0	Cerca del nivel esperado: 2,0 – 3,0	De acuerdo con el nivel esperado: 3,0 – 4,0	Por encima del nivel esperado: 4,0 – 5,0
<b>1. Realizar experimentos</b>				
Rigor y orden en la ejecución del experimento.	0	0	0	10
Precisión de las mediciones.	0	0	8	2

<b>Criterios de evaluación y descriptores de nivel</b>				
<b>SO-b Habilidad para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Claramente por debajo del nivel esperado: 0,0 – 2,0</b>	<b>Cerca del nivel esperado: 2,0 – 3,0</b>	<b>De acuerdo con el nivel esperado: 3,0 – 4,0</b>	<b>Por encima del nivel esperado: 4,0 – 5,0</b>
Seguridad de las personas en la toma de mediciones.	0	1	2	7
	<b>0,0 %</b>	<b>3,3 %</b>	<b>33,3 %</b>	<b>63,3 %</b>
<b>3. Diseñar experimentos</b>				
Claridad de las hipótesis.	0	2	4	4
Pertinencia del experimento con la hipótesis.	0	2	4	4
Claridad de la definición de las variables.	0	2	4	4
Claridad del plan de ejecución del experimento.	0	2	4	4
	<b>0,0 %</b>	<b>20,0 %</b>	<b>40,0 %</b>	<b>40,0 %</b>
<b>2. Analizar e interpretar datos</b>				
Claridad en la interpretación de los datos.	2	0	5	3
Precisión de los cálculos.	2	0	5	3
Pertinencia del análisis.	2	0	5	3
Exhaustividad y claridad del análisis.	2	0	5	3
	<b>20,0 %</b>	<b>0,0 %</b>	<b>50,0 %</b>	<b>30,0 %</b>

Una vez revisada la tabla 3, se puede determinar que más del 96 % de los grupos que realizaron la práctica se encuentran en el componente “Realizar experimento” en los niveles “De acuerdo con el nivel esperado” y “Por encima del nivel esperado”, con resultados de 33,3 % y 63,3 %, respectivamente. Este resultado denota que los estudiantes han adquirido la habilidad para la experimentación de forma adecuada, posiblemente

porque han sido expuestos en diferentes oportunidades, no sólo en el nivel universitario sino en el de educación secundaria y media vocacional, a realizar prácticas de laboratorio usando una guía o metodología. De ahí que sea habitual que realicen recolección de mediciones, tengan la seguridad para hacerlo y hayan interiorizado el rigor y el orden con que se deben ejecutar experimentos.

Al analizar los resultados obtenidos en el componente “Diseñar experimentos”, se puede ver que los porcentajes del total de grupos de trabajo se distribuyen entre “Cerca del nivel esperado” con un 20 %, “De acuerdo con el nivel esperado” con un 40 % y “Por encima del nivel esperado” con un 40 %, y se reduce el valor del porcentaje con respecto al anterior componente en el último nivel, y aumenta en el de “Cerca del nivel esperado”. Esto denota que en este componente, los grupos de trabajo ya encuentran mayor dificultad a la hora de diseñar un experimento, debido a las dificultades para identificar cuál es la hipótesis y cómo ligar los procedimientos con respecto a ésta. Existe una conexión directa de las dificultades encontradas con el tipo de pensamiento que deberían presentar los estudiantes, asociada con las falencias en el manejo de variables, el uso de proporciones físicas como volumen y tiempo, además de la capacidad de analizar las posibles combinaciones o variaciones que pueden ocurrir en ciertas situaciones.

Por último, al revisar los resultados del componente “Analizar e interpretar datos”, se halla que el nivel por encima del esperado es aún menor que en los anteriores dos componentes trabajados, al pasar de un 63,3 % y un 40 % a un 30 %. En el nivel “De acuerdo con el nivel esperado” ha pasado de 33,3 % y 40 % a 50 % y, por último, en el nivel “Claramente por debajo del nivel esperado” pasó de 0,0 % en el componente realizar Experimento y 0,0 % en el componente Diseñar experimento a un 20 % en el componente Analizar e interpretar datos. Estos resultados demuestran que hay mayor dificultad al correlacionar los datos y resultados con el objetivo de análisis, asociado a las dificultades en el manejo numérico, además de la precisión y claridad de los resultados del trabajo. De nuevo, es posible relacionarlos con el tipo de pensamiento que presentan los estudiantes, ya que quizás no hayan desarrollado la capacidad de pensar de forma abstracta e hipotético-deductiva y está más ligado al pensamiento operacional básico, el cual se caracteriza porque pueden hacer operaciones lógicas de seriado, clasificación y conservación, pero su pensamiento está conectado a los fenómenos y objetos del mundo real, lo que dificulta la interpretación de datos si no se encuentra trabajando simultáneamente con el equipo de forma física.

Los resultados obtenidos están también registrados como resultados de aprendizaje (SO: Student Outcome) de la acreditación ABET con la que el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte cuenta, trabajando bajo el SO-b denominado “Habilidad para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos”. Es de destacar que, de acuerdo con la ubicación de la asignatura en la malla curricular y las capacidades que los estudiantes deberían tener, se ha propuesto como objetivo que por lo menos el 70 % de los estudiantes se encuentren en “Cerca del nivel esperado” y el restante 30 % entre “De acuerdo con el nivel esperado” y “Por encima del nivel esperado”, lo que permite sugerir otro tipo de actividades para soportar en el futuro los resultados encontrados en el presente trabajo de evaluación como parte del proceso de mejora continua y como resultado de la retroalimentación del proceso.

#### IV. Conclusiones

Es claro que el grupo de estudiantes evaluados, correspondiente a quinto semestre del Programa de Ingeniería Mecánica, tiene un nivel por encima de lo esperado o habilidades más desarrolladas en el componente “Realización de experimentos”. Sin embargo, al diseñar los experimentos y analizar e interpretar los datos obtenidos, los estudiantes y grupos de trabajo presentan mayor dificultad, e incluso llegan a niveles por debajo de lo esperado. La dificultad se atribuye al tipo de pensamiento desarrollado en los estudiantes y va de la mano con la experiencia que tienen en estos aspectos y la capacidad de pensamiento abstracto alcanzado, además del tipo de pensamiento hipotético-deductivo de las variables y proporciones físicas trabajadas en las prácticas de laboratorio.

#### V. Referencias

- [1] S. M. Brookhart, “Classroom assessment: tensions and intersections in theory and practice,” *Teach. Coll. Rec.*, vol. 106, no. 3, pp. 429-458, Mar. 2004.
- [2] E. Bausela Herreras, “Ansiedad ante los exámenes: evaluación e interpretación psicopedagógica,” *Educere*, vol. 9, no. 31, pp. 553-558, 2005.
- [3] C. Alcaraz, “Evaluación y motivación: una influencia recíproca,” pp. 116-122, 2008.
- [4] J.-J. Shieh and C. Cefai, “Assessment of learning and teaching in higher education: a case analysis of a University in the South of Europe”, 2017.

- [5] D. Boud, "Studies in continuing education sustainable assessment: rethinking assessment for the learning society", 2010.
- [6] C. Y. Fook and G. K. Sidhu, "Assessment practices in higher education in United States," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 123, pp. 299–306, Mar. 2014.
- [7] R. J. Shavelson, *A brief history of student learning assessment: How we got where we are and a proposal for where to go next.* 2007.
- [8] Á. Pérez Pueyo *et al.*, "Formative and shared assessment in Higher Education and European Area of Higher Education: key questions for their Implementation," *Rev. Educ.*, vol. 347, 2008.
- [9] J. Gabalán-Coello and K. Huggins, "From the institutional mission to the evaluation instrument using an ABET Accreditation Approach," in *Proceedings of the 4th International Conference on Frontiers of Educational Technologies - ICFET '18*, 2018, pp. 106–111.
- [10] J. Shavelson, Richard; olga Zlatkin-Troitshanskaia; Marino, *Assessment of learning outcomes in higher education: A comparative review of selected practices*, no. 15. 2018.
- [11] C. Ana, M. María, G. Isabel, A. Beatriz, J. Josep, and S. Robert Francesc, "Criterios para prácticas de evaluación de calidad. Una propuesta de Grapa-Rima", in *VII Congrés Internacional Docència Universitària i Innovació: La universitat: una institució de la societat= La universidad: una institución de la sociedad= The University: an institution of Society*, 2012, pp. 1–21.
- [12] J. Broadbent, E. Panadero, and D. Boud, "Implementing summative assessment with a formative flavour: a case study in a large class," *Assess. Eval. High. Educ.*, vol. 43, no. 2, pp. 307–322, Feb. 2018.
- [13] D. J. Nicol and D. Macfarlane-Dick, "Formative assessment and self-regulated learning: a model and seven principles of good feedback practice," *Stud. High. Educ.*, vol. 31, no. 2, pp. 199–218, Apr. 2006.
- [14] C. Ossa-Cornejo, M. Palma-Luengo, N. Lagos-San Martín, and C. Díaz-Larenas, "Critical and Scientific Thinking Assessment in Preservice Teachers at a Chilean University," *Educ. Electron. Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 201–221, 2018.
- [15] A. R. Linares, "Desarrollo Cognitivo: Las Teorías de Piaget y de Vygotsky," in *Módulo I-Master en paidopsiquiatria*, 2007.
- [16] C. J. Brainerd, "Cognitive development and instructional theory," *Contemp. Educ. Psychol.*, vol. 3, no. 1, pp. 37–50, Jan. 1978.

**Julián Yepes-Martínez.** Ingeniero químico con maestría en ingeniería con énfasis en ingeniería química y síntesis caracterización de polímeros conductores. Profesor tiempo completo del departamento de ingeniería mecánica de la Universidad del Norte. Ha impartido los cursos Mecánica de fluidos, Producción más limpia, Termodinámica y laboratorio de termodinámica, fenómenos de transporte I y II, además del módulo Modelos y simulación de procesos en HYSYS en la especialización de ingeniería de procesos industriales de la Universidad del Norte. Como docente investigador ha participado en diversas actividades de innovación en clases apoyado por el CEDU (Centro para la Excelencia Docente de la Universidad del Norte) tales como laboratorios pedagógicos, Comunidades de Aprendizaje Docente (CAD) y transformación de curso. Ha participado en proyectos de la Universidad con empresas del sector de la agroindustria y en actividades de consultoría, innovación e investigación en el área de energía y procesos industriales.

juliany@uninorte.edu.co

**Néstor Durango-Padilla.** Ingeniero mecánico con maestría en Sistemas de Generación de Energía. Profesor tiempo completo de ingeniería mecánica de la Universidad del Norte. Ha impartido los cursos Mecánica de fluidos, Máquinas hidráulicas,

Diseño de sistemas termofluidos, Instrumentación y control y Electrotecnia. Como Coordinador de programa ha formado parte del equipo de acreditación de ingeniería mecánica de la Universidad del Norte. Ha participado en proyectos de la Universidad con empresas del sector energético, minero, alimentos, industria cerámica y farmacéutica y en actividades de consultoría, innovación e investigación.

ndurango@uninorte.edu.co

**Johnnys Bustillo-Maury.** Ingeniero Químico, con maestría en Ingeniería Mecánica con énfasis en proceso de extracción de compuestos esenciales con agua subcrítica, con conocimientos en procesos, simulación, investigación y docencia universitaria. Profesor catedrático del departamento de ingeniería mecánica de la Universidad del Norte. Ha impartido los cursos termodinámica, Laboratorio de mecánica de fluidos, Laboratorio de transferencia de calor y laboratorio de termodinámica. Ha Investigado en valorización de biomasa y residuos y su aprovechamiento energético, especialmente en la recuperación de compuestos esenciales a partir de residuos agroindustriales mediante procesos de extracción con fluidos subcríticos. Actualmente adelanta estudios de doctorado en Ingeniería Mecánica en la Universidad del Norte.

---

# Assessment de curso y su importancia en el aseguramiento del logro de las competencias en el programa

---

*Angélica Burbano, Katherine Ortegón, Norha M. Villegas, Juliana Jaramillo*  
*Universidad Icesi*

## **Resumen**

Al ingresar a un proceso de acreditación internacional se genera mucha incertidumbre sobre cómo comenzar y cuál es el camino correcto hacia la creación de un proceso de mejora de programa que sea sostenible e integrado con la evaluación de competencias en los cursos. Dado que pocas universidades en Colombia están acreditadas internacionalmente, existen oportunidades para que otras instituciones de educación superior (IES) se acrediten bajo estándares internacionales. Varios estudios han centrado su atención en el proceso de assessment y en las rúbricas, dejando por fuera del alcance la forma adecuada de llevar a cabo la evaluación y el proceso de seguimiento. Sin un proceso de seguimiento, el desarrollo y el logro de los resultados de aprendizaje (competencias) no podrían garantizarse.

Este artículo presenta dos casos que ilustran el proceso de aseguramiento de la calidad de un programa a través de la evaluación, mejora y seguimiento de los resultados de aprendizaje. Se espera que estos casos ilustren la forma de crear un proceso de mejora que pueda ser sostenible en el largo plazo.

**Palabras claves:** acreditación, *assessment*, evaluación.

## I. Introducción

Este artículo presenta dos casos de estudio. El primero expone una metodología práctica para evaluar y dar seguimiento a dos competencias de los estudiantes en un programa de pregrado de Ingeniería Industrial. Este caso fue presentado en la conferencia REES 2017 [1], y en este artículo se presenta su traducción. Las competencias analizadas en este estudio son la *comunicación efectiva* y el *aprendizaje individual permanente*. Los cursos Proyecto de Grado I y II se utilizaron para recopilar y analizar los datos de desempeño de los estudiantes en estas dos competencias específicas. Los resultados de la implementación de la metodología paso a paso, así como el proceso de mejora subyacente se explican en detalle en el caso. El *assessment* apropiado y el proceso de evaluación de los resultados de aprendizaje continúan siendo un desafío para los programas académicos. La variedad de indicadores de desempeño, técnicas y rúbricas disponibles puede ser abrumadora al iniciar el camino hacia un proceso de acreditación basado en competencias.

El segundo caso presenta la experiencia de implementación de *assessment* formativo en el curso de Ingeniería de Software perteneciente al programa de Ingeniería de Sistemas, y su impacto en el aseguramiento del logro de la competencia de diseño. Para asegurar el logro de la competencia en el programa, las didácticas definidas para el logro de los objetivos de aprendizaje involucran varios cursos, y los resultados del *assessment* del curso fuente de valoración realimentan el proceso de mejoramiento continuo del programa. El *assessment* formativo se implementa en el mismo curso a partir de múltiples interacciones entre los profesores y los estudiantes sobre el logro de los objetivos de aprendizaje

involucrados. Los resultados muestran cómo las estrategias de *assessment* implementadas en el curso de Ingeniería de Software han impactado el logro de la competencia de los estudiantes del programa, a través de las mejoras realizadas a los cursos anteriores que hacen parte de la línea de desarrollo de la competencia, pasando de tener en el semestre 2016-1 un 25% de los estudiantes en los dos niveles de logro más alto (*proficient* y *outstanding*) a un 85% de los estudiantes en los dos niveles superiores en 2018-1. La experiencia muestra cómo las estrategias de *assessment* implementadas en un curso pueden ayudar a mejorar el desarrollo de las competencias a nivel de programa, a través de los cursos que hacen parte de la línea de desarrollo de la competencia correspondiente. Para esto, es fundamental la definición de líneas de desarrollo de cada competencia a través de los cursos del currículo, el desarrollo de planes de *assessment* y mejoramiento que tengan en cuenta estos cursos, y la alineación entre las rúbricas usadas en los cursos donde se hace el *assessment* y las rúbricas de evaluación de las competencias a nivel de programa.

## II. Marco conceptual

La evaluación y la mejora tienen su base en el concepto de control de calidad (QA). De acuerdo con Harman y Meek [2], el control de calidad se define como: “Procedimientos sistemáticos de gestión y evaluación adoptados por una institución o sistema de educación superior para monitorear el desempeño y asegurar el logro de la evaluación del programa y el curso de los resultados de calidad”. La definición podría verse desde la perspectiva de la cultura institucional, del programa o del curso. Desde la perspectiva del programa, el marco de entrada-proceso-salida (IPO) sugerido por Gray [3] destaca que la actividad más importante para un ciclo académico la retroalimentación o, en otras palabras, el cierre del ciclo de evaluación de los resultados (resultados de aprendizaje o competencias) a los insumos (ingesta de estudiantes). Sin embargo, esta actividad de cierre generalmente se malinterpreta con el uso de rúbricas. Aunque las rúbricas son una herramienta exitosa para identificar el nivel logro de una competencia por los estudiantes, no son el final del ciclo o el cierre de la evaluación del programa. Un marco de evaluación completo requiere un proceso subyacente que incluya acciones de mejora específicas a lo largo del proceso de aprendizaje formativo, que indique el personal responsable, asigne recursos y vuelva a evaluar continuamente.

### III. Caso 1

En el primer caso la metodología propuesta para abordar, evaluar y mejorar dos competencias (i.e., comunicación efectiva y aprendizaje individual permanente) en estudiantes de pregrado de ingeniería incluye cinco pasos y se describe en la figura 1. Esta metodología se implementó en los cursos del Proyecto de Grado I y II (PGI y PGII). En el curso PGI los estudiantes proponen un proyecto de investigación que luego desarrollan en PDGII. El proyecto de grado desafía a los estudiantes para que integren los conocimientos adquiridos durante los semestres anteriores, identifiquen brechas de conocimiento, aprendan por sí mismos, y presenten los resultados a través de exposiciones orales y un informe escrito al final del semestre. Los cursos PGI y PGII fueron revisados y alineados, lo que significa que el programa de estudios para cada curso, el plan de assessment y la ficha técnica del curso (que contiene las competencias por desarrollar) se ajustaron. Se dictaron los cursos en el formato propuesto y los datos sobre el desempeño de los estudiantes fueron recopilados y analizados por el Comité de Assessment y Evaluación. Un total de 32 estudiantes fueron evaluados en PGI y 37 estudiantes en PGII durante 2015. Esta metodología también podría ser repetida para el assessment, evaluación y mejora de cualquier otra competencia de los estudiantes.

#### Paso 1. Definir la competencia

En esta fase es importante cuestionar qué significa la competencia. ¿Qué podría ser un indicador o evidencia de que el estudiante ha adquirido esta competencia? Después de una lluvia de ideas y una discusión dentro del equipo de assessment y evaluación, debería aparecer una lista de definiciones y posibles indicadores de evidencia. En términos ABET, las definiciones de a-k podrían ser exploradas.

Un comité de assessment y evaluación formado por diez miembros de la facultad (i.e., profesores) presentó las siguientes definiciones teniendo en cuenta el perfil del egresado definido para los estudiantes de ingeniería industrial: El *aprendizaje permanente* es la capacidad de aprender de forma independiente, identificando sus propias brechas de aprendizaje y llevando a cabo una experiencia de autoaprendizaje. La *comunicación efectiva* es la capacidad de comunicarse asertivamente de manera oral y escrita, teniendo en cuenta la estructura y el estilo, así como el reconocimiento del trabajo de otros.

**Tabla 1.** Indicadores de desempeño para evaluar las competencias de aprendizaje individual permanente y comunicación efectiva (fuente: elaboración propia)

Indicadores de desempeño sugeridos	Competencia	Indicadores de desempeño seleccionados
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseñar una estrategia para buscar y organizar información.</li> <li>2. Diseñar una estrategia de aprendizaje utilizando el pensamiento crítico.</li> <li>3. Identificar la efectividad de la estrategia de aprendizaje diseñada.</li> </ol>	<p style="text-align: center;">Aprendizaje individual permanente</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reconocer la importancia del aprendizaje individual permanente asumiendo la experiencia de aprendizaje como un proceso de autoaprendizaje.</li> <li>2. Buscar / identificar, organizar y analizar información relevante en una oportunidad de aprendizaje independiente.</li> <li>3. Demostrar la capacidad de participar en el aprendizaje individual permanente mediante la realización efectiva de experiencias de autoaprendizaje que les permitan alcanzar los resultados esperados.</li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comunicarse adecuadamente de manera escrita.</li> <li>2. Comunicarse adecuadamente de manera oral.</li> <li>3. Construir y defender argumentos.</li> </ol>	<p style="text-align: center;">Comunicación efectiva</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Producir documentos con la estructura, la gramática y el estilo apropiados.</li> <li>2. Producir presentaciones orales con la estructura, el lenguaje, el flujo y el estilo apropiados.</li> <li>3. Construir y defender argumentos.</li> <li>4. Demostrar dominio en inglés (nivel B2) para graduarse.</li> </ol>

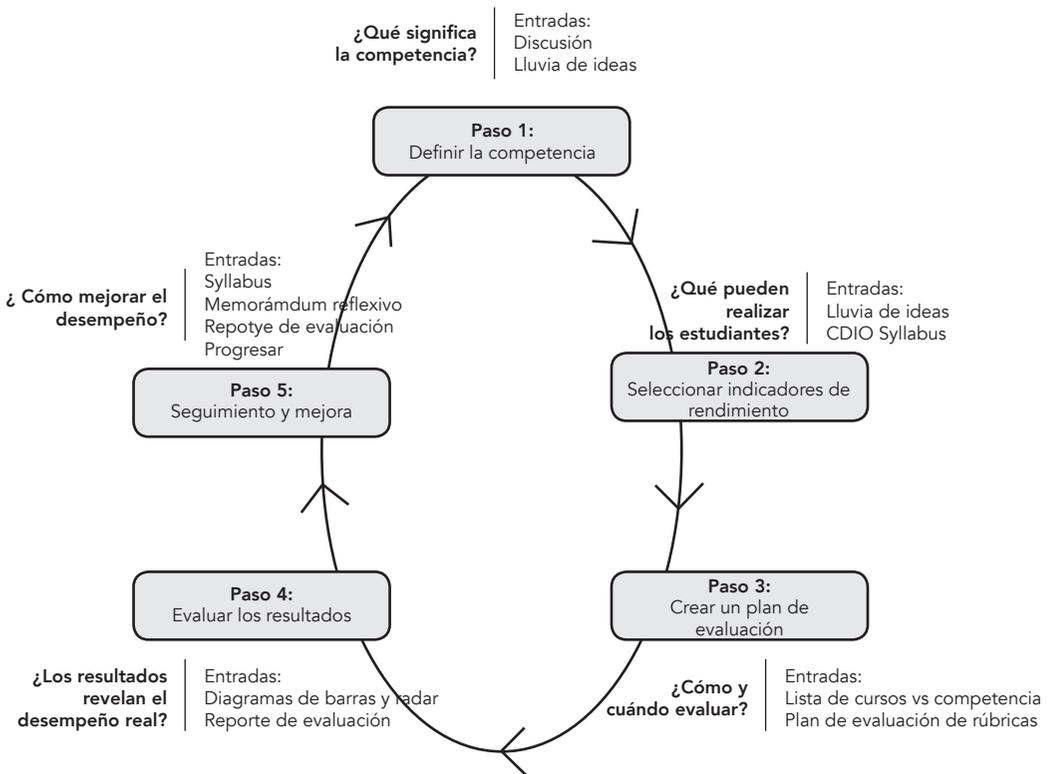
## Paso 2. Seleccionar indicadores de desempeño (PI)

Una vez que se define la competencia, es fundamental seleccionar los indicadores claves de desempeño (PI por sus siglas en inglés). Los indicadores de desempeño son la evidencia de la competencia adquirida o, en otras palabras, lo que los estudiantes pueden realizar. La definición de competencia realizada en el paso 1 y los indicadores propuestos en el paso 2 se contrastan con el marco de referencia propuesto por CDIO [4] en su *syllabus*. Este proceso servirá para validar si el equipo está de acuerdo con la definición y los indicadores o si deberían ajustarse. Se recomienda no tener más de cuatro indicadores de desempeño por competencia.

La lista de PI (Performance Indicators por sus siglas en inglés) iniciales sugeridos por el profesorado y los PIs definitivos utilizados en el proceso de assessment se presentan en la tabla 1. Se llevó a cabo un proceso de revisión y discusión a la luz del *syllabus* de CDIO. Según el plan de estudios,

la habilidad de aprendizaje individual permanente incluye la motivación para el autoaprendizaje, la autoeducación en el estilo de aprendizaje propio y las relaciones con los mentores. Del mismo modo, las habilidades de comunicación oral incluyen la estructura y el estilo apropiados, así como el lenguaje no verbal y la capacidad de argumentar adecuadamente.

**Figura 1.** Metodología propuesta para evaluar y mejorar competencias en estudiantes



### Paso 3. Crear un plan de evaluación

Un plan de evaluación sirve para identificar qué cursos durante el proceso formativo contribuyen a la adquisición de los indicadores de desempeño seleccionados, identificar qué curso debe seleccionarse como fuente de assessment, el método y el mecanismo por utilizar, la rúbrica, la fecha para la recolección de datos y el responsable de realizar el assessment. Es importante aclarar que el método de assessment podría ser directo

(es decir, medido a través del desempeño del estudiante, por ejemplo, un proyecto final del curso) o indirecto (es decir, medido por una fuente externa, por ejemplo, una encuesta). El mecanismo de assessment se refiere a la actividad o instrumento específico que se utilizará para recopilar datos (e.g., encuesta, proyecto final del curso, video, cuestionario, prueba nacional estándar). Las rúbricas deben tener un proceso de triangulación para garantizar que todos los miembros del equipo están de acuerdo con los niveles de evaluación.

En un plan de assessment se muestran los indicadores de desempeño, en este caso se muestran los PIs relacionados con los cursos del proyecto de grado. En el caso del aprendizaje individual permanente, los PI 1 y 3 se evaluaron a través de una encuesta de empleadores durante la pasantía profesional. Un ejemplo de plan de assessment se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Ejemplo de plan de assessment para el indicador de desempeño No. 2

Competencia	Indicador de desempeño	Fuente	Método de evaluación	Periodo	Resp.
<b>Aprendizaje individual permanente</b>	2. Buscar / identificar, organizar y analizar información relevante en una oportunidad de aprendizaje independiente.	PG I	Directo, rúbrica aplicada al informe final de la propuesta de investigación.	2015-2	Profesor PG I
<b>Comunicación efectiva</b>	2. Producir presentaciones orales con la estructura, el lenguaje, el flujo y el estilo apropiados.	PG II	Directo, rúbrica aplicada al proyecto final de presentación oral.	2015-1	Profesor PG II

#### **Paso 4. Desarrollar el plan de assessment y evaluar los resultados**

En esta fase se recopilan datos de los estudiantes y se consolidan los resultados. Éstos deben presentarse de manera gráfica, simple y clara para que los profesores y estudiantes puedan entender fácilmente el desempeño alcanzado. El informe de evaluación debe contener los indicadores de desempeño evaluados, el curso fuente del assessment, la metodología utilizada, la población, el desempeño alcanzado con sus posibles causas, alternativas para acciones de mejora y responsables.

Por último, es importante que el comité de assessment y evaluación reflexione sobre los resultados obtenidos, en relación con el desempeño real observado. En otras palabras, discutir si el método, los mecanismos y las rúbricas realmente revelan qué están en capacidad de hacer los estudiantes y cuál es el nivel real de logro de la competencia.

### **Paso 5. En esta fase, el equipo debe preguntarse cómo pueden los estudiantes mejorar su desempeño y progresar hacia el nivel más alto en la rúbrica**

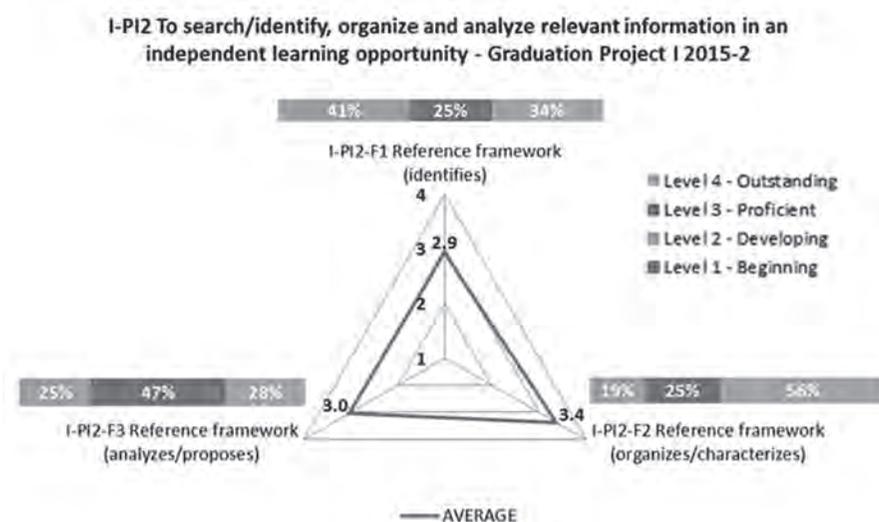
Las acciones de mejora provienen de diferentes fuentes. Por ejemplo, de los resultados obtenidos en el proceso de evaluación, de la comparación entre los resultados y el programa de estudios actual, del memorando reflexivo (i.e., una autoevaluación realizada por el profesor sobre los objetivos del curso, las estrategias de clase y los logros), de los profesores involucrados durante el proceso formativo o de los profesores a cargo del proceso de evaluación. Las acciones de mejora se agrupan y se llevan al informe de seguimiento que contiene los indicadores de desempeño que deben mejorarse, los resultados de la evaluación obtenidos, el análisis de causas de dichos resultados, las acciones, las actividades planificadas para el mejoramiento, el periodo esperado para la implementación y los entregables detallados de seguimiento. Una vez que se implementan las acciones de mejora, se repite el ciclo de evaluación, el equipo debe reflexionar sobre la efectividad del plan implementado con respecto a la adquisición de la competencia evaluada. En este paso, se sugiere un enfoque de planear-hacer-verificar-actuar (PDCA).

Al evaluar los resultados, mejorar y dar seguimiento, el proceso de reflexión se centró en la adecuación de los mecanismos utilizados (i.e., el informe final escrito y la presentación oral) para evaluar si los estudiantes han aprendido a aprender individualmente y son capaces de desarrollar cualquier presentación oral de manera estructurada.

El informe final de la propuesta de investigación entregado por los estudiantes en PGI es mejorado a través del tiempo y, tal vez, la orientación y el refinamiento del formato por parte del asesor del proyecto durante la clase podrían haber influido en el estilo. Por lo tanto, se sugirió un cambio en el instrumento utilizado y, durante el siguiente ciclo, se pidió a los estudiantes que escribieran una página que resumiera sus proyectos y registraran las fuentes utilizadas para la investigación.

Las figuras 2 y 3 ilustran la manera cómo se presentan los datos en los informes de evaluación. El resumen del plan de mejora que incluye los conceptos básicos del enfoque PDCA se muestra en la tabla 3.

**Figura 2.** Informe de evaluación para el aprendizaje individual permanente, PI 2, Curso PG I, población: 32 estudiantes. Resultados: Grupos desempeñados en el nivel de desarrollo (41%) cuando se les pidió que identificaran información relevante. Causa: los estudiantes no hacen un uso intensivo de los recursos de la biblioteca. Grupos desempeñados en un nivel sobresaliente (56 %) cuando se les pidió organizar la información. Este es uno de los puntos fuertes. Los grupos se evaluaron en el nivel de competencia (47%) cuando se les pidió que analizaran la información recopilada. Causa: las clases formativas no incluyen actividades que involucran la recopilación de información. Acciones de mejora: promover el autoaprendizaje vinculado a habilidades de análisis y la iniciativa de acudir a la biblioteca a recopilar información. Fortalecer la construcción del marco de referencia en el Proyecto de Grado I y el Proyecto de Grado II. Responsable: Profesor PG I



**Figura 3.** Informe de evaluación para la comunicación efectiva, PI 2, Curso PG II, población: 37 estudiantes. Resultados: los estudiantes fueron evaluados en el nivel sobresaliente y competente (64 y 43 %, respectivamente) en los aspectos de introducción y conclusión asociados con la presentación oral. La mayoría de los grupos se desempeñaron en un nivel de competencia superior al 70 % para los aspectos principales de la presentación. Causa: desde que se logró, se reconoce la necesidad de tener resultados consistentes en el tiempo. Acciones de mejora: durante el proceso formativo, al menos tres cursos podrían ajustarse para exponer a los estudiantes con más frecuencia a presentaciones orales. Responsable: Profesor PGI.

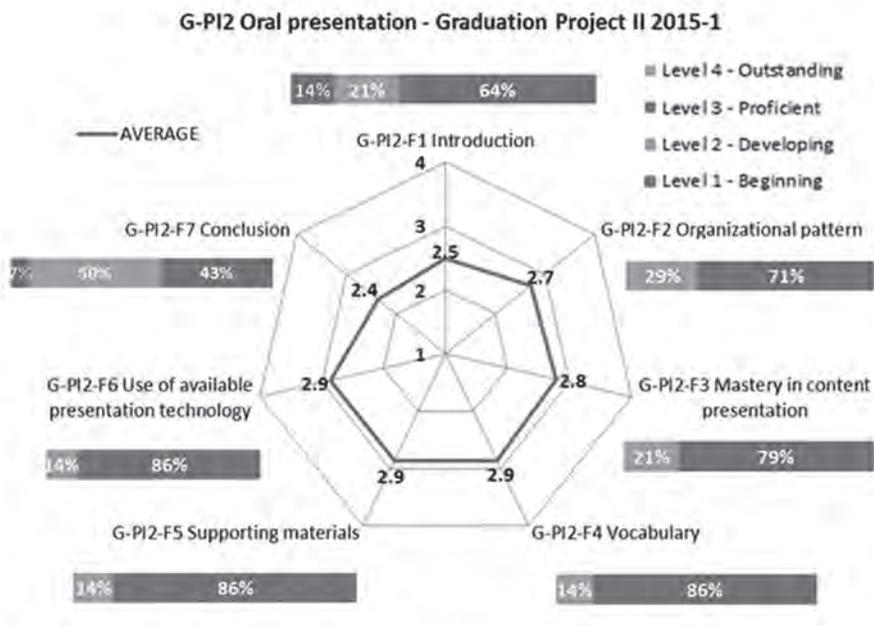


Tabla 3. Ejemplo de plan de mejora y seguimiento

Competencia	Aspecto por mejorar	Actividades de mejora	Acciones de seguimiento	Progreso (%)
Aprendizaje individual permanente  PI 2, curso PG I	Planear el uso de los recursos de la biblioteca y fortalecer la construcción del marco de referencia.	Los recursos de la biblioteca se exploran por primera vez en el curso de Introducción a la Ingeniería. Su uso debe ser reforzado en otros cursos formativos.  El uso de los recursos de la biblioteca durante la construcción del marco de referencia debe ir acompañado por el desarrollo de material de soporte en línea (por ejemplo, videos o MOOC). Esto se discutirá con el director de la biblioteca.	Reunión con bibliotecarios a cargo de la capacitación con el propósito de identificar cursos potenciales para desarrollar esta competencia y mejorar los recursos en línea.  Reunión con profesores involucrados en el proceso formativo para identificar las actividades del curso que podrían incluir buscar, organizar y analizar información.  Las sesiones de capacitación de la biblioteca deben incluirse en el horario de clases para el curso PG I.	80 %
Comunicación efectiva  PI 2, Curso PG II	Fortalecer las habilidades de comunicación oral durante el proceso formativo.	Repasar con el profesorado los cursos formativos donde los aspectos de la comunicación oral pueden ser fortalecidos.  Revisar el programa del curso para determinar qué estrategias o actividades de aprendizaje podrían implementarse (por ejemplo, una sesión de capacitación con un experto en comunicación oral).	Reunión con profesores involucrados en el proceso formativo para revisar el programa de estudios e incluir presentaciones orales en sus cursos (cuatro cursos seleccionados).  Se incluyó un taller especializado en presentaciones orales impartido por un profesional de campo en el horario de clases del curso PG I y PG II.  Se ha creado, validado y distribuido a la facultad una rúbrica estándar para evaluar las presentaciones orales.	100 %
¿Esta mejora funcionó? Sí, el problema se resolvió completamente Parcialmente resuelto No funcionó				

## IV. Caso 2

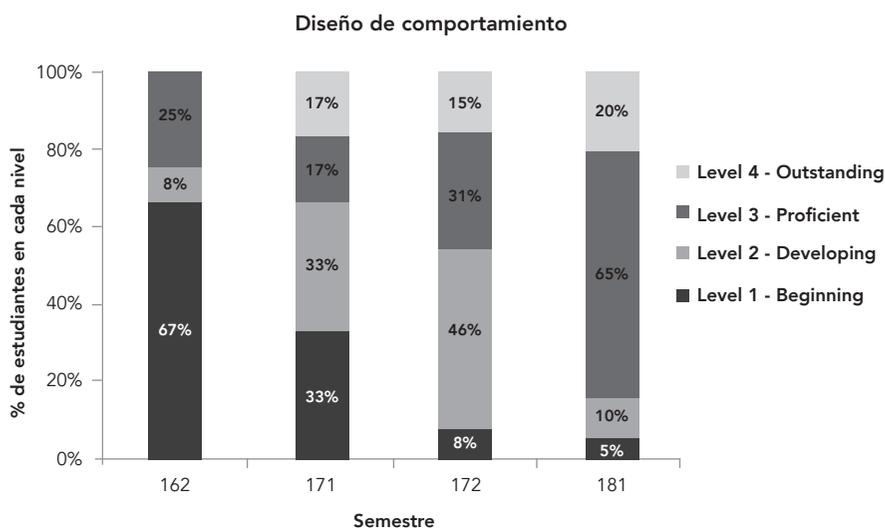
El segundo caso presenta la experiencia de *assessment* de la competencia de diseño, en particular de diseño detallado de sistemas de software, que se realiza en el curso *Ingeniería de Software*. Para asegurar la competencia de diseño, el programa de Ingeniería de Sistemas ha definido el siguiente indicador: *“Producir diseños detallados que satisfacen los requerimientos funcionales, usando de manera correcta la notación correspondiente”*. El curso se enfoca en el diseño detallado del comportamiento, usando los diagramas UML de secuencia para la especificación. La actividad pedagógica más importante es el diseño del comportamiento de un sistema real que se trabaja en lo que se denomina la “tarea integradora”, tarea que se desarrolla a lo largo del semestre, y en la que los estudiantes trabajan como un equipo de desarrollo de *software* realizando las fases de elicitación, análisis, especificación y diseño.

La secuencia didáctica involucra seis pasos y trasciende las fronteras del curso. Antes del curso de Ingeniería de Software: 1) los estudiantes son introducidos en el diseño de software usando la notación UML en los cursos de algoritmos y programación, y en particular en el diseño del comportamiento usando diagramas de secuencia, en el curso Proyecto Integrador I. En el curso Ingeniería de Software: 2) la profesora realiza una introducción formal al tema de diseño detallado con base en el SWEBOK (cuerpo de conocimiento de la Ingeniería de Software); 3) los estudiantes estudian las reglas léxicas, sintácticas y semánticas del estándar UML 2 (ISO 19505), y desarrollan ejercicios básicos guiados para aclarar conceptos de diseño del comportamiento y del uso del estándar; 4) los estudiantes realizan laboratorios en los que diseñan diagramas de secuencia de sistemas hipotéticos usando la herramienta Visual Paradigm; 5) los estudiantes trabajan en grupos en la tarea integradora. El número de grupos varía según el tamaño del curso. En general, los grupos son de seis a diez personas. El ejercicio empieza con la fase de elicitación de requerimientos, para lo cual los estudiantes aplican distintas técnicas interactuando con los clientes y usuarios finales. El resultado final son todos los artefactos de las fases de análisis y diseño, incluyendo los diagramas de secuencia, los cuales son validados también con los usuarios; 6) finalmente, el logro de la competencia a escala individual se evalúa en un examen parcial en el curso, resultado que se reporta al proceso de mejoramiento continuo del programa. La rúbrica usada en el curso corresponde con la rúbrica definida en el programa para el diseño del comportamiento.

Los estudiantes cuentan con el acompañamiento de la profesora y una asistente docente durante todo el curso y, en particular, durante el desarrollo de la tarea integradora. Se implementa *assessment* formativo a lo largo del desarrollo de la tarea, pues los estudiantes reciben retroalimentación permanente antes de la entrega final, no sólo de parte de los profesores del curso, sino de los usuarios y el cliente. Finalmente, el curso en el que los estudiantes aplican la competencia en el nivel más avanzado es el curso Proyecto Integrador II (octavo semestre).

Este ejercicio de *assessment* de curso ha impactado muy positivamente el desempeño general de los estudiantes en la competencia de diseño, en particular en el diseño del comportamiento. Esto se ha logrado gracias a que el proceso asegura el cierre del ciclo de retroalimentación, de manera que los resultados observados en el *assessment* del curso se llevan al comité de *assessment* del programa, donde se toman decisiones para implementar acciones de mejora en los cursos anteriores que están relacionados con el desarrollo de la competencia. La figura 4 muestra cómo los estudiantes han ido mejorando su nivel de logro en la competencia, según las mediciones realizadas en los semestres 162, 171, 172 y 181. La proporción de estudiantes en los dos niveles de logro más alto (*proficient* y *outstanding*) pasa de un 25% en 2016-1, a un 85% en 2018-1

**Figura 4.** Nivel de logro de competencia de los estudiantes en los semestres 162, 171, 172 y 181. Se observa que la proporción de estudiantes en los dos niveles de logro más alto (*proficient* y *outstanding*) pasa de un 25% en 2016-1, a un 85% en 2018-1.



## V. Conclusiones y recomendaciones

Los cursos son la principal fuente de *assessment* en un proceso de aseguramiento de la calidad del programa, el cual debe contar con un conjunto de planes de *assessment*, indicadores y rúbricas para medir el logro de las competencias de egreso. Estos instrumentos deben desarrollarse colectivamente entre los encargados de la gestión de calidad del programa y los profesores involucrados en los cursos responsables de aportar al logro y *assessment* de las competencias definidas por el programa.

La efectividad del *assessment* de curso, en cuanto a su impacto en el mejoramiento del currículo, depende de la alineación del macrocurrículo con las competencias (que cada curso sepa a qué competencias contribuye y de qué manera), y de la alineación entre las rúbricas usadas específicamente en el curso con la rúbrica de *assessment* del programa.

Es indispensable asegurar la ejecución completa del ciclo de mejoramiento. Los resultados de los *assessment* de curso deben ser evaluados colectivamente por el comité de *assessment* del programa para que alimenten el plan de mejoramiento de las competencias correspondientes.

Las competencias de diseño, comunicación y aprendizaje individual permanente son fundamentales para el ingeniero. Es importante contar con una ruta curricular completa que les permita a los estudiantes evolucionar en el logro de la competencia desde que es introducida a nivel formativo hasta que es aplicada en cursos superiores. Dejar toda la responsabilidad en un solo curso no es conveniente.

Es fundamental la alineación de las rúbricas de curso con las rúbricas del programa. De esta manera es más sencillo retroalimentar al currículo a partir de los resultados de *assessment* obtenidos en cursos específicos.

Es importante contar con el recurso humano necesario para acompañar a los estudiantes y dar retroalimentación en el proceso de *assessment* formativo. Ese recurso humano se traduce en docentes capacitados para no sólo dictar los cursos sino acompañar los procesos de *assessment* tanto formativo como sumativo, y también las áreas de apoyo que ayudan al docente a procesar la información generada y al director del programa a recopilar y generar los reportes necesarios para evaluar a nivel del programa los resultados obtenidos en los cursos.

- [1] K. Ortegon y A. Burbano , «Methodology for assessing, evaluating and improving two student competenes. A case for effective communication and life-long learning in the Graduation Project Course,» de *Research in Engineering Education REES*, Bogota, 2017.
- [2] G. Harman y V. L. Meek, «Repositioning Quality Assurance and Accreditation in Australian Higher Education,» [https://www.researchgate.net/profile/V\\_Meek/publication/247391085\\_Repositioning\\_Quality\\_Assurance\\_and\\_Accreditation\\_in\\_Australian\\_Higher\\_Education/links/02e7e53b4d3f4e944c000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/V_Meek/publication/247391085_Repositioning_Quality_Assurance_and_Accreditation_in_Australian_Higher_Education/links/02e7e53b4d3f4e944c000000.pdf), 2000.
- [3] P. J. Gray y A. S. Patil, *Engineering Education Quality Assurance*, Springer, 2009.
- [4] E. Crawley, J. Malmqvist, S. Östlund, D. Brodeur y K. Edström, *Rethinking Engineering Education*, Springer, 2007.

**Angélica Burbano.** Profesora Asociada del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi en Cali, Colombia. Ingeniera industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Especialista en gerencia de producción y Magister en administración, Universidad Icesi. Becaria AOTS, Japón 2000. Becaria Fulbright 2007. Ph.D en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial de la Universidad de Arkansas. Cuenta experiencia laboral en la industria de alimentos, en áreas de logística y planeación de producción. Su área de investigación actual se encuentra relacionada con la adaptación de modelos y estructuras de logística y manufactura al entorno de servicios, en particular al área de salud. También desarrolla investigaciones relacionadas con el tema de educación en ingeniería, en particular el tema de desarrollo docente. Tiene más de quince años de experiencia como docente, se ha desempeñado como Directora del Programa de Pregrado en Ingeniería Industrial, Directora de la Maestría en Ingeniería Industrial y actualmente es la Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi.

aburbano@icesi.edu.co

**Katherine Ortegón.** Profesora Asistente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi, Cali-Colombia. PhD y Master en Ciencias Ecológicas e Ingeniería (ESE-IGP), Purdue University, West Lafayette, IN-USA. Especialista en Gerencia del Medio Ambiente e Ingeniería Industrial, Universidad Icesi. Becaria Fulbright-Colciencias, Posgrado para las Regiones 2009-2012. Quince años de experiencia docente en cursos como Ingeniería del ciclo de vida, Gestión y mejoramiento de procesos, Introducción a energías renovables, Manufactura Sincrónica e Ingeniería de métodos. Actualmente, realiza investigación sobre los retos y barreras para la generación de bioenergía a partir de biomasa residual, energías renovables, evaluación del ciclo de vida de los sistemas bioenergéticos, educación en ingeniería, huella ecológica

y de carbono para la industria y para el sector educativo.

kortegon@icesi.edu.co

**Norha M. Villegas.** Ingeniera de Sistemas y Especialista en Gerencia de Informática Organizacional de la Universidad Icesi. Doctora en Ciencias de la Computación, Universidad de Victoria (Canadá). Norha Villegas es Profesora Asociada y Directora del Programa de Ingeniería de Sistemas en la Universidad Icesi, y profesora adjunta del departamento de Ciencias de Computación de la Universidad de Victoria. Es reconocida internacionalmente por sus aportes a la investigación en temas relacionados con la ingeniería de sistemas de software auto-adaptables. Sus principales intereses de investigación son los sistemas de software autoadaptables, sus áreas de aplicación, y la Educación en Ingeniería. La Dra. Villegas es miembro Senior de IEEE y miembro de la American Society for Engineering Education.

nvillega@icesi.edu.co

**Juliana Jaramillo.** Ingeniera Industrial y Magister en Educación. Directora de la Oficina de Mejoramiento continuo y Acreditación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Icesi, Cali-Colombia. Docente del curso de introducción a la ingeniería. Entre sus áreas de trabajo se encuentran el aseguramiento de la calidad de los aprendizajes de los programas de la facultad, ello implica la gestión curricular desde la alineación en los diferentes niveles de desarrollo de las competencias, la recolección de los desempeños de los estudiantes que permitan la toma de decisiones para implementar mejoras en el currículo que asegure el aprendizaje de los estudiantes. También, apoyar el desarrollo de los profesionales-docentes en el fortalecimiento de sus competencias docentes dado que ellos son una pieza fundamental en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

jjaramillo@icesi.edu.co

---

# Evaluación de cursos según el nuevo sistema de resultados de estudiantes de ABET

---

*Jorge Francisco Estela, Facultad de Ingeniería y Ciencias,  
Pontificia Universidad Javeriana, Cali*

## **Abstract**

En este documento se presenta el modelo de evaluación de cursos para la acreditación de ABET de los programas de ingeniería de la Javeriana de Cali. Se presentan las generalidades del método de acreditación de ABET, el nuevo modelo de resultados de estudiantes de la Comisión de Acreditación de Ingeniería, el diseño del modelo adoptado en la Javeriana de Cali, ejemplos sobre la evaluación de cursos y la construcción de exámenes, y se dan algunas recomendaciones sobre la evaluación de resultados de estudiantes en cursos convencionales de ingeniería.

## I. Introducción

Este documento presenta el modelo de evaluación de cursos de ingeniería de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali según el reciente modelo de resultados de estudiantes de ABET.

Antes de entrar en los detalles del modelo, conviene definir algunos conceptos esenciales para el método de acreditación de ABET. La acreditación de ABET se basa, en gran medida, en la evaluación del aprendizaje de los estudiantes referido a la naturaleza y características de su programa académico. Por su parte, los programas académicos existen dentro de la institución y deben responder a su misión y a las expectativas y necesidades de los grupos de interés, o constituyentes, que existen en torno al programa académico. Entonces, el primer principio de la acreditación de ABET es que los programas académicos deben ser consistentes con la misión institucional y los intereses y necesidades de los constituyentes de esos programas. La verificación de esa correspondencia constituye uno de los criterios de la acreditación. De esto surge que todo lo que hacen los programas académicos, i.e. sus currículos, contenidos y metodologías, están necesariamente referidos a la misión institucional y los intereses y necesidades de los constituyentes. Dado esto, el método de ABET instituye estos dos conceptos operativos fundamentales:

*Objetivos educativos:* son los logros que los graduados deben alcanzar al cabo de unos tres o cinco años desde su graduación. No son un perfil de egreso ni un perfil ocupacional sino lo que el programa académico espera que aprendan a hacer en su ejercicio profesional. Es recomendable redactarlos en forma de grandes aspiraciones de la educación superior.

*Resultados de estudiantes:* son los conocimientos, habilidades, valores y comportamientos que los estudiantes deben haber aprendido hasta el momento de su graduación para que ulteriormente logren los objetivos educativos del programa académico. En ese sentido, los resultados de estudiantes son las competencias que deben adquirir y desarrollar durante sus estudios.

De lo anterior surge la relación necesaria entre los objetivos educativos y los resultados de estudiantes. Mientras aquellos son un estado deseado, éstos son las condiciones necesarias para llegar a él. Es decir, los resultados de estudiantes deben posibilitar el logro de los objetivos educativos. La verificación de esta correspondencia es otro de los criterios de la acreditación de ABET.

Por su parte, el currículo debe soportar el desarrollo de los resultados de estudiantes. Es por medio de los cursos, sus contenidos, metodologías y evaluación que se desarrollan los resultados de estudiantes. Es decir, el programa académico debe identificar cómo asegurar esta relación y la mejor forma de hacerlo es crear una matriz que contenga los resultados de estudiantes que debe desarrollar cada uno de los cursos disciplinares del plan de estudios. De este ejercicio emergen instrucciones precisas para cada curso en términos de qué competencias tiene que desarrollar y evaluar. La verificación de esta correspondencia y la evaluación del logro de los resultados de estudiantes es otro de los criterios de acreditación y constituye la base del sistema de mejoramiento continuo del programa académico.

De todo lo anterior emerge una cadena de relaciones que el programa académico debe implementar, i.e. misión institucional e intereses de los constituyentes → objetivos educativos → resultados de estudiantes → currículo (cursos) → contenidos, metodologías y evaluación. El resultado de esta cadena de relaciones es que los estudiantes aprendan lo que es pertinente para su ejercicio profesional y que lo hagan a través de su trabajo en los cursos. A su vez, cada curso, sus contenidos, metodologías y evaluación, quedan referidos a lo que los estudiantes deben aprender. De esta forma se crea un sistema consistente en el que los cursos no existen *per se* sino porque son necesarios para el aprendizaje de los estudiantes. Así, todo lo que se haga en cada curso es necesario para que el programa académico cumpla la misión institucional y satisfaga las expectativas de sus constituyentes.

Finalmente, es necesario que el programa académico defina un modelo global de evaluación, una parte del cual es el modelo de evaluación de cursos, pero es deseable disponer de información adicional que contribuya al juicio sobre el cumplimiento global de los criterios de acreditación. Así, comúnmente se usa el desempeño en los exámenes de Estado o exámenes comprensivos y las encuestas de satisfacción a egresados son también útiles.

## II. El nuevo sistema de resultados de estudiantes

Como ya es ampliamente conocido, en octubre de 2017 la Comisión de Acreditación de Ingeniería (EAC, por sus siglas en inglés) publicó su nuevo sistema de resultados de estudiantes que entrará a remplazar al sistema que venía en uso desde el año 2000, y que era conocido como

los resultados de estudiantes “A-K”. El sistema de los A-K proponía un interesante modelo de educación en ingeniería balanceado entre habilidades claramente técnicas, i.e. la solución de problemas de ingeniería, y otras claramente sociales, como la comunicación efectiva y el trabajo en equipo. Pero también tenía algunos inconvenientes que dificultaban su implementación, por ejemplo, que la aplicación de conocimiento y la solución de problemas de ingeniería fueran habilidades separadas, lo mismo que la responsabilidad ética y profesional y la comprensión de los múltiples impactos de las obras de ingeniería.

El nuevo sistema comprende siete resultados de estudiantes, que seguramente se conocerán como los 1-7, y la reducción se logró mediante la supresión de algunos de los A-K y, lo más importante, mediante la agrupación de otros. Las siguientes son las definiciones de los nuevos resultados de estudiantes [<http://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/accreditation-alerts/>]:

1. La habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería por medio de la aplicación de principios de ingeniería, ciencia y matemáticas.
2. La habilidad al aplicar el diseño de ingeniería para producir soluciones que satisfagan necesidades específicas con consideración a la salud pública, seguridad y bienestar, así como a factores globales, culturales, sociales, ambientales y económicos.
3. La habilidad para comunicarse efectivamente con una variedad de audiencias.
4. La habilidad para reconocer las responsabilidades éticas y profesionales en situaciones relacionadas con la ingeniería y hacer juicios informados, que deben considerar el impacto de las soluciones de ingeniería en contextos globales, económicos, ambientales y sociales.
5. La habilidad para funcionar efectivamente en equipos cuyos miembros en conjunto proveen liderazgo, crean un ambiente colaborativo e incluyente, establecen metas, planean tareas y cumplen objetivos.
6. La habilidad para desarrollar y conducir experimentación apropiada, analizar e interpretar datos y usar el juicio de ingeniería para sacar conclusiones.
7. La habilidad para adquirir y aplicar conocimiento como sea necesario, empleando estrategias de aprendizaje apropiadas.

Dadas estas definiciones, claramente se identifican las equivalencias con los resultados de estudiantes A-K, así:

- Resultado de estudiantes 1: reúne los anteriores A y E.
- Resultado de estudiantes 2: reúne los anteriores C y H.
- Resultado de estudiantes 3: es el anterior G.
- Resultado de estudiantes 4: reúne los anteriores F y H.
- Resultado de estudiantes 5: es el anterior D.
- Resultado de estudiantes 6: es el anterior B.
- Resultado de estudiantes 7: es el anterior I.

Se ve que el resultado de estudiantes J (la comprensión de asuntos contemporáneos) se eliminó, mientras que el de estudiantes K (utilización de métodos y técnicas modernas de ingeniería) se trasladó al criterio 5, currículo.

En este punto conviene reproducir las definiciones ofrecidas por la EAC de algunos conceptos importantes en los nuevos resultados de estudiantes 1-7 (ver cita arriba):

- **Ciencias básicas:** son las disciplinas enfocadas en el conocimiento de las causas de los fenómenos naturales; incluyen química, física, las ciencias de la vida, de la tierra y del espacio.
- **Matemáticas universitarias:** son matemáticas de un nivel que equivale mínimo a cálculo introductorio, pero incluyen otros niveles de cálculo, ecuaciones diferenciales, álgebra lineal, probabilidad, estadística y matemáticas discretas.
- **Ciencias de la ingeniería:** se basan en matemáticas y ciencias básicas, pero hacen la conexión con la solución práctica de problemas de ingeniería.
- **Problemas complejos de ingeniería:** involucran cuestiones técnicas conflictivas y de amplio alcance, que no tienen solución obvia, involucran diversos grupos de interés y tienen implicaciones significativas y de amplio alcance en diversos contextos.
- **Diseño de ingeniería:** consiste en crear sistemas, componentes o procesos que satisfagan necesidades y especificaciones dentro de restricciones. Es un proceso iterativo, creativo, de toma de decisiones en el que las ciencias básicas y matemáticas se aplican para convertir recursos en soluciones. El diseño de ingeniería

involucra identificar oportunidades, desarrollar especificaciones, analizar y sintetizar, generar múltiples soluciones y evaluarlas contra requerimientos, considerar el riesgo y evaluar balances de costos y beneficios para obtener una solución de la más alta calidad en las circunstancias dadas. Algunos ejemplos de restricciones son: estética, accesibilidad, códigos, constructibilidad, costo, ergonomía, extensibilidad, interoperabilidad, funcionalidad, consideraciones legales, mantenimiento, manufacturabilidad, mercadeabilidad, política, regulaciones, programación, estándares, usabilidad y sostenibilidad.

- **Equipo:** es un conjunto de dos o más personas que trabajan por una meta común y tienen diversas procedencia, habilidades y perspectivas.

### III. El modelo de evaluación de cursos

A continuación se presenta el modelo de evaluación de cursos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Javeriana Cali. Con base en este modelo, los programas de Ingeniería Industrial, Ingeniería Civil, Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Computación obtuvieron sus acreditaciones en agosto de 2016. Aquí se presenta la adaptación del modelo al nuevo sistema de resultados de estudiantes, que entró en operación en el segundo semestre de 2018. El modelo implementa el sistema de relaciones descrito en la introducción. El ejemplo reproducido aquí es para el Programa de Ingeniería Industrial. Los objetivos educativos son:

Los graduados del programa:

1. Seguirán carreras prometedoras como ingenieros industriales en la industria, la academia o el sector público.
2. Contribuirán al mejoramiento continuo de la productividad y calidad en sus organizaciones.
3. Aportarán al bienestar y sostenibilidad de sus comunidades y organizaciones.
4. Se distinguirán por su sentido de ciudadanía responsable, profesionalismo, liderazgo y habilidades de comunicación.
5. Desarrollarán su habilidad para aprender independientemente como medio para su desarrollo profesional o estudios de posgrado.

A partir de los objetivos educativos sigue su relación con los resultados de estudiantes. Para tal efecto, se definieron los resultados de estudiantes que contribuyen al logro de los objetivos educativos, lo cual se expresó en la siguiente escala de relevancias: 1) mínima relevancia, 2) baja relevancia, 3) alta relevancia y 4) máxima relevancia. El sistema de relaciones queda resumido en la tabla 1.

**Tabla 1.** Relaciones entre objetivos educativos y resultados de estudiantes

Res. Est.	Objetivos educativos					Puntos	%
	1	2	3	4	5		
1	4	4	3		3	14	18
2	4	4	2		3	13	16
3	3	2		4		9	11
4	3	2	4	4		13	16
5	2	2	2	4		10	13
6	3	4	1		3	11	14
7	3	1		1	4	9	11

Fuente: Elaboración propia

La tabla indica, entonces, que el resultado de estudiantes 1 (aplicación de conocimiento para resolver problemas) contribuye con máxima relevancia al primer objetivo educativo (excelencia académica), y así sucesivamente. Una característica fundamental del modelo es que los niveles de relevancia de los cruces no son meros rótulos sino números, es decir, suman. De allí que todos los niveles de relevancia de un resultado de estudiantes con los objetivos educativos suman un total, que se da en la columna “puntos”. De allí salen los pesos relativos porcentuales de la columna %. Así, para el Programa de Ingeniería Industrial, la solución de problemas de ingeniería tiene la máxima relevancia, le siguen el diseño de ingeniería y la responsabilidad profesional, seguido por las habilidades para interpretar información y para trabajar en equipo, y termina con las habilidades de comunicación y de aprendizaje independiente. Es importante destacar que la asignación de estos niveles de relevancia la hizo el comité del programa consultando con todos los profesores adscritos a él.

A continuación se expone la asignación de los resultados de estudiantes a todos los cursos disciplinares del programa. Estas relaciones se expresan también en el sistema de niveles de relevancia mencionado arriba. De modo que la restricción es que el sistema completo de relaciones con los

curso respete, tan cercanamente como sea posible, los pesos relativos entre los resultados de estudiantes. Para asignar los resultados de estudiantes se limitó a máximo cuatro resultados por curso, excepto para el de Proyecto de Diseño II, que tiene los siete resultados de estudiantes y es la experiencia terminal de diseño que debe tener todo programa evaluado por la EAC, condición que forma parte del criterio 5, Currículo. El resultado de este ejercicio fue una extensa matriz que contiene todos los cursos disciplinares y las relaciones con los 1-7, y es imposible de reproducir en este documento por razones de espacio. El conjunto de relaciones y sus niveles de relevancia constituyen la llamada “fórmula del curso”. Basta dar aquí un ejemplo de un curso representativo de Ingeniería Industrial: Investigación de Operaciones I: 1=4, 6=2, 7=4. Esta fórmula significa que a este curso le corresponden el resultado 1 con nivel 4, el resultado 6 con nivel 2 y el resultado 7 con nivel 4. Es evidente que en esta fórmula no se respetan los pesos relativos entre los resultados 1, 6 y 7 que emergen de la tabla 1, puesto que para que tal condición se diera al nivel de cada curso, sería necesario que todos los cursos tuvieran todos los 1-7 con los pesos relativos dados por la tabla I, lo cual sería imposible, dada la naturaleza, contenidos y metodologías diferentes de cada curso. Como se indicó arriba, lo importante es que el sistema global de cursos respete los pesos relativos de los resultados de estudiantes.

A continuación se presenta la evaluación de los cursos. El modelo de evaluación global de Ingeniería Industrial comprende la evaluación de 15 cursos, a saber: Investigación de Operaciones I, Investigación de Operaciones II, Operaciones I, Operaciones II, Simulación, Modelación Logística, Introducción a la Ingeniería Industrial, Ingeniería de Métodos, Control Estadístico de Procesos, Ingeniería de Costos, Ingeniería Económica, Estática y Resistencia de Materiales, Termodinámica, Ciencia e Ingeniería de Materiales y Proyecto de Diseño II. Como se ve, son cursos nucleares del currículo de Ingeniería Industrial.

Finalmente, un rasgo distintivo del modelo de evaluación de cursos de la Javeriana de Cali es que la calificación de los cursos sale directamente de la evaluación del desempeño en los resultados de estudiantes. Así, el ejercicio de evaluación de cursos se reduce a asignar porcentajes de desempeño a los 1-7 de cada curso y, mediante el sistema de pesos relativos según los niveles de relevancia, se obtiene la calificación de cada estudiante en el curso. Este sistema simplifica considerablemente la carga de evaluación de los cursos porque la evaluación de los resultados de estudiantes y la calificación son un único esfuerzo. Usualmente éste no es modelo de evaluación de cursos en la mayoría de programas acreditados

por ABET sino que, en ese otro modelo, la evaluación de los resultados de estudiantes es un ejercicio separado de la calificación de los cursos.

## IV. Ejemplo de evaluación de un curso

Para el efecto, en este documento se seleccionó el curso de Termodinámica, al cual le correspondió la fórmula 1=4, 3=2, 4=2 y 6=4. Es decir, la tercera parte de la evaluación, y calificación, proviene de la aplicación de conocimiento para resolver problemas (resultado 1), otra tercera parte viene de la interpretación de información (resultado 6), y la otra tercera parte viene, en partes iguales, de la comunicación efectiva (resultado 3) y de la comprensión de los impactos de las obras de ingeniería (resultado 4). A partir de esto sigue la distribución de la evaluación de los resultados entre los instrumentos propios del curso, cuyo resultado se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Ejemplo de una distribución de evaluación en un curso

Instrumento	Resultados de estudiantes				Suma
	1	3	4	6	
Examen 1	40	10	10	40	100
Examen 2	40	10	10	40	100
Examen fin.	40	10	10	40	100
Proyecto	13	27	27	13	80
Sustentación		10	10		20
Suma	133	67	67	133	400
Porcentaje	33.25	16.75	16.75	33.25	100

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla, las celdas de los instrumentos con los resultados de estudiantes indican la distribución en porcentajes dentro de cada instrumento. Así, en los exámenes, los resultados 1 y 6 tienen el 40 % de la calificación cada uno, y los 3 y 4 el 10 % por ciento cada uno. Las cantidades de la columna “suma” indican los pesos relativos entre los instrumentos de evaluación, i.e. los exámenes al 25 % cada uno, el proyecto al 20 % y la sustentación al 5 %. Al final, la fila “porcentaje” indica el de cada resultado de estudiantes sobre la calificación del curso. Como se ve, son porcentajes muy cercanos a los pesos relativos entre los resultados de estudiantes dados por la fórmula del curso (ver arriba en esta sección). De modo que este es un balance de evaluación consistente

con las relaciones entre los resultados de estudiantes que, a su vez, son consistentes con las relaciones entre éstos y los objetivos educativos del programa. Es decir, es un balance de evaluación consistente con los objetivos educativos del Programa de Ingeniería Industrial. Por supuesto, para cada uno de los cursos seleccionados para la evaluación se estable un balance de evaluación análogo a este ejemplo.

El paso que sigue en la construcción de las evaluaciones es distribuir los resultados de estudiantes dentro de cada uno de los instrumentos de evaluación. En este punto es necesario anotar que la evaluación de los resultados de estudiantes se guía por los indicadores de desempeño que se asociaron a cada uno de ellos. Los indicadores de desempeño son las acciones que los estudiantes hacen al responder las preguntas y sirven para que el profesor identifique el nivel de desempeño. Para el efecto, lo más usual es utilizar rúbricas cuantitativas. Hay muchas formas de hacerlo. Aquí se presenta un ejemplo de un examen parcial de Termodinámica del segundo semestre de 2018 (tabla 3).

**Tabla 3.** Ejemplo de construcción de un examen

Pregunta	Resultados de estudiantes				Suma
	1	3	4	6	
Análisis		10	10		20
Problema 1	20			20	40
Problema 2	20			20	40
Total	40	10	10	40	100

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 todas las cifras son porcentajes sobre la calificación total del examen. Claramente, el balance global de la evaluación del examen concuerda con el balance dado en la tabla 2 para los exámenes. Es decir, la consistencia se mantiene hasta el nivel de la construcción de cada instrumento de evaluación.

## V. Recomendaciones para la evaluación de resultados de estudiantes

A partir del ejemplo de la tabla 3 surgen las siguientes recomendaciones basadas en esta pregunta: ¿cómo es posible evaluar resultados de estudiantes de carácter social en cursos clásicos y cuantitativos de ingeniería? Este

es, quizás, el mayor desafío que plantea el método de ABET puesto que es inevitable que a cursos cuantitativos les corresponda evaluar habilidades sociales, como el trabajo en equipo, la responsabilidad profesional y la comunicación. La evaluación de estas habilidades no puede dejarse sólo para los cursos de Ética y Comunicación que vienen de otros departamentos sobre los cuales los de la Facultad de Ingeniería no tienen jurisdicción alguna. Como se ha visto hasta aquí, por lo menos en el método de la Javeriana de Cali, la evaluación de esas habilidades corresponde, abundantemente, a los cursos disciplinares; de allí el desafío tan significativo.

En lo referente al curso de Termodinámica, escogido aquí como ejemplo, fue necesario introducir un capítulo sobre la relación del sistema energético mundial con las emisiones de dióxido de carbono y el cambio climático. Evidentemente, este es un tema cercanamente relacionado con el contenido clásico del curso y ofrece la posibilidad inmediata de evaluar los resultados 3 y 4. Así, en el ejemplo de la tabla 3, la pregunta de análisis es un dilema propuesto; de modo que la evaluación del resultado 3 (comunicación efectiva) se hace sobre los textos escritos por los estudiantes y la evaluación del resultado 4 (responsabilidad profesional y comprensión de impactos) se hace sobre la forma como los estudiantes resuelven el dilema. Por supuesto, no se trata de que respondan lo políticamente correcto o lo que quiere el profesor sino que elaboren bien la solución del dilema y lo sustenten adecuadamente. Por su parte, la evaluación de la comunicación se hace sobre la construcción del texto, su claridad y concisión, gramática, sintaxis, ortografía y uso del idioma.

Así, en general, las siguientes son recomendaciones para evaluar los siete resultados de estudiantes:

- Resultado de estudiantes (aplicación de conocimiento para resolver problemas de ingeniería): lo más indicado es evaluarlo en exámenes, pruebas cortas y tareas.
- Resultado de estudiantes 2 (diseño de ingeniería): lo más indicado es evaluarlo en proyectos de diseño o trabajos finales de curso.
- Resultado de estudiantes 3 (comunicación): se puede evaluar en cualquier texto que escriban los estudiantes, típicamente en proyectos, trabajos de cursos, informes de laboratorios e informes de salidas de campo.
- Resultado de estudiantes 4 (responsabilidad ética y profesional con consideración de impactos): lo mejor es evaluarlo en proyectos o trabajos finales de curso.

- Resultado de estudiantes 5 (trabajo en equipo): lo indicado es evaluarlo en proyectos. Pero es necesario advertir que se trata de la evaluación de cómo los estudiantes trabajan en el equipo, no se trata de evaluar la validez de la solución de los problemas propuestos.
- Resultado de estudiantes 6 (habilidad experimental e interpretación de información): lo indicado es evaluarlo en informes de laboratorio, pero también se puede hacer en exámenes, pruebas cortas o tareas si se delimita a la interpretación de información.
- Resultado de estudiantes 7 (aprendizaje independiente): lo indicado es evaluarlo en proyectos.

## VI. Conclusiones

De lo anterior se concluye que el modelo de evaluación de cursos es un componente esencial del modelo global de evaluación de programas en su preparación para la evaluación y ulterior acreditación de ABET. Con mucho, el modelo de evaluación de cursos aporta las evidencias del logro de los resultados de estudiantes y del aprendizaje de éstos. A partir de esta información se construye el sistema de mejoramiento continuo de los programas académicos.

En particular, el modelo diseñado e implementado por la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Javeriana Cali se caracteriza por ser robusto, sostenible, económico en información y, en últimas, posibilitó la acreditación de los cuatro programas indicados al inicio de la Sección III. El modelo es robusto porque se construyó a partir de una red abundante y redundante de relaciones entre la misión institucional, los objetivos educativos, los resultados de estudiantes y el currículo. El modelo es sostenible y económico en información porque la evaluación de los resultados de estudiantes y la calificación de cursos no son ejercicios separados sino que el segundo resulta del primero. Así, la información que sale al público a través del sistema de notas realmente es por competencias. Esto ha sido una aspiración de larga data en las facultades de ingeniería en Colombia, pero pocas veces se ha resuelto la pregunta de ¿qué se hace con la evaluación de las competencias? El modelo expuesto aquí responde exactamente esa pregunta porque la evaluación de competencias se convierte directamente en las calificaciones de los cursos, que luego salen al público en los certificados de notas.

**Jorge Francisco Estela** es ingeniero químico de la Universidad del Valle y doctor en Filosofía (Termodinámica Química) de la Universidad de Londres (Imperial College of Science, Technology and Medicine). En la Javeriana de Cali fue director de la Carrera de Ingeniería Industrial, director de Investigación, decano de la Facultad de Ingeniería y

Coordinador de la Acreditación de ABET. Actualmente es director del Departamento de Ingeniería Civil e Industrial. Tiene publicados más de 25 artículos científicos en revistas internacionales Q1 sobre el modelamiento y predicción de propiedades termodinámicas de fluidos de interés industrial.

[jfe@javerianacali.edu.co](mailto:jfe@javerianacali.edu.co)



---

# Assessment Process in the Biomedical Engineering Program at University of Los Andes

---

*Juan Cordovez, Sandra Carolina Navarrete, Pilar Navas  
Universidad de los Andes*

## **Abstract**

In this brief document we describe how the Biomedical Engineering program (BME) at Universidad de los Andes construct and revise its Program Educational Objectives (PEOs). In addition we show how the Student Outcomes (SO), defined by ABET, are implemented in our classes and evaluated in our students so they have the tools to achieve the PEOs in a time frame of three to five years. The process of evaluating the level of attainment of the SO is called assessment and it use direct and indirect measurements. The results obtained with these measurements are the input to adjust the curriculum and facilities, if needed. The whole process occurs on a year basis.

## I. Introduction

In 2011 the Biomedical Engineering (BME) Program was created in the School of Engineering at Universidad de los Andes (Uniandes) aligned with the general structure of the other 8 existing programs. The BME program consists of 137 academic credits distributed in an 8 semester curriculum. As of August 2018, there are 533 students enrolled in the undergraduate program and 115 have graduated.

As many other academic programs in the world, BME at Uniandes considers that academic quality needs to be monitored continuously. Academic quality impacts ability of students to find jobs and growth in their working environment which in turns maintains the reputation of the program. Therefore a quality system needs to be in place to guarantee the competency of our graduates.

The school of engineering at Uniandes adopted the guidelines from the Accreditation board for engineering teaching (ABET) as the quality system. All the programs in the school were accredited in 2010 for the first time and BME adopted the ABET system since the beginning to design and implement the quality system.

The heart of the quality system is the definition of the program educational objectives (PEOs) and the tools the program give to the students so they can attain the PEOs soon after graduation. To achieve the PEOs the students need several skills that collectively are know as student outcomes (SO). We implemented in our program the SO defined by ABET. In order to define the PEO we created a Steering Committee that is central in maintaining a quality system.

Here we present the process for establishing and reviewing the PEO's and how they can be attained (i.e. adjustment needed in the curriculum and/or facilities) along with the system of assessment of SO in our quality system framework that guaranties continuos improvement.

In August 2018 the Biomedical Engineering Program at University of Los Andes was accredited by ABET for the first time. The program collected evidence of performance by students of the SO and completed a few cycles in the quality system described in figure 2.

## II. Program Educational Objectives

PEO's are short statements that describe what the graduates from BME at Uniandes are expected to be after a time frame of 3 to 5 years after graduation. After completion of the process described in the next section and in figure 1, the BME program defined as PEO's the following three statements:

- Achieve professional success while providing advancement of their working environment (hospitals, industry, public institutions and academia).
- Create ethical and effective solutions to biomedical engineering problems in a multidisciplinary environment being particularly sensitive to Colombian challenges.
- Pursue graduate studies to contribute to the expansion of biomedical engineering knowledge through research.

## III. Process for reviewing the program educational objectives

PEO's are evaluated every year. The evaluation process relies heavily on the feedback from the Expanded Steering Committee where all constituents are invited to participate. Recommendations on PEO changes are presented to the faculty and a plan of how to address and implement any change is thoroughly discussed. Figure 1 shows the process for reviewing the PEOs. BME faculty always initiates the process.

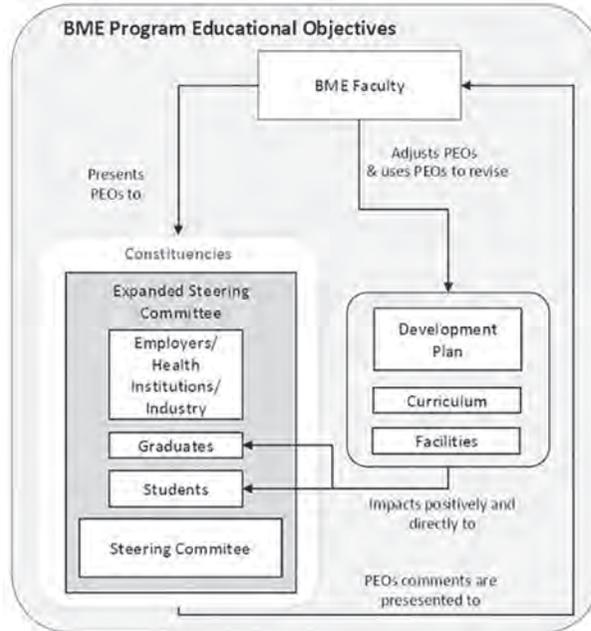
The Department of Biomedical Engineering consults its PEOs from a) Students, b) Alumni, c) Employers and the d) Steering Committee. Taken together these constituencies conform an Expanded Steering Committee which plays a critical role in the process of definition, evaluation and/or improvement of the Program Educational Objectives during an Expanded Steering Committee annual meeting.

### Expanded Steering Committee:

#### Students

This group includes current students enrolled in the program. This group expects to become technically competent, able to find a job and be productive as students and later as professionals. When invited to the annual meeting they are requested to think about their needs and how the program can contribute to prepare them.

**Figure 1.** Program Educational Objectives assessment process. A draft of the PEOs goes to the expanded steering committee for discussion, the corrected version, if approved by faculty, dictates the changes needed in the curriculum and /or facilities



## Graduates

The department tries to maintain active communication with some alumni so they can help maintain the quality of the program and also help with the consolidation and prestige of the Department. Some graduates are invited to the Expanded Steering Committee annual meeting to give their perspective about current PEOs. During the meetings, they share, based on their experience, how those program objectives are aligned with industry expectations on graduates.

## Employers

This group includes current employers of Biomedical Engineering graduates as well as potential employers from industry and health institutions. During the meetings, employers discuss what they are looking for in an employee, how graduates fit the needs in their organizations and

which areas need improvement. This group has shown strong interest in graduates who are technically competent, productive, effective, work well as team members, socially and environmentally conscious, and have good communication and interpersonal skills.

### **Steering Committee**

This group is made up of highly respected people that have helped in the strategic development plan of the Department from its origins. They are considered part of our constituency because of their role in departmental decisions and since they are part of prominent educational institutions, industry presidents, and other leaders in the fields of engineering.

The Program Educational Objectives meet the needs of the constituencies as follows:

- The first PEO indicates that the program wants its graduates that achieve an excellent academic training so they can have a successful professional development while contributing with their working environments. This last point is important since BME is a new program and the need for developing the field is huge. If this PEO is attained the academic program will enjoy of ample quality recognition; alumni will be regarded as competent and potential employers and society will benefit directly.
- The second PEO is related with ethical and effective solutions to biomedical engineering problems which is fairly common and expected within a field with such implications in human quality of life. However we make emphasis in a Colombian context, expecting our students to be especially interested in regional challenges.
- The third PEO is related with the expansion of biomedical engineering knowledge through research. Research is central to our program and faculty often engage undergraduates in research activities. We believe that research abilities will give the students the tools to solve new and challenging regional problems.

## **IV. Student outcomes**

The BME Program adopted the current ABET Engineering Accreditation Commission (EAC) definition for SO [1]:

- a. An ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering
- b. An ability to design and conduct experiments, as well as to analyze and interpret data
- c. An ability to design a system, component, or process to meet desired needs within realistic constraints such as economic, environmental, social, political, ethical, health and safety, manufacturability, and sustainability
- d. An ability to function on multidisciplinary teams
- e. An ability to identify, formulate, and solve engineering problems
- f. An understanding of professional and ethical responsibility
- g. An ability to communicate effectively
- h. The broad education necessary to understand the impact of engineering solutions in a global, economic, environmental, and societal context
- i. A recognition of the need for, and an ability to engage in life-long learning
- j. A knowledge of contemporary issues
- k. An ability to use the techniques, skills, and modern engineering tools necessary for engineering practice

Every semester students are informed about the SO developed in the courses in the Course Syllabi, in the course webpage or by printed version of the syllabus.

## V. Relationship of Student Outcomes to Program Educational Objectives

The mapping of student outcomes to the program educational objectives is shown in Table 1. We place an x in Table 1 when we consider that the process of attaining a certain level of performance in the student outcome also helps graduates to achieve our PEOs.

**Table 1.** Mapping of student outcomes to PEOs

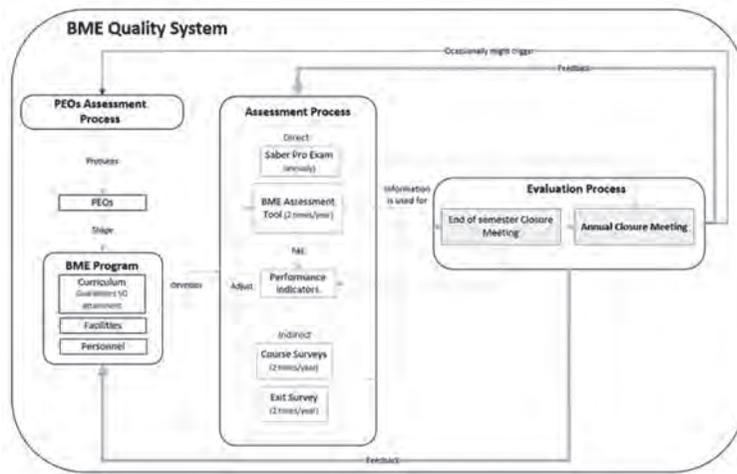
SO		Program Educational Objectives		
		Achieve professional success while providing advancement of their working environment (hospitals, industry, public institutions and academia)	Create ethical and effective solutions to biomedical engineering problems in a multidisciplinary environment being particularly sensitive to Colombian challenges	Pursue graduate studies to contribute to the expansion of biomedical engineering knowledge through research.
(a)	An ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering	x		
(b)	An ability to design and conduct experiments, as well as to analyze and interpret data			x
(c)	An ability to design a system, component, or process to meet desired needs within realistic constraints such as economic, environmental, social, political, ethical, health and safety, manufacturability, and sustainability	x	x	x
(d)	An ability to function on multidisciplinary teams	x	x	
(e)	An ability to identify, formulate, and solve engineering problems	x	x	
(f)	An understanding of professional and ethical responsibility		x	
(g)	An ability to communicate effectively	x	x	x
(h)	The broad education necessary to understand the impact of engineering solutions in a global, economic, environmental, and societal context	x	x	x
(i)	A recognition of the need for, and an ability to engage in life-long learning	x		x
(j)	A knowledge of contemporary issues	x		x
(k)	An ability to use the techniques, skills, and modern engineering tools necessary for engineering practice	x		

## VI. Assessment process for continuous improvement

The quality system for continuous improvement presented Figure 2 is designed to promote the achievement of the PEOs by its graduates. The BME program (curriculum, personnel and facilities) is such so that achievement of PEOs is possible. SO suggested by ABET are developed and evaluated during the course of the student’s program. For the assessment

process the program developed direct and indirect tools that use different performance indicators to gauge student performance. The data collected during this process is evaluated on a continuous basis and used to trigger the revision of the PEOs, adjust the program or to simply adjust the assessment process. This system was implemented on January 2016 after the consolidation of the PEOs Assessment Process (See Figure 2).

**Figure 2.** BME Quality System



The assessment tools aim to measure the success of the program at making students meet the outcomes. Depending on how we collect the information, the tools are divided into direct and indirect. Table 2 shows the tools used by the program to assess Student Outcome and the frequency at which they are applied.

**Table 2.** Student Outcomes Assessment

Assessment type	Description	Frequency
Direct	BME Assessment Tool	Annual
	Saber Pro exam	Annual
Indirect	Course Surveys	Every semester
	Exit Surveys	Every semester

### Direct assessment

Faculty members define where in the curriculum outcomes are going to be developed and evaluated during the annual faculty meeting. During this meeting, faculty discuss course contents and share the SO assessment

results. After comments, faculty have a perception of how the curriculum provides an environment for students to achieve the SO and also identify opportunities for improving coverage, development, assessment and evaluation. The mapping of student outcomes to BME courses for 2016 is shown in Table 3. In this table, the letters D and E indicate courses where the outcomes are Developed, Evaluated or both (D/E).

**Table 3.** Places in the curriculum where Student Outcomes are Developed (D) and Evaluated (E)

Outcomes vs. Courses	Introducción to BME	Quant. Physiology for BME I	Quantitative Physiology for BME II	Scientific Programming	Biomaterials	Biological Transport phenomena	Bioinformatics	Biomedical Systems Modeling and Simulation	Experimental Design and Biostatistics	Signal Processing and Biomedical Instrumentation	Medical Image Analysis	FD1	FD2
	IBIO 1010	IBIO 2099	IBIO 2102	IBIO 2240	IBIO 2550	IBIO 2240	IBIO 3100	IBIO 2560	IBIO 3270	IBIO 2560	IBIO 3270	IBIO 3770	IBIO 3780
(a) An ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering				D		E		D/E			D/E		
(b) An ability to design and conduct experiments as well as analyze and interpret data		D							D/E				
(c) An ability to design a system component or process to meet desired needs	D						D					E	E
(d) An ability to function in multi-disciplinary teams	D											D/E	D/E
(e) An ability to define, formulate, and solve engineering problems					D					E			
(f) An understanding of professional and ethical responsibility	D						D					E	
(g) An ability to communicate effectively						D		D				D/E	D/E
(h) A broad education to understand the impact of engineering solutions in a global and societal context	D		D									D	E
(i) Recognition of the need for, and ability to engage in life-long learning	D	D										D	E
(j) Knowledge of contemporary issues	D									D			E
(k) An ability to use the techniques, skills, and modern engineering tools necessary for engineering				D	D				D		E		

Developing (D) an outcome implies that instructors have to use diverse methods to develop students abilities related to the SO. We place strong emphasis in making the students recognize the importance of developing an outcome. Faculty give specific instructions to students about how the performance indicators are used to grade activities and always give feedback to students to improve their performance level. On the other hand, Evaluating (E) an outcome implies that instructors perform various activities to grade students abilities based on their career accumulated knowledge. If a course develops and evaluates an SO at the same time, then it will combine methods for developing and evaluating the outcome.

The results presented in accreditation visits are based on courses where the SO are evaluated, however we collect and analyze data from all courses listed in Table 3 and use it to make decisions about the program. Courses devoted to evaluate are located at the end of the BME curriculum and give us valuable information about the abilities students have acquired during the program and their level right before graduation.

## Indirect assessment

### Course Surveys:

The School of Engineering administers an end-of-semester course surveys to evaluate the student's perception about the SO attainment as well as the quality of course and teacher performance. The surveys are mandatory for all students.

Students answer 16 questions that measures their own perception about their level of SO attainment. To evaluate some SO we take into account several questions from the survey and calculate the performance level by calculating the mean.

The scale used to measure the accomplishment of the SO in the Surveys: 1 – Low, 2 – Medium-Low, 3 – Medium-High, 4 – High. These results are evaluated and analyzed together with the direct measures at the end-of-semester meeting.

### Exit Survey:

The BME program decided to implement a survey to graduation candidates in order to gather more specific information related with the level of satisfaction with the program that directly impacted their educational experience. The survey has 48 questions. 21 of them are single choice questions and intend to measure the level of satisfaction (scale 1 to 4) to questions related to the program quality. The remaining questions are open questions about challenges, possibility for improvement, and strategies they identify that might improve program quality.

## VII. Conclusions

In this brief document we present how the BME program at Uniandes writes and revise its PEOs, in addition we show how the SO defined by ABET are implemented and evaluated in our students so they have to tools to achieve the PEOs in a three to five year's time frame. The process of evaluating the level of attainment of the SO is called assessment and uses direct and indirect measurements. The results obtained with these measurements are used to adjust the curriculum and facilities if needed. The whole process occurs on a year basis.

## VIII. References

- [1] <http://www.abet.org/accreditation/get-accredited/assessment-planning/>

**Juan Cordovez.** Doctor y Magíster en ingeniería Biomedica de la Universidad Estatal de Nueva York, Stony Brook. Ingeniero Civil y Biólogo de la Universidad de los Andes. Director del laboratorio de investigación bio-matemática (BIOMAC) en la Universidad de los Andes, profesor asociado y actual director del departamento de Ingeniería Biomédica. Sus investigaciones y trabajo se encuentran orientadas a la eco-epidemiología de las enfermedades infecciosas, el modelado matemático de sistemas fisiológicos y en general el uso de sistemas dinámicos para comprender fenómenos biológicos. Fue escogido como el mejor Investigador en Cardiología por la Revista Colombiana de Cardiología en 2002 y Fulbright Grantee por State University of New York, Stony Brook en agosto de 2004.

jucordov@uniandes.edu.co

**Sandra Carolina Navarrete.** Magister en Ingeniería Química, Ingeniera Ambiental e Ingeniera Química de la Universidad de los Andes. Sus investigaciones se encuentran orientadas a biomateriales, ingeniería de tejidos y hemosustitutos.

sa-navarr@uniandes.edu.co

**Pilar Navas.** Magister en Ciencias Biomédicas e Ingeniera Mecánica de la Universidad de los Andes. Mención especial por los logros alcanzados en el proyecto de grado, Cimandes en 2001. Consultora y especialista en empresas del área biomédica. Profesora instructora del departamento de Ingeniería Biomédica de la Universidad de los Andes y actualmente se encuentra en la Secretaría de la Facultad de Ingeniería de la misma institución.

p.navas24@uniandes.edu.co



---

# “Metodología estratégica de *assessment* con fines de acreditación internacional

---

*José Capacho, Miguel Jimeno*  
*Universidad del Norte*

## **Resumen**

El *assessment* de programas académicos es el núcleo para garantizar el aprendizaje de los alumnos. Este artículo presenta una metodología exitosa para cumplir con el proceso de *assessment*. La metodología está encapsulada en el modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de Sistemas y soportada por procesos de planificación estratégica (análisis DOFA), evaluación curricular de programas académicos y compilación en series de tiempo del *assessment* de los estudiantes. La importancia de la metodología en su novedad se justifica por: i) la planificación estratégica con el aseguramiento del *assessment* permite el logro de procesos de acreditación internacional como el de ABET, ii) La evaluación curricular permite a través del *assessment* el desarrollo de proyectos educativos de los programas de alta calidad educativa, iii) el sistema estadístico predictivo que compila el *assessment* de los alumnos permite monitorear el cumplimiento de las metas de los aprendizajes de los alumnos en el marco del modelo ABET.

**Index Terms:** Planificación estratégica, evaluación curricular, *assessment* de alumnos, sistemas estadísticos predictivos.

## I. Introducción

Las escuelas de pensamiento relacionadas con la teoría de la estrategia son bases para aplicar la planificación estratégica en el desarrollo del proyecto educativo del programa (PEP). El PEP debe asegurar el aprendizaje del alumno durante el desarrollo del proyecto; luego, las teorías educativas de la evaluación curricular y el *assessment* de los alumnos se constituyen en la columna vertebral de la evaluación de programas académicos. La evaluación de la asignatura, o *assessment*, asegura los resultados de aprendizaje del estudiante y consecuentemente predice las acciones de mejoramiento curricular. Luego, si el *assessment* está soportado por un sistema estadístico con un conjunto de datos cualitativos y cuantitativos de su comportamiento acumulado en series de tiempo, entonces se puede monitorear la meta o nivel de aprendizaje del alumno. Adicionalmente, el cumplimiento las metas en cada uno de los resultados de aprendizaje del alumno (Student Outcomes – SO) sirve para predecir el comportamiento del sistema de aseguramiento de la calidad educativa de un programa. Predecir el comportamiento del desarrollo curricular a través del *assessment* de los alumnos es la base para asegurar el desarrollo estratégico del PEP. Por lo tanto, el desarrollo estratégico del PEP, soportado con el *assessment* y la evaluación curricular de programas, es fundamental para los procesos de acreditación, porque asegura la efectividad (eficacia y eficiencia) del proceso enseñanza-aprendizaje en la práctica educativa y consecuentemente garantiza los resultados de aprendizaje de los alumnos.

## II. Problema de investigación y objetivo

La necesidad de asegurar la calidad educativa del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte requiere la realización de procesos de acreditación. El programa ha logrado cumplir con procesos de acreditación nacional e internacional. El proceso nacional se realizó a través del Consejo Nacional de Acreditación (CNA) de Colombia (años 1999, 2005, 2012) mientras que el internacional se efectuó con la agencia ABET (2003, 2008, 2015). El *assessment* es fundamental en cualquier modelo de acreditación (ABET (USA), CNA (Colombia), Secai (España)). Luego, el problema de investigación es la construcción teórica y práctica de una metodología de *assessment*. La metodología debe funcionar dentro del modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de

Sistemas, e integrar teorías educativas (currículum), administrativas (análisis DOFA), y estadísticas (series de tiempo) con el fin de asegurar el cumplimiento del *assessment* en el marco del modelo ABET. Una vez construida la metodología y operando ésta en el modelo, se debe aplicar al currículum del programa y analizar su comportamiento en los resultados de aprendizaje del alumno, según las competencias ABET.

La investigación consta de tres fases: i) revisión de la bibliografía de las teorías de la estrategia, educativas y estadísticas aplicadas al *assessment*, ii) construcción de la metodología de *assessment* e integración al modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de Sistemas, iii) aplicación de la metodología construida dentro del modelo en mención, y aplicación en la unidad académica – Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte.

## II. Revisión de la bibliografía

El objetivo de esta revisión es identificar las bases teóricas necesarias de las áreas de planificación estratégica, educación y estadística que son relevantes en el nivel conceptual, para el logro de la construcción de una metodología de *assessment*.

### A. Teoría de la estrategia

La estrategia aplicada al *assessment* es el plan que tiene un programa para lograr procesos de acreditación nacional e internacional. La construcción de una estrategia está soportada por las escuelas de pensamiento, que permiten formular y operar la estrategia. La escuela de planeación, al interpretar la estrategia como un proceso de planificación formal, es prescriptiva; en tanto la escuela cultural, al concebir la estrategia como un proceso de construcción colectiva [1] es operativa. La teoría de la estrategia es base para la planificación estratégica. Se puede aplicar la planificación estratégica en el desarrollo del PEP mediante dos enfoques: i) el de recursos y capacidades [2] cuyos representantes son Charles W. L. Hill y Gareth R. Jones y ii) el de competitividad [3], a cargo de Michael E. Porter. La identificación de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (DOFA) se aplica en el desarrollo del PEP para lograr su competitividad, la cual se garantiza con procesos de acreditación internacional; y para su logro es necesario aplicar el análisis DOFA en el proceso enseñanza-aprendizaje durante el desarrollo de las clases y en la evaluación curricular [4], [5], [6].

## B. Teoría de la educación-evaluación, *assessment*

El proyecto educativo institucional (PEI) y el proyecto educativo del programa (PEP) contienen la formulación de la estrategia y a su vez permiten la ejecución de ella. Luego, si en la visión de futuro en la planificación estratégica se desea cumplir con el logro de tener una institución y un programa acreditados en el ámbito internacional, necesariamente se deben desarrollar proyectos de autoevaluación con fines de acreditación internacional.

La autoevaluación es el proceso de evaluación interna de un programa en relación con unos estándares de calidad [7], [8] (ABET, CEAB, HKIE, CNA). El proceso está compuesto por las etapas de exploración, estudio, revisión, compilación de la información, medición, valoración y asignación de un juicio de valor del estándar que se está desarrollando. Cumplir los estándares o criterios como resultado de la autoevaluación da una mayor confiabilidad al proceso de acreditación. Los estándares de calidad están representados por modelos de acreditación. Los criterios en el modelo ABET son: *Students, Program Educational Objectives, Student Outcomes, Continuous Improvement, Curriculum, Faculty, Facilities, and Institutional Support*. Por lo tanto, para cumplir con el estándar Student Outcomes es necesario realizar el proceso de *assessment* de los aprendizajes de los estudiantes.

La autoevaluación en el desarrollo de la planeación estratégica permite: i) explorar y priorizar modelos de acreditación. ii) identificar los estándares de calidad en educación a los cuales va a aplicar el programa. iii) compilar la información y evidencias para cumplir cada estándar. iv) analizar y valorar el cumplimiento del estándar. v) asignar un juicio de valor al cumplimiento del estándar. vi) proyectar las acciones de mejoramiento continuo del estándar en el marco del desarrollo de la planificación estratégica [9]. La autoevaluación permite identificar debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (DOFA) en los niveles de clase, estructura curricular, programa, PEP y PEI. Luego, el *assessment* asegura no sólo los resultados de aprendizaje (Student Outcomes SO) sino que estratégicamente permite cumplir procesos de mejoramiento continuo en los niveles mencionados y predecir el cumplimiento de la misión y la visión de futuro del PEP [10], [11], [12].

## C. Teoría estadística

El análisis cualitativo y cuantitativo de la información para cumplir con los procesos de autoevaluación con fines de acreditación demanda

la compilación de datos organizados en series de tiempo. Los datos de *assessment* organizados necesariamente requieren el análisis de datos longitudinales por el tiempo en que dure el desarrollo del PEP que se va a acreditar. Estos análisis de datos permiten garantizar la validez de la métrica utilizada en el *assessment*, cuantificar los niveles de desempeño de la métrica en relación con una meta y crear mecanismos de mejoramiento continuo durante del desarrollo del PEP [13]. Las métricas cuantitativas, si bien es cierto que aseguran el cumplimiento de una meta numérica, requieren ser complementadas con datos cualitativos con el fin de mejorar la didáctica del proceso de enseñanza-aprendizaje [14].

#### IV. Desarrollo de la Metodología de *Assessment*

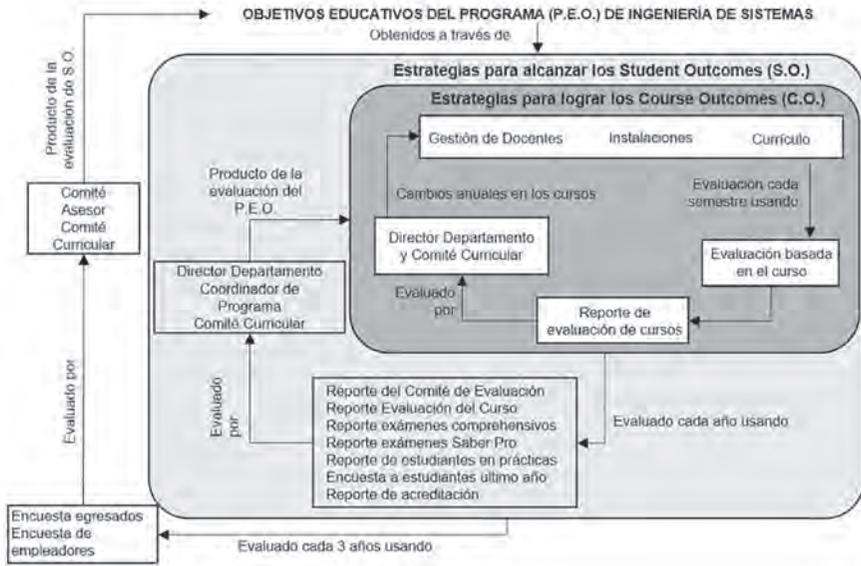
La metodología funciona dentro del modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de Sistemas (figura 1). El modelo está compuesto por tres capas: 1) la capa interna o de *assessment* de asignaturas, 2) la capa intermedia, o de *assessment* de las salidas de aprendizaje, 3) la capa externa o de *assessment* de los objetivos educativos del programa.

El *assessment* de asignaturas tiene como objetivo asegurar los resultados de aprendizaje de cada uno de los cursos de la estructura curricular que participan en el proceso de *assessment*.

El *assessment* de cursos se realiza cada semestre con el propósito de generar, con base en los tipos evaluación aplicados en cada clase, el reporte final de evaluación por curso (FCAR).

El *assessment* de los resultados de aprendizaje (Student Outcomes, SO), se basa en los resultados del *assessment* de las asignaturas, y tiene como finalidad valorar en los niveles cualitativo y cuantitativo el cumplimiento de cada uno de los SO (ABET) en relación con una meta establecida por el Departamento de Sistemas. El lapso de tiempo de *assessment* de los SO es anual y lo desarrollan todos los profesores del Departamento de Sistemas y lo aprueba el Comité de Currículo. Se debe tener en cuenta que el FCAR no es el único insumo anual que se utiliza para evaluar los resultados de aprendizaje de los alumnos. Las fuentes de información adicionales al FCAR son: i) el reporte de *assessment* del Comité de Currículo, con base en el cual se tiene un recorrido histórico del comportamiento del *assessment* durante el tiempo que se esté ejecutando el PEP, ii) los resultados de los exámenes comprensivos 1 y 2, que son evaluaciones situadas en el intermedio y al final del currículum. En el intermedio del currículum, a través del comprensivo 1, se hace el *assessment* del

**Figura 1.** Modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia)



Fuente: Elaboración propia

aprendizaje del alumno en la parte de formación básica. Al final del currículum se realiza el *assessment* del aprendizaje de los alumnos en su ciclo de formación profesional utilizando el comprensivo 2, iii) el reporte de los exámenes de Estado (Saber Pro, Colombia), que miden la calidad de la educación de las universidades en el pregrado. iv) las encuestas de los estudiantes al término de su currículum, o de los cinco años de formación, y finalmente v) los reportes de procesos de acreditación con agencias nacionales (CNA) o internacionales (ABET) que compilan las recomendaciones de pares en procesos de aseguramiento de la calidad del programa. El artículo focaliza su desarrollo únicamente en la metodología de *assessment* en relación con los cursos con el fin de garantizar los resultados de aprendizaje del alumno.

El *assessment* de los objetivos educativos del Programa (PEO), se retroalimentan de la evaluación del cumplimiento de los resultados de aprendizaje de los cursos y resultados de aprendizaje según las competencias del modelo ABET (a-k)). El *assessment* de los Student Outcomes (SO) se realiza cada tres años. De esto resulta un informe que evalúa y aprueba el Comité de Currículum y el Comité Asesor del Programa. Luego, los ciclos de *assessment* trienales permiten, en el cumplimiento de

los objetivos del programa, generar cambios estructurales del currículum y son los que estratégicamente hacen posible redefinir la visión de futuro, la misión por cumplir, los perfiles de formación profesionales y ocupacionales de los egresados, y el cambio de la estructura curricular del programa.

Por lo tanto, teniendo en cuenta el marco de la figura 1, en el modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de Sistemas de Uninorte se definirá formalmente la metodología de *assessment*.

**Tabla 1.** Relación cruzada entre currículo y los SOs de Abet

Cursos	SO's										
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	j)	k)
C <sub>1</sub>	0					1	1			1	
C <sub>2</sub>				1							
C <sub>3</sub>								1		0	
...			1								
...											1
...			1		0						
C <sub>n</sub>		1			1				0		
C <sub>1</sub>	1										
...	1				1						
...						1	0			1	0
...	0				1						
C <sub>n</sub>		0								1	

Sea un conjunto  $E_1 = \text{Por cursos}$ ,  $E_2 = \text{Por proyectos}$ ,  $E_3 = \text{Por problemas, ...}$   $E_n$  de estructuras curriculares. Suponga  $E_1$  un currículum desarrollado por un conjunto de  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  de  $n$  cursos distribuidos en un espacio temporal  $\Delta T$ . El  $\Delta T$  corresponde al tiempo de duración del programa académico (cinco años). El  $\Delta T$  está subdividido en periodos lectivos o semestres curriculares identificados como  $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \dots, \Delta T_n$ , tal que  $\sum_{(i=1)}^{(i=n)} [\Delta T_{(i)}] = \Delta T$ . El desarrollo curricular en el tiempo  $\Delta T$ , tiene como objetivo formar al futuro profesional en la disciplina de ingeniería. Para ser ingeniero con calidad internacional, la universidad debe garantizar un conjunto de Student Outcomes (SO) que, de acuerdo con los criterios ABET para ingeniería, son los siguientes:

- a. La capacidad de aplicar conocimientos matemáticos, científicos y de ingeniería.
- b. La capacidad de diseñar y realizar experimentos, así como de analizar e interpretar datos.
- c. La capacidad de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades dentro de restricciones realistas: económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, de salud y seguridad, manufacturabilidad y sostenibilidad.
- d. La capacidad de trabajar en equipos multidisciplinarios.
- e. La habilidad de identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- f. La capacidad de comprender la responsabilidad profesional y ética.
- g. La capacidad de comunicarse de manera efectiva.
- h. La amplia educación necesaria para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global, económico, ambiental y social.
- i. El reconocimiento de la necesidad y la capacidad de participar en el aprendizaje permanente.
- j. El conocimiento de los problemas contemporáneos.
- k. La capacidad de utilizar las técnicas, habilidades y herramientas de ingeniería modernas necesarias para la práctica de la ingeniería [15].

La metodología que asegura el *assessment* de los SO está estructurado en los siguientes pasos:

1. Construir la matriz de relación entre los cursos del currículo y los resultados de aprendizaje (tabla 1). El enlace de relación está especificado con dos opciones: i) el valor 1, son los cursos que participarán en el *assessment* durante el semestre, ii) el valor de 0, son aquellos cursos que están relacionados con los SO pero que no participarán en el *assessment*. La relación concreta entre el currículum del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte y los SO se presenta en la tabla II. Se debe tener en cuenta que una vía más inteligente de hacer el *assessment* de los SO (“A smarter way to link courses to student outcomes is i) No less than three courses per Student Outcome SO’s. ii) *No more than three links per course except Senior Design*”), es considerar sólo

**Tabla 2.** Relación de los cursos de ingeniería de sistemas de uninorte y los SOs de Abet

Cursos	SO's											
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	j)	k)	
Intro					0	1	1			1		3
AP I			0	1								1
AP II								1				1
ED I			1									1
POO											1	1
ED II			1									1
Dis. Dig.		1			1							2
Estr. Disc.	1											1
Alg. & C.	1		0		1							2
Redes						1				1		2
BD					1							1
Minería										1		1
Estr. C. I		1										1
Soluciones		1		1								2
Optimiz.	1											1
Sist. Oper.									1			1
Dis. SW I			1								1	2
Estr. C. II								1				1
Compil.					0						1	1
Dis. SW II							1		1	0		2
A.I.	0			1				1				2
Proy. Fin.						1	1		1			3
Total S.O.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	+

**Tabla 3.** Relación cruzada entre las competencias del alumno, los *Student Outcomes* (SO) y los *Course Outcomes* (CO)

Competencias adquiridas		Resultados del curso					SO <sub>j</sub>
		CO <sub>1</sub>	CO <sub>i</sub>	...	CO <sub>n-1</sub>	CO <sub>n</sub>	
Dominio Cognitivo	Conocimiento	TE					
	Comprensión		TE				
	Aplicación			TE			
	Análisis		TE				
	Diseño			TE			
	Evaluación				TE	TE	
Laboratorios Y%		TE	TE	TE	TE		
Proyecto final Z%			TE	TE	TE	h)	

SCi: Salidas del curso, recomendable  $1 \leq i \leq n$ , ( $n=5$ )

SOj: Salidas del programa, recomendable  $1 \leq j \leq 3$ ,

TE: Tipo de evaluación (exámenes, quices, tareas, proyectos, wikis, objetos educativos, programas de computador, proyectos, etc.).

$\Sigma (X+Y+Z)\% = 100\%$

Fuente: Elaboración propia

tres cursos asociados con cada salida de aprendizaje y no más de tres SOs relacionados con cada asignatura a excepción del curso de Proyecto Final del Programa.

2. Construir las rúbricas de cada uno de los SO, que son bases para evaluar los niveles de aprendizaje logrados por el estudiante en dicha rúbrica [16], complementadas con rúbricas específicas para evaluar las competencias adquiridas por en la clase. Estas últimas relacionadas con elementos tecnológicos relacionados con ICT [17]. Un ejemplo de rúbrica relacionada con el SO e se presenta en la tabla 4. Rúbrica de la salida de aprendizaje e).
3. Analizar el contenido de cada asignatura para validar: i) La consistencia entre el contenido del curso y sus resultados de aprendizaje con el fin de validar si realmente lo enseñado por medio de las didácticas de la clase pueden generar los resultados de aprendizaje en los alumnos (Course Outcomes CO). ii) La consistencia entre las competencias por lograr en el alumno (SO) con las salidas de los cursos (CO), con el fin de validar si realmente las competencias por adquirir son logrables a través de la pedagogía y las didácticas del curso.
4. Diseñar la matriz de *assessment* de los SO y CO. La matriz representa la relación cruzada entre las competencias con los SO y

los CO a través de los tipos de evaluación (TE). La matriz genérica de evaluación de cursos se presenta en la tabla III. En el dominio cognitivo se utiliza la taxonomía Bloom [18], [16], [19].

5. Fijar la meta del *assessment*. La meta es el valor umbral de aprendizaje que se pretende lograr en la clase. Este valor lo acuerdan los profesores del Departamento de Sistemas (75 % en la escala [0 %; 100 %]). Una vez lograda la meta (75 %), se debe mejorar con el fin de asegurar el nivel de calidad del aprendizaje de los alumnos, logrado tanto en los SO como en los CO [20].
6. Validar la matriz de *assessment*, es la verificación de la validez éste por medio de la matriz, lo cual se hace mediante evaluación por pares internos del departamento. La validez de la matriz debe garantizar: i) que los tipos de exámenes sean coherentes con las salidas que se pretender lograr en los CO. ii) que los tipos de examen en el *assessment* sean coherentes con el dominio de la taxonomía de Bloom, en los dominios de conocimiento por adquirir del alumno en la matriz de *assessment*. iii) que los tipos de examen, al ser aplicados, aporten al cumplimiento tanto de los CO como de los SO´.

Figura 2. FCAR del Programa de Ingeniería de Sistemas

UNIVERSIDAD DEL NORTE DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Assesment Final de la Asignatura Algoritmos y Complejidad (A&C)					
Código: IST 4310 - 01			NCR : 3554		
<i>Descripción Sintética:</i>					
<i>Modificaciones hechas del curso:</i>					
<i>Listado de los Course Outcomes(CO):</i>					
<i>Retroalimentación dada por los estudiantes:</i>					
<i>Análisis de Resultados:</i>					
<i>Análisis por Componentes Calificables (Promedios):</i>					
<i>Análisis por Outcomes de Curso(Porcentajes)</i>					
Course Outcome	% de Cumplimiento	Meta de Cumplimiento	Cumplimiento (SI/NO)	Reflexión	Acciones de Mejoramiento
CO1					
CO2					
<i>Porcentaje de aprobación de la asignatura:</i>					
<i>Porcentaje de estudiantes por encima de 3.5:</i>					
<i>Análisis por Program Outcomes (Porcentajes)</i>					
Student Outcome	% de Cumplimiento	Meta de Cumplimiento	Cumplimiento (SI/NO)	Reflexión	Acciones de Mejoramiento
SO a					
SO e					

7. Validar los enunciados de los TE en relación con las rúbricas de evaluación. La pertinencia en el diseño de los TE, asegura: i) La evaluación justa para el estudiante, por cuanto el alumno se puede autoevaluar a través de la rúbrica. ii) El cumplimiento de todo el contenido de la rúbrica, pues sólo así, el *assessment* es significativo (si una línea de la rúbrica no se evalúa, se debe cuestionar si dicha línea debe existir o no en la rúbrica).
8. Evaluar los CO estructurando una fórmula de *assessment* cualitativa-cuantitativa como se presenta en la tabla 5. La fórmula está construida con base en un sistema de semáforos (verde, amarilla, roja), que sirve para valorar el aprendizaje tanto de los alumnos a escala individual como del colectivo del curso en el CO que se está evaluando. El sistema se utiliza para cumplir con el proceso de asesoría a los estudiantes a cargo de los profesores del Departamento de Sistemas [21]. Con base en el sistema de información y por medio del sistema de semáforos, apoyados por el Centro de Recursos para la Excelencia Estudiantil (CREE) de la Universidad del Norte, el alumno mejora su rendimiento académico y el cumplimiento de los CO y SO.
9. Operar los ciclos de evaluación y mejoramiento continuo dentro del modelo de *assessment* para el Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte, el cual se presenta en la figura 1 [20].
10. Construir el FCAR de cada una de las clases relacionadas en la tabla 2, enlazadas con 1. El diseño del FCAR de los cursos del Departamento de Sistemas se presenta en la figura 2.
11. Compilar los FCAR de cada una de las asignaturas en cada semestre. Ésta es una actividad permanente, como base para ir acumulando los resultados del *assessment* de cada una de las clases relacionadas con cada uno de los SO.
12. Consolidar para cada uno de los SO los resultados de los todos los FCAR de las clases durante el semestre del *assessment*. La consolidación comprende dos pasos, como se enuncia a continuación. 1) construir un análisis DOFA [9], [22], [23] de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas en las asignaturas enlazadas con cada SO. Este análisis sirve para que, con base en el *assessment*, se puedan sugerir los cambios curriculares, los cuales son de dos tipos: internos, que operan dentro de las asignaturas; externos, relacionados con cambios

Tabla III. Rúbrica del *Student Outcome E*

Rúbrica Salida de aprendizaje e): Habilidad para identificar, formular y resolver problemas en ingeniería					
	Muy insatisfactorio 1 (0.0 to 0.95)	Insatisfactorio 2 (1.0 to 1.95)	Marginal 3 (2.0 to 2.95)	Satisfactorio 4 (3.0 to 3.95)	Sobresaliente 5 (4.0 to 5.0)
Construir la identidad del problema	El alumno no es capaz de identificar las variables del problema	El alumno es capaz de usar teoría y principios en la solución del problema	El estudiante es capaz de analizar las variables del problema	El alumno selecciona los principios, teorías y prácticas relevantes para solucionar el problema	La identidad del problema es respaldada no sólo con teorías, prácticas e información relevante sino que su definición se genera para resolver el problema
Formular un problema en ingeniería	El alumno es capaz de relacionar preconcepciones al listar todas las alternativas de solución	El alumno es capaz de realizar la selección de la mejor alternativa en la formulación del problema	El alumno usa conocimiento e información en la formulación para seleccionar la mejor alternativa de solución	Dependiendo de la formulación de la mejor alternativa, el alumno es capaz de escribir recomendaciones de solución	El estudiante cuestiona la formulación de las alternativas de solución y respalda con documentación la alternativa seleccionada
Lograr la solución del problema en ingeniería	Implementa la solución usando solamente la aplicación de una fórmula, ecuación o algoritmo por analogía	El estudiante es capaz de determinar las leyes y principios relevantes en la solución del problema	El alumno conecta los conceptos teóricos con la práctica de una manera apropiada al solucionar el problema	El alumno produce resultados de la resolución del problema en términos matemáticos, físicos o algorítmicos y esos resultados son válidos en la solución del problema	El alumno defiende, respalda y cuestiona los resultados de la solución del problema en relación con un modelo matemático físico o algorítmico
Evalúa y explica los resultados de la solución de un problema en ingeniería	El alumno es capaz de interpretar los resultados del problema en términos de su conocimiento matemático	El alumno es capaz de entender y examinar los resultados del problema basado en sus propiedades y el fundamento matemático	El alumno compila y examina los resultados en términos matemáticos o principios físicos y propiedades	El alumno entiende, evalúa y juzga los resultados de la solución del problema basado en los principios matemáticos o propiedades físicas	El estudiante expande y propone preguntas relativas a los principios, propiedades o modelo que respaldan la solución del problema

Fuente: [http://www.enrng.pitt.edu/~ec2000/outcomes\\_html/HW-problems-e-6-8.htm](http://www.enrng.pitt.edu/~ec2000/outcomes_html/HW-problems-e-6-8.htm)

estructurales del currículum. La síntesis del análisis DOFA se consigna en el formato que se presenta en la figura 3. 2) La integración cualitativa y cuantitativa consolidada de resultados de las asignaturas por cada SO, lo cual se consigna en el formato mostrado en la figura 4. El valor cuantitativo del SO se compara con la meta presupuestada por el departamento, derivado de lo cual se puede valorar si el SO se cumplió para el semestre en análisis.

13. Construir en series de tiempo los resultados del *assessment* por cada semestre. Unitariamente, por cada SO, las series contienen la variabilidad de cada uno de los outcomes semestre a semestre. En conjunto, considerando todos los SO, las series acumuladas por semestres sirven para identificar la cota superior e inferior de desempeño de los SO, tal y como se presenta en la tabla 6, acompañada de la figura 5.
14. Analizar y operar cambios curriculares internos, con base en al análisis DOFA y los resultados cuantitativos del *assessment*. Los cambios curriculares de las asignaturas se ejecutan semestre a semestre. Con ellos se busca: i) mejorar la didáctica del proceso enseñanza-aprendizaje. ii) actualizar los recursos tecnológicos de apoyo al desarrollo de la didáctica. iii) actualizar los contenidos de las asignaturas según los lineamientos de política internacionales para la formación de personas en el área de

**Tabla 5.** Alternativa de estructuración de una fórmula de *assessment* cuantitativa y cualitativa

	Cual.	Cuant.	% de Máximo Logro	Significado del valor umbral	Decisión
Escalas de las metas del aprendizaje del alumno	Alta	[ 4.0 ; 5.0 ]	100%	El estudiante alcanzó totalmente su aprendizaje	Verde
	Medio	[ 3.0 ; 3.9 ]	78 %	El aprendizaje adquirido es bueno	Amarilla
	Bajo	[ 0.0 ; 2.9 ]	58%	El alumno no aprendió o no se alcanzó la salida requerida	Roja

Figura 3. Formato de síntesis del análisis DOFA por SO.

UNIVERSIDAD DEL NORTE DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ASSESSMENT	
PROYECTO DE ACREDITACIÓN ABET – Año: _____ Conclusiones del Assessment del Student Outcome: _____ Año: _____ Semestre: _____ Participantes: _____ Secretario: _____ Fecha: _____	
Fortalezas (F)	F1: F2: F3:
Puntos por Mejorar (M)	M1: M2: M3:
Recomendaciones de Cambios curriculares Internos (CI) o al interior de las asignaturas.	CI1: CI2: CI3:
Recomendaciones de Cambios curriculares Externos (CE) o en la estructura curricular.	CE1: CE2: CE3:

Figura 4. Consolidado del assessment por cada SO.

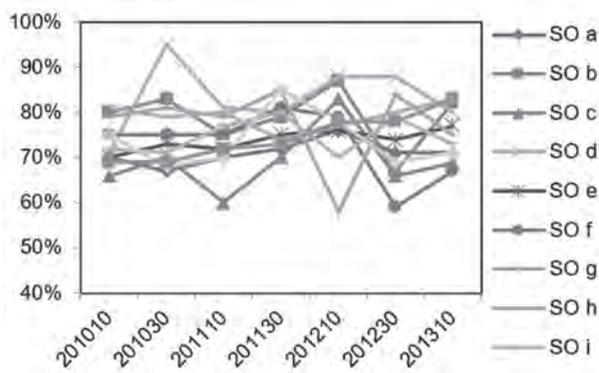
UNIVERSIDAD DEL NORTE DEPARTAMENTO DE SISTEMAS CONSOLIDADO DE ASSESSMENT POR SO				
Periodo Lectivo: <u>201310</u> Student Outcome SO: <u>e</u> Profesor Responsable: _____ Participantes: _____				
	Diseño Digital	Algoritmos y Complejidad	Bases de Datos	Consolidado
% de Cumplimiento	81%	78%	72,7%	77,2%
Reflexión				
Acciones de Mejoramiento				
NOTA : Diligenciar en una reunión conjunta el CONSOLIDADO; donde estén presentes los profesores participante del SOs.				
Fecha de Recibo: Fecha de Diligenciamiento: Fecha de envío:				

Ciencia de la Computación (ACM/IEEE-CS). La implementación de los cambios mencionados a partir de las clases tiene como finalidad aumentar los resultados cuantitativos de las asignaturas con bajo nivel de desempeño, mantener las asignaturas que alcanzaron la meta e intentar subir las asignaturas que la cumplieron. El análisis de los cambios curriculares internos en series de tiempos intenta dar estabilidad a las asignaturas dentro de un rango de desempeño  $[\alpha; \beta]$ , siendo el  $\alpha$  el mínimo valor registrado en la clase y  $\beta$  el máximo valor.

15. Analizar y operar cambios curriculares externos, que afectan la estructura curricular y se obtienen de la consolidación de los FCAR por cada SO. Estos cambios los evalúan el director y el coordinador del departamento y el Comité de Currículo, a fin de implementar los cambios curriculares, punto en el cual se cumple con el segundo ciclo de la figura 1.

El comportamiento gráfico en el tiempo de los SO se muestra en la figura 5, de la cual se puede concluir que la tendencia en cota superior es la capacidad de funcionar en equipos multidisciplinares (SO d) y la inferior es la capacidad de diseñar sistemas (SO c).

**Figura 5.** Serie de tiempo del *assessment* por cada SO



Fuente: Elaboración propia

## V. Conclusiones

Los resultados del artículo de investigación permitieron: i) validar el modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de Sistemas porque es un modelo exitoso por el logro de acreditación del programa a través

Tabla 5. Línea de tiempo del comportamiento de los SO

SOs	2010		2011		2012		2013	Prom.
	10	30	10	30	10	30	10	
a	70 %	67 %	70 %	72 %	76 %	71 %	71 %	71 %
b	80 %	83 %	75 %	79 %	87 %	67 %	82 %	79 %
c	66 %	70 %	60 %	70 %	83 %	66 %	69 %	69 %
d	71 %	95 %	81 %	80 %	88 %	88 %	80 %	83 %
e	70 %	73 %	72 %	75 %	76 %	74 %	77 %	74 %
f	75 %	75 %	75 %	81 %	79 %	59 %	67 %	73 %
g	79 %	81 %	79 %	85 %	58 %	84 %	75 %	77 %
h	81 %	79 %	80 %	74 %	77 %	80 %	83 %	79 %
i	72 %	71 %	77 %	80 %	70 %	79 %	73 %	75 %
j	75 %	68 %	70 %	85 %	78 %	69 %	71 %	74 %
k	69 %	69 %	72 %	73 %	78 %	78 %	83 %	75 %

de la agencia ABET; ii) validar la funcionalidad de la metodología de *assessment* en el modelo de evaluación para el Programa de Ingeniería de Sistemas; iii) utilizar la planificación estratégica en los niveles de la clase y del programa, identificando las oportunidades, fortalezas, amenazas y debilidades tanto de las clases como de la estructura curricular; iv) guiar el desarrollo del proyecto educativo del programa, a través de procesos de planificación estratégica concretados en el *assessment*; v) identificar con base en el estudio longitudinal los *Student Outcome* de mayor desempeño y aquellos por mejorar; vi) identificar en el tiempo los máximos y mínimos valores umbrales de los *Student Outcome*; vii) permitir la participación de todo el colectivo de profesores del Departamento de Sistemas en el desarrollo de proyectos de *assessment* con fines de acreditación internacional; viii) integrar las áreas de educación, gestión y estadística en el desarrollo de una metodología para cumplir con procesos de *assessment*; ix) profundizar en el proceso enseñanza-aprendizaje, mediante el análisis de las clases, dentro de la metodología diseñada en relación con el proceso de *assessment*; x) proyectar las acciones de mejoramiento de clase, estructura curricular y proyectos educativos (PE y PI) a fin de cumplir acciones de planificación estratégica en la ejecución de proyectos educativos.

## Bibliografía

- [1] H. Mintzberg, B. W. Ahlstrand, and J. Lampel, *Strategy Safari: The Complete Guide Through the Wilds of Strategic Management*. Harlow (UK): Financial Times. Prentice-Hall, 1998.
- [2] H. Charles and G. Jones, “Administración estratégica, un enfoque integrado,” *Editorial Mc Graw Hill*, 1996.
- [3] P. Michael, “Ser competitivo. Nuevas aportaciones y conclusiones,” *Ediciones Deusto*, 2003.
- [4] M. M. ElMadany and A. A. Almajid, “Improving engineering education at mechanical engineering department, King Saud University using swot analysis and strategic planning,” 2009.
- [5] C. Lamar, V. Latson, Q. Brown, L. Jackson, and G. Fink, “Using a dashboard as a visualization tool for *assessment* data”.
- [6] A. Hamdi-Cherif, “Academic accreditation and *assessment* processes in higher education.”
- [7] S. Chandrasekaran, A. Stojcevski, G. Littlefair, and M. Joordens, “Accreditation inspired project oriented design based learning curriculum for engineering education,” in *IETEC 2013: Enhancing Global Engineering and Technology Education: Meeting the Future: Proceedings of the 2nd International Engineering and Technology Education Conference 2013*, 2013, pp. 1–11.
- [8] B. Jibril and O. Houache, “A sustainable process for continuous program improvement towards accreditation,” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 102, pp. 352–360, 2013.
- [9] N. A. Mohammed, “Creating a tripled-assessment model of academic programs”.
- [10] S. Karunamoorthy, “A viable and comprehensive Process for assessment and continuous improvement towards successful accreditation”, 2014.
- [11] N. Rajae, E. Junaidi, S. N. L. Taib, S. F. Salleh, and M. A. Munot, “Issues and challenges in implementing outcome based education in engineering education”.
- [12] F. Mistree, J. H. Panchal, D. Schaefer, J. K. Allen, S. Haroon, and Z. Siddique, “Personalized engineering education for the twenty-first

- century,” in *Curriculum Models for the 21st Century*, Springer, 2014, pp. 91–111.
- [13] J. C. Guarino and V. K. C. Pakala, “Quantitative assessment of program outcomes using longitudinal data from the FE Exam”, 2013.
- [14] O. Pierrakos, R. Nagel, E. Pappas, J. Nagel, T. Moran, E. Barrella, and M. Panizo, “A mixed-methods study of cognitive and affective learning during a sophomore design problem-based service learning experience”, *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, pp. 1–28, 2014.
- [15] “ABET - Criteria for accrediting engineering programs, 2013-2014”, [Online]. Available: <http://www.abet.org/DisplayTemplates/DocsHandbook.aspx?id=3149>. [Accessed: 05-Jun-2013].
- [16] R. Falcao, “A conceptual model for e-assessing student Learning in Engineering Education,” in *Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012 15th International Conference on*, 2012, pp. 1–3.
- [17] Y. C. Lai and E. M. Ng, “Using wikis to develop student teachers’ learning, teaching, and assessment capabilities,” *The Internet and Higher Education*, vol. 14, no. 1, pp. 15–26, 2011.
- [18] C. W. Starr, B. Manaris, and R. H. Stalvey, “Bloom’s taxonomy revisited: specifying assessable learning objectives in computer science,” in *ACM SIGCSE Bulletin*, 2008, vol. 40, pp. 261–265.
- [19] N. Al-Masoud, “Embedding lifelong learning in engineering courses”.
- [20] D. Alghazzawi and H. Fardoun, “Developing an accreditation process for a computing faculty with focus on the IS program.”
- [21] C. K. Y. Chan, “Assessment for community service types of experiential learning in the engineering discipline,” *European Journal of Engineering Education*, vol. 37, no. 1, pp. 29–38, 2012.
- [22] M. E. Munano, “Internal stakeholders’ involvement in the strategic planning of the University of Venda,” 2013.
- [23] J. Babb, H. E. Longenecker Jr, J. Baugh, and D. Feinstein, “Confronting the issues of programming in information systems curricula: the goal is success,” in *Proceedings of the Information Systems Educators Conference ISSN, 2013*, vol. 2167, p. 1435.

**José Capacho.** Profesor asistente de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia). Doctor en Procesos de Formación en Espacios Virtuales de la Universidad de Salamanca (España, 2008). Master en Educación de la Universidad Javeriana (Colombia, 1996). Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander (UIS), de Bucaramanga (Colombia, 1982). Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte durante 34 años. Participante de los proyectos de acreditación internacional ABET (2003, 2008, 2015) y proyectos de acreditación nacional con el Consejo Nacional de Acreditación de Colombia, adscrito al Ministerio de Educación Nacional (1997, 2005, 2012). Profesor Investigador del Departamento de Ingeniería de Sistemas en el área de evaluación del aprendizaje del alumno en espacios de formación virtual apoyados por TIC.

[jcapacho@uninorte.edu.co](mailto:jcapacho@uninorte.edu.co)

**Miguel Jimeno.** Profesor asociado del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia). Graduado como ingeniero de sistemas de la Universidad del Norte en 2002. Magíster y Ph.D. en Ciencias de la Computación de University of South Florida, en 2007 y 2010, respectivamente. Profesor investigador del departamento en áreas de eficiencia energética y computación en la nube. Par de acreditación de programas de pregrado y posgrado ante el Consejo Nacional de Acreditación (CNA), así como par evaluador de artículos en conferencias y revistas de reconocimiento internacional.

[majimeno@uninorte.edu.co](mailto:majimeno@uninorte.edu.co)

---

# Buenas prácticas de *Assessment* en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena para la transición de *Student Outcomes* según el modelo de acreditación internacional - ABET

---

*Mónica Ospino-Pinedo, Julio C. Rodríguez-Ribón,  
Miguel A. García-Bolaños, Eduardo Sánchez-Tuirán*  
*Universidad de Cartagena*

## **Resumen**

La cultura de mejoramiento continuo en las facultades de ingeniería fortalece los procesos académicos en pro de la calidad, en una búsqueda constante de la excelencia. En los últimos años, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena viene generando una cultura de mejoramiento continuo; de allí que propende a procesos de autoevaluación que ayudan a autorregularse y emprender acciones de mejora continua que generan

conciencia en la comunidad académica de la pertinencia de los programas de ingeniería y el impacto con calidad en la región. Como resultado de lo anterior, la Facultad de Ingeniería obtiene la acreditación de alta calidad de sus programas presenciales y actualmente se prepara para valorarlos internacionalmente según el modelo de acreditación internacional ABET. El modelo ABET, que cambió recientemente, ha pasado de valorar 11 a 7 *Student Outcomes* (SO). Por ello, los programas académicos deben generar planes de transición a esta nueva forma de valoración que indica el modelo. El objetivo del presente trabajo es mostrar la experiencia que viene desarrollando la Facultad de Ingeniería relacionada con las acciones de transición y de preparación al nuevo modelo de medición de SO establecido por ABET. Como resultado de la transición se han generado nuevamente las rúbricas, el mapeo de cada asignatura y de SO y el ajuste al proceso y a las herramientas de assessment. En las conclusiones del trabajo se presentan expectativas y desafíos del nuevo modelo de SO para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena.

**Palabras claves:** ABET, acreditación internacional, ingeniería, plan de transición.

## I. Introducción

La acreditación fortalece la calidad de la educación superior y ofrece confianza a la sociedad acerca de la pertinencia de los programas académicos con las necesidades de la región y el país, y las tendencias y desafíos mundiales. El propósito de este artículo es mostrar la experiencia de la Facultad de Ingeniería en el proceso de transición que demanda el modelo de acreditación internacional ABET. El proceso de preparación le ha permitido a la facultad fortalecer los objetivos educativos de los programas académicos, las habilidades que deben desarrollar los estudiantes para el ejercicio de la ingeniería, las acciones de mejoramiento continuo, el currículo, el personal docente, la infraestructura y el apoyo institucional. Lo anterior ha fomentado un cambio en la cultura organizacional en pro de la mejora continua y de la autorregulación a través de procesos de autoevaluación que vienen generando transformaciones que fortalecen los programas académicos.

## II. Fundamentación teórica

La acreditación es un testimonio que da el Estado sobre la calidad de un programa o institución con base en un proceso previo de evaluación en el cual intervienen la institución, las comunidades académicas y el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) [1].

Generalmente, la acreditación académica es voluntaria y descentralizada, y la llevan a cabo muchas organizaciones no gubernamentales sin fines de lucro. El proceso de acreditación académica generalmente culmina en una revisión de calidad externa por parte de un equipo de expertos profesionales del mundo académico o industrial, quienes ofrecen voluntariamente su tiempo, conocimiento profesional y experiencia en este proceso de garantía de calidad y mejora continua de la educación en sus disciplinas.

La acreditación ABET no es un sistema de clasificación [2]. Es una forma de garantía de calidad para programas en las áreas de ciencia aplicada, informática, ingeniería y tecnología de ingeniería. La acreditación está reconocida a escala mundial como evidencia de que un programa cumple con los estándares establecidos por su profesión técnica.

ABET ofrece acreditación para programas académicos, no para títulos, departamentos, universidades, instituciones o individuos. Es una federación de sociedades profesionales [2]. Estas sociedades y sus miembros individuales colaboran para desarrollar estándares de calidad, conocidos como *ABET Criteria*, en los cuales se basan las evaluaciones de los programas en consideración para la acreditación [3].

Los criterios que se evalúan en el modelo de acreditación internacional ABET son los siguientes [4]:

1. **Estudiantes:** el rendimiento del estudiante debe ser evaluado. Su progreso ha de ser monitoreado para fomentar el éxito en el logro de los resultados, y así permitir que los graduados cumplan los objetivos educativos del programa (PEO, por sus siglas en inglés). Así mismo, deben ser informados sobre el currículo y los asuntos de la carrera.
2. **PEO:** el programa debe tener objetivos educativos publicados que sean consistentes con la misión de la institución, las necesidades de los diversos grupos del programa y estos criterios. Debe haber un proceso documentado, sistemáticamente utilizado y efectivo, que involucre a las partes interesadas en la revisión periódica de los PEO.

3. **Student Outcomes (SO):** el programa debe tener SO documentados que preparen a los graduados para alcanzar los PEO. En lo referente a este criterio, a partir del año 2018 el modelo modifica su medición de pasar de valorar 11 a 7 SO que debe adquirir el estudiante. Esto es obligatorio para los programas nuevos que han de presentarse a la acreditación internacional.
4. **Mejora continua:** el programa debe usar regularmente procesos apropiados y documentados para evaluar y determinar en qué medida se están logrando los SO. Los resultados de estas evaluaciones deben ser sistemáticamente utilizados como insumo para la mejora continua del programa. Otra información disponible también se puede usar para ayudar en la mejora continua del programa.
5. **Currículo:** el plan de estudios debe desarrollar efectivamente las áreas temáticas para apoyar los resultados de los estudiantes y los PEO.
6. **Faculty:** Cada miembro de la facultad que enseñe en el programa debe tener experiencia y antecedentes educativos consistentes con las contribuciones al programa que se esperan del miembro de la facultad. La competencia de los *faculty* debe demostrarse por factores tales como educación, credenciales profesionales y certificaciones, experiencia profesional, desarrollo profesional continuo, contribuciones a la disciplina, efectividad de la enseñanza y habilidades de comunicación. Colectivamente, los *faculty* debe tener la amplitud y profundidad para cubrir todas las áreas curriculares del programa. Los *faculty* que trabajan en el programa deben ser suficientes para mantener la continuidad, la estabilidad, la supervisión, la interacción del alumno y el asesoramiento.
7. **Instalaciones:** las aulas, las oficinas, los laboratorios y el equipo asociado deben ser adecuados para apoyar el logro de los SO y proporcionar un ambiente propicio para el aprendizaje. Las herramientas, el equipo, los recursos informáticos y los laboratorios modernos y apropiados para el programa deben estar disponibles, ser accesibles y mantenerse y actualizarse de manera sistemática para permitir a los estudiantes alcanzar los resultados del alumno y apoyar las necesidades del programa. Los servicios de biblioteca y la infraestructura de informática e información deben ser adecuados para respaldar las actividades académicas y profesionales de los estudiantes y la facultad.

8. **Apoyo institucional:** el apoyo institucional y el liderazgo deben ser adecuados para garantizar la calidad y la continuidad del programa. Los recursos que incluyen servicios institucionales, apoyo financiero y personal (tanto administrativo como técnico) proporcionados deben ser adecuados para satisfacer las necesidades del programa.

### III. Metodología

El 20 de octubre de 2017 la Delegación del Área de Ingeniería (*Engineering Area Delegation*) aprobó cambios en el modelo de acreditación internacional ABET en su Comisión de Acreditación de Ingeniería (EAC, por sus siglas en inglés). Los cambios aprobados están enmarcados en diferentes secciones del *Self Study Report* (SSR, el documento principal que deben diligenciar los programas que buscan la acreditación ABET para demostrar que cumplen con todos los criterios y políticas aplicables. Dichos cambios fueron aprobados en las siguientes secciones: 1) introducción y definición que aplica a todas las partes de los criterios; 2) criterio 3 (*Student Outcomes*), y 4) criterio 5 (Currículo).

ABET entiende que los programas que serán revisados durante los primeros uno o dos de la aplicación inicial de los criterios revisados requerirán uno o más años para realizar la transición. En estos casos, es importante que desarrollen un plan de transición y puedan proporcionar evidencia de que el plan se está siguiendo en el momento de su próxima revisión general. No obstante, estos cambios son obligatorios para los programas que se presentarán para revisión general en el ciclo de revisión 2019-20 [5], como en el caso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena.

En este sentido, se comenzó a trabajar con miras a diseñar y poner en marcha este plan de transición, para lo cual se siguieron estas etapas:

1. Revisión de los cambios aprobados: en esa primera etapa, se reunió el comité ABET de la facultad, el cual está conformado por el decano, el vicedecano curricular, los directores de programa y el coordinador de *assessment* de cada programa, para un total de diez personas.

e realizaron varias reuniones que tuvieron como objetivo revisar los cambios propuestos y aprobados para la EAC. Se utilizó para esta revisión el documento «EAC Mapping C3: A-K to C3: 1-7» [6], el cual presenta un mapeo de los cambios aprobados con la versión inmediatamente anterior de SSR.

Se estudiaron en detalle las nuevas definiciones incluidas en la aprobación, como son los conceptos de *College-level Mathematics*, *Complex Engineering Problems*, *Engineering Design*, *Basic Science*, *Engineering Science* y *Team*.

De igual manera, se revisó detenidamente el mapeo de los antiguos SO (a-k) a los nuevos SO (1-7).

2. Elaboración de un plan de transición: en esta segunda etapa, el comité ABET comenzó a trabajar en la elaboración de un plan para llevar a cabo la transición, inicialmente del criterio 3, de los SO (a-k) a los nuevos SO (1-7).
3. Implementación del plan de transición: luego de diseñado y aprobado el plan de transición, éste se puso en marcha en cada uno de los programas de la facultad. Involucrando a todos los actores del proceso, como el Comité Curricular y los profesores de cada programa, tanto de planta como catedráticos.

## IV. Resultados

El resultado de este trabajo ha sido la elaboración de un plan de transición que permita incorporar los cambios aprobados por la EAC de ABET para el ciclo de revisión 2019-2020, en los procesos de *assessment* que se implementan en los programas de Ingeniería Civil, Ingeniería Química, Ingeniería de Sistemas e Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena. El plan de transición diseñado se ilustra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Plan de transición para la incorporación de los cambios aprobados por la EAC de ABET para el ciclo de revisión 2019-20

Fase	Acción por realizar
1	Revisar los cambios en los SO acorde al documento «ABET mapping of Criterion 3: A-K to Criterion 3: 1-7».
2	Revisar los <i>Learning Objectives</i> .
3	Rediseñar las rúbricas para medir cada uno de los SO.
4	Rediseñar el mapeo de las asignaturas acorde al documento mapping of Criterion 3: A-K to Criterion 3: 1-7, a través del Comité Curricular.
5	Rediseñar el mapeo de <i>assessment</i> acorde al documento mapping of Criterion 3: A-K to Criterion 3: 1-7 por medio del Comité Curricular.

Fase	Acción por realizar
6	Reasignar líderes de SO 1-7 por medio del Comité Curricular.
7	Socializar los cambios aprobados por la EAC de ABET, el nuevo mapeo de asignaturas y de <i>assessment</i> y las nuevas rúbricas con todos los docentes por programa.
8	Realizar un análisis del ciclo anterior y valorar las acciones de mejora en cuanto a cómo afectarían a cada uno de 7 nuevos SO.
9	Definir los nuevos <i>targets</i> de medición por SO, teniendo en cuenta los resultados de <i>assessment</i> obtenidos en el ciclo anterior y el mapeo de los SO (a-k) y los nuevos SO (1-7).
10	Actualizar los formatos de actividades de <i>assessment</i> por asignatura, con el cual se realiza la planeación del proceso de <i>assessment</i> en cada curso.
11	Adaptar las herramientas en Excel para consolidación de datos de <i>assessment</i> y el análisis de los líderes de SO.
12	Socialización de las nuevas herramientas de Excel para consolidación de datos de <i>assessment</i> y el análisis de los líderes de SO.
13	Realizar valoración de <i>assessment</i> en el 2018-1 acorde a las indicaciones de ABET mapping of Criterion 3: A-K to Criterion 3: 1-7
14	Actualizar SSR_criterios 3-5.
15	Actualizar páginas web del programa académico.

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la implementación del plan de transición se han diseñado nuevamente las rúbricas, el mapeo del plan de estudios de cada programa, así como el mapeo de *assessment*. De igual manera se ha ajustado el proceso de *assessment* y se adaptaron las herramientas de consolidación de datos de *assessment*. Se designaron nuevos líderes para cada uno de los SO (1-7) y se ha iniciado el proceso de *assessment* con las nuevas rúbricas.

## V. Conclusiones y recomendaciones

La implementación de procesos de *assessment* junto con la incorporación de los cambios propuestos para el ciclo de revisión 2019-2020 son de gran beneficio para los procesos académicos de los programas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena. Dentro de las contribuciones, se puede mencionar que ABET provee un modelo claro y sistemático con las siguientes características:

- Enfatiza y facilita evaluación por competencias, entendiendo los SO como una descripción de lo que los estudiantes deben saber y ser capaces de hacer al graduarse del programa de estudios.
- Conduce a análisis permanente de estrategias de enseñanza implementadas a la luz de resultados de *assessment*.
- Promueve cultura de calidad por medio del mejoramiento continuo, tomando como insumo resultados de *assessment*.
- El uso de rúbricas facilita la evaluación por competencias y de los procesos académicos.
- Promueve interacción entre profesores.
- Promueve la planeación concienzuda y objetiva de instrumentos de evaluación o medición de SO.

El proceso de preparación para valorar los programas de ingeniería Civil, Ingeniería Química, de Sistemas y de Alimentos, ha generado varios retos en la facultad. El primero consiste en sacar a los docentes de su zona de confort concientizándolos en que las nuevas acciones que denota el proceso fortalecen la academia, le dan visibilidad y generan en la sociedad confianza en la pertinencia y calidad de los programas de ingeniería. También se debe generar una cultura de mejoramiento continuo que parte desde el aula de las actividades que el docente desarrolla día a día, mirando la integralidad y concordancia con los objetivos educacionales del programa. En conclusión, la acreditación exige una mentalidad de cambio constante y una búsqueda de la excelencia permanente, en la que el docente se convierte en un eje importante del fortalecimiento y ejecución de estos cambios.

## VI. Referencias

- [1] Consejo Nacional de Acreditación. República de Colombia. Recuperado el 20 de mayo de 2018 de <https://www.cna.gov.co/1741/article-186365.html>.
- [2] ABET. Recuperado el 15 de mayo de 2018 de <http://www.abet.org/>.
- [3] ABET. New to accreditation? Recuperado el 27 de mayo de 2018 de <http://www.abet.org/accreditation/new-to-accreditation/>.
- [4] ABET. Criteria for accrediting engineering technology programs, 2018-2019. Recuperado el 2 de mayo de 2018 de <http://www.abet.org/>.

org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-technology-programs-2018-2019/.

- [5]. ABET. Accreditation changes. Recuperado el 20 de abril de 2018 de <http://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/accreditation-alerts/>.
- [6]. ABET. Changes in Introduction, Including Definitions. Recuperado el 20 de abril de 2018 de [http://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/03/C3\\_C5\\_mapping\\_SEC\\_1-13-2018.pdf](http://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/03/C3_C5_mapping_SEC_1-13-2018.pdf).

**Mónica Ospino-Pinedo** se graduó como ingeniera de sistemas de la Universidad Tecnológica de Bolívar en el 2000. Graduada como especialista en Gerencia Educativa de la Universidad de San Buenaventura en 2006 y magíster en Dirección Estratégica de Tecnologías de Información y Empresas de Software de la Universidad Unini de Puerto Rico en 2014.

Ingresó a la Universidad de Cartagena como docente de cátedra en el año 2002 y asumió como docente de planta de tiempo completo en 2015. Tiene a su cargo la coordinación del Assessment y Mejoramiento Continuo desde hace 4 años en el Programa de Ingeniería de Sistemas.

Sus intereses de investigación incluyen la gestión de proyectos de *software* y de TIC, arquitecturas de *software*, ciudades inteligentes e inteligencia de negocios.

mospinop@unicartagena.edu.co

**Julio Cesar Rodríguez-Ribón** nació en Cartagena de Indias, Colombia, in 1973. Obtuvo su grado de Ph.D. en Ingeniería de Sistemas Telemáticos de la Universidad Politécnica de Madrid en 2012. Actualmente es el vice-Decano curricular de la Facultad de Ingeniería y profesor del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena.

jrodriguezr@unicartagena.edu.co

**Miguel A. García-Bolaños** es Ingeniero de Sistemas graduado del Politécnico Gran Colombiano - Comfenalco en 1998. Maestrante en Dirección Estratégica en Tecnología de la Información, Universidad Internacional Iberoamericana - UNINI Puerto Rico, Especialista En Gerencia Informática, convenio Universidad Rémington de Medellín-Tecnar.

Actualmente es representante de los Decanos de Ingeniería de la Ciudad de Cartagena al Consejo Profesional Nacional de Ingeniería COPNIA Seccional de Bolívar y Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena, periodo 2014 - 2018-2022.

mgarciab2@unicartagena.edu.co

**Luis Eduardo Sánchez-Tuirán** es Ingeniero Químico de la Universidad Industrial de Santander del año 2005. Recibió su título de Doctor en Ingeniería Química de la misma universidad en el año 2012.

Actualmente es Profesor Asistente, Coordinador de Assessment del Programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena. Tiene una experiencia profesional de 8 años en el sector de la Educación Superior.

esanchezt2@unicartagena.edu.co

---

# Actividades de enseñanza-aprendizaje autoevaluables para la solución de problemas complejos de diseño en ingeniería civil y *assessment* en el modelo de acreditación de ABET

---

*Augusto Sisa*  
*Universidad del Norte*

## **Resumen**

Este documento presenta algunas de las experiencias de buenas prácticas de *assessment* desarrolladas e implementadas dentro del marco de acreditación de programas de ingeniería de acuerdo con el modelo de ABET, y en particular para la evaluación del *Student Outcome* asociado

a diseño en ingeniería. Estas experiencias, además de satisfacer los requerimientos de ABET proveen simultáneamente un mecanismo para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje exponiendo a los estudiantes a problemas de complejidad similar a la encontrada en problemas reales fuera del contexto académico, pero a la vez permitiendo que la evaluación de este trabajo sea automatizable y aplicable de manera masiva a grupos de estudiantes grandes. La actividad presentada está basada en el uso de la herramienta computacional de Epanet para el cálculo de redes de tuberías para la distribución de agua (acueductos) y un conjunto de aplicaciones desarrolladas en Python para la evaluación del desempeño de los diseños propuestos por los estudiantes bajo un conjunto de condiciones predefinidas y la generación de reportes de retroalimentación y generación de *rankings* de desempeño.

**Palabras clave:** Assessment, Criterios de ABET, Acreditación, Enseñanza asistida por computador, Epanet, Educación profesional, Evaluación auto-calificable,

## I. Introducción

Los procesos de enseñanza-aprendizaje dentro del marco de la acreditación usualmente requieren un esfuerzo importante por parte de los docentes para poder realizar prácticas que conduzcan a un aprendizaje significativo por parte de los estudiantes. Pero con frecuencia, cuando se trata de temas de diseño en ingeniería, las prácticas similares a problemas reales suelen ser de difícil evaluación al demandar la lectura individual de diferentes tipos de reportes (uno por estudiante o grupo), además de la revisión de planos o sustentación oral o escrita, si se hace.

Esa situación genera que en la práctica se reduzca el tamaño y complejidad de los instrumentos de evaluación comparados con un problema real, de tal manera que puedan ser atendidos según las capacidades humanas de un docente, que entre varios elementos debe considerar al menos cuatro momentos: la preparación del instrumento, el acompañamiento a los estudiantes durante el desarrollo de la práctica, la evaluación de los resultados y, finalmente, la retroalimentación.

Como parte de la exposición de las experiencias se presenta un conjunto de antecedentes globales, institucionales y dentro del aula que permiten justificar las soluciones dadas a las necesidades encontradas, así como

el contexto actual de aplicación. Posteriormente se hace una descripción detallada de las actividades desarrolladas con los estudiantes y las herramientas preparadas para la evaluación de las actividades en el contexto del modelo de acreditación de ABET.

Este trabajo es una descripción más extensa y contextualizada pedagógicamente de las experiencias presentadas previamente por el autor en [1] y [2] con base en los trabajos realizados desde el año 2014 en este sentido.

## II. Antecedentes

### A. Antecedentes globales

El uso de las calificaciones académicas para evaluar y clasificar el trabajo de alumnos surge, según [3], [4], [5], durante la revolución industrial en el siglo XVIII como parte de la masificación de la educación y de la formación estandarizada en instituciones como la Universidad de Yale y la Universidad de Cambridge, en EE. UU. y el Reino Unido, respectivamente, aunque hay evidencia de formas institucionalizadas de evaluación en las antiguas dinastías chinas para acceder a puestos públicos, o en los sistemas de formación implementados por los jesuitas en algunas universidades de la Edad Media [5].

En tiempos anteriores y otros espacios la forma de evaluación del trabajo de los alumnos era bastante más abstracta y con frecuencia individualizada para cada estudiante si se compara con lo que se suele hacer hoy en muchas de las instituciones de formación superior, probablemente porque en aquel entonces el aprendizaje se realizaba mediante una relación más estrecha entre el maestro y el alumno, gracias a que los grupos eran bastante reducidos. Esto le permitía al docente conocer con detalle el trabajo de cada estudiante incluso mediado por el aislamiento de éste del mundo exterior en monasterios o internados. En estos sitios, por ejemplo, era mucho más común implementar estrategias como las del método socrático en el cual, a través de conversaciones y discusiones orales, simultáneamente se enseñaba y se evaluaba [5].

Hace algunos siglos también era común que el proceso de enseñanza-aprendizaje se diera a través de la práctica directa e inmediata de un aprendiz o estudiante en los encargos que tuviera su tutor o maestro. Pudo haber sido este el caso de varios artistas del Renacimiento italiano,

como Leonardo da Vinci, que en el taller de Andrea del Verrocchio parte de su formación probablemente incluía trabajar en producciones de este último y, como cuenta la leyenda, el trabajo de Da Vinci, *Los ángeles*, que completa el óleo *El bautismo de Jesús*, atribuido a Verrocchio.

Estas estrategias, aunque efectivas, tenían limitantes desde el punto de vista de la cobertura ya que la educación superior llegaba a una pequeña fracción de la sociedad usualmente ligada a la nobleza o la Iglesia, y dejaba de lado a gran parte de la población. Sin embargo, de la mano del desarrollo tecnológico y en especial después de la llamada primera revolución industrial, la demanda de personas con formación cada vez más elevada y el aumento de la población requirió la masificación de la educación lo cual está relacionado con la tendencia creciente de las tasas de alfabetización en casi todos los países del globo desde el Renacimiento europeo en el siglo XIV hasta la década actual como se muestra en la figura 1 basada en los datos compilados en [6].

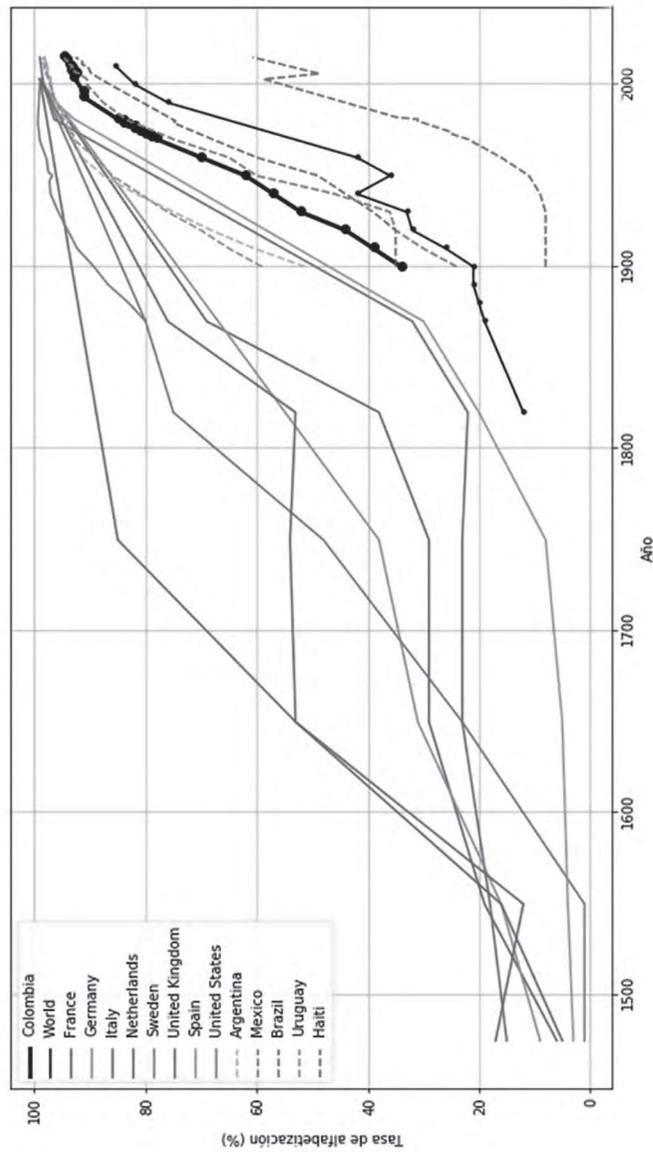
Es de destacar que la tendencia en los dos últimos siglos necesariamente se traduce en un incremento de la cantidad de estudiantes que atiende en promedio un docente además del incremento de la cantidad de docentes individuales, lo que plantea la necesidad de definir estrategias que permitan la masificación de la educación con buena cobertura y calidad.

## **B. Antecedentes institucionales**

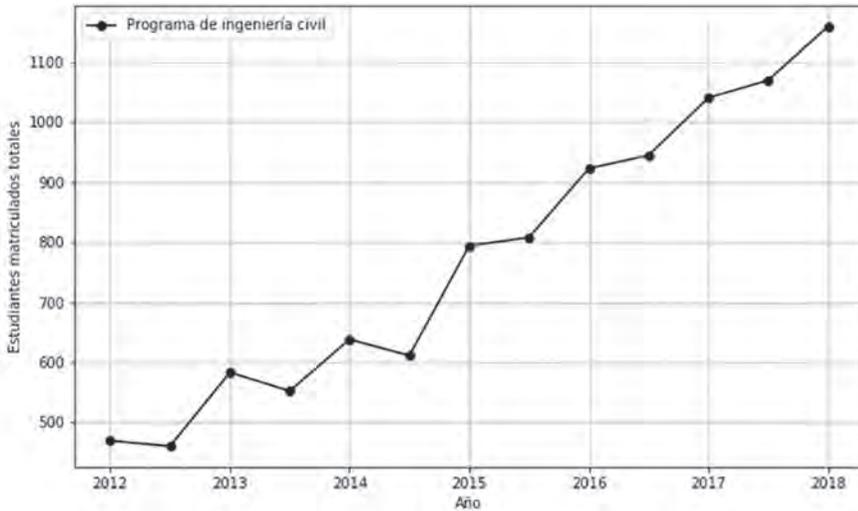
Dentro de la Universidad del Norte y en especial en la División de Ingenierías y el Programa de Ingeniería Civil, en los últimos años se ha presentado un incremento sustancial de la población de estudiantes, como se observa en la figura 2, de manera paralela a la implementación de varios modelos de acreditación tanto nacionales como internacionales que han llevado a la estandarización de procesos de registro de evidencia de la enseñanza-aprendizaje para mantener la calidad de la educación y satisfacer los criterios de acreditación.

Tal vez uno de los procesos más demandantes de registros de información implementados en la Universidad del Norte es el modelo de acreditación de los programas de ingeniería con ABET, en el cual todos los programas de la División de Ingenierías de manera independiente entre otras aspectos deben diseñar, implementar y revisar un mecanismo de evaluación de los siete *Student Outcomes* (SO) [7] [8].

**Figura 1.** Tasa de alfabetización de la población por países y a escala global en los últimos siglos. Los datos para Colombia están limitados al último siglo, y los datos agregados a escala global sólo cubren los últimos dos siglos. En general, se observa el aumento de las tasas de alfabetización; sin embargo, muchos de los países latinoamericanos apenas han alcanzado los niveles de países desarrollados antes de la revolución industrial. Datos tomados de [6].



**Figura 2.** Población de estudiantes del Programa de Ingeniería Civil en la Universidad del Norte. El aumento de la población tiene diversas explicaciones, pero se debe destacar que durante el periodo mostrado la institución ha recibido a un gran número de beneficiarios del programa de becas estatales conocido como Ser Pilo Paga.



Fuente: Datos tomados de [9]

Este proceso, en el caso del Programa de Ingeniería Civil, requiere que en cada curso obligatorio o troncal del plan de estudios se evalúe con detalle uno o dos de los siete SO, lo que implica que durante el curso se debe medir el grado de suficiencia que han alcanzado los estudiantes en cada uno de los *Performance Indicators* (PI) que a su vez son definidos para cada SO en la División de Ingenierías de la institución.

El registro de la información constituye parte del portafolio del curso e incluye, entre varios elementos, la evidencia del trabajo de una muestra de los estudiantes y un análisis que puede ser cualitativo o cuantitativo, pero en cualquiera de los dos casos se debe realizar periódicamente. Como parte del proceso de *assessment*, es necesario usar esa evidencia recolectada para verificar que se han alcanzado los objetivos propuestos e identificar oportunidades de mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

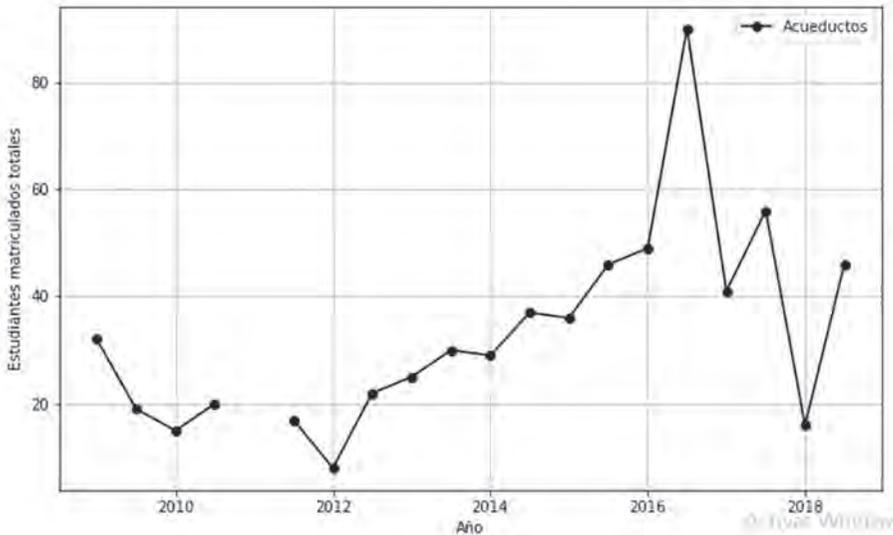
### C. Antecedentes en la asignatura

Una de las asignaturas troncales del programa de ingeniería civil de la Universidad del Norte es Acueductos y Alcantarillados. Al igual

que el programa, este curso también ha aumentado la cantidad de estudiantes inscritos, lo que llevó inicialmente a aumentar la cantidad de estudiantes por grupo; posteriormente a los grupos disponibles por periodo académico y, finalmente, la cantidad de profesores que ofrecen la asignatura.

Esta tendencia de crecimiento de la población se puede observar en la figura 3, donde se muestra la cantidad de estudiantes inscritos en los cursos de la asignatura Acueductos y Alcantarillados, a cargo del autor de este trabajo. Para dar contexto a esta figura vale la pena destacar que durante el periodo comprendido entre 2011 y 2016 solamente se requería un docente para atender la población de este curso, pero la fuerte tendencia de crecimiento llevó a que durante 2017 el departamento ampliara la planta de profesores que atienden esta asignatura.

**Figura 3.** Población de estudiantes inscritos en cursos de acueductos a cargo del autor. Se observa una tendencia creciente constante durante el periodo 2011-2016; a partir de 2017 se aumentó la planta de profesores que ofrece este curso con lo cual se redujo la cantidad de estudiantes asignados a un único profesor.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, y paralelo a la coyuntura mostrada antes de los procesos de acreditación e incrementos de población en los cursos

sujeto de discusión, la Universidad del Norte también cuenta con varias dependencias dedicadas a fortalecer la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de manera institucional, más allá de las necesidades específicas de acreditación. Una de estas dependencias es el Centro para la Excelencia Docente (CEDU), en el cual se apoyan los procesos de creación de material educativo, desarrollo de innovaciones en el aula mediadas o no por tecnología, asesoramiento pedagógico y diagnóstico de cursos, entre otras actividades [10].

Como parte de las actividades del CEDU, durante 2014 y 2015 se realizó una prueba piloto para implementar el enfoque pedagógico del aprendizaje invertido [11] en algunos cursos de la universidad. Una de las asignaturas de aplicación fue el curso Acueductos y Alcantarillados, del cual se seleccionaron en 2015 algunos contenidos para darles el enfoque de aprendizaje invertido [1], y finalmente éstos se convirtieron en la primera conceptualización pedagógica y tecnológica de la experiencia descrita en este documento.

Como resultado de esta prueba piloto se diseñaron nuevos ejercicios y se adaptaron algunos existentes para contribuir al desarrollo de un aprendizaje más profundo y reducir el interés del aprendizaje estratégico que algunos estudiantes mostraban al presentar su trabajo y enfocarse en inferir qué o cómo se iba a evaluar el curso, más que en adquirir un conocimiento significativo. En este punto en particular, de acuerdo con [12], es muy importante la estructura de la evaluación y la forma en la que se implementa.

Otra actividad realizada junto con el CEDU incluyó la discusión de textos como el Bain [12]. Dentro de estos ejercicios de lectura y charla se identificó que con mucha frecuencia era bueno para el proceso de enseñanza-aprendizaje que los estudiantes sintieran como estímulo obtener una nota al final del trabajo realizado, ya que, de lo contrario, incluso estudiantes buenos no lo harían si se asignaba, pero sin nota y en especial porque al tener una restricción de tiempo usualmente iban a dar prioridad a una actividad que sí tuviera nota. Además de que así el trabajo no tuviera nota los estudiantes que lo hicieran demandarían una retroalimentación, lo cual implicaría de todas maneras una revisión por parte del docente, aunque no se buscara una nota.

### III. Requerimientos para el diseño de la experiencia

A primera vista es bastante retador tratar de establecer mecanismos de evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje que contribuyan a generar aprendizaje significativo en problemas de diseño en ingeniería, pero que simultáneamente puedan ser aplicados a grupos grandes, que la calificación del trabajo sea objetiva y además tenga un consumo de tiempo moderado para el docente.

Probablemente durante el siglo XX, con el desarrollo de los primeros computadores en muchas instituciones e incluso a escala estatal se dio prioridad a la satisfacción de la necesidad de realizar evaluaciones masivas, objetivas, con bajos requerimientos de tiempo para su calificación y la importancia de utilizar la evaluación como un mecanismo de enseñanza. El resultado de esto es que la evaluación uno a uno del pasado, estudiante-profesor, o la escritura de trabajos escritos se ha reducido notablemente en favor de las evaluaciones basadas en preguntas de selección múltiple con única respuesta que son fácilmente autoevaluables y que, por tanto, son altamente eficientes desde el punto de vista del profesor, pero no necesariamente desde el punto de vista del alumno [13].

Lastimosamente, la aplicación rutinaria de pruebas estandarizadas y objetivas de manera masiva basadas en preguntas de selección múltiple con única respuesta fácilmente caen en la superficialidad de la evaluación estratégica o pueden ser bastante limitadas o categorizadas como reduccionista por las formas tecnológicas de evaluación en sí [5].

Por ejemplo, en la última década del siglo XX era común encontrar guías con recomendaciones acerca de cómo aprovecharse del hecho de que en las preguntas de selección múltiple con respuesta múltiple que se incluían en las pruebas de Estado, llamadas en aquel entonces pruebas Icfes y hoy Saber 11, no existía la opción de que la respuesta 1 y la 4 fueran correctas pues el instrumento de evaluación sólo podía tener cinco alternativas e incluir esta combinación implicaba que el instrumento y todo el sistema diera seis opciones.

Sin embargo, fuera del contexto de evaluaciones masivas como las que realiza el Icfes y concentrándose en el aula se encuentra que al consultar a docentes acerca de lo más difícil de ser profesor, con frecuencia se indica que uno de los elementos más complicados o demandantes del ejercicio docente es el proceso de calificar, y aún más cuando se trata que las

calificaciones midan lo que la sociedad considera complejo, o importante o crítico [14] [15].

### A. ¿Qué calificar? y ¿cómo calificar?

De acuerdo con las más recientes revisiones de la taxonomía de Bloom mostradas en [16] y [17], dentro de la dimensión cognitiva las habilidades de orden superior son “evaluar” y “crear” (figura 4), y en el contexto de una clase universitaria estos niveles de las habilidades cognitivas son con frecuencia los niveles ideales e interesantes para incluirlos en una valoración de las habilidades del estudiante. Sin embargo, la calificación de estos niveles también suele ser una de las más complejas o al menos de las que más tiempo le puede tomar al docente.

Si, además, se trata de evaluar procesos de pensamiento de orden superior con pruebas de selección múltiple de única respuesta, el rango de acción se ve bastante limitado y en ocasiones alejado de las condiciones reales a las que se enfrentará el egresado de un programa de ingeniería, lo que sería un factor que contribuiría al aprendizaje estratégico y no al aprendizaje profundo, de acuerdo con [12].

Figura 4. Revisión de taxonomía de Bloom



Fuente: Tomada de [16] [17]

Por ejemplo, para empezar, es casi imposible que ante un problema real de diseño en ingeniería las opciones de respuesta estén predefinidas, como ocurre en una pregunta de selección múltiple con única respuesta. El proceso de diseño incluye la generación de opciones para seleccionar entre ellas.

Por otro lado, en el contexto de acreditación con el modelo ABET, el criterio 3 de los *Student Outcomes (SO)*, tanto en las especificaciones para el ciclo 2018-2019 como para el ciclo 2019-2020 se incluyen habilidades de diseño (ítems c o 2 en la tabla 1) como una de las características esperadas de los egresados de un programa de ingeniería [7] [8] y que desde el punto de vista cognitivo, de acuerdo con la taxonomía de Bloom, alcanzan los más altos niveles de esta dimensión.

**Tabla 1.** *Student Outcomes* asociados a diseño en el sistema de ABET

2018-2019	2018-2020
SO – c: an ability to design a system, component, or process to meet desired needs within realistic constraints such as economic, environmental, social, political, ethical, health and safety, manufacturability, and sustainability	SO – 2: an ability to apply engineering design to produce solutions that meet specified needs with consideration of public health, safety, and welfare, as well as global, cultural, social, environmental, and economic factors.

Como se mencionó antes, en la Universidad del Norte se decidió mantener los SO en inglés para evitar diferencias de interpretación o redacción en la documentación asociada al proceso de acreditación.

Fuente: Adaptado de [8]

Uniendo los dos aspectos mencionados, se encuentra con frecuencia que las evaluaciones enfocadas en valorar las habilidades de diseño tienen restricciones tanto para los estudiantes como para los docentes que hacen que la misma se aleje de la realidad de la práctica de diseño para ajustarla a las condiciones de clase.

Para los estudiantes suele haber diferencias entre la valoración y la realidad en los recursos disponibles (tiempo y dinero), o en el tamaño (complejidad) del diseño en sí. Desde el lado de los profesores un problema demasiado complejo de diseño puede ser escasamente evaluado o al menos tratado superficialmente o ser poco práctico para calificarlo en un tiempo razonable al tener que revisar memorias de cálculo muy extensas, planos de detalle numerosos y un procesamiento computacional para muchos grupos o estudiantes.

Esto hace que, finalmente, en ocasiones el docente tenga que simplificar el problema a un nivel que lo haga calificable adecuadamente dentro de la disponibilidad habitual de tiempo de un profesor o reducir el alcance considerando los recursos a los que tienen acceso los estudiantes como por ejemplo capacidad computacional o licencias de *software* específico.

Con este escenario se buscaba diseñar para el curso Acueductos y Alcantarillados, y en particular para el tema de diseño de redes

de distribución de agua, un conjunto de actividades de enseñanza-aprendizaje que satisficieran los siguientes criterios:

- Procesos cognitivos de evaluación y creación de acuerdo con la taxonomía de Bloom en el contexto de diseño de redes de tuberías para el transporte de agua [16].
- Complejidad similar a la de un problema de diseño real en ingeniería.
- Aplicabilidad dentro del enfoque de aprendizaje invertido en la fase durante [11]
- Contribución a la formación de aprendizaje profundo y no estratégico [12].
- Flexibilidad acerca de la forma de afrontar y solucionar el problema.
- Modelo centrado en el trabajo del estudiante y no del profesor, en el cual éste actúa como facilitador y no como director.
- Desarrollo de habilidades con las metodologías y herramientas comunes utilizadas en la práctica común de la ingeniería en Colombia y la región Caribe.
- Calificación automática por parte del profesor.
- Generación de reportes de retroalimentación de las evaluaciones.
- Evidencia que sustente la cuantificación objetiva del desempeño de los estudiantes frente al modelo de acreditación de ABET [7].
- Evaluación de los *Performance Indicators* del *Student Outcome* SO-c o SO-2.

## IV. Experiencia aplicada

### A. Contexto de aplicación

Las experiencia base para este trabajo ha sido desarrollada en el Programa de Ingeniería Civil de la Universidad del Norte desde 2015 hasta la actualidad, en la asignatura Acueductos y Alcantarillados, que forma parte del grupo de cursos de formación profesional del plan de estudios vigente a la fecha [18] y usualmente la cursan los estudiantes al final de su carrera, entre los semestres ocho y diez.

Esta asignatura se ofrece semestralmente y tiene una duración de 16 semanas y 3 créditos en grupos de máximo 40 estudiantes. Durante los

años de implementación se ha realizado esta práctica como máximo en tres grupos de forma simultánea en 2016, cuando se contaba con 90 estudiantes inscritos en total (figura 3).

## B. Descripción

Con el objeto de evaluar el *SO-c* (desde 2018 ABET modificó la definición del *SO* a *SO-2*) en los cursos de implementación se diseñó un concurso por grupos inspirado en una competencia desarrollada en 2012 llamada *The Battle of the Water Networks II (BWN-II)*, en la cual participaron varias universidades alrededor del mundo y en la que se buscaba encontrar la solución que minimiza los costos de capital (Capex) y los de operación (Opex) de una red de acueducto compleja cuyos métodos básicos usualmente descritos en los libros de texto eran insuficientes y, por tanto, se requería algún nivel de heurística o soporte computacional [19] and the addition of a new development area. The design decisions involved addition of new and parallel pipes, storage, operational controls for pumps and valves, and sizing of backup power supply. Design criteria involved hydraulic, water quality, reliability, and environmental performance measures. Fourteen teams participated in the Battle and presented their results at the 14th Water Distribution Systems Analysis (WDSA 2012).

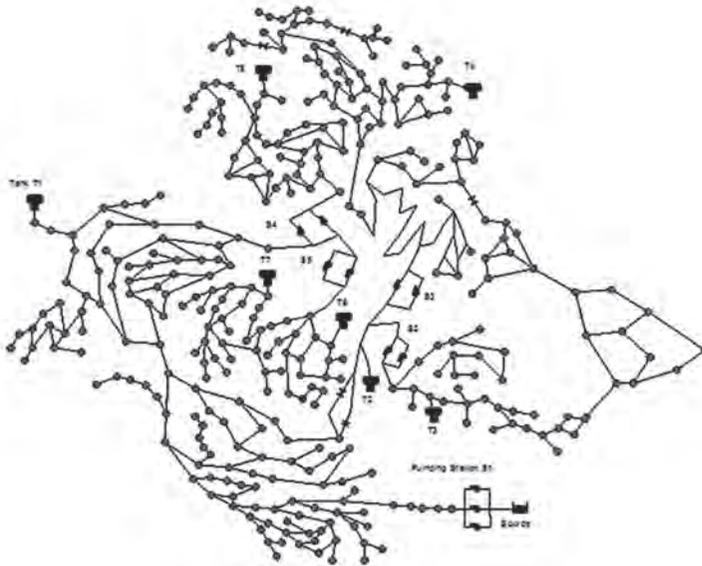
La red utilizada originalmente, y que fue ligeramente adaptada para el escenario colombiano, corresponde a una ciudad ficticia llamada D-Town, que cuenta con 399 nudos, 1 embalse, 7 tanques, 443 tubos, 11 bombas, 5 válvulas y muchas de las variables como presión, demanda, costo de energía, además de tener variaciones cada quince minutos a lo largo de una semana de simulación en la demanda de agua y precio de la energía (figura 5).

Entre las ventajas de usar una red como ésta se destaca su tamaño, ya que es frecuente que en los problemas de los libros de texto orientados a la enseñanza de estos temas las redes como máximo lleguen a 10 o 20 tubos con uno o dos tanques, con lo cual el proceso y los potenciales problemas de diseño se reducen sustancialmente por la simplicidad de ellas.

## C. Trabajo docente

Una de las principales dificultades para implementar una actividad con una red tan compleja como la descrita, en la cual se deben usar y evaluar niveles cognitivos superiores, es que en el escenario de una clase la calificación de cada participante (estudiante o grupos de estudiantes con una propuesta de diseño) puede tomar cerca de 20 a 30 minutos si se hace

Figura 5. Esquema de la red de acueducto (D-Town) [19] and the addition of a new development area. The design decisions involved addition of new and parallel pipes, storage, operational controls for pumps and valves, and sizing of backup power supply. Design criteria involved hydraulic, water quality, reliability, and environmental performance measures. Fourteen teams participated in the Battle and presented their results at the 14th Water Distribution Systems Analysis (WDSA 2012)



manualmente o incluso un poco más si se hace como lo haría en realidad un interventor de un proyecto de diseño al tratar de evaluar que los nodos satisfagan presiones mínimas y máximas, que los tanques no fallen, que el consumo de energía sea razonable, entre otras muchas especificaciones usuales en problemas reales de diseño, circunstancia en la cual la revisión de un curso tardaría incluso semanas.

Con esta situación y con el objeto de facilitar el trabajo docente manteniendo la posibilidad de enfrentar al estudiante a una red como la de D-Town, se diseñó desde la primera implementación de la práctica una aplicación computacional en el lenguaje Python y en ANSI-C que recibiera todas las actividades enviadas por los estudiantes y para cada una de ellas revisara y evaluara el cumplimiento de las restricciones de diseño y los Capex y Opex, y generara reportes como los que se muestran a continuación.

La aplicación, además de revisar y evaluar todos los envíos rápidamente y con muy baja intervención del docente, ofrece de manera muy objetiva una medición de las habilidades de diseño del estudiante y, adicionalmente, permite agregar funcionalidades para generar reportes detallados utilizados como retroalimentación de la práctica.

Si bien la herramienta computacional podría ser utilizada en un contexto real de diseño su conceptualización y desarrollo, está orientado a satisfacer muchos de los requerimientos de evaluación en el contexto de acreditación de ABET [7] y la aplicación de la técnica de aprendizaje invertido [1].

#### **D. Salidas de la herramienta computacional implementada**

A manera de ejemplo, a continuación, se muestran algunas de las salidas típicas que genera la herramienta computacional implementada.

Una de las salidas más importantes es el resultado de importar cada archivo de Epanet enviado por los estudiantes, correr el modelo hidráulico y extraer de él todos los resultados hidráulicos del mismo y con ellos calcular aspectos como los mostrados en el ejemplo de la tabla 2, así:

- Costo de la construcción de tuberías nuevas: elementos que no estaban previamente en la red.
- Costos de la construcción de tuberías en paralelo: elementos agregados a la red existente para reforzar el comportamiento de la misma ante nuevas solicitudes. De esta manera se modela el ejercicio típico de mejorar una red existente en la vida real.
- Costos constructivos de ampliación de tanques de almacenamiento.
- Costos de instalación de bombas nuevas o modificación de existentes.
- Costos de la energía consumida por las bombas.
- Identificación de instantes y lugares con fallas de presión que podrían estar asociadas con fallas en la calidad del servicio de la red de acueducto.
- Identificación de instantes con tanques de almacenamiento vacíos, lo que estaría asociado a fallas en el servicio de la red de acueducto.

Con esta información fácilmente se identifica qué redes satisfacen las necesidades del diseño además de que se establece una jerarquía entre ellas. Este aspecto se utiliza de varias maneras, aunque se destacan dos: 1) estímulo al espíritu de competencia tanto contra los integrantes del curso como contra los participantes en la competencia del concurso de 2012 organizado por la ASCE, y 2) un mecanismo para reducir los potenciales casos de fraude.

Además de esta salida para cada uno de los modelos evaluados, a manera de retroalimentación se generan reportes en HTML y PDF con aspectos como los que se describen a continuación:

Inicialmente se genera una tabla, como el fragmento que se muestra en la figura 6, que incluye cada una de las modificaciones realizadas en la alternativa propuesta por el estudiante asegurando que se cumplan las condiciones del ejercicio, como por ejemplo usar diámetros disponibles comercialmente para las tuberías, conectar sitios que en la realidad existan, no modificar aspectos restringidos como la topografía, entre otras cosas.

Seguidamente, el reporte incluye imágenes como la figura 7, donde se incluye un histograma con los registros de presión de una red con resultados buenos. Si una red no cumple con las restricciones, el reporte, además del histograma, incluirá varias tablas indicando los lugares con fallas del servicio como el fragmento mostrado en la figura 8 donde se indica el valor de la presión mínima, el nodo con la falla y la primera vez que se encontró esta falla.

Durante el desarrollo se han probado varias maneras de comunicar los resultados y una de ellas fue generar una imagen en la cual fuera posible mostrar cómo a lo largo del tiempo cambiaba la presión en todos los nodos de la red, pero dado que eso para una red con más de diez elementos haría que la gráfica con estas series de tiempo fuera imposible de entender, se incluyó en la herramienta una gráfica adicional como la mostrada en la figura 9 donde se representa con colores una matriz que almacena por filas la presión en cada uno de los nodos. Esta salida permite identificar rápidamente la cantidad de elementos con presiones extremas para la alternativa propuesta. En la práctica, esta figura no ha sido muy bien recibida por los estudiantes quienes han preferido usar las otras tablas generadas.

**Tabla 2.** Resultados de la aplicación computacional para un grupo de estudiantes

**Análisis de costos y objetivos de modelos alternativos**

Modelo	Archivo	C. Tuberías nuevas C. Tuberías paralelas C. Tanques modificados C. Bombas nuevas C. Bombas modificadas C. Válvulas nuevas CAPEX C. Energía OPEX Total Costos Energía consumida Edad del agua	(US)	(US)	(US)	(S)	(US)	(US)	(US)	(Mw-h/año)	(tiempo)			
1			31.96	41.49	14.02	0.00	0.00	38.00	87.51	253.90	253.90	341.41	2049.21	0.00
2			32.99	6.47	202.97	0.00	0.00	38.00	242.46	271.53	271.53	513.99	2191.53	0.00
3			32.99	27.96	0.00	4.13	0.00	38.00	65.12	287.92	287.92	333.04	2323.78	0.00
4			32.99	5.40	148.67	0.00	0.00	38.00	187.10	269.35	269.35	456.45	2173.93	0.00
5			32.99	36.75	0.00	0.00	0.00	38.00	69.77	250.36	250.36	320.14	2020.69	0.00
6			33.57	51.64	0.00	4.13	0.00	323.00	89.67	321.96	321.96	411.62	2598.52	0.00
7			33.57	40.40	174.93	4.13	0.00	38.00	253.07	305.23	305.23	558.30	2463.50	0.00
8			30.25	31.91	0.00	0.00	0.00	0.00	62.16	245.65	245.65	307.81	1982.67	0.00
9			32.99	34.37	122.42	0.00	0.00	38.00	207.08	250.17	250.17	457.25	2019.17	0.00
10			32.99	59.74	0.00	3.23	0.00	38.00	95.99	238.81	238.81	324.80	1846.75	0.00
11			0.00	82.89	75.23	0.00	3.23	38.00	161.38	240.58	240.58	401.97	1941.75	0.00
12			41.41	23.98	14.02	0.00	4.34	38.00	83.79	246.27	246.27	330.06	1987.69	0.00
13			32.99	97.38	30.64	17.54	22.34	323.00	201.20	244.08	244.08	445.28	1969.96	0.00
14			32.99	51.09	0.00	0.00	9.11	38.00	93.22	243.39	243.39	336.61	1964.45	0.00
15			32.99	39.86	0.00	0.00	0.00	38.00	72.88	293.79	293.79	366.67	2371.16	0.00

**Análisis de validación de modelos alternativos**

Modelo	Archivo	Violaciones de presión mínima en nodos con consumo	Presión mínima registrada en nodo con consumo (m)	Violaciones de presión mínima en nodos sin consumo	Presión mínima registrada en nodo sin consumo (m)	Violaciones de presión máxima registrada en nodos	Presión máxima registrada en nodos (m)	Violaciones de nivel mínimo en tanques	Violaciones de nivel inicial y final en tanques
1		0	25.54	0	2.95	487	112.70	0	3
2		6668	0.15	380	-8.01	1388	115.06	340	5
3		1095	17.52	0	2.95	3119	115.66	0	0
4		5961	0.70	450	-8.34	942	116.62	120	4
5		0	25.04	0	2.95	1605	112.35	0	0
6		127	23.11	0	2.90	1043	115.76	0	0
7		0	25.34	0	2.94	477	112.77	0	0
8		0	25.05	0	2.95	389	112.54	0	1
9		0	25.11	0	0.00	560	111.62	0	0
10		0	25.09	0	2.97	322	107.22	0	1
11		0	25.43	0	2.95	1254	116.54	0	1
12		1179	17.10	0	2.94	915	116.63	40	4
13		0	25.02	0	2.94	118	101.56	0	3
14		17	20.25	0	2.94	760	115.97	0	0
15		254	20.09	0	2.95	2867	147.20	0	0

Figura 6. Salida con el resumen de validación y modificaciones de la red

**Detalles de validación**

1. El tanque T2 ha cambiado el diámetro de 20.78m a 100.00m
2. El tubo 18 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base
3. El tubo 19 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base
4. El tubo 20 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base
5. El tubo 21 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base
6. El tubo 22 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base
7. El tubo 23 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base
8. El tubo 24 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base
9. El tubo 25 no esta en la lista de tubos nuevos del modelo base

Figura 7. Histograma con los registros de presión mínima en la red. La herramienta diferencia aquellos nodos sin consumo de los que sí tienen una demanda de agua, y para cada categoría aplica reglas diferentes. En particular, para los nodos con demanda se requiere una presión mínima de 15 mca y para los nodos sin demanda que la presión sea positiva.

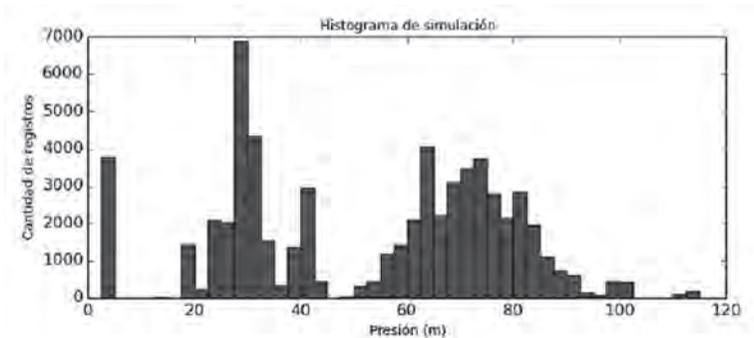
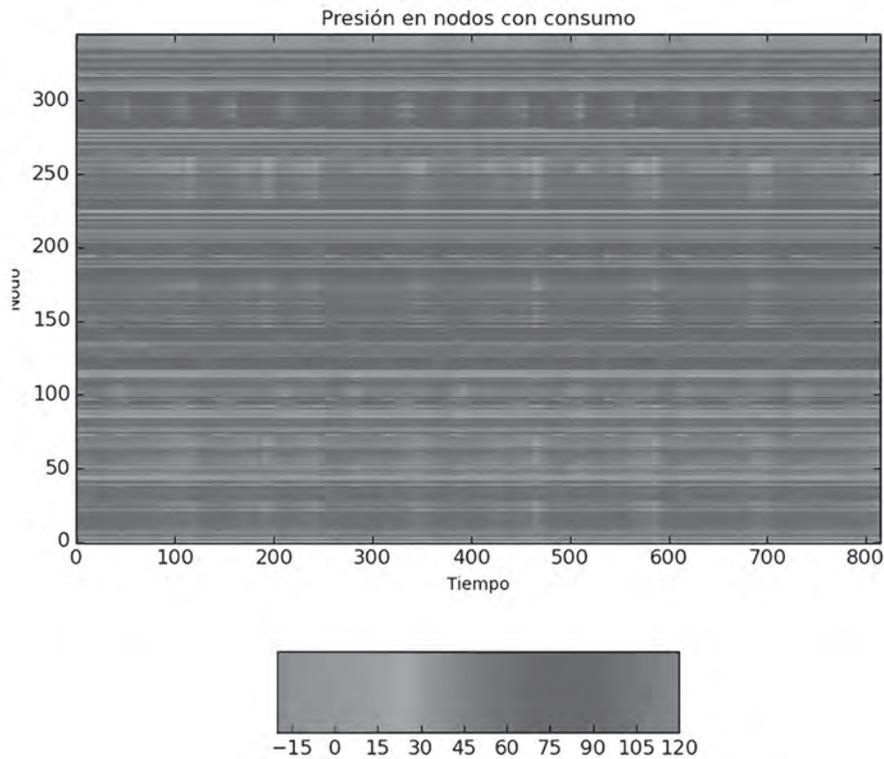


Figura 8. Fragmento de una de las tablas de reporte con fallas de presión identificadas por la herramienta

Presiones mínimas en nodos con consumo					
Contador	Indice Epanet	Nombre	Presión mínima (m)	Primera ocurrencia (horas)	Cantidad infracciones (-)
3	3	J414	13.81	167.88	32
4	6	J417	8.95	167.88	49
22	27	J421	8.97	167.88	49
27	36	J1158	20.66	167.88	4
46	55	J54	23.07	104.75	24
54	63	J1160	15.25	167.88	8

**Figura 9.** Comportamiento de presión a lo largo del tiempo para todos los nodos de la red



## V. Conclusiones y futuro

Durante el tiempo de implementación de esta estrategia se han obtenido, a juicio del docente, excelentes resultados al exponer al estudiante a problemas complejos que demandan muchos niveles de procesamiento cognitivo de orden superior un poco más similares a los que enfrentara en el futuro como egresado, en comparación con los problemas a los que se enfrenta en los libros de texto.

Se logró encontrar una forma de retroalimentar de forma detallada los resultados obtenidos por el estudiante a la vez que se generaba evidencia suficiente para sustentar los procesos de acreditación como los de ABET.

Al encontrar una forma automática y objetiva de evaluar la calidad de la solución de un problema complejo como el descrito, se logró crear un estímulo esperado por los estudiantes al beneficiar con una nota positiva un buen trabajo. Así se evitó que, como ocurrió en el pasado, cuando

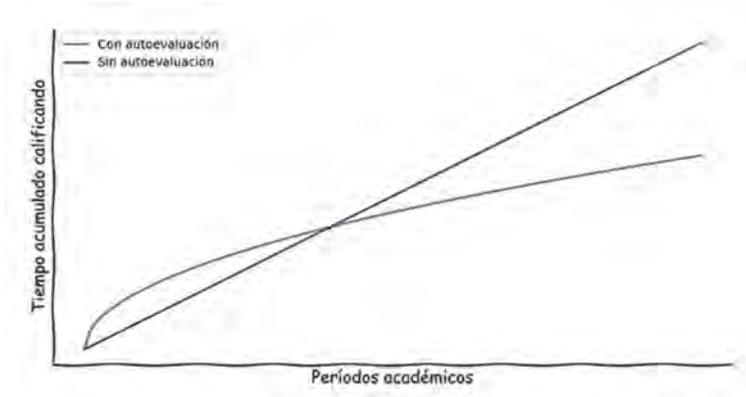
se asignaban trabajos sin nota muchos estudiantes no los realizaban y perdían la experiencia que enfrentarse a estos problemas.

Muchas de las estrategias de educación modernas son muy precisas al destacar que deben estar centradas en el estudiante, y eso está bien en la gran mayoría de los casos. Pero hay que mencionar que en el proceso de enseñanza-aprendizaje en algunos momentos el profesor desempeña un papel que demanda bastante tiempo, en especial al calificar, lo que con frecuencia reduce la disponibilidad para otras actividades que van desde la investigación, la familia o las aficiones, pasando por la mejoría de la clase a través de la actualización o el desarrollo de nuevas experiencias. Por tanto, es importante que procesos como calificar grandes grupos de estudiantes o generar extensos reportes de acreditación no se vuelvan el centro de la rutina docente. En ese sentido, la herramienta presentada contribuye notablemente a reducir los tiempos de calificación y generar retroalimentación a mínimos aceptables en muchos de los casos.

Probablemente, introducir herramientas computacionales como la descrita en este trabajo no es bien recibido por muchos docentes profesionales en áreas diferentes a las de ciencias de la computación por el temor a tener que desarrollar la herramienta. Pero una ventaja de estas estrategias computacionales, como las de cualquier *software*, es que los usuarios no tienen que ser los mismos desarrolladores, así que las herramientas pueden ser fácilmente reutilizadas por otros profesores e incluso usarse de manera estandarizada para aprovechar las mismas rúbricas en diferentes grupos de las mismas asignaturas o desarrolladas a escala institucional en los cursos sujetos de aplicación.

Otro temor frecuente en los profesionales que no son del área de ciencias de la computación es el tiempo que se consume durante el desarrollo de la aplicación. Pero hay que tener en cuenta que la posibilidad de reusar una herramienta como esta semestre tras semestre y grupo tras grupo les permite incluso a personas con conocimientos básicos que aunque el usuario y el desarrollador sean la misma persona, con el paso de los periodos académicos el tiempo acumulado en calificar de buena manera se reducirá notablemente. Esto es especialmente visible a lo largo de la vida del docente, como se muestra a manera de caricatura en la figura 10 donde tal vez los primeros años la evaluación manual parezca más rápida al evitar programar, pero con toda certeza la herramienta reducirá el tiempo acumulado e incluso lo agregará al desarrollo de la herramienta.

**Figura 10.** Caricatura acerca del tiempo acumulado calificando vs. Periodos académicos. Los datos utilizados para generar esta figura son una herramienta didáctica del autor y no son producto de un ejercicio de medición detallada del tiempo utilizado.



## A. Hacia el futuro

Para el futuro cercano se tiene como objetivo integrar con la herramienta otros productos. Por ejemplo, un generador automático de redes e hidrosistemas que pueda llevar a crear un repositorio de prácticas autoevaluables inspirado en trabajos como los descritos en [20] y que aproximen al estudiante más a la realidad de diseño en su ejercicio profesional sin sobrecargar al docente. De esta manera, además de la actual red D-Town se podrían usar otras sin tener en cuenta aspectos de derechos de autor asociados a redes reales complejas de ciudades existentes, usualmente protegidas por algún nivel de secreto industrial o comercial.

A mediano plazo se busca ampliar la herramienta para que no dependa de la aplicación tradicional de Epanet sino que pueda ser ejecutado desde un *notebook* de Jupyter con Python, accesible desde un navegador web similar a la propuesta mostrada en [21]. De esta manera se flexibiliza la interacción del estudiante con la red y se simplifica la edición del modelo en Epanet que suele ser una de las limitaciones que mencionan con mayor frecuencia los estudiantes al realizar la práctica. Aunque en este momento se podría implementar rápidamente, se ha evitado hasta encontrar una forma en la cual los requerimientos de programación por parte de los estudiantes sean los mínimos posibles y el curso siga siendo de “acueductos y alcantarillados” en ingeniería civil y no uno de “programación de computadores” en ciencias de la computación.

A largo plazo, la tendencia es que el desarrollo computacional podría ser utilizado como parte de un sistema aún más grande y que implemente un sistema de tutorías inteligente (*Intelligent Tutoring Systems*) [22], en el cual un sistema informático de manera automática podría adaptarse al desempeño y a la curva de aprendizaje de cada estudiante, lo que haría aún más flexible el proceso de enseñanza-aprendizaje sin que esto represente nuevamente una sobrecarga para el profesor, como idealmente se infiere en el texto de Bain en [12].

## VI. Referencias

- [1] A. Sisa, "Clases invertidas," in *X Simposio "Las sociedades ante el reto digital: desafíos y transformaciones desde la Educación y la Comunicación,"* 2017.
- [2] A. Sisa, "Actividades de enseñanza-aprendizaje auto-evaluables para la solución de problemas complejos de diseño en ingeniería civil," in *I Simposio de buenas prácticas de assessment en ingeniería,* 2018.
- [3] J. Díaz, "¿Cómo surgió el sistema de calificaciones académicas?," *javierdisan.com*, 2013. [Online]. Available: <https://javierdisan.com/2013/09/03/como-surgio-el-sistema-de-calificaciones-academicas>. [Accessed: 14-Aug-2018].
- [4] Editores Wikipedia, "Grading in education," *Wikipedia*, 2018. [Online]. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Grading\\_in\\_education](https://en.wikipedia.org/wiki/Grading_in_education).
- [5] Y. M. Monzón Troncoso, "Evaluación del aprendizaje: un recorrido histórico y epistemológico.," *Academicus*, vol. I, no. 6, pp. 12-24, 2015.
- [6] M. Roser and E. Ortiz-Ospina, "Literacy," *Our World in Data*, 2018. [Online]. Recuperado de <https://ourworldindata.org/literacy>.
- [7] ABET, "Accreditation Criteria & Supporting Documents," 2018. [Online]. Recuperado de <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/>. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [8] ABET, "Mapping of Criterion 3: A-K to Criterion 3: 1-7," 2018. [Online]. Recuperado de [http://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/03/C3\\_C5\\_mapping\\_SEC\\_1-13-2018.pdf](http://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/03/C3_C5_mapping_SEC_1-13-2018.pdf).
- [9] Oficina de Planeación de la Universidad del Norte, "Boletín Estadístico 2017," 2017.
- [10] Centro para la Excelencia Docente - CEDU, "Programas y Servicios del Centro para la Excelencia Docente - CEDU - Universidad del

- Norte,” 2018. [Online]. Recuperado de <https://www.uninorte.edu.co/web/cedu/programas-y-servicios>.
- [11] Flipped Learning Network (FLN), “The Four Pillars of F-L-I-P”, 2014.
- [12] K. Bain, *Lo que hacen los mejores profesores de Universidad*, 2007.
- [13] G. Ritzer, “The McDonalidization of Society,” in *Life in Society: Readings to Accompany Sociology: A Down-to-Earth Approach*, 2nd ed., J. Henslin, Ed. Pearson, 2007, pp. 149–160.
- [14] P. Greene, “The Hard Part,” *Curmudgucation*, 2013. [Online]. Recuperado de <http://curmudgucation.blogspot.com/2013/12/the-hard-part.html>. [Accessed: 14-Aug-2018].
- [15] P. Greene and M. Velasco Serrano (trad), “La parte más difícil de ser profesor,” *Huffingtonpost.es*, 2014. [Online]. Recuperado de [https://www.huffingtonpost.es/peter-greene/la-parte-mas-dificil\\_b\\_5591529.html](https://www.huffingtonpost.es/peter-greene/la-parte-mas-dificil_b_5591529.html). [Acceso: 14-Aug-2018].
- [16] J. C. Lopez García, “La taxonomía de Bloom y sus actualizaciones,” *ICESI*, 2014. [Online]. Recuperado de <http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomCuadro>.
- [17] L. Owen Wilson, “Understanding the New Version of Bloom’s Taxonomy,” *The Second Principle*, 2013. [Online]. Recuperado de <http://thesecondprinciple.com/wp-content/uploads/2014/01/Understanding-revisions-to-blooms-taxonomy1.pdf>.
- [18] Universidad del Norte, “Plan de Estudios Programa Ingeniería Civil,” 2015. [Online]. Recuperado de [https://www.uninorte.edu.co/documents/13742/0/Plan+de+Estudio\\_Malla+201510\\_Español.pdf](https://www.uninorte.edu.co/documents/13742/0/Plan+de+Estudio_Malla+201510_Español.pdf).
- [19] A. Marchi *et al.*, “Battle of the Water Networks II,” *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 140, no. 7, 2014.
- [20] T. Staubitz, R. Teusner, and C. Meinel, “Towards a repository for open auto-gradable programming exercises,” in *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering, TALE 2017*, 2018.
- [21] M. Barba, Lorena A.; Barker, Lecia J.; Blank, Douglas S.; Brown, Jed; Downey, Allen B.; George, Timothy; Heagy, Lindsey J.; Mandli, Kyle T.; Moore, Jason K.; Lippert, David; Niemeyer, Kyle E.; Watkins, Ryan R.; West, Richard H.; Wickes, Elizabeth; Willing, C, *Teaching and Learning with Jupyter*. 2018.
- [22] M. Streeter, “Mixture Modeling of Individual Learning Curves,” in *8th International Conference on Educational Data Mining*, 2015, pp. 45–52.

**Augusto Sisa** recibió su título de pregrado y de maestría en ingeniería civil de la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia, en 2001 y 2003, respectivamente.

Ha estado vinculado como profesor de planta del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental en la Universidad del Norte, en Barranquilla (Colombia), desde 2005. En esta institución se ha dedicado al área de recursos hídricos e hidráulicos en actividades docentes en cursos como hidrología,

acueductos y alcantarillados y soluciones computacionales a problemas en ingeniería, este último ofrecido en el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación. Adicionalmente, ha participado en actividades de investigación y consultoría en las mismas áreas mencionadas antes y extendidas al desarrollo de aplicaciones soportadas en *software* a la medida y sistemas de información geográfica (SIG).

asisa@uninorte.edu.co

---

# Integración de los SO-B, C y K en la evaluación del trabajo práctico en programas de ingeniería eléctrica y electrónica

---

*Luis Torres-Herrera*  
*Universidad del Norte*

## Resumen

Este artículo presenta la integración de los *student outcomes* B, C y K, como fueron definidos por el Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET 2013-2017), al trabajo práctico en varios cursos comunes de los programas de ingeniería eléctrica y electrónica en la Universidad del Norte. La integración se condujo a través de varios ciclos de mejoramiento que culminaron con el diseño de una rúbrica de evaluación que involucra el compromiso profesional y la responsabilidad social, junto con el alineamiento apropiado de expectativas de alta calidad en los proyectos o trabajos realizados. Los resultados del uso de la rúbrica ha simplificado el proceso de *assessment* y ha aumentado la conciencia de generar experiencias de aprendizaje que sean significativas y preparen a los estudiantes como ingenieros competentes.

**Palabras claves:** *assessment*, trabajo práctico, competencias en ingeniería, seguridad, rúbrica.

## I. Introducción

El Comité de Acreditación para Programas de Ingeniería y Tecnología (ABET) [1] requiere de sus programas acreditados un proceso de autoevaluación (*assessment*) que conduzca al mejoramiento continuo de las instituciones de educación superior. El proceso se organiza en torno a una lista de criterios o competencias que los futuros profesionales deben alcanzar durante su formación. A estas competencias se les llama los resultados de aprendizaje (SO: *Student Outcomes*). La lista de SO que ABET ha utilizado desde el 2013 hasta el 2017 [2], [3], permaneció prácticamente sin variar, salvo en las recomendaciones de extenderla, si los programas lo consideraban apropiado para su proceso interno de mejoramiento de la calidad.

Los programas de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad del Norte han sido (re)acreditados por ABET desde el 2008 hasta el 2022 [4]. Estos programas han logrado incorporar el proceso de *assessment* dentro de su currículum, y les han permitido hacer ajustes al detectar desviaciones del grado del cumplimiento de las competencias de ingeniería que ABET exige. Los programas son, no obstante, autónomos en la forma como logran y conservan una alta calidad, sujetos a rendir cuentas en términos de la existencia y el funcionamiento del proceso de mejoramiento continuo evidenciado en el desempeño de los SO en los programas, junto con las acciones llevadas a cabo en respuesta a recomendaciones y diagnósticos.

El establecimiento de buenas prácticas dentro de los programas de ingeniería impulsa a pasar de un proceso de *assessment* que aparece inicialmente en paralelo a las actividades cotidianas de la formación disciplinar, a una fusión de prácticas que permite aprovechar las actividades de medición y evaluación del *assessment* como insumo de los procesos evaluativos fijados por las universidades. En el caso de los programas de ingeniería eléctrica y electrónica, se inició con una metodología que separaba la evaluación disciplinar, en su esquema tradicional, del *assessment*, que se medía de forma adicional en actividades docentes separadas, y se consolidaba con plenarias académicas. En el 2015 surgieron las primeras iniciativas de establecer rúbricas para evaluar las prácticas de una asignatura común a los programas de ambas ingenierías, que dentro del marco del *assessment* se mejora notoriamente en 2016. En 2017, se refina y aclara, y se reconoce que se debe involucrar a los asistentes docentes que dirigen las clases prácticas para que sepan usarla

y compartirla. En 2017, otras asignaturas ya usaban la misma rúbrica, que no sólo estaba orientada a alimentar el proceso de *assessment*, sino que permitía obtener una calificación para el curso en que se usara.

## II. Progreso metodológico

El proceso de *assessment* dentro de los programas de ingeniería de la Universidad del Norte ha contando con el apoyo coordinado de la División de Ingenierías, la Rectoría y el Centro para la Excelencia Docente Universitaria, mediante varios mecanismos que preparan a los docentes para ser más efectivos en los procesos exigidos por ABET. Uno de los más notables fue la preparación desde el 2014 de un grupo focal de docentes de ingeniería en materia de rúbricas tomando como base el texto de Stevens & Levi [5]. Estas capacitaciones para docentes de cada programa iniciaron propuestas de mejoras del proceso de *assessment* que tuvo dos etapas: en la primera, se tomó distancia de la idea de usar como insumo principal las calificaciones de contenidos disciplinares en diversas actividades, y en la segunda etapa se propuso la idea de fusionar los objetivos del *assessment* con los disciplinares, aliviando gran parte del trabajo adicional que supuso el proceso de autoevaluación.

### A. Separación entre *assessment* y calificaciones

Los SO de ABET para los programas de ingeniería permiten observar el grado de competencia de los estudiantes tanto en fortalezas teóricas como en contextos prácticos. Los SO con vigencia hasta 2017 son:

- (a) an ability to apply knowledge of mathematics, science, and applied sciences
- (b) an ability to design and conduct experiments, as well as to analyze and interpret data
- (c) an ability to formulate or design a system, process, or program to meet desired needs
- (d) an ability to function on multidisciplinary teams
- (e) an ability to identify and solve applied science problems
- (f) an understanding of professional and ethical responsibility
- (g) an ability to communicate effectively

- (h) the broad education necessary to understand the impact of solutions in a global and societal context
- (i) a recognition of the need for and an ability to engage in life-long learning
- (j) a knowledge of contemporary issues
- (k) an ability to use the techniques, skills, and modern scientific and technical tools necessary for professional practice.

Una de las maneras más comunes en que los programas inician sus implementaciones del proceso de *assessment*, y que es muy arraigada, es tratar de utilizar las calificaciones disciplinares en exámenes escritos, pruebas prácticas, presentaciones, etc., como insumo prevaleciente para estimar el grado de competencia de los estudiantes en cada uno de los SO (a-k). Si bien la alineación contenido-competencia es viable en algunas asignaturas, no lo es con otras. En general, las competencias descritas en los SO son más holísticas, y exigen del estudiante habilidades adquiridas de diversas formas que se interrelacionan para responder a una competencia. Es decir, es el resultado del aprendizaje de práctica durante varias asignaturas.

Por esta razón, desde 2013, en los programas de ingeniería eléctrica y electrónica una separación clara del *assessment* es la toma de notas en actividades dentro de las asignaturas. A esta tendencia se le conoció como “la mirada con distintos lentes”, es decir, los productos de los estudiantes eran analizados con propósitos de *assessment* en rondas de evaluación adicionales con este fin. Sin embargo, se notó que muchas actividades disciplinares no necesariamente eran adecuadas para observar las variables que ABET recomienda medir. Es así como comienzan a surgir propuestas de talleres, pruebas cortas o tiempos dedicados a realizar actividades que permitan de forma clara medir los SO sin la influencia de los logros en los contenidos disciplinares.

En el caso de las sesiones prácticas de la asignatura Mediciones e Instrumentación, que se halla en el sexto semestre de los programas de ingeniería eléctrica y electrónica, ha servido como punto de ensayo para la evolución metodológica del *assessment*. En el 2014, la asignatura usaba una incipiente rúbrica sobre los reportes de laboratorio, destacada por su especificidad y orientación a formalidades del contenido, pero que no necesariamente revelaba el grado de cumplimiento de los SO. Un extracto de la rúbrica usada en esta asignatura se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1:** extracto de la rúbrica de evaluación de reportes de laboratorio de la asignatura Mediciones e instrumentación (2014)

Aspecto	Desempeño	Descriptor
Introducción	Deficiente	No hay
	Aceptable	Es vaga
	Bueno	Ilustra en general
	Excelente	Atrae la atención
Procedimientos	Deficiente	No hay claridad
	Aceptable	Sólo está el marco teórico o la metodología
	Bueno	Hay algunos errores
	Excelente	Marco teórico y metodología claras y específicas
Explicación de avance de integración	Deficiente	No hay
	Aceptable	Insuficiente
	Bueno	Visión general
	Excelente	Completa y adecuada

Se nota que la rúbrica de la tabla 1 no aportaba directamente información a los SO (a)-(k). Sin embargo, el trabajo práctico tenía el potencial de permitir apreciar elementos como la comunicación (SO-g), la aplicación de conocimientos matemáticos (SO-a), el uso de herramientas de ingeniería (SO- k), etc. El inconveniente era el tiempo adicional requerido para volver a revisar actividades académicas con el objeto de realizar las mediciones de desempeño del *assessment*. Por este motivo se planteó una nueva forma de trabajo dentro de la asignatura Mediciones e Instrumentación, partiendo de una nueva rúbrica que tendría en cuenta un aporte al observar los aspectos de los SO (b), (c) y (k). Éstos fueron escogidos por su relevancia en los trabajos prácticos.

## B. Rúbricas para unificar esfuerzos

A partir de las plenarias de *assessment* anuales, en 2016 se inició un plan para ajustar la rúbrica de la asignatura Mediciones e Instrumentación, y su homogeneización con las usadas en otras asignaturas a cargo del mismo docente, a saber: Electrónica Analógica (quinto semestre) y Electrónica de Potencia (noveno semestre). De esta manera, la rúbrica aborda el reto

de establecer criterios holísticos de evaluación que permitan medir SO directamente, y también de poder implementarse en asignaturas con distintos contenidos y diversos semestres. La mayor motivación partía de evaluar auténticamente las prácticas, de forma que se atendieran criterios de calidad expresables en los términos establecidos por ABET.

El diseño de la rúbrica se fundamentó en tres pilares:

- 1) El prototipo o proceso debe funcionar.
- 2) El estudiante debe entender su funcionamiento.
- 3) El uso relacionado con este prototipo o proceso debe ser seguro.

El último es un aspecto sobresaliente. En las plenarias se detectó que se debía hacer seguimiento a la seguridad eléctrica en los procedimientos de laboratorios, es decir, se debía medir explícitamente para poder decidir dónde reforzar en casos de detectar falencias. Este aspecto refleja la responsabilidad social de un buen diseño, así como el compromiso profesional de garantizar un funcionamiento adecuado y duradero.

Como la asignatura Mediciones e Instrumentación fue la pionera en la implementación de la rúbrica, su diseño se orientó con los excelentes consejos hallados en el apéndice D del texto de Kuphaldt (2018) [6], en torno a la enseñanza de conocimientos disciplinares (técnicos) tanto teóricos como prácticos.

Posteriormente, la rúbrica planteada fue revisada en 2017, donde se ajustaron principalmente ambigüedades en la redacción y se hicieron más explícitas las intenciones, mediante descripciones detalladas de casos concretos que habían surgido en el pasado. Este proceso de formación, que acompaña una rúbrica, especialmente para los docentes que se encargan de las sesiones de laboratorio, demostró ser clave para la transparente y justa aplicación de ella a los trabajos de los estudiantes. En este punto, la rúbrica ya había comenzado a aportar información clave para los SO (b), (c) y (k), aunque también indirectamente para el (g) y el (f), con el aspecto de la seguridad. Otras asignaturas del área de electrónica Analógica comenzaron a ensayarla como elemento de evaluación holística, pero que establecía unos requerimientos mínimos para el desempeño de trabajos prácticos.

La figura 1 muestra la rúbrica en su estado actual (2018). Contempla dos partes del trabajo práctico: la sustentación oral y el reporte escrito. En la primera se demuestra el prototipo, procedimiento o *software* construido, el grado de comprensión de su operación y los aspectos de seguridad

de uso. En el reporte escrito se revisa el uso de modelos científicos o de ingeniería, los procedimientos o medidas, el análisis, la interpretación de resultados y los aspectos de comunicación escrita y *copyright*. Ha sido costumbre redactar aquellos documentos relacionados con el proceso de *assessment* en inglés; por eso la rúbrica se comparte entre los estudiantes así. No se incluye en esta rúbrica, pero sí se presentan en cada curso los ejemplos concretos de lo que quiere decir cada descriptor. Se exponen casos del pasado para ilustrar qué se espera por nivel y de manera concreta en cada curso.

La rúbrica de la figura 1 muestra, además, que hay cuatro niveles de desempeño: *Beginning*, *Acceptable*, *Accomplished* y *Professional*. Como esta rúbrica se usa en los semestres del ciclo básico profesional (hacia el quinto), así como en los últimos (ciclo profesional), no se espera que un estudiante que comienza a tener contacto con equipos electrónicos y a ganar experiencia en diseño, pueda conseguir el mismo nivel que uno que está a punto de terminar su programa de ingeniería, por lo cual la escala numérica de puntos que se adquieren por nivel de desempeño refleja esta diferencia, en la que un estudiante de mitad de carrera logra una buena nota al llegar al tercer nivel (*Acceptable*). Esta forma de aplicar la rúbrica permite observar el avance en desempeño a medida que avanzan en la carrera. Este resulta ser un insumo muy importante para la medición de *assessment*, pues revela directamente el aporte del programa al desarrollo de una determinada competencia, como por ejemplo la habilidad para manejo de herramientas y técnicas para resolver un problema de diseño eléctrico.

Se ha puesto en la parte derecha de la figura 1 la indicación del SO apoyado con cada una de las componentes usadas en la rúbrica. Los trabajos prácticos que usan esta rúbrica apoyan mediciones mayormente de los SO (b), (c) y (k). En el 2018, cuatro asignaturas que usan esta rúbrica alimentan el *assessment* a través de un mapeo de los resultados por curso en cada componente hacia dichos SO. Esto ha significado un ahorro de tiempo y esfuerzo considerable para el grupo de docentes de los programas de ingeniería eléctrica y electrónica, pues usan resultados de actividades auténticas, lo que les permite a los docentes pasar más ágilmente a la fase de análisis y toma de decisiones para mejorar la formación de las cohortes.

En los programas de ingeniería eléctrica y electrónica se realizan dos importantes mediciones para propósitos de *assessment*: una diagnóstica y otra de salida. La primera se suele hacer cerca del quinto semestre, y la

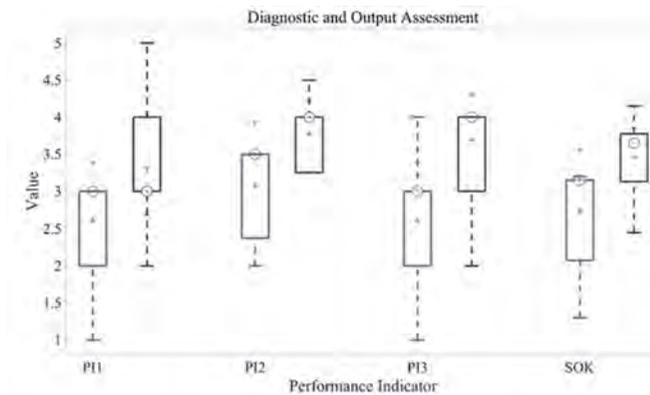
**Figura 1:** Rúbrica diseñada y usada para el trabajo práctico en varias asignaturas de los programas de Ing. Eléctrica y Electrónica la Universidad del Norte (2017)

Holistic Evaluation Rubric for Practical Work at Laboratories							
Graded Items	Description / Scale	Beginning		Accomplished		Professional (5 plus) Beyond expectations!	SO
		Ciclo Básico Profesional: 0 - 1 - 2	0 - 1	3 - 4	5		
Oral Defense	Explanation and Involvement	<ul style="list-style-type: none"> <li>only obvious aspects less than required</li> <li>unassessable due to missing or unoperable prototype / software</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>misses</li> <li>not all stages work</li> <li>falls as a whole</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>main idea correct, supported by prototype's operation or procedure</li> <li>partial theoretical support</li> <li>some incorrect understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>most ideas correct, supported by prototype's operation or procedure</li> <li>theoretically supported</li> <li>some irrelevant support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>all ideas correct, supported by prototype's operation or procedure</li> <li>awareness of limitations of theory</li> <li>applying it to other situations</li> </ul>	B
	Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prototype, device, software, or measurement procedure performs its main functionality or purpose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>missing</li> <li>not all stages work</li> <li>falls as a whole</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>works as a whole</li> <li>poor assembly or coding</li> <li>risk of failure during use</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>works reliably in most use cases</li> <li>fulfills its purpose</li> <li>stands handling test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>works reliably in all use cases</li> <li>professionally presented</li> <li>user friendly</li> </ul>	C,K
	Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>The student follows safety rules to handle tools, equipment or prototypes, or to carry out measurements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>unassessable due to operation failure</li> <li>any risk of physical injury</li> <li>any risk of equipment damage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>uses personal protective equipment "PPE" (glasses, gloves, etc)</li> <li>risk of prototype or equipment damage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>safety rules are followed</li> <li>prototypes and equipment are handled safely</li> <li>intended users should be careful</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>good engineering practices in safety and equipment are followed</li> <li>prototype or procedure is safe for intended users.</li> </ul>	F
Written Report	Models and assignments	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selection, description or research of supporting scientific models and other similar assignments</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>missing, unclear, ambiguous, inappropriate, or insufficient</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>some appropriate</li> <li>perhaps ambiguous scope</li> <li>all assignments done</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>most of them appropriate</li> <li>appropriate model scope</li> <li>all assignments correct</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>all appropriate and sufficient</li> <li>awareness of model scope validity</li> <li>all assignments correct and related to reported issues</li> </ul>	A
	Procedures & measurements	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steps or stages in designs, implementations, procedures, or measurements are relevant, correct, and enough to reach the intended understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>missing, irrelevant, incorrect or ambiguous</li> <li>insufficient to reach intended understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>some procedures correct</li> <li>perhaps some irrelevant</li> <li>barely enough to reach intended understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>most of them relevant</li> <li>most procedures correct</li> <li>enough to reach the intended understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>all relevant and correct</li> <li>enough steps or stages to allow cross-verification of the observed measurements or behaviors</li> </ul>	C
	Analysis & interpretation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analysis and interpretation of measurements, observations, tests, machine behaviors carried out to support intended understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>missing, incorrect, unclear or ambiguous</li> <li>wrong or irrelevant understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>some are missing, incorrect, unclear or ambiguous</li> <li>basic correct understanding</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>most are correctly interpreted or analyzed</li> <li>intended understanding is achieved</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>all correctly analyzed or interpreted</li> <li>clearly presented</li> <li>all analyses support intended understanding</li> </ul>	B
	Written and Graphic Comm. Skills	<ul style="list-style-type: none"> <li>Writing skills in language and graphics are adequate for engineering: coherence, clarity, conciseness, correctness, conventions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>poor or inadequate language or graphics</li> <li>ambiguity</li> <li>ideas difficult to follow</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>enough to convey basic ideas</li> <li>some errors that distract the reader</li> <li>some ambiguity or verbosity</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>few errors in grammar rules or graphics conventions</li> <li>coherent and clear text</li> <li>may be verbose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>correct use of language</li> <li>coherent and concise text</li> <li>clear text and graphs</li> <li>graphs comply conventions</li> </ul>	G
	References and Copyright	<ul style="list-style-type: none"> <li>Use of relevant and reliable references, according to a format (IEEE, APA, etc), and cites them properly in the text body or at graphs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>relevant references missing</li> <li>many unreliable or irrelevant</li> <li>no agreed format</li> <li>missing or wrong citation, quotation or paraphrasing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>most reliable, some irrelevant</li> <li>format with many errors</li> <li>some graphs are referenced</li> <li>some inappropriate quotation or paraphrasing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>all reliable, some perhaps irrelevant</li> <li>format with few errors</li> <li>some graphs are referenced</li> <li>most paraphrasing and quotations are adequate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>all used, reliable, relevant</li> <li>correct format</li> <li>all graphs are referenced</li> <li>correct citations, quotes and paraphrasing</li> </ul>	G,F

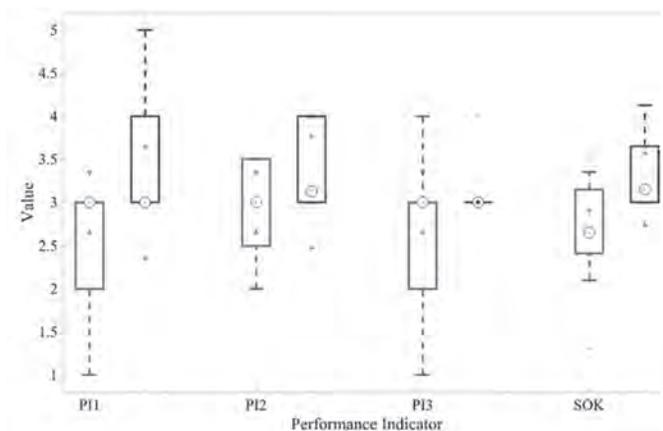
segunda en el noveno o décimo. Además, para evaluar un SO en particular, por ejemplo SO-k, se observan típicamente tres indicadores de desempeño (*Performance Indicators*-PI). Es hacia estos PI, por su grado de especificidad, que la rúbrica de trabajo práctico puede alimentar directamente, mediante un mapeo. Así que la medición de un SO normalmente usa información de varias actividades, en diversas asignaturas.

Las figuras 2 y 3 muestran los resultados en 2017 de la medición del SO-(k), que evalúa el uso de técnicas y herramientas modernas necesarias para la práctica profesional. El resultado del SO-(k) es el promedio de tres PI que especifican el *Student Outcome*. Las dos mediciones son el *assessment* diagnóstico y el de salida, respectivamente. Se nota que el segundo está por encima del primero, lo que evidencia que los estudiantes se apropian de esta competencia durante su formación en el programa.

**Figura 2:** Desempeño del SO-(k) en la medición diagnóstica y la de salida en el programa de Ing. Eléctrica en el segundo semestre de 2017.



**Figura 3:** Desempeño del SO-(k) en la medición diagnóstica y la de salida en el programa de Ing. Electrónica en el segundo semestre de 2017.



### III. Conclusiones

Se ha presentado cómo la integración de SO en la evaluación del trabajo práctico en dos programas de ingeniería ha reducido la carga adicional asociada comúnmente a los procesos de *assessment* de ABET. La forma de lograrlo fue el diseño de una rúbrica que amortiza el tiempo invertido en afinarla mediante su implementación en varias asignaturas con laboratorios que alimentan al *assessment* de forma casi expedita. La rúbrica promueve los aprendizajes de alta calidad con responsabilidad profesional, orientada a resultados medibles. La experiencia se está extendiendo para integrar más asignaturas dentro de los programas y con otros SO.

### Referencias

- [1] ABET, “Historia de abet,” 2018, Recuperado el 01-10-2018. [Online] de <https://www.abet.org/about-abet/history/>.
- [2] —, Criteria for Accrediting applied science programs - Student Outcomes. Baltimore, MD: ABET, 2011. [Online]. Recuperado de <https://www.abet.org/wp-content/uploads/2015/04/asac-criteria-2012-20131.pdf>
- [3] —, Criteria for Accrediting applied science programs. Criterion 3: Student Outcomes. Baltimore, MD: ABET, 2015. [Online]. Recuperado de <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-applied-science-programs-2016-2017/#GC3>.
- [4] —, “Programas de ingeniería de la Universidad del Norte acreditados ABET,” 2017, accedido 01-10-2018. [Online]. Recuperado de <http://main.abet.org/aps/AccreditedProgramsDetails.aspx?OrganizationID=797>
- [5] D. Stevens and A. Levi, Introduction to Rubrics, 2nd ed. Sterling, Virginia: Stylus, 2013.
- [6] T. Kuphaldt, Lessons on Industrial Instrumentation. Creative Commons, 2018. Recuperado el 01-02-2018. [Online] de <https://www.ibiblio.org/kuphaldt/socratic/sinst/book/liii.pdf>.

**Luis Torres-Herrera.** Profesor asistente de la Universidad del Norte en Barranquilla, Colombia. Obtuvo su título como ingeniero electrónico de esa universidad en el 2001 y luego obtuvo su Master of Science de la Universidad Tecnológica de Hamburgo (Alemania, 2007), y su MBA del Northern Institute of Technology (Alemania, 2007). También trabajó como asistente

de investigación en la Universidad Tecnológica de Hamburgo del 2008 al 2012. Sus intereses de investigación incluyen la instrumentación electrónica, sistemas de medición, redes inalámbricas de sensores, así como la investigación de aula y el desarrollo de competencias comunicativas en ingeniería.

ltorres@uninorte.edu.co

*Buenas prácticas de assessment en programas de ingeniería de Colombia*  
se terminó de imprimir en el mes de marzo de 2019 en los talleres  
de Opciones Gráficas Editores Ltda., en la ciudad de Bogotá.  
Somos una empresa responsable con el ambiente.