



DESARROLLO DE UNA PRUEBA TIPO “CONCEPT INVENTORY” EN SISTEMAS DINÁMICOS

Juan Camilo Rincón, Michaël Canu, Mauricio Duque

Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia

Resumen

En el presente artículo se encontrará una primera propuesta que describe la elaboración de un Concept Inventory (CI), cuyo objetivo corresponde a evaluar aspectos conceptuales sobre Sistemas de Control a nivel introductorio, tomando como guía la estructura del curso “Sistemas Dinámicos”, del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de los Andes. Se presenta el marco conceptual de Evaluación por Evidencia empleado para la elaboración del CI, así como las diferentes consideraciones metodológicas tenidas en cuenta durante el proceso. Posterior a ello, se exhibe el proceso de diseño de la prueba en detalle, considerando aspectos como su validez conceptual, de acuerdo a los propósitos de este tipo de herramientas. Finalmente se define el trabajo a futuro con respecto a lo presentado en la actual investigación.

Palabras clave: concept inventory; evaluación por evidencia; teoría de sistemas dinámicos

Abstract

This article corresponds to a firstly proposal which describes the creation of a Concept Inventory Test (CI). The objective of the test is to evaluate introductory concepts about Control Systems Engineering, taking as a guide the curricular structure of the course “Dynamical Systems” from the Electrical and Electronical Engineering Department at Los Andes University. The theoretical framework of Evidence Based Evaluation is presented like a basis for the CI development and the methodological aspects within the CI proposal are discussed. Later, the CI design process is showed in detail

characteristics related with its conceptual validity, considering the purposes of this kind of assessment. Finally, the future route of this research is discussed since its actual state.

Keywords: *concept inventory; evidence based evaluation; dynamical systems theory*

1. Problemática

En la actualidad, se identifican diversas problemáticas relacionadas con la carencia de comprensión profunda de conceptos por parte de estudiantes, en las áreas particulares del conocimiento. Esto repercute negativamente en la capacidad del alumnado para transferir el conocimiento, generalizarlo y así resolver situaciones que se encuentran por fuera de aquellas que les resultan familiares (Miller, Streveler, Olds & Nelson, 2003). En ingeniería, esta situación tiene connotaciones de importancia, pues de acuerdo a Jorion et al. (2015) los ingenieros más eficientes emplean una comprensión conceptual de la disciplina, además de los conocimientos técnicos y de las habilidades matemáticas, para así resolver problemas complejos.

Con base en esta preocupación, se han venido desarrollando estrategias para promover la evaluación de conocimientos a nivel conceptual, con el fin de estudiar las concepciones erradas de los estudiantes y de hacer seguimiento a la evolución de los cursos en el aspecto académico. Es así como se han venido proponiendo herramientas conocidas como Concept Inventories en las diferentes áreas de las ciencias y la ingeniería. Sin embargo, en la actualidad no existe una herramienta accesible en el área de Sistemas Dinámicos y de Control, de manera que a través de este trabajo se busca evidenciar el diseño de un CI que abarque los aspectos principales de la comprensión de estas áreas a un nivel introductorio, en el contexto específico de la Universidad de los Andes. El objetivo de este trabajo es proponer un primer acercamiento a esta disciplina desde dicha herramienta conceptual, con ánimos de ser empleado como herramienta de diagnóstico y de apoyo en la enseñanza del contexto en mención.

2. Marco Teórico

Concept Inventories: Los "Concept Inventory" (CIs) hacen parte de este grupo y consisten en pruebas estandarizadas alrededor de ejes temáticos específicos, enfocadas en el diagnóstico de los conocimientos a un nivel conceptual profundo, a veces denominado conocimiento esquemático, por encima de la evaluación de habilidades de cálculo, algorítmicas o memorísticas. Con el uso de los CIs es posible identificar aspectos como las concepciones erradas de los estudiantes que usualmente son difíciles de corregir y son vistas como obstáculos para el pensamiento crítico y el razonamiento cognitivo alto (Zoller, 1996).

3. Descripción de la metodología

Búsqueda de referentes bibliográficos en el diseño de CIs: Previo a la construcción de la prueba, fue necesario revisar en la literatura varios procesos de diseño de CIs. Como preferencia se siguieron modelos propuestos por docentes cuyas áreas son afines a la Ingeniería, trabajados desde las disciplinas de Sistemas de Control, Señales y Sistemas, Circuitos Eléctricos, entre otros (Bristow et al., 2012, Wage et al., 2005, Engelhardt and Beichner, 2004). Sin embargo, no fueron excluidos procesos de diseño de estas herramientas para áreas fuera de Ingeniería. Por ejemplo, en el proceso de desarrollo de un Concept Inventory sobre Meiosis, se propone una ruta metodológica resumida en la figura 1 (Kalas et al., 2013). Este modelo, entre otros aspectos, brindó información acerca de la validación de las preguntas mediante la participación de grupos focales de estudiantes y mediante la retroalimentación dirigida por expertos.

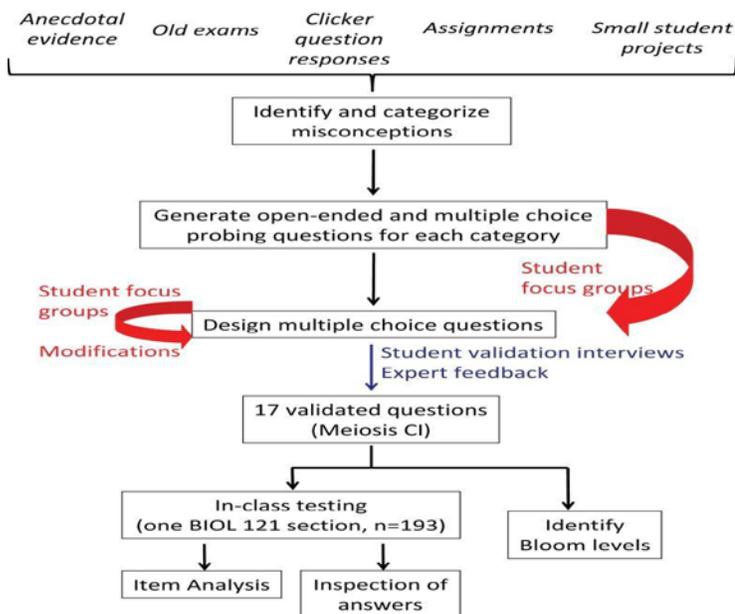


Fig.1. Ruta metodológica del Concept Inventory sobre Meiosis

Otras consideraciones importantes aportadas por el proceso de revisión de la literatura estuvieron relacionadas con el manejo de preguntas para detallar concepciones erradas en los estudiantes. Por ejemplo, Nasr, Hale and Garik, n.d., muestra cómo es posible revelar, a través de problemas básicos abiertos en el área de Señales y Sistemas, las diferentes concepciones erradas de estudiantes. Lo anterior lo consigue a través de preguntas con competencias propositivas y argumentativas frente a un concepto en particular, de manera que puede conocer qué hace el estudiante para resolver el problema, cuáles son sus argumentos y qué creencias puede llegar a tener respecto a las situaciones que ejemplifica. Esta información resultó importante en el proceso de diseño del Concept Inventory en Sistemas Dinámicos, porque brindó una perspectiva acerca de cómo podrían estructurarse las preguntas y qué es lo que debían buscar, para realmente tratar los conceptos de manera conceptual y no limitarse al cálculo o seguimiento de algoritmos.

Adicional a los recursos bibliográficos anteriores, también se empleó el artículo de reporte de un Concept Inventory en Control por parte de miembros de la Universidad de Waterloo. En este reporte, el autor establece los conceptos desde los cuales se realizó la prueba para ese contexto específico (Bristow et al., 2012). En el contexto del Concept Inventory local para Sistemas Dinámicos, esta información también fue importante con el propósito de delimitar la extensión del mismo. Si bien las áreas de Control y de Sistemas Dinámicos están netamente relacionadas, en la última disciplina se centra en la comprensión de estos sistemas y sus características. Por lo tanto, las temáticas tratadas por Bristow et al. (2012) a nivel introductorio en el área de Control, también sirvieron como insumo para la definición del Concept Inventory trabajado por el autor, a manera de guía de conocimientos adecuados de acuerdo a la proyección del curso objetivo.

Definición de los conceptos base para la prueba: Una vez cubiertas las necesidades bibliográficas en el proceso de diseño, como primera medida fue necesario establecer los conceptos más importantes en las áreas introductorias a control, especialmente desde la perspectiva de un curso de Sistemas Dinámicos. Estos conceptos serían los tratados a lo largo del Test. Para ello, se llevaron a cabo entrevistas cortas e informales a estudiantes del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica que tuvieran un papel de enseñanza en el área (monitores y asistentes graduados tanto de Sistemas Dinámicos como de Análisis y Sistemas de Control), con el objetivo de tener una idea del problema desde la visión del educador. Además, se llevó a cabo una entrevista semiestructurada con el docente de Sistemas Dinámicos para el periodo 2017-1, con el fin de concretar los conceptos más adecuados para la elaboración de la prueba. Durante este proceso de revisión con el docente, fue necesario revisar la estructura curricular del curso, así como ampliar el material bibliográfico empleado por los estudiantes cuando se sigue el curso.

Para la definición de los conceptos base con la metodología expuesta, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: a) el público objetivo para la prueba sería, fundamentalmente, estudiantes del curso Sistemas Dinámicos y, por ende, los conocimientos de Sistemas de Control que se emplearían en la misma debían responder tanto a los objetivos de este curso como a su estructura curricular; b) los conceptos a elegir tendrían que generar una amplia cobertura del curso objetivo, para poder emplear el Concept Inventory en un futuro como herramienta de seguimiento del mismo; c) Los conceptos a emplear deberían tener una relevancia tal que una persona que haya cursado el curso y haya comprendido las temáticas, esté en capacidad de responder suficiente y correctamente la prueba.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizaron las respectivas entrevistas cortas a estudiantes con experiencias en Monitorias o en Asistencias de Laboratorio para las áreas de Sistemas Dinámicos y Control. Posteriormente, se revisó esta información con el profesor de la materia Sistemas Dinámicos mediante una entrevista semiestructurada, para así conocer la perspectiva docente frente a los conceptos e ideas más importantes del curso. En la siguiente tabla se muestran los conceptos identificados, así como las consideraciones más importantes de los mismos, tras la entrevista con el docente.

A partir de la información de la tabla 1 se analizó la manera en la que algunos de los conceptos anteriores podrían ser abordados conceptualmente, dado que varios ítems identificados en la tabla 1 daban más cuenta de conocimientos declarativos. Por ejemplo, la información de la tabla 1 en cuanto a la temática de "Representaciones de Estado" únicamente se sustenta en habilidades de identificación y de cálculo que retoman procesos memorísticos y algorítmicos, aspectos a los que no se les desearía dar prioridad en un Concept Inventory. Entonces, la información recopilada permitió conocer la perspectiva del docente frente a aspectos importantes, en términos del área de conocimientos elegida para el desarrollo del Test, aunque por los análisis previos, no constituyó completamente la base conceptual elegida de forma definitiva para el desarrollo del CI como se mostrará a posteriormente.

Tabla 1. Resumen de perspectiva docente sobre Sistemas Dinámicos

Ecuaciones Diferenciales	Identificación por su comportamiento en el dominio del tiempo	Representaciones de Estado	Identificación de ecuaciones de estado obtenidas correctamente a partir de una ecuación diferencial
	Identificación de la Ecuación Característica asociada		Identificación de una representación de estado válida a partir de una función de transferencia del sistema con numerador = 1
	Solución (tanto homogénea como forzada) de la ecuación, considerando condiciones iniciales		Identificación de una representación de estado válida a partir de una función de transferencia del sistema con numerador polinomial, de grado menor al denominador
	Identificación de los parámetros de sistemas dinámicos de primer y segundo orden en las ecuaciones diferenciales asociadas.		Matriz de transición de estados y su importancia para hallar la solución a sistemas en representación de estado
	Estimación de los parámetros de sistemas de primer y segundo orden de acuerdo al comportamiento descrito por la ecuación diferencial dada.		Obtención de la función de transferencia de un sistema a partir de su representación de estado
Funciones de Transferencia	Estructura de la función de transferencia y su obtención a través de la descripción del sistema en ecuaciones diferenciales.		Identificación de los valores propios del sistema en representación de estado y su correspondencia con los polos del sistema
	Polos y Ceros de la función de transferencia y sus implicaciones en el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.		
Equilibrio y Estabilidad	Identificación de los escenarios de estabilidad para el caso discreto y el caso continuo: sistema asintóticamente estable, sistema inestable, sistema marginalmente estable.	Linealidad	Diferencias de comportamiento entre un sistema lineal y uno no lineal.
	Condiciones de equilibrio y estabilidad de un sistema		

Elaboración del constructo base de la prueba: Teniendo en cuenta que el objetivo de la prueba era evaluar conocimientos desde la perspectiva conceptual, se optó por filtrar la información recopilada en el paso anterior y organizarla, teniendo en cuenta las observaciones realizadas tanto por los estudiantes como por los docentes y expertos consultados. Se decidió basar la prueba en cuatro aspectos dentro del contexto de Sistemas Dinámicos y de Sistemas de Control a nivel introductorio. Cada aspecto de los mencionados tiene una serie de conceptos relacionados, que hacen parte de la base de la prueba. Lo anterior se resume en la tabla 2 (Izquierda).

De igual forma, una vez detallada la perspectiva docente frente a los conceptos de más relevancia y en un esfuerzo por retomarlos de acuerdo a su relevancia, se elaboró el constructo de la prueba en el marco de la Evaluación por Evidencia (Jorion et, al 2015). Respecto al marco empleado, en el constructo se hacen evidentes una serie de ítems organizados en tres columnas: "Afirmación", "Desempeño" y "Tarea". La primera columna está relacionada directamente con la apropiación de un concepto o idea en

particular por parte de un estudiante, lo cual corresponde a lo que se esperaría de un estudiante que entiende adecuadamente el concepto. La segunda columna se relaciona con los objetivos particulares delimitados en el marco de cada afirmación asociada frente a una situación específica. El cumplimiento de cada uno de los objetivos expuestos en esta columna corresponde a la evidencia del dominio conceptual del estudiante. Finalmente, la tercera columna se relaciona con aquellas acciones, secuencias o pensamientos que debería tener que hacer un estudiante para alcanzar cada uno de los objetivos de la columna anterior. En la tabla 2 (Derecha) se presenta un fragmento del constructo elaborado para la prueba, con el fin de ejemplificar lo anteriormente descrito.

Tabla 2. Resumen de la información conceptual base para la el CI propuesto (Izquierda) y Extracto del constructo elaborado (Derecha)

Idea Base	Conceptos Asociados	Modelo de Constructo - Concept Inventory Sistemas Dinámicos		
Aspectos básicos de los Sistemas Dinámicos	Noción básica de Sistema Dinámico Noción de Sistemas Lineales y No Lineales desde su comportamiento y desde sus modelos matemáticos Diferenciación entre comportamientos Entrada/Salida y comportamientos característicos de un Sistema	Afirmación	Desempeño	Tarea
Análisis de situaciones que involucran la operación de un Sistema Dinámico	Parámetros de los Sistemas Dinámicos de primer y segundo Orden	El estudiante analiza correctamente situaciones presentadas en distintos formatos para obtener información de un sistema dinámico dado	El estudiante analiza adecuadamente el comportamiento de un sistema de Primer Orden ante una entrada escalón, a partir de la descripción de una situación (Escenario).	Dada una situación descrita en lenguaje común respecto al comportamiento de un sistema de primer orden ante una señal escalón, el estudiante debe identificar que en la situación se está describiendo el parámetro de TIEMPO DE RESPUESTA y lo justifica con la razón correcta.
	Respuesta Escalón de Sistemas Dinámicos de primer y segundo Orden			Dada una situación descrita en lenguaje común respecto al comportamiento de un sistema de primer orden ante una señal escalón, el estudiante debe identificar que en la situación se está describiendo el parámetro de VALOR DE ESTABLECIMIENTO y lo justifica con la razón correcta.
	Comportamiento temporal de los sistemas y su visualización			A partir de la información obtenida desde la situación respecto a los parámetros del sistema anteriormente analizados, el estudiante realiza un esbozo de la respuesta temporal indicando dónde se muestran dichos parámetros en la gráfica.
Análisis de las funciones de transferencia y sus componentes	Tipos de Respuesta Escalón para Sistemas de segundo Orden teniendo en cuenta su amortiguamiento	El estudiante analiza adecuadamente el comportamiento de un sistema de Segundo Orden ante una entrada escalón, a partir de la descripción de una situación (Escenario).	El estudiante analiza adecuadamente el comportamiento de un sistema de Segundo Orden ante una entrada escalón, a partir de la descripción de una situación (Escenario).	Dada la situación descrita en lenguaje común respecto al comportamiento de un sistema de segundo orden, el estudiante debe identificar que se describiendo un TIPO DE RESPUESTA ESCALÓN específico (Sobreamortiguada, Subamortiguada, No amortiguada, Críticamente amortiguada, de acuerdo al caso) y lo justifica cualitativamente.
	Identificación de Polos y Ceros			De la situación dada, el estudiante deberá identificar los parámetros más importantes (Tanto en tiempo como en magnitud de la respuesta según sea el caso) y argumentando de acuerdo a las definiciones adecuadas de cada parámetro.
Características de Estabilidad de los sistemas	Relaciones entre Función de Transferencia y Diagramas de Polos y Ceros	El estudiante analiza adecuadamente el comportamiento de un sistema de Segundo Orden ante una entrada escalón, a partir de la descripción de una situación (Escenario).	El estudiante analiza adecuadamente el comportamiento de un sistema de Segundo Orden ante una entrada escalón, a partir de la descripción de una situación (Escenario).	A partir de la información obtenida, el estudiante debe esbozar gráficamente la respuesta descrita en la situación, ubicando en la gráfica los parámetros que identificó de la misma.
	Corrimiento de Polos y Ceros en un Sistema y sus implicaciones en la respuesta involucrada			
	Noción de Polos Dominantes en un Sistema			
Características de Estabilidad de los sistemas	Noción de Estabilidad desde el análisis de la Función de Transferencia de un Sistema			
	Noción de Estabilidad desde la observación del comportamiento de un Sistema			
Características de Estabilidad de los sistemas	Estabilidad como característica independiente de la Entrada del Sistema			

Diseño de las Preguntas y Validación de las mismas: Tras definir la base conceptual de la prueba, se procedió a elaborar las preguntas del Test. Para el proceso de elaboración de las preguntas fue necesario realizar una revisión de las temáticas definidas anteriormente en la literatura de los cursos de Sistemas Dinámicos y de Sistemas de Control, con el objetivo de crear diferentes escenarios y situaciones desde las cuales enlazar los contenidos conceptuales. Material bibliográfico como "Control Systems Engineering" del autor Norman Nise y "Introduction to Dynamic Systems Theory" del autor David Luenberger fueron piezas clave para la elaboración de las preguntas de la prueba. Como es de esperarse, ambos referentes presentan una serie de ejercicios en las temáticas consultadas (Tabla 2). Sin embargo, tales ejercicios normalmente están orientados a la manipulación algorítmica y metódica de los conceptos. Sin embargo, Nise, (2015) incluye algunas preguntas de revisión al final de cada capítulo, información que fue consultada para guiar el nivel de comprensión de las preguntas propuestas. En términos generales, las preguntas en torno a los temas guiados por el constructor, fueron construidas por el autor de acuerdo a las necesidades de la prueba, tomando en cuenta la base bibliográfica mencionada.

El proceso de validación de las preguntas creadas se realizó mediante la revisión de expertos en el área de Sistemas Dinámicos y de Sistemas de Control, así como por medio de entrevistas estructuradas a un grupo focal de 10 estudiantes. Respecto a la revisión con expertos, esta se realizó tanto a nivel del constructo como a nivel de las preguntas. La revisión del constructo tuvo importancia puesto que a través de esta se re-direccionó múltiples veces algunos ítems de la prueba que en un principio no daban cuenta adecuadamente de lo que se pretendía evaluar. A través de esta revisión con los expertos también fue posible desacoplar tareas que, en principio, estaban aglomeradas y harían las preguntas mucho más complejas de no haber sido intervenidas. En términos de las preguntas, la revisión con expertos fue fundamental para observar cómo los ítems del Test responderían o no adecuadamente a las necesidades conceptuales propuestas en un inicio. Las guías de los expertos permitieron determinar en detalle cuándo una pregunta propuesta frente a alguno de los temas giraba en torno a conocimientos determinísticos por encima de los esquemáticos, dado que la intención con esta prueba no es determinar simplemente si un estudiante sabe o no sabe definiciones, sino cómo a partir de lo que conoce puede hacer uso de los conceptos analizados.

A continuación, se resume el proceso de entrevistas realizadas al grupo focal propuesto.

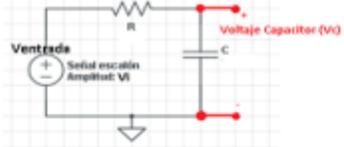
Tabla 3. Resumen de las entrevistas al grupo focal durante la validación de las preguntas

Entrevistas a Grupo Focal			
Características generales de la entrevista		Tarea para el Entrevistado	Tipos de Información obtenida a partir de cada Tarea
Objetivo General	Depuración de las preguntas para generar opciones de respuesta válidas	Lectura de la pregunta en voz alta	Problemas o aciertos en la redacción de la pregunta o de la situación presentada
Cantidad Entrevistados	10		Interpretación de lo que se le pide al estudiante de acuerdo a la narrativa de la pregunta
Contexto Entrevistados	*Haber cursado Sistemas Dinámicos o Sistemas de Control	Análisis en voz alta del proceso del seguido por el estudiante para resolver la pregunta	Interpretación de palabras o frases particulares que el estudiante identifica como distracciones o ruido
Duración de la Entrevista	45 min Aprox.		Metodología del estudiante y secuencias de pensamiento definidas por sí mismo frente a la situación dada
Preguntas Analizadas por Entrevistado	4 Preguntas		Conceptos relevantes o irrelevantes categorizados por el estudiante para responder la pregunta
		Respuesta de la pregunta y su respectiva justificación	Información visible o no visible para el estudiante en la situación dada
			Relaciones entre la información identificada por el estudiante
			Argumentación coherente de acuerdo al análisis llevado a cabo por el estudiante (respuesta correcta no proveniente del azar)

Finalmente, tras recopilar la información anteriormente descrita, se procedió a tomar las correcciones definitivas para la elaboración de la primera versión del Concept Inventory en cuestión, re-elaborando tanto enunciados como opciones de respuesta de acuerdo a las observaciones de los estudiantes y de los expertos involucrados en el proceso.

4. Ejemplos de preguntas y sus análisis en el proceso de diseño

A continuación, la figura 2 resume dos preguntas modelo correspondientes al Test desarrollado. Para cada pregunta se detallan aspectos referentes a los análisis resultantes tanto por la revisión de expertos como por la retroalimentación de los estudiantes durante las entrevistas semiestructuradas. Las preguntas se presentan en su formato abierto, tal y como fueron mostradas a los estudiantes en el proceso de revisión, gracias a que pudo obtenerse información clave en su corrección, en caso de haber existido la necesidad.

 <p>Se tiene el circuito de la figura, compuesto por una resistencia y un capacitor inicialmente descargado, ubicados en serie. Se desea observar el voltaje sobre el capacitor respecto al tiempo, $V_C(t)$, cuyo comportamiento corresponde a un sistema dinámico de primer orden, cuando el circuito se excita con una señal tipo escalón, $V_{entrada}(t)$, con un valor de V_1 Voltios, en un tiempo $t = 0$. Durante la prueba de carga se observa que en un tiempo $t = t_1$, a V_C le falta un 37% para alcanzar el valor de voltaje máximo al que se estabiliza tiempo después.</p> <p>De acuerdo con la anterior situación, ¿Aproximadamente en qué tiempo (en términos de t_1) el capacitor alcanzará su voltaje máximo? ¿Por qué?</p>	<p>Análisis de la pregunta durante su depuración</p> <ul style="list-style-type: none"> • Previamente el enunciado sólo preguntaba a qué parámetro correspondía la variable $t = t_1$, de manera que únicamente se validaba si el estudiante tenía la definición del concepto "Tiempo de respuesta". • Se modificó para que el estudiante, de acuerdo a sus conocimientos sobre respuestas de un sistema de primer orden, identificara y usara el concepto "Tiempo de respuesta" para dar respuesta. • Previo a las entrevistas, había valores numéricos para R y C en el gráfico. Esto dio a entender que la respuesta debía ser un dato numérico, a pesar de no ser el caso. El enunciado se modificó para precisar en términos de qué se esperaba la respuesta. También se eliminaron los datos numéricos de la gráfica. • Previo a las entrevistas, no se había precisado que este circuito se comporta como un sistema de primer orden. Esto resulta importante dado que no es intuitivo. Además, esto pudo evidenciarse cuando uno de los entrevistados empleó una relación lineal (regla de tres) para resolver la respuesta, cuando la respuesta en tiempo de estos sistemas no tiene tal comportamiento.
--	---

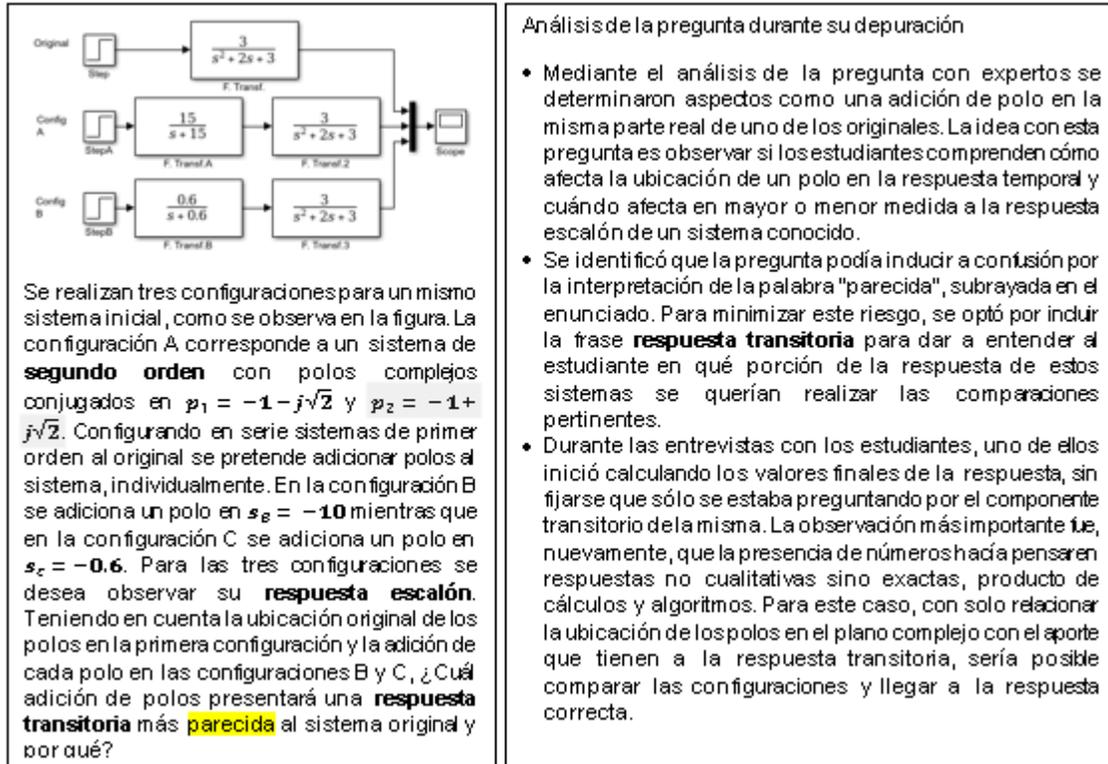


Fig. 2. Ejemplo de dos preguntas modificadas mediante el análisis de las entrevistas y revisiones hechas por los expertos

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

El proceso de creación de una herramienta conceptual de evaluación, como es el caso del CI, debe involucrar necesariamente a estudiantes y expertos y no únicamente estar basada en una serie de conocimientos arbitrariamente elegidos. La importancia de ambos tipos de participaciones recae en la fidelidad que tendrá la prueba una vez sea ejecutada, puesto que con un proceso adecuado de depuración, es posible tener ítems lo suficientemente claros y descriptivos para conocer las diferentes formas de pensar de los estudiantes a quienes va dirigida la misma, así como ofrecer al mismo tiempo un tipo de evaluación que no sólo requiere que los estudiantes tengan definiciones claras, sino que además puedan emplearlas para resolver situaciones o predecir sucesos teniendo en cuenta algún área del conocimiento.

Durante el desarrollo de esta primera versión del Concept Inventory en el área de Sistemas Dinámicos, se observó un detalle muy particular a la hora de interactuar con estudiantes entrevistados: gran parte de los alumnos guiaron sus pensamientos a través de fórmulas y de cálculos exactos y expresaron esto como un efecto de las formulaciones de las preguntas, cuando en realidad este tipo de información exacta no era necesaria para dar respuesta a alguno de los ítems de la prueba. Tal situación se observó con más frecuencia cuando en los enunciados había algún tipo de información numérica, como valores de parámetros o por ejemplo, las ubicaciones

exactas de polos y ceros de un sistema, dadas en el plano complejo. Esta connotación podría ser importante para el planteamiento de Concept Inventories en diferentes áreas.

Como parte de la continuación de esta investigación, es deseable realizar el primer piloto experimental de la prueba diseñada con los estudiantes del curso de Sistemas Dinámicos u otros cursos que hayan tenido como pre-requisito esta materia. Fundamentalmente en Sistemas Dinámicos, el análisis de las respuestas de los estudiantes mostraría un primer panorama en cuanto a la apropiación de conceptos por parte de los alumnos. Así mismo, este primer ejercicio de aplicación podría mostrar si algunos de los estudiantes presentan concepciones erradas frecuentes frente a los temas desarrollados. Sin embargo, para determinar de una mejor manera este último aspecto, el proceso de validación de las preguntas debe escalarse a grupos focales mucho más numerosos, de tal forma que una amplia participación en entrevistas semiestructuradas brinde información suficientemente generalizable frente a las diferentes maneras de pensar de los alumnos frente a un concepto, idea o tema.

Uno de los aspectos más importantes para que el Concept Inventory sea un descriptor completo del proceso de aprendizaje que tienen los estudiantes en la materia Sistemas Dinámicos, corresponde a la cobertura de la mayor cantidad de temáticas más importantes. Dentro de este aspecto particular, cabe resaltar que a diferencia del curso de Sistemas de Control, en Sistemas Dinámicos los estudiantes contemplan temáticas generales de los Sistemas Discretos, por ejemplo. Esta consideración resulta importante para tenerse en cuenta en el desarrollo de nuevas versiones de Concept Inventory, con las cuales realizar un seguimiento extensivo del curso a lo largo del tiempo.

6. Referencias

- Bristow, M., Erkorkmaz, K., Huissoon, J., Jeon, S., Owen, W., Waslander, S. and Stubble, G. (2012). A Control Systems Concept Inventory Test Design and Assessment. *IEEE Transactions on Education*, 55(2), pp.203-212.
- Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M. and Rogers, C. (2008). Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), pp.369-387.
- Engelhardt, P. and Beichner, R. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), pp.98-115.
- Jorion, N., Gane, B., James, K., Schroeder, L., DiBello, L. and Pellegrino, J. (2015). An Analytic Framework for Evaluating the Validity of Concept Inventory Claims. *Journal of Engineering Education*, 104(4), pp.454-496.
- Kalas, P., O'Neill, A., Pollock, C., & Birol, G. (2013). Development of a Meiosis Concept Inventory. *CBE Life Sciences Education*, 12(4), 655–664. <http://doi.org/10.1187/cbe.12-10-0174>
- Luenberger, D. (2012). *Introduction to dynamic systems*. 12th ed. [S. I.]: J. Wiley &

Sons.

- Miller, R., Streveler, R., Olds, B. and Nelson, M. (n.d.). Interactive session: concept-based engineering education: designing instruction to facilitate student understanding of difficult concepts in science and engineering. *34th Annual Frontiers in Education, 2004. FIE 2004*.
- Nasr, R., Hale, S. and Garik, P. (n.d.). Student misconceptions in signals and systems and their origins. *33rd Annual Frontiers in Education, 2003. FIE 2003*.
- Nasr, R., Hall, S. and Garik, P. (n.d.). Student Misconceptions in Signals and Systems and their Origins — Part II. *Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference*.
- Nise, N. (2015). *Control systems engineering*. 11th ed. Hoboken: J. Wiley & Sons.
- Zoller, U. & Tsapalis, G. *Research in Science Education* (1997) 27: 117. doi:10.1007/BF02463036
- Wage, K., Buck, J., Wright, C. and Welch, T. (2005). The Signals and Systems Concept Inventory. *IEEE Transactions on Education*, 48(3), pp.448-461.

Sobre los autores

- **Juan Camilo Rincón:** Estudiante de Ingeniería Electrónica con Opción Académica en Educación, Universidad de los Andes. jc.rincon29@uniandes.edu.co
- **Michaël Canu:** Maestría en Control de sistemas y de producción de la Ecole des Mines de Nantes (France), Maestría y Doctorado en didáctica de las disciplinas de la universidad Paris Diderot – Paris 7 (Francia), Doctor en Ingeniería de la Universidad de Los Andes. Profesor de la universidad El Bosque y cátedra de la universidad de Los Andes. m.canu134@uniandes.edu.co / mcanu@unbosque.edu.co
- **Mauricio Duque:** Ingeniero eléctrico, Msc en ingeniería Universidad de los Andes, DEA y Doctor en Ingeniería de INRP, Grenoble, Francia. Profesor asociado Universidad de los Andes. maduque@uniandes.edu.co.

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

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)