

**MODELADO DEL PROCESO DE DOCENCIA Y DISCENCIA DE ENSEÑANZA-  
APRENDIZAJE EN EDUCACIÓN SUPERIOR**

**RAÚL FRANCISCO VALDIVIESO BOHÓRQUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA**

**2017**

**MODELADO DEL PROCESO DE DOCENCIA Y DISCENCIA DE ENSEÑANZA-  
APRENDIZAJE EN EDUCACIÓN SUPERIOR**

**RAÚL FRANCISCO VALDIVIESO BOHÓRQUEZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Director:**

**RICARDO LLAMOS A VILLALBA  
Doctor Ingeniero de Telecomunicación  
Director Científico Grupo de Investigación CIDLIS**

**Codirector:**

**DARÍO JOSÉ DELGADO QUINTERO  
Magíster en Ingeniería de Sistemas e Informática  
Investigador CIDLIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
MAESTRÍA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Para todas las personas que confiaron en mí a pesar de las dificultades, entre esos mis padres, mis hermanos, mi familia y mis amigos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y demás que me apoyaron....

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	22
1. MARCO DE REFERENCIA.....	25
1.1 MARCO LEGAL .....	25
1.2 ANTECEDENTES.....	25
1.3 MARCO CONCEPTUAL .....	28
1.3.1 Análisis de sistemas dinámicos. ....	29
1.3.2 Sistemas de control automático. ....	29
1.3.3 Conceptos varios de Sistemas Dinámicos y enfoques de modelado.....	35
1.3.4 Evaluación del aprendizaje. ....	38
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
2.1 DECLARACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	45
2.1.1 Enfoques del problema (Análisis). ....	45
2.1.2 Descripción del problema (Síntesis). ....	48

2.1.3 Pregunta de investigación.....	48
2.1.4 Solución inicial propuesta. ....	48
2.1.5 Hipótesis. ....	52
2.1.6 Objetivos propuestos en la investigación. ....	53
2.2 ESPECIFICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
2.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	55
3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	58
3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO PARA LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA- APRENDIZAJE .....	62
3.1.1 Unidad de Observación (Detalle). ....	62
3.1.2 Definición del proceso como un sistema de control. ....	70
3.1.3 Especificación del proceso de Enseñanza-Aprendizaje (EA).....	74
3.1.4 Conclusiones de la definición del modelo. ....	79
3.2 MEDICIÓN DE LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE (EA).....	80
3.2.1 Instrumentos del sistema de medición. ....	81
3.2.2 Matrices de instrumentación. ....	99

3.2.3 Estrategia para la implementación del sistema de medición.....	120
3.2.4 Conclusiones de la medición de los procesos de EA.....	126
3.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES .....	127
3.3.1 Resultados de las mediciones. ....	128
3.3.2 Conclusiones sobre el análisis de las mediciones. ....	145
3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL .....	146
3.4.1 Sistema de control propuesto. ....	146
3.4.2 Conclusiones sobre el diseño del sistema de control. ....	164
3.5 VERIFICACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA REALIMENTACIÓN.....	165
3.5.1 Descripción de la implementación de la prueba piloto. ....	166
3.5.2 Comparación de los resultados de las pruebas. ....	173
3.5.3 Conclusiones de la verificación de la influencia de la realimentación. ....	179
4. CONCLUSIONES GENERALES Y DISCUSIÓN .....	180
5. TRABAJOS FUTUROS.....	182
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	184

BIBLIOGRAFÍA.....189

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación entre sistemas de control de lazo abierto y lazo cerrado ...	32
Tabla 2. Objetivos específicos del trabajo de investigación .....	53
Tabla 3. Síntesis de particularidades de la investigación.....	54
Tabla 4. Instrumentos de recolección de información.....	55
Tabla 5. Descripción de las etapas de la metodología de investigación .....	56
Tabla 6. Actividades que relacionan las etapas con los objetivos del trabajo de investigación .....	58
Tabla 7. Información de la Asignatura del caso de aplicación .....	63
Tabla 8. Competencias de la asignatura del caso de aplicación.....	63
Tabla 9. Variables de control del caso de aplicación .....	66
Tabla 10. Naturaleza de las variables del sistema.....	68
Tabla 11. Atributos de las variables del sistema.....	69
Tabla 12. Analogía de elementos de control y procesos de EA.....	74
Tabla 13. Relevancias sumativas supuestas de los instrumentos del módulo 1....	86

Tabla 14. Matrices booleanas de relaciones entre entidades .....	103
Tabla 15. Ficha técnica de la asignatura intervenida .....	121
Tabla 16. Ficha técnica de la implementación .....	121
Tabla 17. Distribución de porcentajes de calificaciones entre los módulos .....	123
Tabla 18. Distribución de pesos individuales y acumulados de los instrumentos de medición .....	124
Tabla 19. Especificaciones de los niveles cognitivos a partir de los verbos .....	148
Tabla 20. Estrategias didácticas de enseñanza y aprendizaje .....	149
Tabla 21. Actividades para definición del plan de control amplio.....	151
Tabla 22. Representación matricial de relación entre estrategias y niveles cognitivos .....	153
Tabla 23. Matriz de configuración de ponderación y referencias de cada nivel cognitivo.....	159
Tabla 24. Matriz de planificación de acciones de regulación para aprendizaje y enseñanza .....	160
Tabla 25. Acciones para plan de control compacto .....	161
Tabla 26. Entradas y Salidas para la plantilla de instrumentos de medición .....	163
Tabla 27. Casos candidatos para la aplicación de acciones reguladoras.....	170

Tabla 28. Casos seleccionados para realimentación y refuerzo .....	170
Tabla 29. Acciones reguladoras para niveles N1, N2 y N3.....	171
Tabla 30. Plan de acciones reguladoras para la realimentación y refuerzo del Módulo 1.....	172
Tabla 31. Estadística descriptiva de las medias grupales de la satisfacción por temas de contenido .....	175
Tabla 32. Estadística descriptiva de las medias grupales de la satisfacción por temas (con y sin valores atípicos) .....	177
Tabla 33. Matriz de causa-efecto de problemáticas para futuros trabajos .....	182

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Enfoques de mejoramiento en procesos de enseñanza y aprendizaje ...	26
Figura 2. Mapa conceptual sobre el marco .....	28
Figura 3. Elementos básicos requeridos para implementar un sistema de control	31
Figura 4. Comparación de lazos de control. a) Sistema de control en lazo abierto y b) Sistema de control en lazo cerrado .....	32
Figura 5. Proceso de diseño de un sistema de control .....	33
Figura 6. Fases DMAIC en Seis Sigma .....	36
Figura 7. Fases DMADV en Seis Sigma .....	37
Figura 8. Escenario de procesos operativos de enseñanza aprendizaje .....	49
Figura 9. Diagrama de flujo de los procesos de enseñanza aprendizaje .....	50
Figura 10. Subsistemas de la planificación operativa .....	51
Figura 11. Subsistemas de los actuadores operativos.....	51
Figura 12. Subsistemas de los procesos operativos.....	52
Figura 13. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo de investigación	56

Figura 14. Representación inicial del proceso de enseñanza aprendizaje como parte de un sistema integrado (vista de proceso) .....	71
Figura 15. Representación de un sistema de control para el proceso de enseñanza aprendizaje (vista de proceso) .....	72
Figura 16. Modelo de control del sistema de enseñanza-aprendizaje .....	72
Figura 17. Sistema de control de lazo cerrado (Definición del proceso) .....	75
Figura 18. Estructura de un curso en módulos y lecciones.....	76
Figura 19. Modelo resumido de procesos por cada lección .....	76
Figura 20. Modelo de procesos de cada lección.....	78
Figura 21. Procesos por módulo .....	79
Figura 22. Vista de conceptos del sistema de control (mapa conceptual) .....	80
Figura 23. Sistema de control de lazo cerrado (Definición del sistema de medición) .....	81
Figura 24. Momentos de aplicación de los instrumentos básicos por lección .....	84
Figura 25. Línea de tiempo de aplicación de los instrumentos de medición .....	85
Figura 26. Pesos de instrumentos de medición (caso de ejemplo).....	87
Figura 27. Propiedades de los instrumentos de medición .....	88

Figura 28. Diagrama Entidad-Relación de los elementos de evaluación .....	89
Figura 29. Estructura jerárquica de la información y sus matrices de transformación .....	92
Figura 30. Relación de ejemplo entre Temas y Variables utilizando la Matriz de Transformación T-V .....	93
Figura 31. Matriz de asignación E-T con el detalle de los niveles cognitivos por tema .....	95
Figura 32. Matriz tridimensional para la relación ternaria entre elementos, niveles y temas .....	96
Figura 33. Vistas E-N (cara lateral) y E-T (cara frontal) a partir de la matriz tridimensional de elementos, niveles y temas.....	97
Figura 34. Conjuntos de matrices de asignación, de transformación y de instrumentación.....	100
Figura 35. Matrices requeridas para la obtención de $I_T$ .....	101
Figura 36. Aritmética matricial para la obtención de matrices de instrumentación .....	102
Figura 37. Generación de matrices de instrumentación a partir de composición de relaciones .....	103
Figura 38. Producto matricial para generación de matrices de seguimiento.....	106
Figura 39. Generación de matrices de incidencia a partir de las matrices de transformación .....	111

Figura 40. Generación de matrices de seguimiento a partir de la multiplicación de matrices de seguimiento “semilla” con matrices de incidencia. ....	112
Figura 41. Descomposición de la matriz de seguimiento por temas .....	113
Figura 42. Sistema matricial para generación de matriz de seguimiento de estudiantes-temas.....	114
Figura 43. Sistema matricial para generación de vector de seguimiento de estudiantes - <i>temi</i> .....	114
Figura 44. Ciclo de vida del curso intervenido .....	122
Figura 45. Relevancia sumativa de instrumentos implementados .....	125
Figura 46. Relevancia sumativa por semana de clase.....	126
Figura 47. Ciclo de vida del sistema de medición y seguimiento.....	128
Figura 48. Matriz de asignación de Elementos con Temas de la ES1.1 .....	129
Figura 49. Matriz de asignación de Elementos con Niveles de la ES1.1 .....	130
Figura 50. Comportamiento del estado de temas según la aplicación de instrumentos .....	132
Figura 51. Comportamiento de los temas del Módulo 1.....	133
Figura 52. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 1 ...	134
Figura 53. Comportamiento de los temas del Módulo 2.....	135

Figura 54. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 2 ...	136
Figura 55. Comportamiento de los temas del Módulo 3.....	137
Figura 56. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 3 ...	138
Figura 57. Comportamiento de los temas del Módulo 4.....	139
Figura 58. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 4 ...	139
Figura 59. Matriz de transformación Temas-Variables .....	140
Figura 60. Comportamiento de las variables de control.....	141
Figura 61. Matriz de transformación Variables-Indicadores.....	142
Figura 62. Comportamiento de indicadores de competencia.....	143
Figura 63. Matriz de transformación Indicadores-Competencias.....	144
Figura 64. Comportamiento de las competencias.....	144
Figura 65. Sistema con control de lazo cerrado (Definición del control) .....	146
Figura 66. Procesos de enseñanza – aprendizaje por módulo y por lección .....	156
Figura 67. Detalle de procesos de enseñanza aprendizaje por lección (acción- evaluación).....	157
Figura 68. Representación visual entre niveles cumplidos y acciones reguladoras .....	158

Figura 69. Relaciones matriciales para la obtención de las matrices de refuerzo por instrumento. ....	162
Figura 70. Ciclo de vida del sistema de medición con realimentación .....	166
Figura 71. Subproceso de lanzamiento, diligenciamiento e integración del instrumento al sistema .....	167
Figura 72. Ciclo de vida del sistema de medición con realimentación con subproceso reducido .....	168
Figura 73. Satisfacción de los temas del módulo 1 en las primeras mediciones .	169
Figura 74. Satisfacción en pretest y en postest (después de la realimentación) para los temas del módulo 1 .....	173
Figura 75. Temas evaluados con pretest y postest e instrumentos de medición asociados.....	174
Figura 76. Comparación entre el par de mediciones de los temas .....	175
Figura 77. Diagrama de caja y bigotes de las mediciones de los temas de contenido .....	176
Figura 78. Rangos de la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo .....	178
Figura 79. Estadístico de prueba de Wilcoxon de los rangos con signo .....	178

## RESUMEN

**TÍTULO:** MODELADO DEL PROCESO DE DOCENCIA Y DISCENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN EDUCACIÓN SUPERIOR\*  
**AUTOR:** RAÚL FRANCISCO VALDIVIESO BOHÓRQUEZ\*\*  
**PALABRAS CLAVE:** GESTIÓN MODULAR DE CONTENIDOS (GMC), SISTEMA DE GESTIÓN DEL APRENDIZAJE (SGA), SISTEMA DE MEDICIÓN DEL APRENDIZAJE (SMA), SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL APRENDIZAJE (SCA), MEDICIÓN DE COMPETENCIAS, MEDICIÓN Y REFUERZO USANDO LA TAXONOMÍA DE BLOOM.

### DESCRIPCIÓN:

El modelado de los procesos de enseñanza y aprendizaje como un sistema de control en lazo cerrado facilita la estrategia de implementación de acciones reguladoras que conlleven al cumplimiento de los objetivos de aprendizaje. La propuesta que se presenta en este documento consiste en el modelado del proceso de enseñanza y aprendizaje a través de vistas de módulos, de su ciclo de vida, y de la relación entre los temas de contenido con las competencias propuestas.

La ejecución de este trabajo siguió una metodología basada en el método científico y “*seis sigma*” para diseño de productos y procesos, con la cual se desarrollaron tres productos principales: una metodología de Gestión Modular de Contenidos (GMC) que consiste en la dosificación del contenido del semestre en pequeñas partes con tiempos definidos; el Sistema de Medición del Aprendizaje (SMA) que consiste en la evaluación del aprendizaje basado en la taxonomía de Bloom a través de instrumentos de medición que se encuentran integrados en un sistema de recolección de información y relacionados con niveles cognitivos de Bloom, temas de contenido, variables de control, indicadores de competencia y competencias de desempeño; y el Sistema de Seguimiento y Control del Aprendizaje (SCA) que define planes de control para refuerzo de debilidades utilizando estrategias basadas en la taxonomía de Bloom e indica cómo usar la información del SMA y los planes de control para realimentar y gestionar el aprendizaje de los estudiantes.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación evidenciaron que la implementación de un sistema de control realimentado en los procesos de enseñanza y aprendizaje puede mejorar el desempeño de los estudiantes para las variables de interés definidas en el sistema.

---

\* Trabajo de investigación.

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T). Director: Johann Farith Petit Suarez, Ingeniero Electricista, Doctor en ingeniería Eléctrica.

## ABSTRACT

**TITLE:** MODELING OF THE TEACHING AND LEARNING PROCESSES IN HIGHER EDUCATION\*  
**AUTHOR:** RAÚL FRANCISCO VALDIVIESO BOHÓRQUEZ\*\*  
**KEYWORDS:** MODULAR-MANAGEMENT-OF-CONTENTS (GMC), LEARNING MANAGEMENT SYSTEM (SGA), APPRENTICESHIP-MEASUREMENT-SYSTEM (SMA), SYSTEM OF MONITORING AND CONTROL OF THE APPRENTICESHIP (SCA), MEASUREMENT OF COMPETENCES, MEASUREMENT AND REINFORCEMENT USING BLOOM TAXONOMY.

### DESCRIPTION:

The modeling of teaching and learning processes as a closed-loop control system facilitates the strategy of implementing regulatory actions that lead to the fulfillment of the learning objectives. The proposal presented in this document consists of the modeling of teaching and learning process through module views and their life cycle. Besides, it's shown the relationship between the content themes and the proposed competencies.

The execution of this research followed a methodology based on the scientific method and the "six sigma" for the design and development of its three main products and processes. These are: the Methodology of Modular-Management-of-Contents or by its acronym in Spanish (GMC), the Apprenticeship-Measurement-System (SMA) and the System of Monitoring and Control of the Apprenticeship (SCA). Specifically, the GMC methodology dosages the content themes of a course in small parts and then defines it a schedule. On the other hand, the SMA system evaluates the learning based on the Bloom's taxonomy through of measuring instruments integrated into an information collection system. These instruments relate the Bloom cognitive levels, the content themes, the control variables, the competence indicators, and the performance competencies. Finally, the SCA system which defines the control plans to reinforce of the weaknesses using strategies based on Bloom's taxonomy. Also, this system shows how to use the SMA information and the control plans to give the feedback to the student and manage its learning.

Results showed that the implementation of a closed-loop control system in the learning and teaching processes can improve the student performance for the variables defined in the system.

---

\* Master's Theses.

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T). Director: Johann Farith Petit Suarez, Electrical Engineer PhD.

## INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el desarrollo del trabajo de investigación referente al modelado del proceso de docencia y discencia en Educación Superior, el cual se realizó motivados por el alto impacto que tiene para la sociedad lo referente a la educación superior y particularmente se tratar el cómo poder articular estándares, instrumentos y técnicas de medición y control en los procesos de enseñanza y aprendizaje (EA) para facilitar el seguimiento de los objetivos y mejorar su operación.

Algunos enfoques que se han utilizado para abordar el problema se han concentrado en el **modelado y control del estudiante y del aprendizaje** [1]–[4]; en la mejora en las **estrategias didácticas** [5]–[7]; en la mejora en las **estrategias de evaluación** [8]–[10] e incluso en el **modelado de procesos educativos** [11]–[15].

El tema escogido sigue acercamientos realizados por otros autores y por el grupo de investigación CIDLIS, adscrito a la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T), de la Universidad Industrial de Santander (UIS), con el que se desarrolló este trabajo y se escogió porque resultaba interesante proponer una estrategia de ingeniería que resolviera un problema vigente en la sociedad y que pudiera ser implementada directamente en los procesos de La Universidad para la toma de decisiones estratégicas y operativas, por parte de directivos y de profesores, y que presentara rápidamente resultados favorables en sus indicadores y mediciones.

El Ministerio de Educación Nacional de Colombia ha presentado acercamientos en ámbitos tácticos y estratégicos; un ejemplo de ello es la “Guía para la Implementación del Modelo de Gestión de Permanencia y Graduación Estudiantil en Instituciones de Educación Superior” [16], que es un documento que presenta estrategias y herramientas para fortalecer políticas, tácticas y estratégicas, de permanencia y reducción de deserción. Por lo cual, se decidió en este trabajo acotar el sistema solamente al ámbito operativo para proponer la definición, medición y posterior control, sin profundizar en el ámbito táctico y estratégico, y se considerará el modelo el proceso de (EA) visto directamente desde el aula y enfocado principalmente a la administración de estrategias didácticas como acciones reguladoras de control.

Se tiene como hipótesis de investigación que la incorporación de un sistema de control, en los procesos de (EA) en Educación Superior, mejora el desempeño a través del establecimiento de planes de control que faciliten el seguimiento de los objetivos, la cual fue planteada al observar que la teoría de control trata de características como medición, seguimiento y reducción del error, que pueden ser convenientemente adaptadas a sistemas organizacionales compuestos por personas, como la educación, generando satisfacción en la consecución de sus objetivos.

Por lo anterior, se propuso como objetivo general el modelar y simular los procesos de (EA) en Educación Superior, a través de la caracterización de los procesos, con el fin de obtener las especificaciones del sistema para mejorar su desempeño, objetivo que fue descompuesto en los siguientes tres objetivos específicos:

1. Caracterizar los escenarios de docencia y discencia de Enseñanza – Aprendizaje en Educación Superior a través de la identificación de las variables y objetivos de control con el fin de obtener un modelo de la estructura organizacional y funcional asociada a nivel de procesos.
2. Especificar los procesos de docencia y discencia en educación superior utilizando los activos de contenido del CIDLIS y propuestas encontradas en la literatura con el fin de establecer los planes de control y sistemas de medición de los procesos.
3. Simular el sistema propuesto para verificarlo y validarlo a partir del análisis de los resultados obtenidos en los escenarios caracterizados.

Como resultado de este proyecto, siguiendo los objetivos anteriores, se obtuvo un modelo de un sistema de control con especificaciones para el proceso de (EA) que integra los estándares con un modelo de proceso, un sistema de medición y planes de control con el fin de facilitar la toma de decisiones que conlleven a la mejora del proceso de (EA).

Esta investigación utilizó un enfoque cuantitativo descriptivo en cuanto a que se miden conceptos y se definen variables, y cuantitativo correlacional pues analiza la diferencia de grupos (que es un caso particular de correlación) para la prueba de la hipótesis, sin embargo, tiene también elementos de un enfoque cualitativo de investigación-acción puesto que, el hecho de utilizar un modelo de sistema de control de lazo cerrado (realimentado) conduce a un cambio que fue incorporado en el mismo proceso de investigación de tal forma que, como dice Hernández Sampieri

en Metodología de la investigación [17] “se indaga al mismo tiempo que se interviene”.

El desarrollo del trabajo de investigación utiliza una metodología basada en procesos de diseño de sistemas de control [18], método científico [19]–[21] y métodos de diseño de productos DMADV y de mejora de productos DMAIC del Seis Sigma [22]–[24].

El contenido de este documento se encuentra distribuido de forma tal que se parte de un marco de referencia, en el capítulo 2, con información que se considera necesaria y suficiente para un mayor entendimiento de lo descrito. En seguida, en el capítulo 3, se presentan detalles sobre la declaración del problema de investigación y la metodología de investigación propuesta para el desarrollo de esta investigación.

En el capítulo 4 se presenta el desarrollo de la implementación y se describe cada etapa de la metodología: en una sección independiente compuesta por la descripción del desarrollo y algunas conclusiones sobre el desarrollo de esa etapa. Estas etapas son:

1. Definición del modelo para los procesos de Enseñanza-Aprendizaje (EA).
2. Medición de los procesos de EA.
3. Análisis de las mediciones.
4. Diseño del Sistema de Control.
5. Verificación de la influencia de la realimentación.

Finalmente, el documento cierra con el capítulo 5 de conclusiones generales y discusión, en el que se sintetizan las principales conclusiones propuestas en desarrollo de las etapas de la metodología, presentándose desde la perspectiva de la pregunta de investigación, la hipótesis de investigación, el objetivo general y los objetivos específicos. Las conclusiones son seguidas por el capítulo 6 donde se recopilan algunas ideas de investigación surgidas durante la ejecución del proyecto y se plantean como trabajos futuros.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

Para el marco de referencia de este trabajo se agregaron tres secciones de importancia: el marco legal, antecedentes de investigación y el marco conceptual. En el marco legal se describen especificaciones sobre lineamientos para la elaboración del trabajo de investigación; los antecedentes tratan de desarrollos realizados sobre el tema de investigación mientras que en el marco conceptual se describen los conceptos básicos utilizados para el desarrollo del proyecto.

### 1.1 MARCO LEGAL

En esta sección se presentan algunas de las especificaciones consideradas de interés para la realización de este trabajo de investigación.

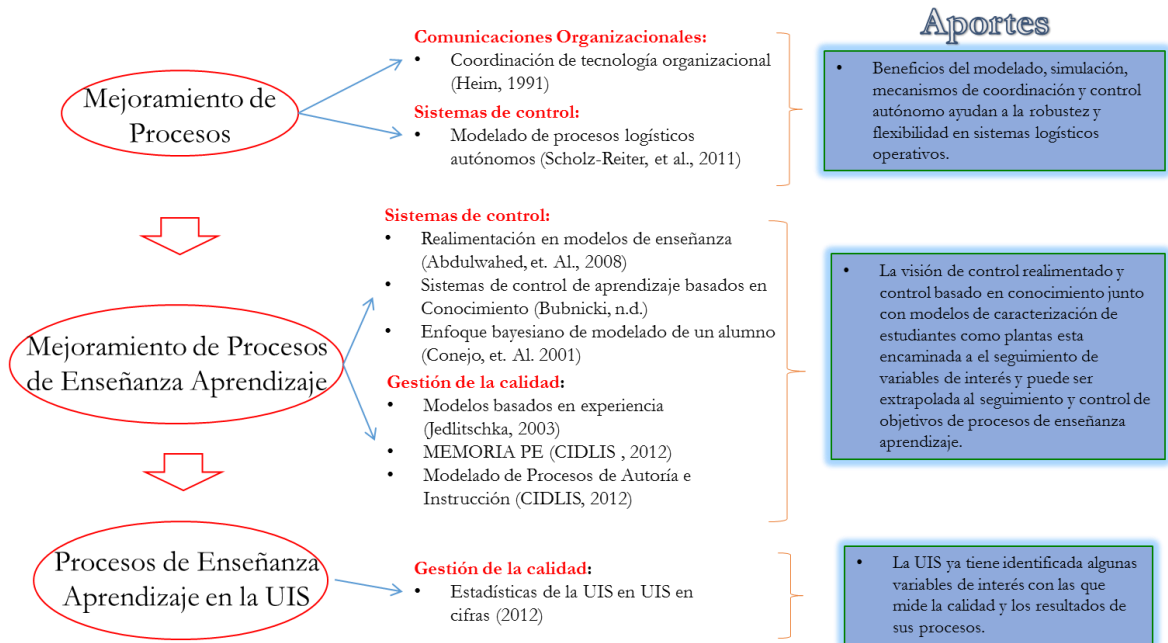
La Universidad Industrial de Santander, en su reglamento de pregrado, del acuerdo 075, estipula lo siguiente: “**Artículo 97.** Todo candidato a título de maestría realizará, en forma individual, **un trabajo de investigación**, en el caso de las **maestrías de investigación**, entendiéndose por trabajo de investigación el desarrollo de un proceso que, siguiendo el método científico, logre la transferencia, asimilación, apropiación, adaptación, ampliación, perfeccionamiento o desarrollo de conocimiento, metodologías o tecnologías para la solución de problemas disciplinares, interdisciplinares o profesionales, además de la satisfacción de necesidades del entorno, la región o el país asociadas al campo disciplinar.”

Por otra parte, según Muñoz [20], “**Una tesis de maestría** intenta una investigación científica para analizar leyes, teorías, conocimientos y conceptos de una disciplina, en especial para tratar de comprobar su validez; de esta forma, se pretende reafirmar, refutar, modificar o generar nuevos conocimientos en su área de estudios.”

### 1.2 ANTECEDENTES

Una síntesis de los principales desarrollos encontrados en la literatura asociados con el problema a tratar en esta investigación se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Enfoques de mejoramiento en procesos de enseñanza y aprendizaje



En el mapa presentado en la Figura 1 se presentan algunos de los trabajos más representativos que fueron tomados como guía en esta investigación para contextualizar el problema a resolver y se abordan desde aspectos generales hasta un escenario más específico asociado con el caso de aplicación.

Inicialmente se revisa el contexto del mejoramiento de los procesos a partir de los trabajos de Heim sobre coordinación tecnológica organizacional [25] y de Scholz sobre limitaciones en procesos logísticos autónomos [26], de los cuales se concluyó la importancia del modelado, simulación, coordinación y control autónomo para la robustez y flexibilidad de los sistemas y donde se manifestó el problema de la no adaptación del control autónomo a grandes redes y la necesidad de la incorporación de modelos de coordinación organizacional para facilitar esfuerzos colaborativos en la academia.

Más cerca del caso de aplicación, en el contexto del mejoramiento de procesos de enseñanza y aprendizaje (EA), se toman trabajos propios del grupo que realiza este

trabajo<sup>5</sup>, asociados con la gestión de la calidad, donde se define un ciclo de vida y flujos de trabajo, que identifican las actividades y los diferentes roles que interactúan en los procesos de (EA) [13], [14]. Este enfoque de gestión de calidad es complementado con el trabajo de Jedlitschka sobre modelos basados en experiencia que propone la integración de experiencia entre la industria y la academia, donde se toman principios de paradigmas de mejora de calidad, además de sugerir la necesidad de definir estrategias para integrar los desarrollos de la industria y la academia enfocados hacia la definición de mecanismos de medición, seguimiento y control para conseguir los objetivos planteados y asegurar la estabilidad del sistema. [27].

Para el contexto de mejoramiento de procesos de (EA), también se revisaron trabajos asociados con los sistemas de control como el de Abdulwahed sobre realimentación en la enseñanza [4], Bubnicki sobre sistemas de control de aprendizaje basados en conocimiento [2] y Conejo y otros sobre el modelado bayesiano de un alumno [3] donde se tratan acercamientos sobre la realimentación, control basado en conocimiento y modelado de los estudiantes como la planta del sistema, buscando el seguimiento de variables de interés que se pueden aprovechar para hacer control sobre los objetivos de los procesos de (EA), sin embargo, se plantea que los modelos de control requieren de una caracterización matemática adecuada de sus elementos para reducir la incertidumbre.

Por otra parte, el Ministerio de Educación Nacional de Colombia –MEN, ha presentado esfuerzos para desarrollar sistemas encaminados en crear una cultura de la información<sup>6</sup>, la cual hace referencia al acceso, disponibilidad, calidad y uso de la información para la toma de decisiones en diferentes ámbitos (operativo, táctico, estratégico), como se manifiesta en el “Componente 2: Cultura de la Información” de la “Guía para la implementación del modelo de Gestión de Permanencia y Graduación Estudiantil en Instituciones de Educación Superior – IES” [16]

---

<sup>5</sup> El grupo de investigación CIDLIS, adscrito a la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T), de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

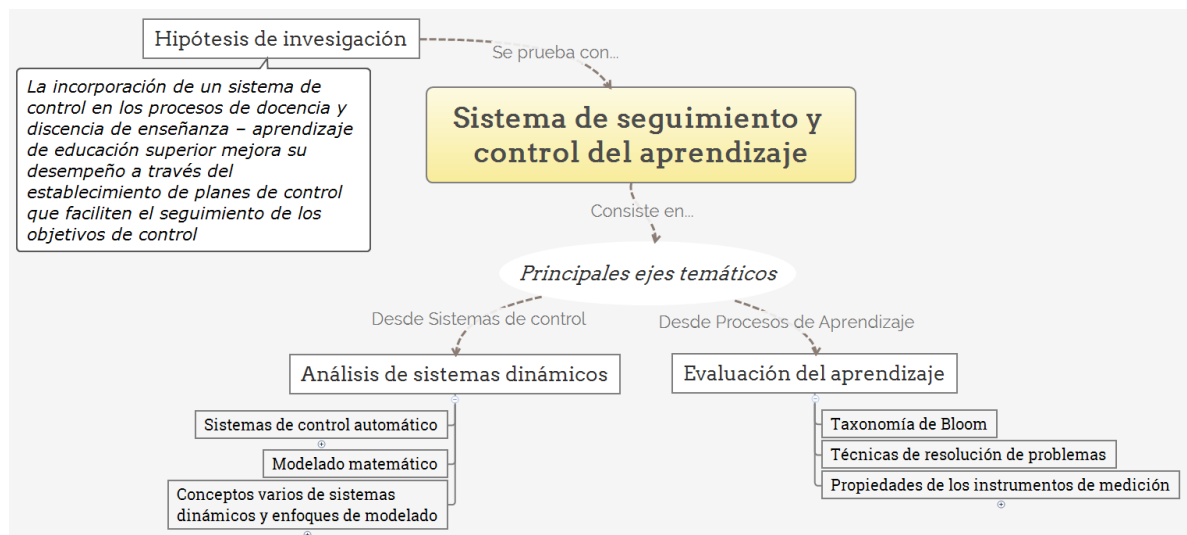
<sup>6</sup> Evidenciado en <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-87509.html>, del periódico Altablero No. 31, AGOSTO-SEPTIEMBRE 2004

Finalmente, se trata el contexto de los procesos de (EA) en La Universidad en donde revisan las estadísticas de la UIS en el documento UIS en cifras 2012 , de donde se puede concluir que se tienen identificadas variables de interés para medir la calidad y los resultados de los procesos, pero donde se pudo notar que no se tienen causas claras y a la mano de los actores que justifiquen valores bajos en los índices institucionales de desempeño dificultando el establecimiento de planes de mejora pertinentes, y donde se planteó la necesidad de integrar los resultados con información tomada en el aula de clase.

### 1.3 MARCO CONCEPTUAL

En este trabajo de investigación se trabajan principalmente dos ejes temáticos, asociados por un lado con los sistemas dinámicos (enfoque de ingeniería) y por otro lado con la educación (servicio asociado con el caso de aplicación), como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Mapa conceptual sobre el marco



En esta Figura 2 se aprecian los principales conceptos incluidos en el marco conceptual y su derivación a partir de la hipótesis de investigación y de la propuesta de solución identificada en la figura como “Sistema de seguimiento y control del aprendizaje”.

**1.3.1 Análisis de sistemas dinámicos.** El modelado de los sistemas dinámicos permite hacer análisis del comportamiento y cambios de estado del sistema, es por esto que se presentan los conceptos de sistemas de control, modelado matemático y otros conceptos de sistemas dinámicos.

**1.3.2 Sistemas de control automático.** Un sistema es una combinación de componentes, no necesariamente físicos, que actúan juntos y buscan el cumplimiento de un objetivo determinado; el concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos [28]; y un sistema de control es una interconexión de componentes, elementos o “sistemas”, cada uno con una función clara, que forman una configuración determinada para conseguir la respuesta deseada en las variables de salida a partir de la manipulación de variables de entrada [18].

Algunos conceptos que deben tenerse en cuenta para el análisis de sistemas de control son las siguientes [28]:

**Variable controlada:** es la variable descrita por la magnitud, estado o condición que se mide y que se busca controlar como resultado de la implementación de un sistema de control. Por lo general se conoce como salida del sistema controlado.

**Variable manipulada:** es la variable descrita por la magnitud, estado o condición que se mide y se modifica con el fin de influenciar sobre el valor de la variable controlada. Por lo general se conoce como entrada del sistema controlado y debe ser capaz de influenciar cambios intencionados sobre las variables controladas.

**Controlador:** es el componente que modifica el valor de la variable manipulada.

**Planta:** es cualquier objeto físico o escenario donde se encuentra y se mide la variable controlada. Puede ser una parte de un equipo, un conjunto de partes de una máquina, un ambiente, una situación, etcétera.

**Actuador:** dispositivo o sistema que transforma una señal, magnitud o variable en otra señal, variable o magnitud que permite la influencia sobre la activación o modificación de la variable controlada. En sistemas físicos los actuadores suelen ser eléctricos, electrónicos, neumáticos o hidráulicos como motores, cilindros de

presión, válvulas, etcétera. A través de los actuadores los sistemas de control pueden manipular o influenciar cambios en las variables de salida.

**Proceso:** es cualquier operación que se va a controlar o donde se mide la variable controlada.

**Perturbaciones:** son señales que tienden a afectar el valor de salida de un sistema y pueden generarse dentro del sistema (perturbación interna) o fuera del sistema (perturbación externa).

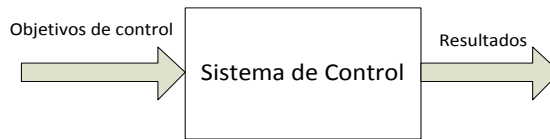
**Sistema dinámico:** es un sistema donde su estado varía con el tiempo o con respecto a otra variable de referencia a diferencia de un sistema estático. Si se conoce la ley que rige la evolución del sistema, así como su estado inicial, se puede determinar cualquier estado futuro del sistema. Todos los posibles estados del sistema se pueden representar por valores en algún conjunto  $X$  llamado espacio de estados [29]. Un sistema dinámico es un sistema en el que hay almacenamiento de energía, materia o información; es decir, es un sistema con memoria [30].

**Variable de estado:** son variables auxiliares que permiten representar y describir el comportamiento de sistemas dinámicos mediante ecuaciones matemáticas. Las variables de estado dependen del sistema que se esté modelando.

**1.3.2.1 Elementos requeridos de un Sistema de Control.** Todo sistema que busque alcanzar y asegurar ciertos objetivos necesita utilizar un sistema de control que integre sus diferentes componentes para tomar decisiones con base en información, transmita instrucciones y realice acciones sobre las variables de salida o resultados. Los objetivos de control, subsistemas del sistema de control y los

resultados o salidas, son los elementos básicos requeridos para representar e implementar un sistema de control [31], como se representa en la Figura 3.

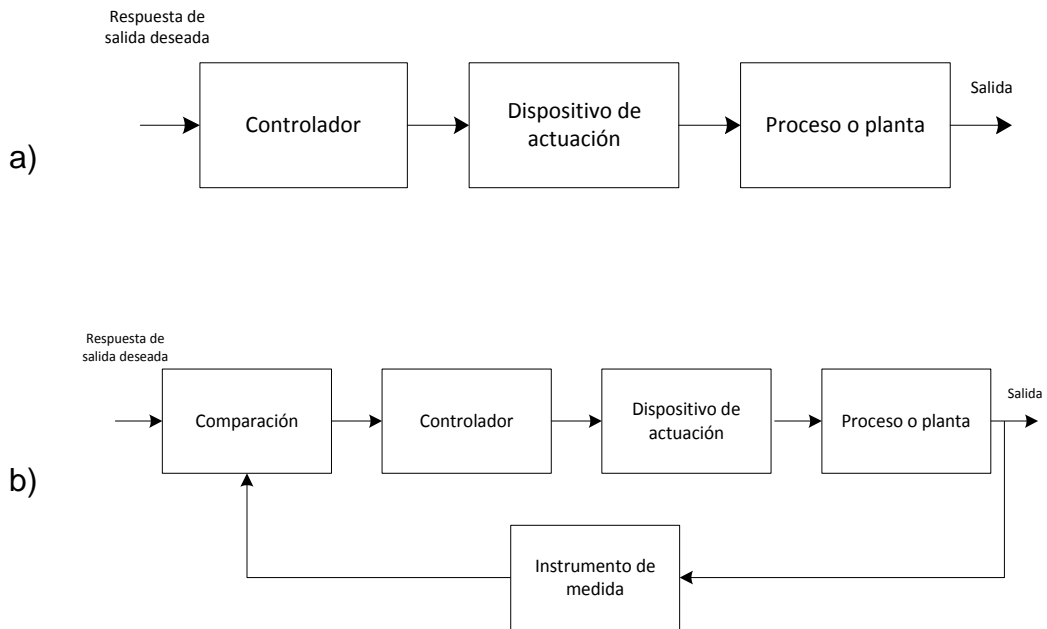
Figura 3. Elementos básicos requeridos para implementar un sistema de control



**1.3.2.2 Sistemas de lazo abierto y lazo cerrado.** Desde el punto de vista de la realimentación, los sistemas de control se puede clasificar en los que tienen realimentación de las salidas para realizar sus acciones de control y los que no tienen esa realimentación y se conocen como sistemas en lazo cerrado y sistemas en lazo abierto respectivamente, entendiéndose como realimentación una secuencia cerrada de relaciones causa-efecto que permiten modificar las entradas a partir de información de las salidas [31].

Los sistemas en lazo abierto responden a un estímulo sin preocuparse por el cambio de los estados internos del sistema, mientras que los sistemas en lazo cerrado agregan realimentación de las salidas para establecer cómo los estados del sistema están cambiando debido a dicho estímulo y cómo “controlar” esos cambios [32]. Los sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado se muestran en la Figura 4.

Figura 4. Comparación de lazos de control. a) Sistema de control en lazo abierto y b) Sistema de control en lazo cerrado



En la Tabla 1 se presenta una comparación de las ventajas de los sistemas de control entre los sistemas de lazo abierto y los sistemas de lazo cerrado.

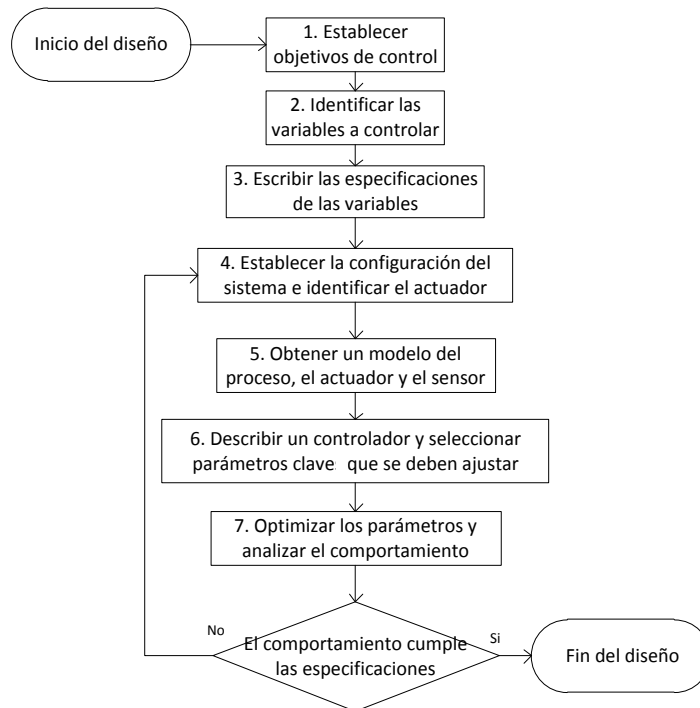
Tabla 1. Comparación entre sistemas de control de lazo abierto y lazo cerrado

Ventajas sistema en lazo abierto	Ventajas sistema en lazo cerrado
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Son económicos de implementar.</li> <li>2. Se encuentran presentes en muchos escenarios</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Son más exactos y más adaptables.</li> <li>2. Pueden ser más estables.</li> <li>3. Pueden incrementar o reducir la sensibilidad del sistema.</li> <li>4. Pueden reaccionar mejor ante perturbaciones (reducir el efecto del ruido).</li> <li>5. Pueden mejorar el ancho de banda.</li> <li>6. Pueden aumentar o disminuir la ganancia global del sistema para diferentes frecuencias.</li> <li>7. Pueden aumentar o disminuir la impedancia, respuesta transitoria y respuesta en frecuencia de los sistemas.</li> </ol>

Fuente: Adaptada de Golnaraghi, F., & Kuo, B. C. (2010). *Automatic Control Systems*. (Wiley, Ed.) (9th ed.) [33]

**1.3.2.3 Diseño de sistemas de control.** El diseño en ingeniería de control tiene como objetivo obtener la configuración, especificaciones e identificación de los parámetros clave de un sistema propuesto para satisfacer una necesidad real [18]. El proceso básico para el diseño de un sistema de control es un proceso iterativo donde se busca cumplir con las especificaciones de diseño y se itera cuantas veces sea necesario hasta conseguirlo como se presenta en la Figura 5.

Figura 5. Proceso de diseño de un sistema de control



Fuente: adaptado de Sistemas de control moderno de Dorf [18]

El proceso de diseño de un sistema de control finaliza haciendo un análisis del comportamiento de las variables controladas con base en las especificaciones establecidas en el tercer paso y, en caso de que se cumplan dichas especificaciones, se procede a documentar los resultados. En caso que no se cumplan las especificaciones, se propone una nueva configuración del sistema seleccionando un mejor actuador o un mejor sensor. Este proceso se repetirá hasta que se satisfagan las especificaciones o hasta que se decida redefinir el sistema de tal forma que no sean tan exigentes [18].

**1.3.2.4 Modelado matemático.** Los modelos en general de un sistema se relacionan con la realidad a través de la abstracción, que determina los elementos más importantes según su efecto en la evolución del sistema; y la interpretación, que se concibe como la relación entre las variables, parámetros y su comportamiento con los componentes, características y desempeño del sistema real [21].

El modelado matemático es el proceso de obtener modelos utilizando formulismo matemático para expresar las proposiciones de hechos, las variables y los parámetros de un sistema junto con sus relaciones y operaciones para estudiar comportamientos de sistemas complejos en escenarios difíciles de observar o construir en la realidad.

El modelado matemático se construye con base en el método científico y se resume en los siguientes pasos [21]:

- La observación y descripción.
- El desarrollo de hipótesis o explicaciones.
- La comprobación por experimentación de dichas hipótesis.
- La aplicación de estos conocimientos en la resolución de problemas similares.

Según Ruiz [21] el modelo matemático debe tener las siguientes cualidades:

- **Coherencia:** prever el comportamiento futuro considerando las observaciones anteriores.
- **Robustez:** ser capaz de responder a los cambios de los valores de los parámetros.
- **Flexibilidad:** permitir el cambio y adaptación a nuevas situaciones.
- **General:** permitir la generalización dentro de ciertos límites.

Para hacer modelado matemático se debe seguir un método iterativo y evolutivo que consta de tres fases: la abstracción, la interpretación y la corroboración [21].

La primera fase del modelado matemático es la abstracción donde se establecen las hipótesis, se definen las variables, y se identifican fórmulas a partir de las funciones matemáticas requeridas para la resolución del problema [21].

En la siguiente fase se ajustan, reducen, seleccionan y simplifican las herramientas matemáticas utilizadas. Con estas herramientas se hacen predicciones del sistema [21].

La tercera fase consiste en realizar experimentos a partir de la recolección de nuevos datos del mundo real con base en las variables establecidas y comparar estos datos con las predicciones del modelo propuesto. Si coinciden los nuevos datos con el modelo propuesto, las hipótesis y las variables son verdaderas, pero si no coinciden, se realizan iteraciones sucesivas en donde se utilizan los nuevos datos con el fin de ajustar las hipótesis [21].

**1.3.3 Conceptos varios de Sistemas Dinámicos y enfoques de modelado.** Otros conceptos asociados con los sistemas dinámicos y modelado de sistemas, utilizados en este trabajo, se presentan a continuación de forma muy breve, estos temas son:

1. Dinámica de sistemas
2. Cibernética, y
3. Métodos Seis Sigma para Diseño y para Mejora

**1.3.3.1 Dinámica de sistemas.** La dinámica de sistemas permite hacer el análisis y modelado del comportamiento de un sistema aportando herramientas para transcribir la descripción elemental de un sistema en términos de un sistema dinámico en el que se puedan identificar los estados y la variación de los estados a lo largo del tiempo [34].

Esta técnica se basa en la identificación de bucles de realimentación entre los elementos de un sistema y facilita la obtención de los modelos matemáticos que describen el comportamiento del sistema para luego simularlo con la ayuda de herramientas software.

**1.3.3.2 Cibernética.** Es la ciencia que estudia los mecanismos de comunicación, regulación y control de sistemas complejos como los sistemas informáticos y seres vivos. Es también el estudio de las analogías entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos y los de las máquinas; y en particular, el de las aplicaciones de los mecanismos de regulación biológica a la tecnología<sup>7</sup>. La cibernética está íntimamente relacionada con la teoría de control y la teoría de sistemas.

**1.3.3.3 Métodos Seis Sigma.** Seis Sigma, o mejora Seis Sigma, es un enfoque de gestión que busca la mejora continua del desempeño operacional enfocándose en el cliente y en los procesos buscando oportunidades de mejora a través de la reducción del tiempo de flujo, del número de defectos, y detectando y eliminando las causas de errores, defectos y retrasos en los procesos [22], [23], [35].

El método Seis Sigma para mejora de procesos y productos – DMAIC por su acrónimo en inglés, consiste en desarrollar las cinco fases que se muestran en la Figura 6.

Figura 6. Fases DMAIC en Seis Sigma



Fuente: [http://www.caletec.com/consultoria/seis\\_sigma/](http://www.caletec.com/consultoria/seis_sigma/)

---

<sup>7</sup> Enciclopedia de la real academia española <http://lema.rae.es/drae/?val=cibern%C3%A9tica>

Las fases del método seis sigma consisten en las siguientes actividades [24]:

**Definir:** Identificar los problemas más importantes en los procesos y definir los parámetros de interés.

**Medir:** Identificar los datos, obtener los datos y evaluar la calidad de los datos.

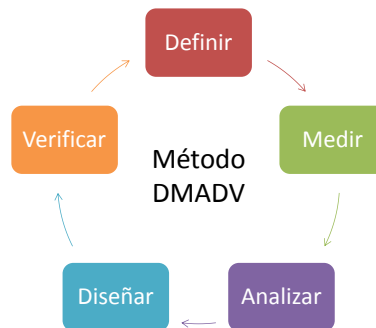
**Analizar:** explorar los datos, caracterizar los procesos y problemas, actualización de mejoras del alcance del proyecto.

**Mejorar:** identificar posibles soluciones, seleccionar la solución, implementar un piloto, evaluar el desempeño del piloto.

**Controlar:** definir el método de control, implementar, documentar.

Otro enfoque de seis sigma es el método para hacer diseño y rediseño de productos – DMADV que se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Fases DMADV en Seis Sigma



Las fases de este método consisten en [22]:

**Definir:** Identificar y especificar claramente el nuevo producto, servicio o proceso que requiere ser diseñado o rediseñado. Se elabora el marco del proyecto, se definen las metas y las variables internas y externas.

**Medir:** Gestionar las investigaciones requeridas para entender las necesidades del cliente y definir los requerimientos de una forma cualitativa y cuantitativa.

**Analizar:** Revisar, evaluar y seleccionar alternativas de diseño de productos o procesos, que permitan satisfacer los requerimientos de los clientes. Se analizan también las características técnicas para ajustarse a las especificaciones.

**Diseñar:** Hacer el diseño, evaluar la capacidad del diseño propuesto y elaborar los planes para realizar pruebas piloto o prototipos del nuevo producto, servicio o proceso, buscando el cumplimiento de las especificaciones técnicas, la reducción de errores y los criterios de calidad.

**Verificar:** Construir o desarrollar un producto o proceso piloto para verificar el cumplimiento de las especificaciones.

Seis sigma, visto desde los sistemas de control, propone una metodología para controlar la variable asociada con el número de defectos o errores a partir de estrategias de mejora.

**1.3.4 Evaluación del aprendizaje.** En el contexto educativo, se concibe la evaluación del aprendizaje como un aspecto de suma importancia para corroborar el cumplimiento de los objetivos de enseñanza aprendizaje. Según el momento en que se realizan, las evaluaciones pueden ser de tres diferentes tipos [8], [10]:

1. **Evaluación diagnóstica:** permite el conocimiento de las ideas y actitudes previas.
2. **Evaluación formativa:** se utiliza para hacer seguimiento a las actividades de enseñanza y aprendizaje y permite la realimentación.
3. **Evaluación sumativa:** se utiliza para certificar y acreditar la calidad institucional de los aprendizajes y del proceso formativo. Se realiza para valorar los productos.

Algunos aspectos relevantes asociados con evaluación del aprendizaje se mencionan a continuación.

**1.3.4.1 Taxonomía de Bloom.** La taxonomía de Bloom es una categorización que se da a los objetivos de aprendizaje según su complejidad cognitiva, esta consiste en los siguientes niveles: [8], [10], [36], [37]:

1. (N1) Conocer y Recordar
2. (N2) Comprender
3. (N3) Aplicar
4. (N4) Analizar
5. (N5) Evaluar
6. (N6) Sintetizar o Crear

Estos niveles cognitivos son utilizados para el diseño de ítems de evaluación, así como para el planteamiento de estrategias didácticas. A continuación, se presenta una breve definición de cada uno de los niveles:

**Conocer:** “Los ítems elaborados para evaluar los resultados del área del conocimiento deben adaptarse lo máximo posible a la forma y nivel de precisión utilizados en la instrucción.”[10]

1. Verbalización del conocimiento
2. Situaciones familiares

**Comprender:** En los ítems diseñados para evaluar los resultados del área de comprensión no se espera que el estudiante imite idénticamente lo que se ha realizado en la instrucción. [10]

1. Situaciones familiares, pero no los mismos casos tratados en la instrucción.
2. “Problemas o situaciones en donde el uso de nuevas cantidades o símbolos hace que difieran de otros solucionados en la clase.”
3. “Problemas o situaciones en donde la única diferencia con respecto a los tratados en la instrucción consiste en la inclusión de algunos nombres nuevos u otros cambios leves para alterar la forma original.”
4. Considera tres fases fundamentales: Traducción (explicar los conceptos utilizando distintas palabras o recursos), interpretación (asimilación de los conceptos y usarlos para explicar algo) y extrapolación (usar los conceptos en diferentes escenarios).

**Aplicar:** Ideas, según Bloom [10], de la aplicación:

1. “La habilidad para aplicar principios y generalizaciones a nuevos problemas y situaciones”
2. “Se considera con frecuencia como la indicación de que un tema ha sido adecuadamente dominado.”
3. “Los problemas y situaciones son nuevos para el estudiante, son similares a los de la instrucción, pero contienen alguna novedad o no son completamente familiares. El estudiante no debe poder solucionar los nuevos problemas y situaciones recordando meramente la solución o el método preciso para solucionar un problema similar presentado en clase.”
4. “Los problemas o situaciones son nuevos si el estudiante no ha recibido instrucción o ayuda al respecto y debe adoptar algunos de los siguientes cursos de acción con respecto a su enunciación antes de poder solucionarlo.”
5. “La enunciación del problema debe ser modificada de alguna manera antes que sea posible encararlo.”
6. “El estudiante debe encontrar lo que se ofrece y lo que se necesita antes que pueda ser atacado o solucionado.”
7. “Debe descubrir la existencia de elementos extraños o irrelevantes en el enunciado, los cuales deben ser eliminados o ignorados.
8. Debe elaborar el problema colocando sus partes en un orden diferente del que se encuentra en el enunciado.”
9. “El estudiante tal vez deba enunciar o definir nuevamente el problema antes de que le resulte claro lo que debe hacer exactamente para solucionarlo.”
10. “La enunciación del problema debe presentarse en la forma de algún paradigma o modelo antes que el estudiante pueda aplicar los principios y generalizaciones previamente aprendidos.”
11. “La enunciación del problema requiere que el estudiante repase en su memoria los principios y generalizaciones para encontrar aquellos que vienen al caso. Además, se trata de un nuevo problema si se deben utilizar los principios y generalizaciones de una manera distinta de aquella en que fueron empleados previamente.”

**Analizar:** Ideas, según Bloom [10], del análisis:

1. “El análisis es “El fraccionamiento de una comunicación en sus elementos o partes constituyentes de tal modo que se ponga de manifiesto la relativa jerarquía de las ideas y/o se expliciten las relaciones entre las ideas expresadas. Estos análisis tienen la intención de esclarecer la comunicación,

indicando cómo se organizan y se logran alcanzar sus efectos, lo mismo que sus fundamentos y organización”.

2. “El análisis presupone que el individuo no solo puede comprender lo que se ha enunciado en documento (tanto de un modo literal como figurado), sino que también puede separarse del mensaje para considerarlo en términos de lo que hace y cómo lo hace.

**Evaluar:** “La evaluación se define como la formulación de juicios sobre el valor que para algún propósito tienen ideas, trabajos, soluciones, métodos, materiales, etc. Implica el uso de criterios y de normas para apreciar el grado en que los elementos particulares son precisos, eficaces, económicos o satisfactorios. Los juicios pueden ser cuantitativos o cualitativos, y los criterios, los determinados por el estudiante o los que han sido proporcionados” [10]

**Sintetizar o crear:** “Se trata de la capacidad de crear nuevos estilos, formas o contenidos de comunicación a partir de una comunicación inicial. Hace parte de los pensamientos divergentes en el cual es improbable establecer de antemano la solución correcta de un problema.” [10]

**1.3.4.2 Técnicas de resolución de problemas.** Por otra parte, algunos autores [6], [38] establecen procedimientos que son genéricos para la resolución de muchos problemas y que se encuentran asociados con los niveles cognitivos (objetivos de aprendizaje) de Bloom. Las principales etapas son las siguientes:

1. Comprensión del problema: Identificación clara del problema, de las variables involucradas, de lo que se ofrece, de lo que se pide, de lo que falta, etcétera (Comprender).
2. Relacionar los elementos del problema: Identificación de relaciones entre el problema y situaciones semejantes (Aplicar, Analizar), así como de elementos y variables que lo componen.
3. Proponer plan para la solución del problema: Relacionar el problema con situaciones semejantes para reutilizar las estrategias de solución de forma alternativa y que se ajuste al nuevo problema (Sintetizar, Evaluar).
4. Ejecutar el plan de solución: Ejecutar y comprobar cada uno de los pasos del plan de solución propuesto, lo cual implica el estudio profundo de los conceptos involucrados (Comprender).
5. Realizar actividad metacognitiva sobre el proceso utilizado en la solución: reflexionar sobre el procedimiento seguido con el fin de determinar hallazgos

y lecciones aprendidas para considerar en situaciones futuras. Esta etapa permite construir el saber (Sintetizar).

**1.3.4.3 Propiedades de los instrumentos de medición.** Entre las características técnicas de un examen se encuentran la validez, la confiabilidad y la objetividad. [10], [17]

**Validez:** Según Ebel [39], la validez aplicada a un conjunto de resultados de prueba se refiere a la exactitud con que los resultados miden una habilidad cognitiva particular de interés. En cierta forma la validez es el grado en que un instrumento en verdad mide la variable que se busca medir [10], [17]. Se encuentran diferentes tipos de validez que son requeridos en la elaboración de evaluaciones:

1. Validez del contenido: correspondencia entre el ítem de evaluación y el tema de contenido que se pretende evaluar.
2. Validez de criterio: es la validez que se establece al correlacionar las puntuaciones resultantes de aplicar el instrumento con las puntuaciones obtenidas de otros criterios externos que pretenden medir lo mismo. Se pueden determinar dos tipos:
  - a. Validez predictiva: la relación entre mediciones desarrolladas en diferentes momentos resulta correcta.
  - b. Validez concurrente: la relación entre una medición indirecta y una medición más directa de alguna habilidad o conducta.
3. Validez de la construcción o de constructo: las hipótesis sobre la vinculación de habilidades diferentes resultan correctas. Según Hernández [17] esta validez “debe explicar cómo las mediciones del concepto o variable se vinculan de manera congruente con las mediciones de otros conceptos correlacionados teóricamente”

**Confiabilidad:** Se refiere a la consistencia que existe en los resultados para diferentes estudiantes, y esto se puede manifestar de tres maneras distintas:

1. Si la prueba se repite en otro momento no muy lejano, esto es, se esperaría que el ordenamiento de los estudiantes, según sus resultados, se conserve al repetirse la prueba [10]. Un factor de riesgo en los ítems de preguntas cerradas de opción múltiple con única respuesta es la probabilidad de aprobación por azar, generando riesgo de falsos positivos.

2. Por otro lado, también se manifiesta la confiabilidad cuando se obtienen los mismos resultados ante la aplicación de dos preguntas distintas que evalúan lo mismo.
3. Y, por último, cuando la prueba se repite en un tiempo más prolongado.

Algunas indicaciones para mejorar la confiabilidad son:

1. La aclaración de las ambigüedades
2. Un mayor acuerdo en la determinación del puntaje en una persona para diferentes ocasiones.
3. Agregar más ítems de similar validez en conducta-contenido.
4. Eliminar los ítems de bajo poder de discriminación o ajustar su redacción con el fin de aumentar su poder discriminativo.

De forma complementaria, según Ebel [39], la confiabilidad para resultados de pruebas se apoya en la definición de que “el coeficiente de confiabilidad para un conjunto de resultados de un grupo de evaluados es el coeficiente de correlación entre ese conjunto de resultados y otro proveniente de una prueba equivalente y obtenida de manera independiente de miembros del mismo grupo de evaluados”. De esta definición se derivan tres aspectos:

1. La confiabilidad es una propiedad del conjunto de resultados de una prueba y no de la prueba en sí.
2. La confiabilidad se puede medir con el coeficiente de correlación.
3. Se requieren de dos o más mediciones independientes provenientes de pruebas equivalentes.

**Objetividad:** Está asociado con la precisión al momento de calificar o puntuar un ítem, esto es, que diferentes examinados reciban una misma puntuación por evidenciar la misma conducta o contestar lo mismo en un ítem. Una posible situación en que se presenta la falta de objetividad es cuando la prueba es de selección múltiple y el docente que corrige la prueba tiene desacuerdos con los colegas con respecto a las alternativas que son correctas o erróneas para cada ítem. Para profundizar más al respecto se recomienda consultar a Bloom [10].

Otro tipo de pérdida de objetividad ocurre en las preguntas abiertas cuando el evaluador se apoya en las respuestas anteriores de los estudiantes para ofrecer

una valoración distinta a distintos estudiantes que respondieron lo mismo. Para evitar este tipo de desviaciones se recomienda:

1. Eliminar el nombre del estudiante.
2. Mezclar las hojas de respuesta al momento de evaluar un ítem.
3. Si hay más ítems, volver a mezclar antes de evaluar cada uno.
4. Mantener oculto el puntaje de los ítems anteriores de cada estudiante.

Finalmente, Bloom propone algunos pasos generales para hacer revisiones de pruebas: [10]

1. Proporcionar la prueba a un grupo pequeño de estudiantes, que pueden ser de niveles superiores, para su revisión y resolución y tomar nota de los hallazgos presentados.
2. Mostrar la prueba y las pautas de diseño a un par experto.
3. Calcular la mediana y la media de los puntajes obtenidos en una prueba de ensayo para un grupo.
4. Calcular la desviación estándar de los puntajes de la prueba.
5. Obtener una medición de la dificultad, o facilidad, de cada ítem a partir del porcentaje de estudiantes que contesta satisfactoriamente el ítem. Al momento de aplicar la prueba es conveniente eliminar las más fáciles y las más difíciles o, mejor aún, ajustar su dificultad cambiando la redacción o algunas de las alternativas de respuesta para esos casos extremos.
6. Determinar el poder de discriminación al dividir el grupo de estudiantes en dos grupos de igual tamaño, un grupo de los más altos puntajes y un grupo de los más bajos puntajes, y calcular el índice de dificultad de cada ítem para cada grupo para luego dividir el de los más altos entre el de los más bajos, los valores superiores a 1 indican que el ítem tiene discriminación favorable mientras que los menores a 1 indican que el ítem tiene discriminación desfavorable. Con los ítems de discriminación desfavorable se propone hacer ajuste en la redacción intentando eliminar ambigüedades o expresiones subjetivas.
7. Observar la confiabilidad de la prueba manifestada como la consistencia a través de diferentes muestras de ítems con los procedimientos utilizados en las pruebas

## 2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para presentar la metodología de esta investigación se presentará la declaración del problema que motivó la investigación, algunas especificaciones básicas de la investigación que se desarrolló y finalmente, la investigación aplicada.

### 2.1 DECLARACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se tratan las inquietudes y el desarrollo del problema que motivó al planteamiento de la pregunta de investigación y la formulación de los objetivos.

**2.1.1 Enfoques del problema (análisis).** El problema resuelto se ha identificado y establecido desde tres enfoques complementarios: enfoque de gestión de la calidad, enfoque organizacional y enfoque desde sistemas de control.

**2.1.1.1 Enfoque de Gestión de la calidad.** Se han producido cambios internos y externos en los procesos de docencia, investigación y vinculación social con el interés de generar mejoras en el desempeño de las personas en contextos sociales impulsados por la mejora de la calidad, la eficiencia, la productividad y la competitividad al interior de universidades tanto en el ámbito mundial como local [40].

Uno de los principales retos a tratar es el de crear guías de gestión de conocimiento (estándares o normas) para medir y mejorar la calidad de los procesos educativos. En este sentido, las instituciones de educación superior han realizado esfuerzos por adoptar marcos de trabajo ("*Frameworks*") de calidad sustentados en Seis Sigma, ISO9000, Gestión de Calidad Total (TQM), entre otros. Estos marcos de trabajo en calidad, sin embargo, han sido diseñados inicialmente para los sectores productivos, por lo cual, se requiere una adaptación que considere las necesidades particulares del sector educativo.

Considerando la suposición de que uno de los elementos que están caracterizando la educación en todo el mundo, en estos primeros años del siglo XXI, es el énfasis puesto en los sistemas de evaluación de la calidad, muchos gobiernos han optado por conformar entidades adscritas generalmente en los Ministerios de Educación para realizar acciones de evaluación de calidad a sus sistemas de educación [9].

En Colombia, el Ministerio de Educación Nacional, a través de su modelo de Acreditación del Consejo Nacional de Acreditación (CNA) y del Sistema de Aseguramiento de Calidad en Educación Superior (SACES), ha definido y establecido un conjunto de condiciones de calidad académicas e institucionales que definen y enmarcan la educación superior en Colombia y que todavía generan una gran cantidad de información que ha motivado a muchos cambios institucionales que aún no producen impactos trascendentales en la sociedad colombiana.

Las medidas tomadas por los gobiernos están generando gran cantidad de información pero aún queda por demostrar si realmente contribuye a optimizar la calidad de la educación y a reducir las inequidades existentes en los sistemas educativos [9].

En los procesos de enseñanza aprendizaje se tratan las prácticas asociadas con la docencia (enseñanza) y la discencia (aprendizaje), y en estos también se deben seguir estándares de calidad que deben ser evaluados como parte de la calidad del sistema de educación [41].

Los cursos de asignaturas ofrecidos por instituciones de educación superior (IES) son escenarios que también están sujetos a estándares de calidad donde la mejora se puede lograr al hacer un seguimiento más frecuente que permita realimentar a docentes y estudiantes de una forma efectiva. “La evaluación debe ser un proceso continuo y permanente que permita la identificación y tratamiento temprano de debilidades que pueden afectar el desempeño de los procesos y la calidad en la prestación del servicio y los productos desarrollados” [41].

**2.1.1.1.1 Conclusión.** Es necesario crear guías de gestión del conocimiento para facilitar el seguimiento continuo de los procesos de enseñanza aprendizaje a través de evaluaciones frecuentes que permitan la identificación de debilidades. Con esta información se pueden hacer realimentaciones efectivas a los involucrados y tratamiento temprano de las debilidades para lograr la mejora oportuna de los indicadores de los procesos.

**2.1.1.2 Enfoques organizacionales.** Los desarrollos realizados en el sector productivo pueden integrarse con la academia para compartir sus experiencias [27], como los trabajos sobre la implementación de herramientas de modelado y simulación que se integran con mecanismos de coordinación organizacional para

los sectores productivos que han logrado facilitar esfuerzos colaborativos exitosos en equipos co-localizados en la industria [25].

La experiencia de la aplicación de enfoques de mejora en la industria y la academia se pueden combinar, sin embargo esta combinación se ha dificultado por los diferentes enfoques de ambos sectores y restricciones para el intercambio de experiencia e información entre ellos [27].

Los procesos organizacionales han sido definidos desde muchos estándares pero no son evidentes los mecanismos que permitan la medición, seguimiento y control de metas y objetivos para los procesos de enseñanza – aprendizaje [13], [41].

**2.1.1.2.1 Conclusión.** Es necesario implementar estrategias integradoras que establezcan mecanismos de medición, seguimiento y control y que permitan aprovechar de forma indistinta los desarrollos hechos por los sectores productivo y académico.

**2.1.1.3 Enfoques desde sistemas de control.** En las organizaciones se han implementado sistemas de control autónomos presentando ventajas como la robustez y flexibilidad pero dejan a un lado la planificación y la ejecución y no se ha experimentado mucho en la incorporación a grandes redes [26].

Los sistemas de control se han usado para la interpretación de modelos de aprendizaje en los que se busca aprovechar las ventajas de la realimentación vista como herramientas de aprendizaje constructivista donde se evalúa y realimenta permanentemente al estudiante, sin embargo, bajo este enfoque, es necesario determinar un modelo matemático **preciso** para describir al estudiante para que las simulaciones de su comportamiento se asemejen a la realidad [4].

En el desafío de describir al estudiante a **través** de modelos matemáticos se han hecho acercamientos utilizando modelos bayesianos donde se modela al estudiante de una forma probabilística. Este acercamiento facilita la validación de los test y evaluaciones analizando los posibles escenarios o resultados al simular a los estudiantes [3].

Otra alternativa de implementación de sistemas de control es la de sistemas de aprendizaje basado en conocimiento donde ya no se utilizan definiciones matemáticas exactas sino que se establecen reglas de control que se pueden validar y actualizar paso a paso [2].

**2.1.1.3.1 Conclusión.** Los sistemas de control requieren, por lo general, caracterización exacta (determinista) de sus elementos, sin embargo, también se pueden abordar desde enfoques probabilísticos e incluso se pueden integrar con otros enfoques que incluyan la ejecución y la planificación para poder simular el desempeño de procesos completos.

**2.1.2 Descripción del problema (síntesis).** La desarticulación entre estándares, instrumentos y técnicas de medición y control en procesos de enseñanza – aprendizaje dificultan el seguimiento de los objetivos y la definición de acciones de mejora preventiva y correctiva, y esto hace que los procesos no operen adecuadamente.

**2.1.3 Pregunta de investigación.** ¿Es viable definir una herramienta de Ingeniería que integre estándares, instrumentos y técnicas de medición y control para mejorar el desempeño de los procesos de enseñanza aprendizaje?

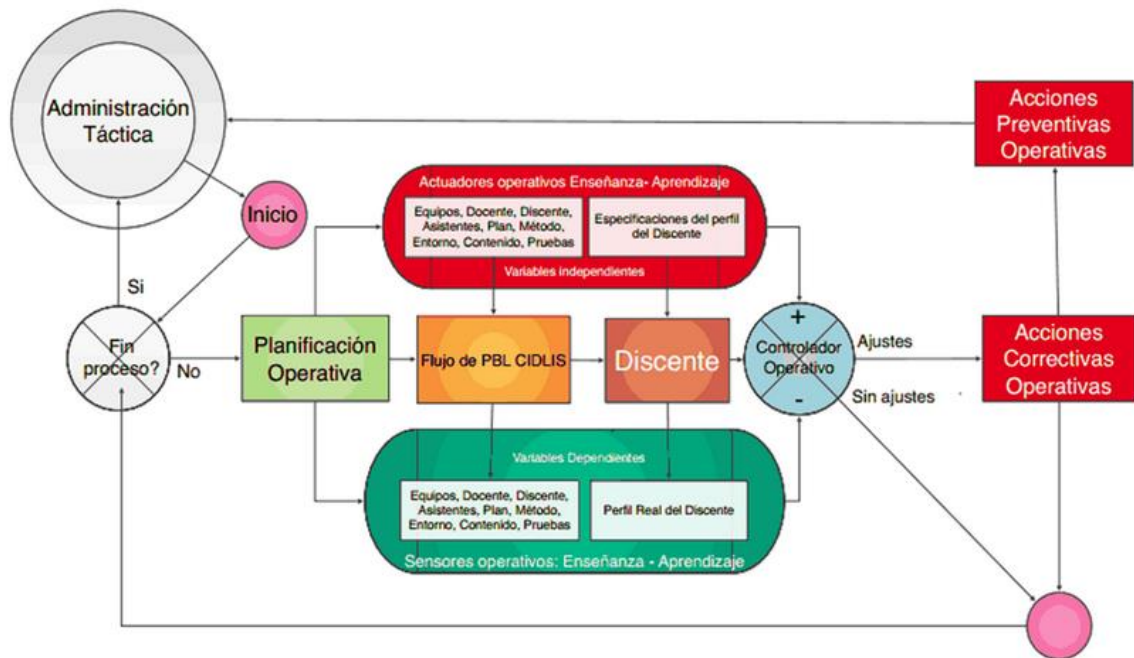
**2.1.4 Solución inicial propuesta.** Los procesos de enseñanza – aprendizaje (EA), desde el punto de vista administrativo, requieren la incorporación de elementos que permiten operar de manera adecuada, pero estos elementos dependen de los interesados y responsables de la ejecución de los procesos. Un primer modelo conceptual, adaptado a los procesos de enseñanza – aprendizaje ejecutados por el CIDLIS<sup>8</sup>, se muestra la Figura 8, donde se consideran elementos de administración

---

<sup>8</sup> CIDLIS es el Grupo de Investigación con el cuál se desarrolló el presente proyecto de investigación, adscrito a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) de la UIS.

táctica y señales de realimentación que permiten introducir el concepto de sistema de control de lazo cerrado.

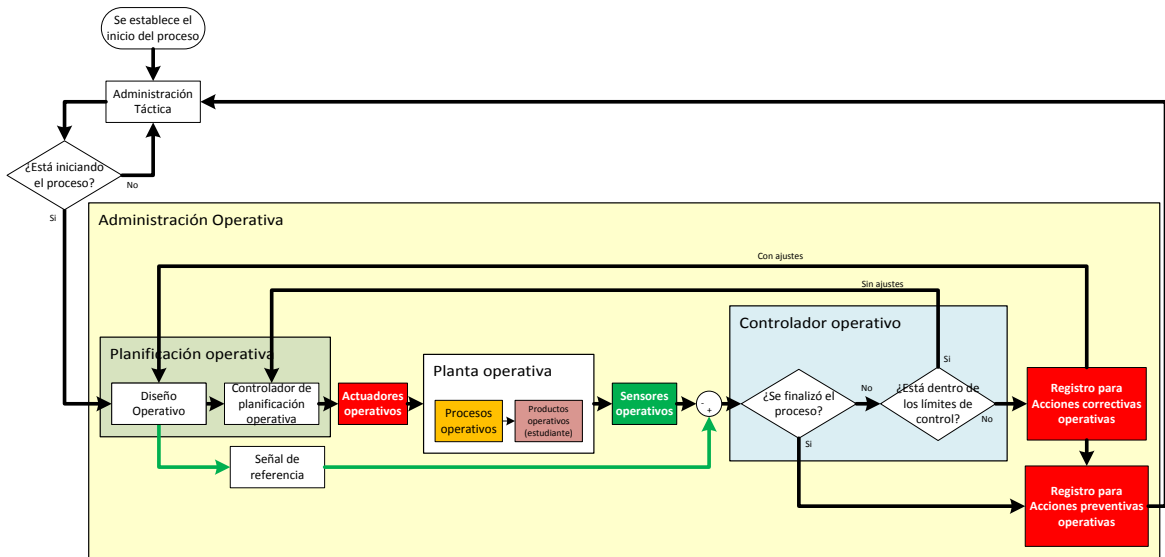
Figura 8. Escenario de procesos operativos de enseñanza aprendizaje



Fuente: Tomado de los activos de contenido del Grupo CIDLIS-E3T para el desarrollo de este proyecto.

Esta descripción inicial de los escenarios es representada en la Figura 9 a manera de diagrama de flujo en donde se identifican claramente los elementos de control, las señales de un bloque al otro y las entradas y salidas de cada bloque.

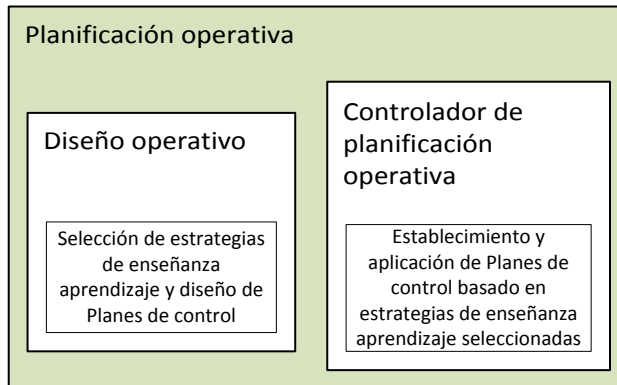
Figura 9. Diagrama de flujo de los procesos de enseñanza aprendizaje



En esta representación del escenario se visualizan los subsistemas asociados al proceso de enseñanza-aprendizaje y se identifican los elementos de control.

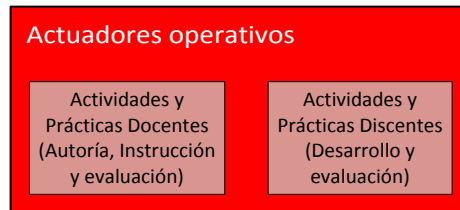
En la planificación operativa se realiza el diseño del curso donde se definen las estrategias de enseñanza – aprendizaje que serán implementadas en el curso junto con los planes de control. En este proceso también se definen las especificaciones del sistema como límites de control perfiles de los actores (discentes y equipo docente), objetivos de control, recursos necesarios, etcétera, y todo esto se resume en un plan de gestión de curso. Este proceso se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Subsistemas de la planificación operativa



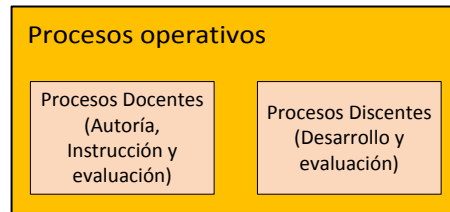
El subproceso siguiente trata de la implementación de las actividades definidas para los docentes (Autoría, Instrucción y Evaluación) y los discentes (Desarrollo y Evaluación) como se ilustra en la Figura 11.

Figura 11. Subsistemas de los actuadores operativos



Como parte de la planta se tienen los procesos operativos asociados a los docentes y a los discentes pues son estos a los que se les hará medición, seguimiento y control con el fin de mejorar sus indicadores de desempeño. Estos procesos se muestran en la Figura 12.

Figura 12. Subsistemas de los procesos operativos



Con la descripción adecuada de los escenarios de control, el establecimiento de especificaciones y restricciones del sistema, la identificación de variables y objetivos de control y el planteamiento de planes de control y acciones de contingencia se espera mejorar el desempeño de los procesos y con esto conseguir de forma implícita la mejora en el aprendizaje del estudiante.

**2.1.5 Hipótesis.** La incorporación de un sistema de control en los procesos de docencia y discencia de enseñanza – aprendizaje de educación superior mejora su

desempeño a través del establecimiento de planes de control que faciliten el seguimiento de los objetivos de control.

**2.1.6 Objetivos propuestos en la investigación.** Para la realización de la solución propuesta se definieron los objetivos que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Objetivos específicos del trabajo de investigación

<b>Objetivo General</b>	Modelar y simular los procesos de docencia y discencia de Enseñanza – Aprendizaje en Educación Superior, a través de la caracterización de los procesos con el fin de obtener las especificaciones del sistema para mejorar su desempeño <sup>9</sup> .
<b>Objetivo específico 1</b>	Caracterizar los escenarios de docencia y discencia de Enseñanza – Aprendizaje en Educación Superior a través de la identificación de las variables y objetivos de control con el fin de obtener un modelo de la estructura organizacional y funcional asociada a nivel de procesos.
<b>Objetivo específico 2</b>	Especificar los procesos de docencia y discencia en educación superior utilizando los activos de contenido del CIDLIS y propuestas encontradas en la literatura con el fin de establecer los planes de control y sistemas de medición de los procesos.
<b>Objetivo específico 3</b>	Simular el sistema propuesto para verificarlo y validarlo a partir del análisis de los resultados obtenidos en los escenarios caracterizados.

## 2.2 ESPECIFICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología empleada para el desarrollo de este trabajo de investigación se sintetiza en la Tabla 3.

---

<sup>9</sup> Con obtener las especificaciones se quiere decir que se identifican las variables, se establecen los planes de control y se definen y establecen los sistemas de medición.

Tabla 3. Síntesis de particularidades de la investigación

<p><b>Tipo de Investigación</b></p>	<p>Se utiliza un enfoque <b>cuantitativo descriptivo</b> pues se miden conceptos y se definen variables, y <b>cuantitativo correlacional</b> pues analiza la diferencia de grupos (que es un caso particular de correlación) para la prueba de la hipótesis, sin embargo, tiene también elementos de un enfoque <b>cuantitativo de investigación-acción</b> puesto que, el hecho de utilizar un modelo de sistema de control de lazo cerrado (realimentado), conduce a un cambio, el cual es incorporado en el mismo proceso de investigación de tal forma que, como dice Hernández Sampieri en Metodología de la investigación [17] “se indaga al mismo tiempo que se interviene”.</p>
<p><b>Unidad de observación (Descripción resumida)</b></p>	<p>Esta implementación fue realizada durante el primer periodo académico del año 2016 en la asignatura Dinámica de Procesos que se ofrece en el sexto semestre del plan de estudios de Ingeniería Electrónica por la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones – E3T.</p>

En cuanto a la instrumentación, se presenta el detalle en la Tabla 4.

Tabla 4. Instrumentos de recolección de información

<b>Base de datos e internet</b>	Las bases de datos y el Internet fueron utilizados para la construcción del estado del arte de la investigación con el fin de formalizar el modelo construido. También se utilizaron herramientas como Excel, Google Docs y MOODLE para la recopilación sistemática de información.
<b>Entrevistas no estructuradas</b>	Este trabajo requirió de la consulta permanente a expertos en ingeniería y en educación con el fin de que el modelo desarrollado satisfaga los requerimientos de ambas ramas disciplinares.
<b>Listas de verificación</b>	La lista de verificación se utiliza en este trabajo para llevar el control de las actividades e instrumentos aplicados a los grupos de estudio, pero no propiamente para la recolección de información sobre el grupo de control pues se utilizan principalmente instrumentos de evaluación del aprendizaje.
<b>Instrumentos de evaluación del aprendizaje</b>	Se utilizan principalmente ítems de evaluación de tipo: selección múltiple con única respuesta, preguntas abiertas objetivas (completar, respuesta corta, respuesta numérica) y preguntas abiertas subjetivas (descripciones, narraciones, ensayos, etcétera). Estos instrumentos se aplican utilizando MOODLE y Google Drive.
<b>Plantillas y registros</b>	Los instrumentos generan registros de salida con un estándar determinado, que es integrado en plantillas de instrumento que se integran con el sistema al configurarse según de las relaciones con las diferentes vistas de interés.

### 2.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

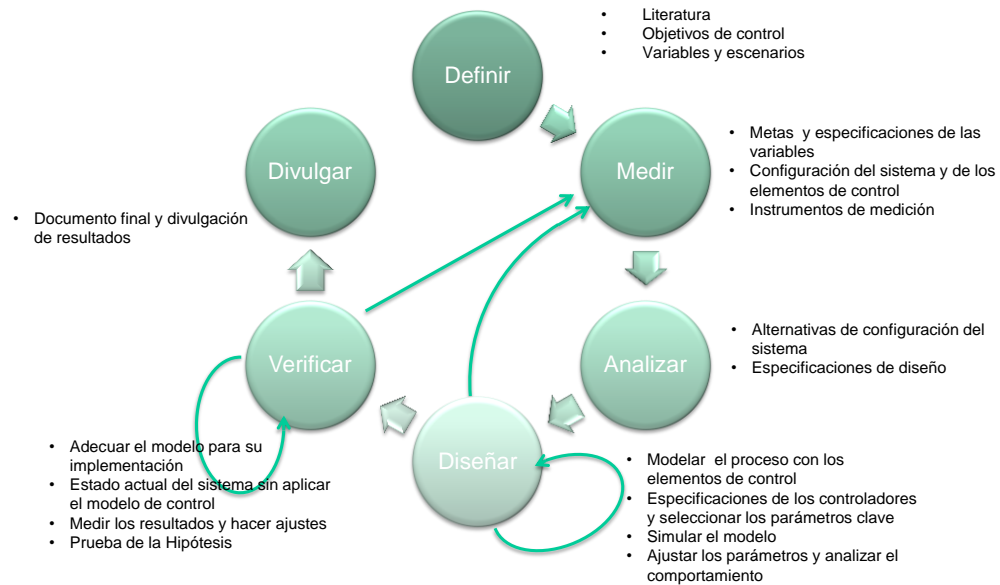
Para el desarrollo de este de trabajo de investigación se planea el uso de enfoques metodológicos de ciencia e ingeniería empleados para el diseño de productos y la presentación de resultados de investigación.

Los métodos utilizados son los siguientes:

1. Procesos de diseño de sistemas de control [18].
2. Método científico [19]–[21].
3. Métodos de diseño de productos DMADV y de mejora de productos y servicios DMAIC del Seis Sigma [22]–[24].

Con base en estos tres métodos se propone la metodología presentada en la Figura 13.

Figura 13. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo de investigación



Esta metodología seleccionada se adapta al trabajo de investigación propuesto y se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Descripción de las etapas de la metodología de investigación

Etapa	Descripción de la etapa
1. Definir	Lo primero que se realiza es definir un modelo para los procesos de enseñanza y aprendizaje a partir de la determinación de la unidad de observación, la representación del proceso completo como un sistema de control y el proceso de enseñanza y aprendizaje como un sistema con todas las especificaciones requeridas para integrarse con el sistema de control.
2. Medir	Esta etapa es crucial para la implementación del sistema de control con realimentación pues aquí se detalla la naturaleza de los instrumentos de medición con los que se puede determinar el estado actual del sistema para implementar las acciones reguladoras.
3. Analizar	En esta etapa se presenta un análisis descriptivo de las mediciones iniciales del sistema tomadas de la implementación del prototipo del modelo de enseñanza y aprendizaje definido en la etapa 1 de Definir.
4. Diseñar	Una vez definido el modelo, determinado el sistema de medición y establecidas las diferentes vistas para el análisis de la información, se realiza el diseño de la etapa de control con el que se busca influenciar en el estado final de las variables de interés. Aquí se define el plan de acción dependiendo de los posibles estados.

Etapa	Descripción de la etapa
5. Verificar	Se implementan las acciones reguladoras después de realizar las mediciones iniciales y luego se aplican de nuevo instrumentos de medición para verificar si existieron cambios y de esta forma hacer una prueba a la hipótesis de investigación propuesta en la sección 2.1.5: “La incorporación de un sistema de control en los procesos de docencia y discencia de enseñanza – aprendizaje de educación superior mejora su desempeño a través del establecimiento de planes de control que faciliten el seguimiento de los objetivos de control”. Esta verificación se realiza comparando los resultados de las mediciones iniciales ( <i>pretest</i> ) con los resultados de las mediciones finales después de que se ha aplicado realimentación ( <i>postest</i> ).
6. Divulgar	Finalmente, la información que ha sido recolectada durante el desarrollo de la investigación se reúne, clasifica e integra en el documento o informe final de investigación.

Con el cumplimiento de estas etapas se garantiza la consecución de los objetivos de investigación como se verá en el siguiente capítulo.

### 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la metodología de investigación propuesta consigue el cumplimiento de los objetivos propuestos gracias al desarrollo de algunas actividades específicas, tal como se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Actividades que relacionan las etapas con los objetivos del trabajo de investigación

	<b>OE1:</b> <b>Caracterizar los escenarios de docencia y discencia de Enseñanza – Aprendizaje (EA) en Educación Superior a través de la identificación de las variables y objetivos de control con el fin de obtener un modelo de la estructura organizacional y funcional asociada a nivel de procesos.</b>	<b>OE2:</b> <b>Especificar los procesos de docencia y discencia en educación superior utilizando los activos de contenido del CIDLIS y propuestas encontradas en la literatura con el fin de establecer los planes de control y sistemas de medición de los procesos.</b>	<b>OE3:</b> <b>Simular el sistema propuesto para verificarlo y validarlo a partir del análisis de los resultados obtenidos en los escenarios caracterizados.</b>
Definir	<ol style="list-style-type: none"> <li>Definir la unidad de observación: Especificaciones, competencias, variables de control.</li> <li>Definir el proceso de EA como un sistema de control: modelo de la estructura organizacional y funcional a nivel de procesos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Definir la planta (proceso de EA) del sistema de control: modelo de estructura organizacional y funcional a nivel de procesos.</li> </ol>	

	<p align="center"><b>OE1:</b>  <b>Caracterizar los escenarios de docencia y discencia de Enseñanza – Aprendizaje (EA) en Educación Superior a través de la identificación de las variables y objetivos de control con el fin de obtener un modelo de la estructura organizacional y funcional asociada a nivel de procesos.</b></p>	<p align="center"><b>OE2:</b>  <b>Especificar los procesos de docencia y discencia en educación superior utilizando los activos de contenido del CIDLIS y propuestas encontradas en la literatura con el fin de establecer los planes de control y sistemas de medición de los procesos.</b></p>	<p align="center"><b>OE3:</b>  <b>Simular el sistema propuesto para verificarlo y validarlo a partir del análisis de los resultados obtenidos en los escenarios caracterizados.</b></p>
<p align="center">Medir</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definir las especificaciones del sistema de medición y de control para los procesos de EA a nivel operativo.</li> <li>2. Diseñar un sistema de medición para la satisfacción en el aprendizaje (proceso de EA): Instrumentos de medición, estructura jerárquica de recolección de información, relaciones entre entidades, etc.</li> <li>3. Definir la estrategia para la implementación del sistema de medición.</li> </ol>	
<p align="center">Analizar</p>			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementar el sistema de medición propuesto.</li> <li>2. Presentar los resultados de las mediciones por vistas de interés.</li> </ol>

	<p align="center"><b>OE1:</b>  <b>Caracterizar los escenarios de docencia y discencia de Enseñanza – Aprendizaje (EA) en Educación Superior a través de la identificación de las variables y objetivos de control con el fin de obtener un modelo de la estructura organizacional y funcional asociada a nivel de procesos.</b></p>	<p align="center"><b>OE2:</b>  <b>Especificar los procesos de docencia y discencia en educación superior utilizando los activos de contenido del CIDLIS y propuestas encontradas en la literatura con el fin de establecer los planes de control y sistemas de medición de los procesos.</b></p>	<p align="center"><b>OE3:</b>  <b>Simular el sistema propuesto para verificarlo y validarlo a partir del análisis de los resultados obtenidos en los escenarios caracterizados.</b></p>
Diseñar		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definir las estrategias pedagógicas de EA que pueden influir en los resultados del aprendizaje de los estudiantes.</li> <li>2. Diseñar el proceso de control del sistema de control realimentado propuesto: planes de acciones reguladoras.</li> </ol>	

	<b>OE1: Caracterizar los escenarios de docencia y discencia de Enseñanza – Aprendizaje (EA) en Educación Superior a través de la identificación de las variables y objetivos de control con el fin de obtener un modelo de la estructura organizacional y funcional asociada a nivel de procesos.</b>	<b>OE2: Especificar los procesos de docencia y discencia en educación superior utilizando los activos de contenido del CIDLIS y propuestas encontradas en la literatura con el fin de establecer los planes de control y sistemas de medición de los procesos.</b>	<b>OE3: Simular el sistema propuesto para verificarlo y validarlo a partir del análisis de los resultados obtenidos en los escenarios caracterizados.</b>
Verificar			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Redefinir las variables de contraste para la comprobación de la hipótesis<sup>10</sup>.</li> <li>2. Hacer la comparación de las mediciones antes y después de la realimentación (aplicación de acciones reguladoras)</li> </ol>
Divulgar	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentación de los productos desarrollados.</li> <li>2. Integración en informe final.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentación de los productos desarrollados.</li> <li>2. Integración en informe final.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentación de los productos desarrollados.</li> <li>2. Integración en informe final.</li> </ol>

Nota: OE es el acrónimo de objetivo específico.

Es importante aclarar que el objetivo específico 3 propone hacer simulaciones con el fin de prever lo que podría pasar si se hiciera la implementación en un sistema

---

<sup>10</sup> La hipótesis de investigación es “La incorporación de un sistema de control en los procesos de docencia y discencia de enseñanza – aprendizaje de educación superior mejora su desempeño a través del establecimiento de planes de control que faciliten el seguimiento de los objetivos de control.”

real<sup>11</sup>, sin embargo, durante la ejecución del proyecto se decidió hacer la verificación de la implementación del piloto directamente sobre el sistema real con el fin de obtener conclusiones más representativas y convincentes.

El desarrollo de las etapas de investigación y sus actividades, propuestas en la “Tabla 6. Actividades que relacionan las etapas con los objetivos del trabajo de investigación”, se presentan a continuación en la siguiente sección.

### **3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO PARA LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

En esta sección se presentan las especificaciones del proceso de enseñanza y aprendizaje y los detalles de la unidad de observación que se requieren para definir el modelo del sistema de control.

**3.1.1 Unidad de Observación (Detalle).** Se tomó como caso de estudio una asignatura del programa de ingeniería electrónica<sup>12</sup> que utiliza estrategias de enseñanza aprendizaje *b-learning*<sup>13</sup> que dispone del uso de TIC facilitando las mediciones y el seguimiento del proceso de interés.

Los datos de la asignatura objeto de investigación sobre la implementación del sistema de control se presentan en la Tabla 7.

---

<sup>11</sup> Este supuesto se ajusta a la definición de simulación dada por [54] donde indica que la simulación permite experimentar sobre modelos del sistema cuando la experimentación en el sistema real puede ser peligrosa, costosa, difícil o inviable.

<sup>12</sup> La asignatura Dinámica de Procesos que se ofrece en el sexto semestre del programa de Ingeniería Electrónica de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones – E3T, de la Universidad Industrial de Santander – UIS.

<sup>13</sup> *B-learning* o *blended learning* se refiere a aprendizaje mixto y es una estrategia de aprendizaje que combina las ventajas del aprendizaje presencial con el aprendizaje virtual o *e-learning*.

Tabla 7. Información de la Asignatura del caso de aplicación

<b>Nombre de la asignatura</b>	Dinámica de Procesos (DP)
<b>Código</b>	DP (27138)
<b>Grupo de estudio</b>	D1
<b>Institución Académica</b>	Universidad Industrial de Santander (UIS)
<b>Unidad Académica</b>	Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T)
<b>Plan de estudio</b>	Ingeniería Electrónica
<b>Semestre del plan de estudios</b>	6
<b>Intensidad Horaria (semanal)</b>	4 Teóricas + 8 Trabajo independiente
<b>Número de créditos</b>	4
<b>Requisitos</b>	Ecuaciones Diferenciales
<b>Número de estudiantes</b>	39 Aproximadamente

En esta asignatura, la escuela oferente (E3T) propone las competencias, presentadas en la Tabla 8, que se consideran para la definición de los objetivos de control.

Tabla 8. Competencias de la asignatura del caso de aplicación

<b>Identificador de la competencia</b>	<b>Competencia</b>	<b>Logro</b>	<b>Identificador y nombre del Indicador</b>
C1	Interpreta y sintetiza procesos industriales a partir de diagramas P&ID	Aplica y especifica estándares para interpretar símbolos y dibujos asociados con documentación de control de procesos.	<b>I01.</b> Reconoce y usa simbología estándar para la documentación del control de un proceso industrial.
C2	Comprende el principio de funcionamiento de un sistema de control en lazo cerrado y reconoce su papel en el control de variables de un proceso industrial.	Identifica los elementos y variables de un sistema de control en lazo cerrado y entiende su función dentro del mismo. Identifica cuándo una o diferentes variables de un proceso industrial son controladas en un esquema de lazo cerrado, abierto, distribuido o mediante control lógico.	<b>I02.</b> Compara diferentes arquitecturas de sistemas de control incluyendo controladores de lazo cerrado, control distribuido y controladores lógicos programables. <b>I03.</b> Representa mediante diagrama de bloques un sistema de control en lazo cerrado e identifica sus variables y elementos.

Identificador de la competencia	Competencia	Logro	Identificador y nombre del Indicador
			<p><b>104.</b> Interpreta un proceso industrial documentado mediante simbología ISA estándar.</p> <p><b>105.</b> Identifica cuáles variables son controladas en lazo cerrado en un proceso industrial y qué elementos y variables están presentes.</p>
C3	Utiliza herramientas computacionales para el modelado de sistemas dinámicos	Realiza la ambientación en modo virtual de diferentes tipos de sistemas y su comportamiento en el tiempo con diferentes entradas, utilizando una herramienta de simulación y cálculo como MATLAB® (SIMULINK) o SCILAB.	<p><b>106.</b> Analiza la respuesta temporal (transitoria y estado estable) de un sistema de control en lazo cerrado a partir de su simulación ante diferentes tipos de entrada (p.e: escalón unitario, impulso, etc.)</p> <p><b>107.</b> Entiende los tipos de acciones P, I y D en el contexto de un control en lazo cerrado a partir de simulaciones temporales obtenidas.</p>
C4	Representa el comportamiento dinámico y simula la respuesta temporal de diferentes tipos de sistemas (mecánicos, eléctricos, térmicos, hidráulicos, entre otros) a partir de modelos matemáticos.	Obtiene el modelo dinámico de un sistema usando leyes físicas básicas y analiza su respuesta temporal.	<p><b>108.</b> Obtiene las ecuaciones diferenciales que representan el comportamiento dinámico de un sistema, a partir de leyes físicas básicas.</p> <p><b>109.</b> Usa funciones de transferencia o modelos en espacio de estados como formas típicas de representar la dinámica de un sistema.</p>

Identificador de la competencia	Competencia	Logro	Identificador y nombre del Indicador
			<b>I10.</b> Obtiene y caracteriza la respuesta temporal de sistemas básicos a partir del modelo dinámico.
C5	Reconoce la importancia de la puntualidad en el desarrollo de sus actividades	Hace uso responsable del tiempo de tal manera que puede cumplir a cabalidad con todos sus deberes	<b>I11.</b> Cumple con las fechas y horarios establecidos para la presentación de actividades calificables. <b>I12.</b> Asiste puntualmente a las sesiones de clase y otras actividades académicas presenciales.

Fuente: Programa de la asignatura suministrado por la escuela E3T

En la Tabla 8 se presentan las **competencias** (cinco competencias) que se convierten directamente en los objetivos de control y sus respectivos **indicadores** (doce indicadores) que permiten definir que una competencia se cumple cuando se cumplen todos sus indicadores.

Tanto las competencias como los indicadores son suministrados por la institución educativa y, para hacer la adaptación del sistema a estos indicadores y competencias, se definen las **variables de control** que sirven de acople entre los instrumentos de medición y los indicadores con el fin de dar justificación cuantitativa a cada competencia e indicador de competencia que, por la forma como se encuentran redactadas, solo admiten dos estados {"cumple", "no cumple} por ejemplo, para el indicador 4 se puede decir que el estudiante "Interpreta un proceso industrial documentado mediante simbología ISA estándar" o simplemente "NO Interpreta un proceso industrial documentado mediante simbología ISA estándar." <sup>14</sup>

<sup>14</sup> Aunque, para algunos autores, los indicadores de competencia se redactan de la forma {"cumple", "no cumple}, es claro que en la formación basada en competencias se habla de niveles de

Estas variables de control son de naturaleza cuantitativa y se calculan a partir de operaciones matemáticas con los resultados de los instrumentos de medición.

Aunque, para efectos más generales, cada variable de control puede asignarse a uno o más indicadores, en la implementación del modelo desarrollado en este trabajo de investigación no se presentó ese caso pues se encontró que un indicador necesitaba de una o más variables de control y que cada variable de control solo estaba asociada con un indicador.<sup>15</sup> Las variables de control creadas para este caso de aplicación se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Variables de control del caso de aplicación

Indicador	Variable de control
<b>I01.</b> Reconoce y usa simbología estándar para la documentación del control de un proceso industrial.	<b>VC01.</b> Distinción de simbología estándar para el control de un proceso.
	<b>VC02.</b> Uso adecuado de simbología estándar para la documentación del control de un proceso.
<b>I02.</b> Compara diferentes arquitecturas de sistemas de control incluyendo controladores de lazo cerrado, control distribuido y controladores lógicos programables.	<b>VC03.</b> Conocimiento de las diferentes arquitecturas de sistemas de control.
<b>I03.</b> Representa mediante diagrama de bloques un sistema de control en lazo cerrado e identifica sus variables y elementos.	<b>VC04.</b> Uso de diagrama de bloques para representación de sistemas de control.
	<b>VC05.</b> Identificación las variables y elementos de un sistema de control en los diagramas de bloques.
<b>I04.</b> Interpreta un proceso industrial documentado mediante simbología ISA estándar.	<b>VC06.</b> Interpretación de los procesos industriales documentados con simbología ISA estándar.
<b>I05.</b> Identifica cuáles variables son controladas en lazo cerrado en un proceso industrial y qué elementos y variables están presentes.	<b>VC07.</b> Identificación de variables y elementos en procesos industriales reales observables.

desarrollo de las competencias donde el estudiante alcanza un nivel de desarrollo específico y cada vez va mejorando su competencia.

<sup>15</sup> Esta relación se conoce como relación de uno a muchos entre indicadores y variables de control.

<b>Indicador</b>	<b>Variable de control</b>
<b>I06.</b> Analiza la respuesta temporal (transitoria y estado estable) de un sistema de control en lazo cerrado a partir de su simulación ante diferentes tipos de entrada (p.e: escalón unitario, impulso, etc.)	<b>VC08.</b> Análisis de respuesta temporal a partir de su simulación ante diferentes tipos de entrada
<b>I07.</b> Entiende los tipos de acciones P, I y D en el contexto de un control en lazo cerrado a partir de simulaciones temporales obtenidas.	<b>VC09.</b> Comprensión de los efectos de las acciones P, I y D a partir de simulaciones.
<b>I08.</b> Obtiene las ecuaciones diferenciales que representan el comportamiento dinámico de un sistema, a partir de leyes físicas básicas.	<b>VC10.</b> Obtención de modelo matemático de sistemas dinámicos a partir de sus leyes físicas.
<b>I09.</b> Usa funciones de transferencia o modelos en espacio de estados como formas típicas de representar la dinámica de un sistema.	<b>VC11.</b> Representación de la dinámica de sistemas con funciones de transferencia.
	<b>VC12.</b> Representación de la dinámica de sistemas con modelos en espacio de estados.
<b>I10.</b> Obtiene y caracteriza la respuesta temporal de sistemas básicos a partir del modelo dinámico.	<b>VC13.</b> Caracterización de la respuesta temporal de sistemas básicos a partir del modelo dinámico.
	<b>VC14.</b> Simulación de la respuesta temporal a partir del modelo dinámico.
<b>I11.</b> Cumple con las fechas y horarios establecidos para la presentación de actividades calificables.	<b>VC15.</b> Puntualidad en la entrega de trabajos.
<b>I12.</b> Asiste puntualmente a las sesiones de clase y otras actividades académicas presenciales.	<b>VC16.</b> Asistencia a las sesiones de clase.

Los indicadores toman valores de cumplido o no cumplido, lo cual evidencia la naturaleza de una variable cualitativa ordinal dicotómica, que resulta de la categorización o cualificación de las variables de control, de naturaleza cuantitativa, utilizando un valor de umbral (valor de referencia) que define el límite de los intervalos de ambas categorías. En síntesis, de lo anterior, la naturaleza de las variables empleadas para definir los procesos de EA en términos de un sistema de control se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Naturaleza de las variables del sistema

Variable	Tipo de variable	Valores de la variable	Equivalencia Cuantitativa
<b>Competencia Indicador de competencia</b>	Cualitativa ordinal <sup>16</sup>	{“no cumple”, “cumple”}	{0, 1}
	Cualitativa ordinal	{“no cumple”, “cumple”}	{0, 1}
<b>Variable de control</b>	Cuantitativa continua	[0-1]: valor de satisfacción	[0-1]

El proceso de umbralización de las variables de control para dar valor a los indicadores y las competencias consiste en la categorización de un valor cuantitativo para los indicadores y las competencias dependiendo de si se supera o no se supera un umbral. Existen muchos métodos para determinar si se cumple o no una competencia, pero para este trabajo se prefiere usar simplemente un manejo cuantitativo con promedios a partir de los niveles jerárquicos inferiores y utilizar la categorización como indicador de semáforo para “resaltar” aquellas competencias o indicadores que superen, o no, dicho umbral.

Para explicar mejor esta idea se hace énfasis en que cada competencia está relacionada directamente con indicadores de competencia y, a su vez, cada indicador de competencia está relacionado con variables de control; además se considera conveniente describir los atributos asociados con cada uno de los niveles jerárquicos tratados en la Tabla 10, los cuales se presentan en la Tabla 11.

---

<sup>16</sup> Aunque las variables son cualitativas provienen de operaciones de umbralización o categorización de variables cuantitativas como la  $\alpha$ -corte para las relaciones binarias difusas que las convierte en relaciones binarias nítidas [42], [45]

Tabla 11. Atributos de las variables del sistema

Variable	Atributo	Descripción
<b>Competencia</b>	Competencia.ID	Identificador corto de la competencia. ( $C1, C2, \dots$ )
	“Competencia.ID”.Texto	Texto completo de la competencia.
	“Competencia.ID”.Estado	Valor que toma la competencia a partir de los valores de los indicadores que la componen ( $\{“cumple”, “no cumple”\} \equiv \{0, 1\}$ ).
	“Competencia.ID”.Valor	Valor cuantitativo (entre 0 y 1) que tomaría la competencia a partir de los valores de los indicadores que la componen.
	“Competencia.ID”.Umbral	El umbral que define cuando se cumple o no una competencia a partir de su valor, de tal forma que si $“Competencia.ID”.Valor < “Competencia.ID”.Umbral$ , entonces no se cumple la competencia, en caso contrario si se cumple.
<b>Indicador</b>	Indicador.ID	Identificador corto del indicador. ( $I01, I02, \dots$ )
	“Indicador.ID”.Texto	Texto completo del indicador.
	“Indicador.ID”.Estado	Valor que toma el indicador a partir de los valores de las variables de control que lo componen ( $\{“cumple”, “no cumple”\} \equiv \{0, 1\}$ ).
	“Indicador.ID”.Valor	Valor cuantitativo (entre 0 y 1) que tomaría el indicador a partir de los valores de las variables de control que la componen.
	“Indicador.ID”.Umbral	El umbral que define cuando se cumple o no un indicador a partir de su valor, de tal forma que si $“Indicador.ID”.Valor < “Indicador.ID”.Umbral$ , entonces no se cumple con el indicador, en caso contrario si se cumple.
<b>Variable</b>	Variable.ID	Identificador corto del indicador. ( $VC01, VC02, \dots$ )
	“Variable.ID”.Texto	Texto completo del indicador.
	“Variable.ID”.Valor	Valor que toma la variable de control a partir de los instrumentos de medición aplicados (un valor entre 0 y 1)

El modelo matemático que representa la relación entre las variables del sistema de Enseñanza-Aprendizaje se presenta a continuación a través de un ejemplo. Si se toma la competencia  $C2$ , que está asociada con los indicadores  $I02, I03, I04$  e  $I05$ , como se muestra en la “Tabla 8. Competencias de la asignatura del caso de aplicación”, entonces el valor de la competencia se define así:

$$\begin{aligned}
 C2. \text{ Valor} &= f(I02. \text{ Valor}, I03. \text{ Valor}, I04. \text{ Valor}, I05. \text{ Valor}) \\
 &= \frac{I02. \text{ Valor} + I03. \text{ Valor} + I04. \text{ Valor} + I05. \text{ Valor}}{4} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Y el estado de cumplimiento de la competencia se determina:

$$C2.Estado = \begin{cases} 0 & \text{si } C2.Valor < C2.Umbral \\ 1 & \text{si } C2.Valor \geq C2.Umbral \end{cases} \quad (2)$$

De igual forma que en la Ecuación (1), los valores de cada indicador se obtienen a partir de los valores de las variables de control, por ejemplo, en la “Tabla 9. Variables de control del caso de aplicación” se puede ver que el indicador de competencia I03 está asociado con las variables de control VC04 y VC05, por lo tanto, su valor se puede obtener de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} I03.Valor &= g(VC04.Valor, VC05.Valor) \\ &= \frac{VC04.Valor + VC05.Valor}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

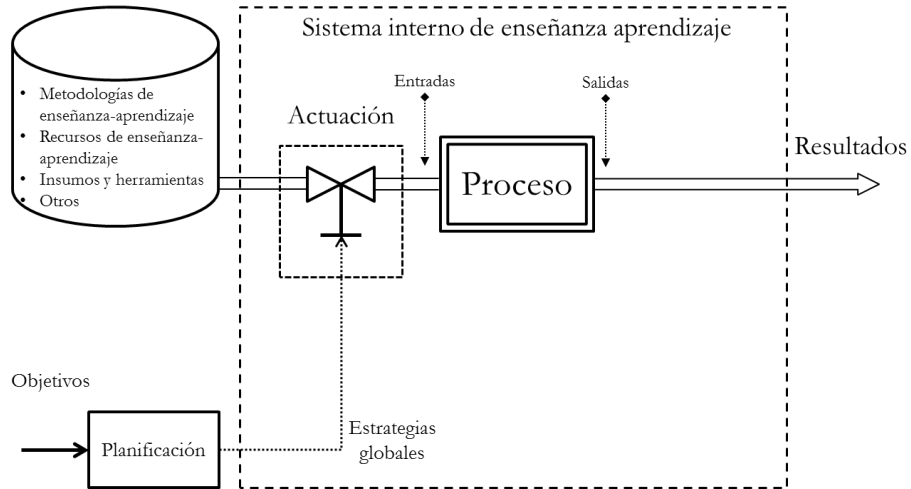
Y el estado de cumplimiento del indicador de competencia se determina:

$$I03.Estado = \begin{cases} 0 & \text{si } I03.Valor < I03.Umbral \\ 1 & \text{si } I03.Valor \geq I03.Umbral \end{cases} \quad (4)$$

**3.1.2 Definición del proceso como un sistema de control.** El proceso de enseñanza-aprendizaje al igual que cualquier otro proceso se puede representar como un “sistema” que utiliza insumos de entrada para transformarlos en productos de salida o resultados. Para este modelo en particular se considera al proceso de aprendizaje como “el sistema” que se encarga de transformar los recursos didácticos y herramientas suministradas por el docente en conocimiento o resultados de desempeño. Para determinar el suministro de herramientas y recursos didácticos al proceso de aprendizaje se realiza una planificación inicial con base en

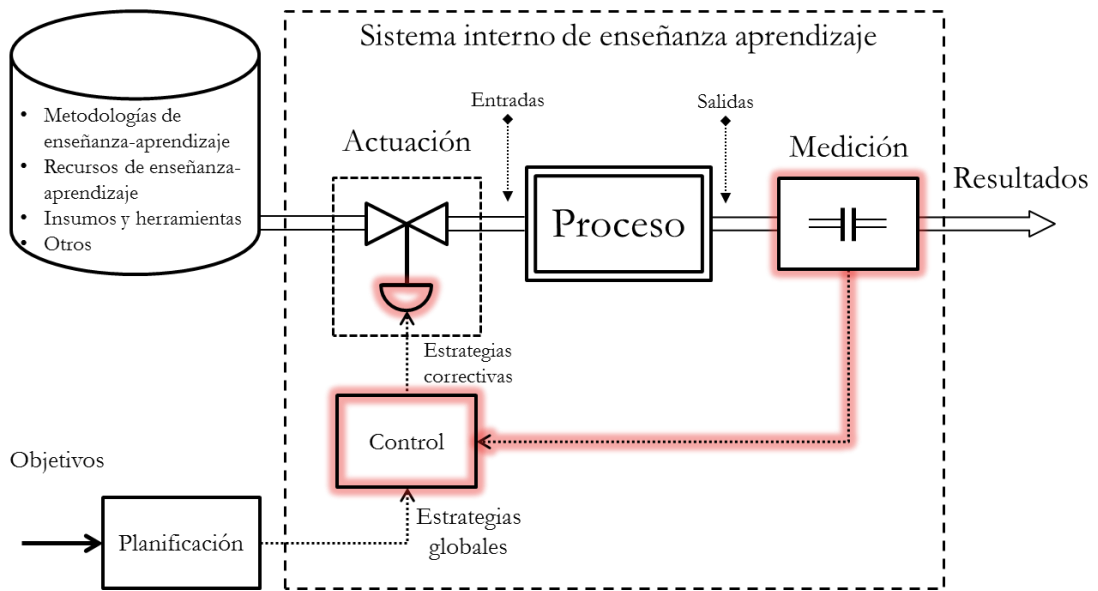
las metas u objetivos a conseguir (objetivos de control). Este modelo se presenta en la Figura 14.

Figura 14. Representación inicial del proceso de enseñanza aprendizaje como parte de un sistema integrado (vista de proceso)



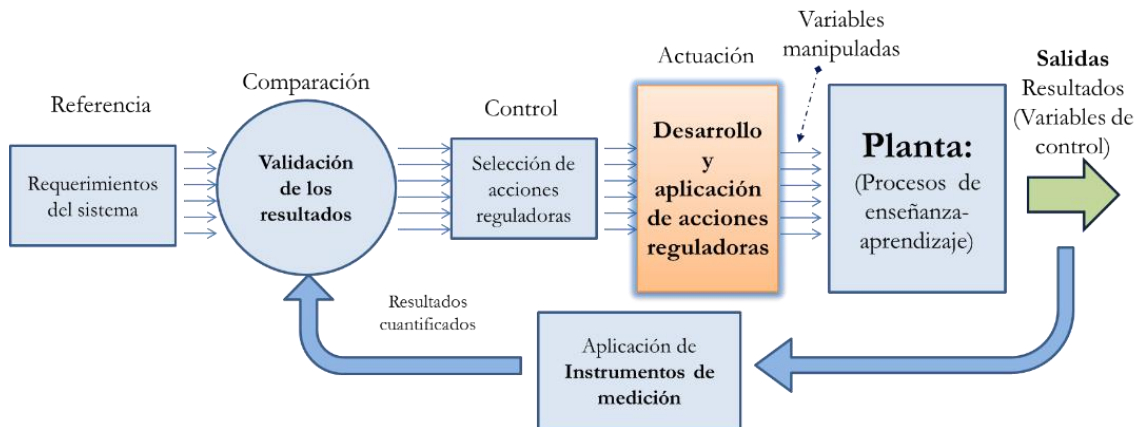
Algunos esquemas de enseñanza aprendizaje – EA, como *Just in Time Teaching – JiTT* por ejemplo, plantean la conveniencia de hacer más dinámico el “control” del suministro de herramientas y recursos didácticos proponiendo una “actuación” más flexible y versátil que la planificación inicial, y es por esto que se incorpora un módulo de control que no solo hace más versátil el suministro de recursos al proceso de aprendizaje (variabilidad en el flujo de las variables de entrada) sino que lo adapta considerando los resultados del proceso (control en laso cerrado o realimentado). Esto resulta en un modelo de los procesos de EA con control en laso cerrado como se muestra a continuación en la Figura 15.

Figura 15. Representación de un sistema de control para el proceso de enseñanza aprendizaje (vista de proceso)



La representación de un sistema de control de los procesos de enseñanza y aprendizaje se presenta en la Figura 16.

Figura 16. Modelo de control del sistema de enseñanza-aprendizaje



Este modelo presenta el sistema de control propuesto para los procesos de enseñanza y aprendizaje de forma genérica donde los objetivos de control se

trasciben en términos de variables de interés o variables de control<sup>17</sup> que son medidas por los instrumentos y comparadas con valores de referencia para determinar las brechas o hallazgos con los cuales se toman decisiones sobre acciones de control posibles, que se asocian con las variables manipuladas para influenciar en cambios sobre las variables de interés para reducir las brechas. En la Tabla 12 se presenta una analogía entre los elementos de un sistema de control y los del proceso de EA.

---

<sup>17</sup> Esta precisión entre variables de interés y variables de control se hace necesaria pues más adelante se usa la variable de control como una variable auxiliar que permite hacer el acople entre los indicadores y el sistema de medición.

Tabla 12. Analogía de elementos de control y procesos de EA

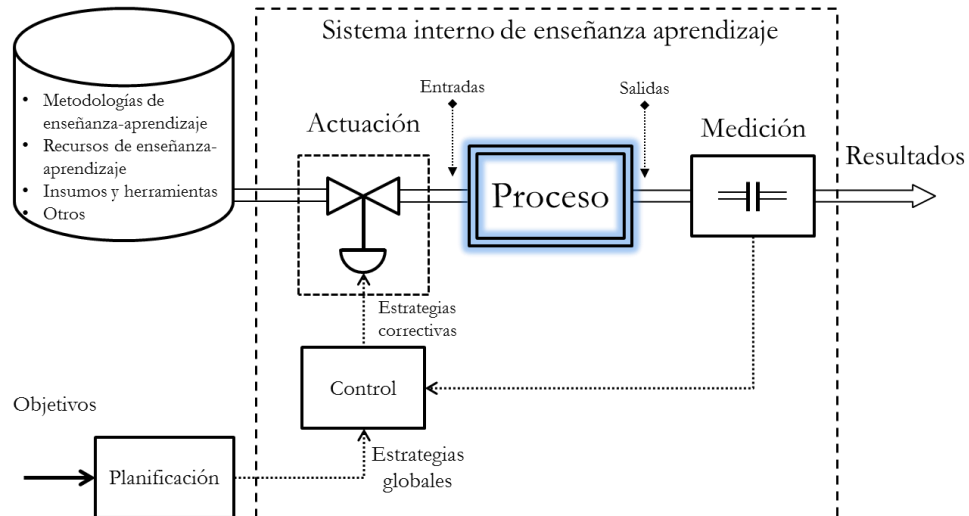
Sistema de control	Proceso EA
Variable de referencia, especificaciones u objetivos de control	Metas del curso, competencias, logros o indicadores.
Planta	Proceso de aprendizaje.
Variables de interés o de control	Variables asociadas con indicadores de aprendizaje, competencias o factores clave de desempeño correspondientes con los objetivos de control y que están asociadas con los resultados del proceso.
Instrumentos de medición, Sensores	Instrumentos de evaluación de aprendizaje.
Control (Controlador)	Selección de las acciones reguladoras más adecuadas dependiendo del estado actual del sistema, de las referencias establecidas por las especificaciones y de los planes de control prediseñados.
Actuación (Actuador)	Aplicación de las acciones de regulación seleccionadas (o preseleccionadas en la planificación) o posibles variaciones en los procesos de enseñanza-aprendizaje a utilizar para influenciar cambios en las variables de control.
Variable manipulada	Conjunto de recursos y estrategias didácticas que se pueden utilizar para mediar o influir en los resultados de aprendizaje. Herramientas disponibles para la influencia sobre la variable de interés.

Tanto para el proceso con control realimentado de la Figura 15 como para el proceso sin control realimentando de la Figura 14 se definen los mismos **objetivos de control**, **las mismas variables de control** (o variables de interés) y las mismas **variables manipuladas** las cuales son las que permiten ejercer influencia sobre las variables de control.

**3.1.3 Especificación del proceso de Enseñanza-Aprendizaje (EA).** El proceso de EA es un sistema dentro de otro sistema integrado más amplio que contiene insumos y sistemas de gestión para el seguimiento y control. Teniendo esto claro se hace indispensable el modelado de dicho proceso para definir cómo se integraría

con los otros sistemas. El sistema asociado con el proceso de EA se presenta en la Figura 17.

Figura 17. Sistema de control de lazo cerrado (Definición del proceso)

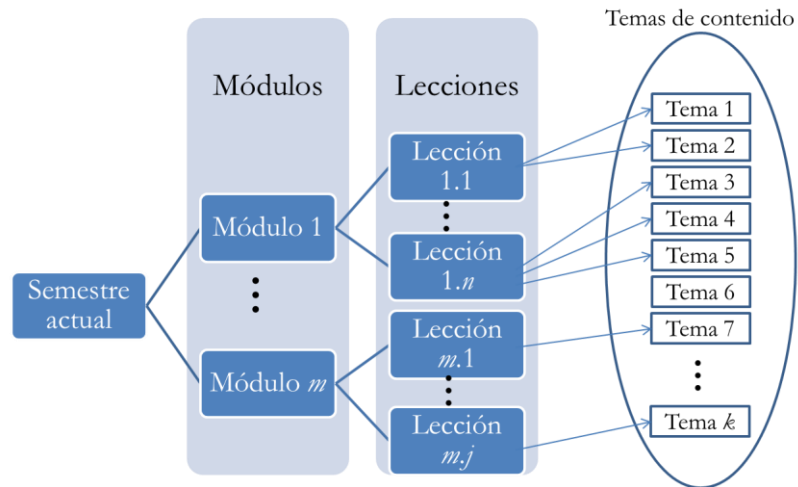


El proceso de enseñanza y aprendizaje implementado en la asignatura se describe de la siguiente forma:

1. El curso consiste en paquetes de “lecciones” que se agrupan en “módulos”. Este método se conocerá como Gestión Modular de Contenidos (GMC)
2. Un “Tema de Contenido” es cada uno de los paquetes más pequeños en el que se puede descomponer el contenido completo de una asignatura.
3. La “lección” se conoce como una UMA (Unidad Mínima de Aprendizaje) y es un subconjunto de “Temas de Contenido” donde se hacen mediciones y realimentaciones sobre ellos en un tiempo específico durante un curso.
4. Cada “lección” tiene un ciclo de vida compuesto por tres momentos con base en los momentos del acto mental propuestos por Feurestein [6]: inicio (entrada), desarrollo (elaboración) y cierre (salida). Normalmente se realiza durante una semana.
5. Al finalizar las lecciones del módulo se hace una sesión de realimentación de las lecciones del módulo y luego hace la evaluación del módulo.

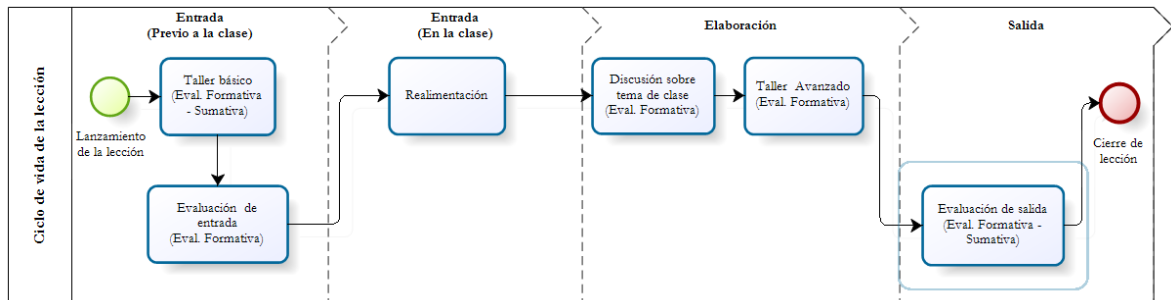
La estructura general del curso, en la que el semestre está compuesto por módulos, y que, a su vez, cada módulo se compone de lecciones, se representa gráficamente en la Figura 18.

Figura 18. Estructura de un curso en módulos y lecciones



Cada lección sirve para dar un lineamiento temporal a los temas de contenido y a los instrumentos aplicados y tienen la misma estructura en cuanto a sus actividades. Esta estructura se presenta en la Figura 19.

Figura 19. Modelo resumido de procesos por cada lección



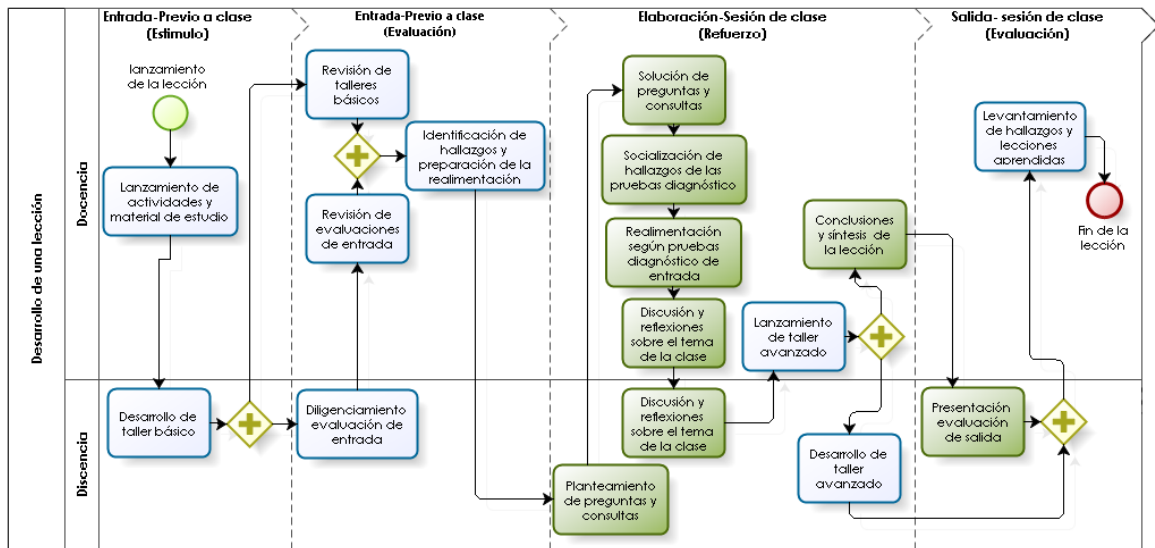
En este diagrama de procesos se presentan las siguientes actividades:

1. **Lanzamiento de la lección:** se comparte con los estudiantes el material disponible de la lección para que sea revisado con anticipación.
2. **Taller básico:** Es la primera actividad de la lección y consiste en la revisión de material siguiendo unas preguntas orientadoras que serán contestadas y enviadas al docente antes de iniciar la primera sesión de clases. Esta actividad recibe una evaluación formativa pues es sustento para la realimentación del tema, pero además es sumativa porque la valoración se tiene en cuenta para la nota definitiva.
3. **Evaluación de entrada:** Después de entregar el taller básico, el estudiante puede presentar la evaluación de entrada de la lección para que determine qué tan bien asimiló lo tratado en el taller básico y para que el docente tenga más información sobre las debilidades de los estudiantes que son pertinentes reforzar con la realimentación en la clase. Esta evaluación no es sumativa, solo sirve como evaluación formativa.
4. **Realimentación:** Aunque no se excluye la realimentación de forma virtual en cualquier momento sobre el proceso de estudio y desarrollo de actividades por parte de los estudiantes, se da el nombre de Realimentación al proceso ocurrido en la clase, de forma presencial, en la que se interactúa directamente con los estudiantes para resolver dudas y reforzar las principales debilidades evidenciadas en las evaluaciones formativas del taller básico y la evaluación de entrada de la lección.
5. **Discusión:** En esta etapa se hace una breve exposición del tema donde se profundizan sobre conceptos clave y se plantea un espacio de discusión para estimular la participación de los estudiantes entorno al análisis y la síntesis de los conceptos. En esta actividad se registran las participaciones de los estudiantes y los hallazgos sobre las inquietudes para dar reconocimientos por participaciones y obtener información para las lecciones aprendidas.
6. **Taller avanzado:** Esta es una actividad de investigación y reflexión, semejante al taller básico, pero con mayor profundidad en los cuestionamientos para estimular en el estudiante competencias de análisis, síntesis y evaluación. Por lo general es una actividad formativa no sumativa pues se plantea de forma voluntaria, pero con influencia en el registro de participaciones individuales.
7. **Evaluación de salida:** Es una evaluación formativa sumativa que busca evaluar el impacto de las estrategias utilizadas en la lección y reconocer con nota a los estudiantes por su desempeño. El componente formativo de esta evaluación radica en que la información obtenida es utilizada al final de cada módulo para hacer una realimentación general, antes de la evaluación de módulo.

8. **Cierre:** Consiste en la síntesis de la lección, el registro de hallazgos y lecciones aprendidas y la actualización de matrices de medición de los estudiantes.

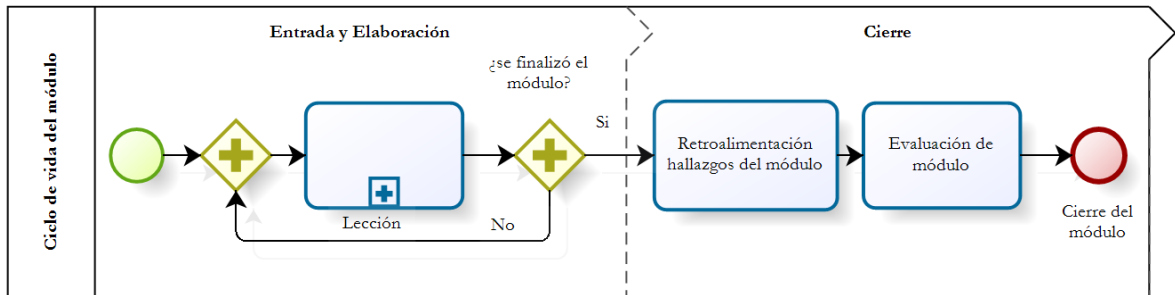
Una vista más detallada de los procesos presentados en la Figura 19 se presenta en la Figura 20.

Figura 20. Modelo de procesos de cada lección



Finalmente, como cada módulo contiene a las lecciones, el módulo se puede representar como un proceso más amplio donde se repite el subproceso asociado con las lecciones tantas veces como lecciones contenga el módulo. Una vez se acaben las lecciones del módulo se realiza una realimentación global del módulo y una evaluación del módulo como se presenta en la Figura 21.

Figura 21. Procesos por módulo



Con el modelo planteado en las anteriores figuras se concluye la definición de los procesos de EA para dar pie a las mediciones y posteriormente a la determinación de un sistema de control (acciones de control).

**3.1.4 Conclusiones de la definición del modelo.** La integración de estándares, instrumentos y técnicas de medición y control en procesos de enseñanza-aprendizaje en educación superior se hace viable en la medida en que las asignaturas incorporen las TIC en sus procesos, de esta forma se facilita la administración de la información y el establecimiento de relaciones entre diferentes entidades de interés para la toma de decisiones.

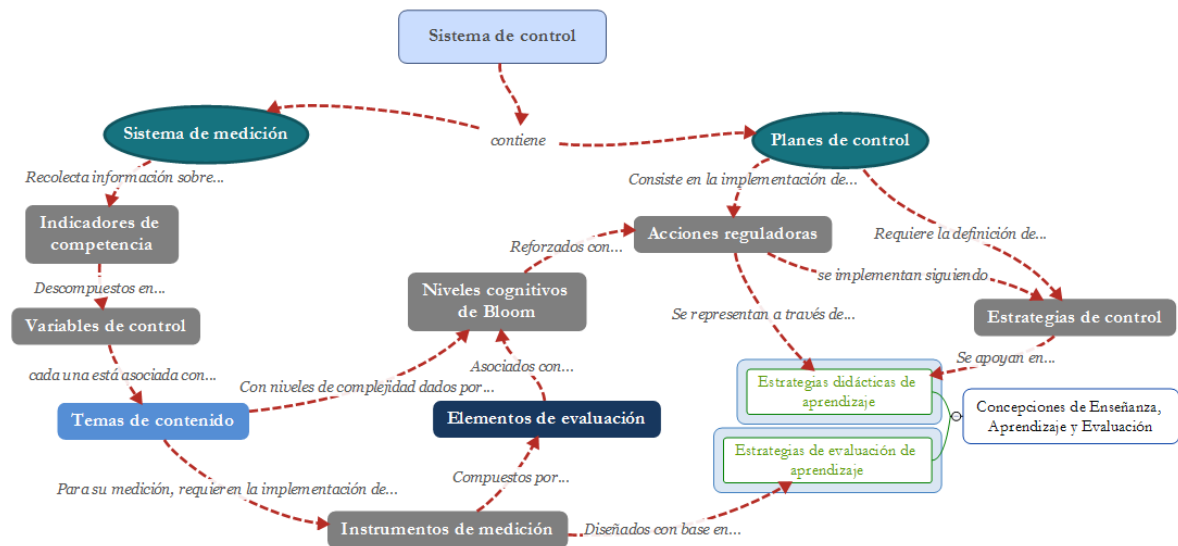
La definición del modelo requiere evidenciar la coherencia entre las especificaciones y estándares de los procesos de enseñanza-aprendizaje, manifestados en las asignaturas, y los instrumentos de medición que indican el cumplimiento de esas especificaciones, por lo cual es necesario presentar relaciones que indiquen los caminos y transformaciones a los que debe someterse la información para escalar desde los resultados en el aula de clase hasta una visión mucho más general como el cumplimiento de las competencias, por ejemplo.

La definición del proceso de enseñanza y aprendizaje como un sistema de control logra integrar estándares, instrumentos y técnicas de medición y control con el fin de orientar las acciones que busquen la consecución de los objetivos propuestos, sin embargo, para lograr la realimentación del sistema de control, se requiere que hayan sesiones de refuerzo y nuevas mediciones, lo cual es logrado con la estructura modular de Módulos y lecciones, cada una con un ciclo de vida propio y que permiten asignar propiedades temporales a los temas de contenido tratados.

### 3.2 MEDICIÓN DE LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE (EA)

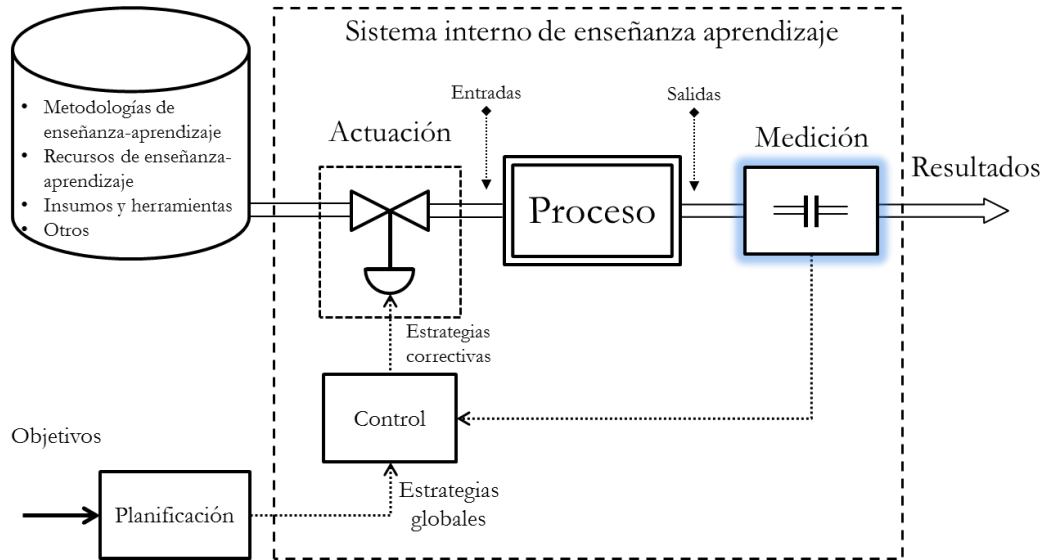
El componente de medición del sistema de control exige la concepción global del sistema para determinar cómo se desarrollarían los instrumentos de medición que puedan medir las variables de interés, por eso se determinan dos componentes principales en el sistema de control: el sistema de medición y los planes de control, los cuáles se representan por medio de un mapa conceptual en la Figura 22.

Figura 22. Vista de conceptos del sistema de control (mapa conceptual)



En este mapa conceptual se pueden apreciar las relaciones que gobiernan los conceptos presentes en el sistema de medición y cómo estos se relacionan con los conceptos asociados con los planes de control. En este momento aparecen los temas de contenido que componen a las variables de control y los niveles cognitivos de Bloom, los cuales permiten descomponer cada tema de contenido en sus niveles para permitir un análisis de complejidad en cuanto a los procesos cognitivos presentes en la enseñanza y el aprendizaje. El sistema de medición como parte del sistema de control se presenta en la Figura 23.

Figura 23. Sistema de control de lazo cerrado (Definición del sistema de medición)



La medición del proceso de aprendizaje se realizará a partir de la valoración a cada una de las variables establecidas a partir de los instrumentos, sin embargo se dan dos interpretaciones de cada variable, por un lado se da una interpretación holística donde se obtiene un solo valor de la variable, y por otro, una valoración por nivel cognitivo que resulta de la valoración de la variable en cada uno de los niveles cognitivos propuestos inicialmente por Bloom: Conoce, Comprende, Aplica, Analiza, Sintetiza y Evalúa<sup>18</sup>. [10], [36], [37]

El valor de cada variable se obtiene a partir de la valoración de los temas de contenido relacionadas con ella, los cuáles son medidos con instrumentos de medición construidos a partir de los niveles cognitivos. Esto permite evaluar cada tema y cada variable con diferentes niveles de complejidad.

**3.2.1 Instrumentos del sistema de medición.** Los instrumentos de medición implementados son de diferente tipo para evaluar diferentes manifestaciones de los

<sup>18</sup> Versiones más recientes proponen un ajuste a la taxonomía de Bloom donde cambian la redacción de adjetivos por verbos y pasan la síntesis al último nivel cambiando su nombre por "crear".

procesos de aprendizaje. Entre los principales instrumentos de evaluación se tienen:

1. Evaluaciones diagnóstico
2. Talleres de consulta, investigación y profundización
3. Preguntas orales directas e indirectas
4. Preguntas indirectas a través de medios virtuales como los foros
5. Evaluaciones sumativas por lección y por módulo
6. Observación de la interacción de los estudiantes con los procesos de aprendizaje a través de los espacios y estrategias didácticas ofrecidas (participaciones, planteamiento de preguntas, desarrollo de actividades extra, etcétera)

Es importante relacionar cada entidad de la cual se quiera obtener alguna vista (Temas, Variables, Indicadores y Competencias) con los Instrumentos porque de esta forma pueden “heredar” tres propiedades de los instrumentos de medición:

1. **Temporalidad:** (Instante o momento de medición): Cada instrumento de medición se aplica en un instante o momento determinado. Se considera en el modelo como el atributo “Instante” del instrumento de medición.
2. **Relevancia formativa:** Todo instrumento de medición tiene la misma relevancia formativa para cada uno de los temas, facilitando la información sobre la actualización del “estado” (valor de satisfacción) de cada uno de los temas, al momento de la aplicación de cualquier instrumento “relacionado” con dicho tema<sup>19</sup>.
3. **Relevancia sumativa (Peso):** Cada instrumento de medición tiene un porcentaje o ponderación con respecto a la nota final del curso. Se considera en el modelo como el atributo “Peso” del instrumento de medición.

La temporalidad de los instrumentos está asociada con la lección que se está tratando y el “momento” de la lección (inicio, desarrollo y cierre), como se presentó en la Figura 19, y se establecen algunos instrumentos que son del mismo tipo para

---

<sup>19</sup> La relación entre instrumentos de medición y temas de contenido se presenta más adelante al hablar de las matrices de instrumentación.

cada una de las lecciones y otros instrumentos que se relacionan con diferentes lecciones al tiempo o que surgen de manera emergente en la ejecución de los procesos, complementarios a los establecidos inicialmente; es por eso que se consideran dos tipos de instrumentos: los instrumentos básicos o predeterminados y los instrumentos emergentes u ocasionales.

1. Los **instrumentos básicos** están definidos desde el inicio del curso con la metodología evaluativa dado que se utilizan generalmente para “evaluar” el desempeño en las lecciones (o en el módulo), las cuales se tienen definidas desde el inicio del curso como unidades de aprendizaje que contienen uno o más temas. De esta forma se conoce la correspondencia entre estos Instrumentos con los Temas incluso antes de diseñar los elementos de evaluación y de concretar la matriz de instrumentación I\_E. Estos instrumentos suministran información **cuantitativa**.
2. Los **instrumentos emergentes** son instrumentos de medición que se pueden aplicar en el curso sin necesidad de que estén establecidos previamente en el plan del curso y que pueden surgir a conveniencia del mediador sin que estén sujetos a una lección en particular. Para el caso de la implementación de este tipo de instrumentos se hace necesaria la actualización de las matrices de instrumentación cada vez que se defina un nuevo instrumento. Estos instrumentos generalmente suministran información **cuantitativa**, pero pueden suministrar también información **cuantitativa**.

Los instrumentos básicos propuestos en el modelo de medición para cada una de las lecciones y (finalmente para el módulo) son los siguientes:

1. Evaluación del taller básico (TB<sup>20</sup>).
2. Evaluación de entrada (EE).
3. Evaluación del taller avanzado (TA).
4. Evaluación de salida (ES).
5. Simulacro de la evaluación de módulo (Sim).

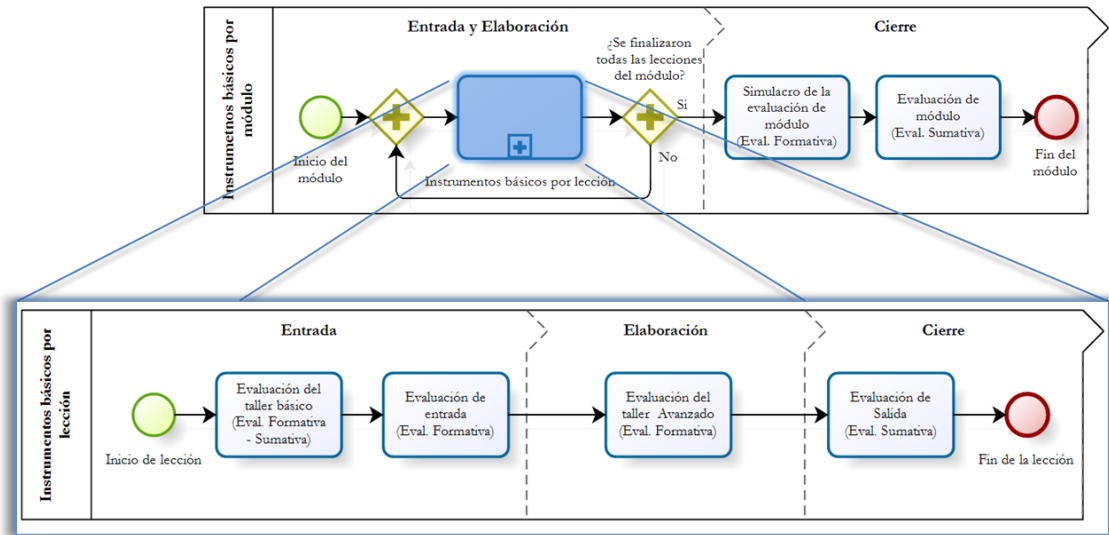
---

<sup>20</sup> Las letras de esta lista que se encuentran entre paréntesis son los prefijos de las etiquetas que identifican a cada instrumento.

## 6. Evaluación de módulo (EM).

La forma en que se aplican los instrumentos básicos en el tiempo está muy asociada con la “Figura 19. Modelo resumido de procesos por cada lección” y la “Figura 21. Procesos por módulo”, y se representa por el modelo presentado en la Figura 24.

Figura 24. Momentos de aplicación de los instrumentos básicos por lección



En esta Figura 24 se aprecia un método iterativo en el que se aplican instrumentos por lección, siguiendo una secuencia definida, hasta que se realizan todas las lecciones del módulo para aplicar finalmente el simulacro y la evaluación de módulo. Esto se hace por cada módulo hasta que se cumplan todos los módulos cuando se finalice el curso.

Los instrumentos, lecciones y módulos tienen una notación particular definida de la siguiente forma:

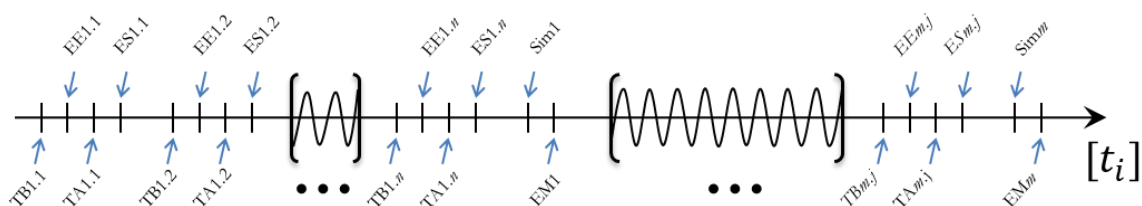
1. La etiqueta de los módulos inicia con el prefijo M seguido por el número del módulo, por ejemplo, para el módulo 3, la etiqueta sería “M3”.
2. La etiqueta de las lecciones inicia con el prefijo L seguido por la nomenclatura de la lección que consiste del número del módulo separado por el número de

la lección dentro del módulo separado por un punto (.) de este, por ejemplo, para la segunda lección del módulo 3 se tiene la etiqueta de lección “L3.2”.

3. Cada instrumento tiene su propio prefijo, pero se identifican completamente de otros instrumentos cuando son compuestos por la nomenclatura de la lección, por ejemplo, el taller básico de la lección L3.2 se identifica por la etiqueta “TB3.2”.

Cada instrumento básico es aplicado en un instante distinto de una forma secuencial coherente con la distribución de lecciones y módulos, de tal forma que la actualización de las variables asociadas con los instrumentos, toman diferentes valores solo para determinados instantes que se pueden representar en una línea de tiempo como la de la Figura 25:

Figura 25. Línea de tiempo de aplicación de los instrumentos de medición



Descripción: en la figura se presentan los instantes de aplicación de los instrumentos de la lección L1.1, L1.2 y L1.n (que se supone la última lección del módulo 1), después se aplican el simulacro Sim1 y la evaluación del módulo 1 EM1; finalmente, asumiendo que el curso tiene  $m$  módulos y el  $m$ -ésimo módulo tiene  $j$  lecciones, se representan en la figura los instrumentos de la lección  $Lm.j$  y finalmente el último simulacro Sim $m$  y la última evaluación de módulo EM $m$ .

Cada uno de los instrumentos de medición se asocia con algunos temas de contenido específicos y, por la propiedad de relevancia formativa, se puede concluir que estos temas de contenido actualizan su “valor de satisfacción” solo cuando se aplican los instrumentos relacionados con ellos, por lo tanto, cada uno de los temas

de contenido se actualiza solo en algunos instantes de tiempo y en cada instante de tiempo se actualizan diferentes temas de contenido<sup>21</sup>.

En cuanto a la relevancia sumativa se debe decir que en la medida que se avanza en el tiempo, con la aplicación de los instrumentos se va acumulando nota en la definitiva con incrementos determinados por la relevancia sumativa de cada instrumento.

Por poner un ejemplo, si se supone que se tiene un curso con cuatro (4) módulos y que cada uno vale el 25% de la nota definitiva del curso, y que además cada módulo está constituido por dos (2) lecciones, entonces la relevancia sumativa de los instrumentos del primer módulo, declarada en el atributo “Peso”, está dada en la Tabla 13.

Tabla 13. Relevancias sumativas supuestas de los instrumentos del módulo 1

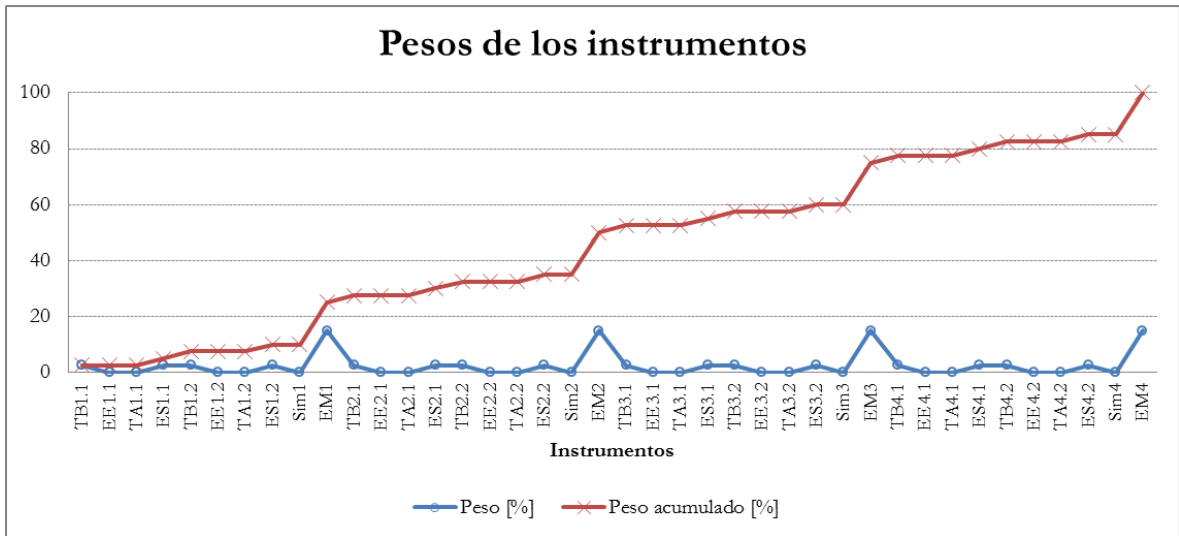
Lección	Instrumento de medición	Peso [%]	Peso acumulado [%]
L1.1	TB1.1	2,5	2,5
	EE1.1	0	2,5
	TA1.1	0	2,5
	ES1.1	2,5	5
L1.2	TB1.2	2,5	7,5
	EE1.2	0	7,5
	TA1.2	0	7,5
	ES1.2	2,5	10
-	Sim1	0	10
	EM1	15	25

Si los instrumentos para los otros tres (3) módulos siguen el mismo patrón, los pesos de los instrumentos y su incidencia en la nota definitiva pueden ser representados en la Figura 26.

---

<sup>21</sup> Esta idea se expone con más detalle más adelante al hablar de las matrices de instrumentación.

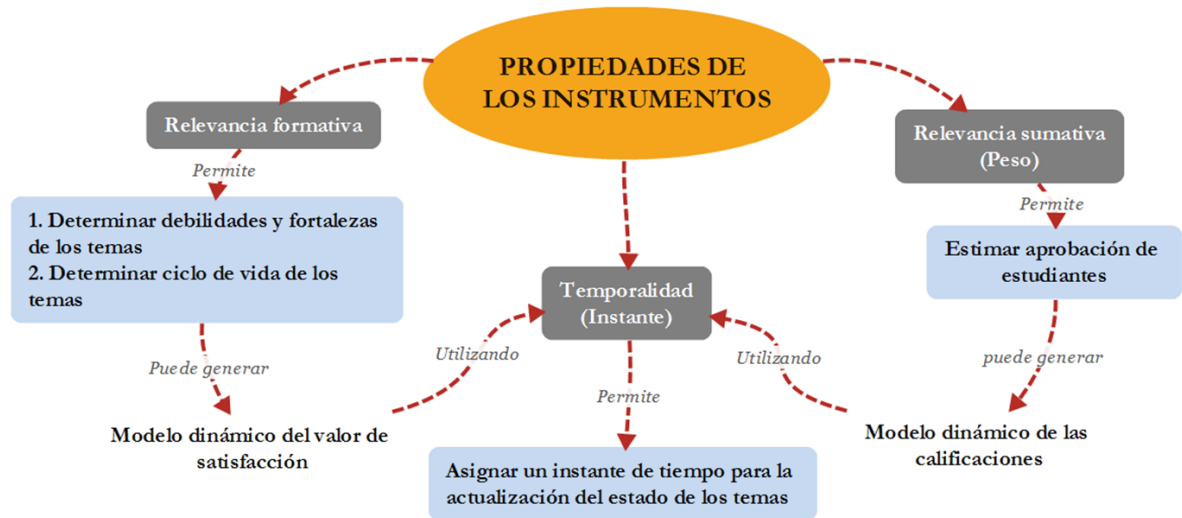
Figura 26. Pesos de instrumentos de medición (caso de ejemplo)



Debe notarse que esta propiedad de relevancia sumativa permite determinar el estado actual de un estudiante que haya diligenciado los instrumentos hasta un momento determinado en cuanto a su nota definitiva de la asignatura permitiendo determinar si el estudiante ya aprobó la asignatura, si requiere recuperación para aprobar, o incluso predecir si el estudiante podría aprobar y cuánta nota requiere para poder aprobar a partir de estimaciones y tendencias.

Las tres propiedades de los instrumentos se pueden sintetizar en el mapa presentado en la Figura 27.

Figura 27. Propiedades de los instrumentos de medición



Como se presentó en la “Figura 22. Vista de conceptos del sistema de control (mapa conceptual)” los instrumentos de medición utilizados están compuestos por **elementos de evaluación**<sup>22</sup> los cuales son los que permiten recoger la información requerida. Estos elementos de evaluación pueden ser:

1. Preguntas abiertas,
2. Preguntas cerradas y
3. Hallazgos u observaciones.

Es importante recalcar que son los elementos de evaluación los que permiten evaluar el proceso mientras que los instrumentos de medición son simplemente el conjunto de elementos de evaluación utilizados en un momento específico y con un peso establecido en la nota del estudiante, de tal forma que, un instrumento de medición permite referenciar la información temporal y la frecuencia de la aplicación de cada elemento de evaluación, lo que se utiliza para establecer los momentos en los que los valores de desempeño de los temas de contenido se actualizan a lo largo

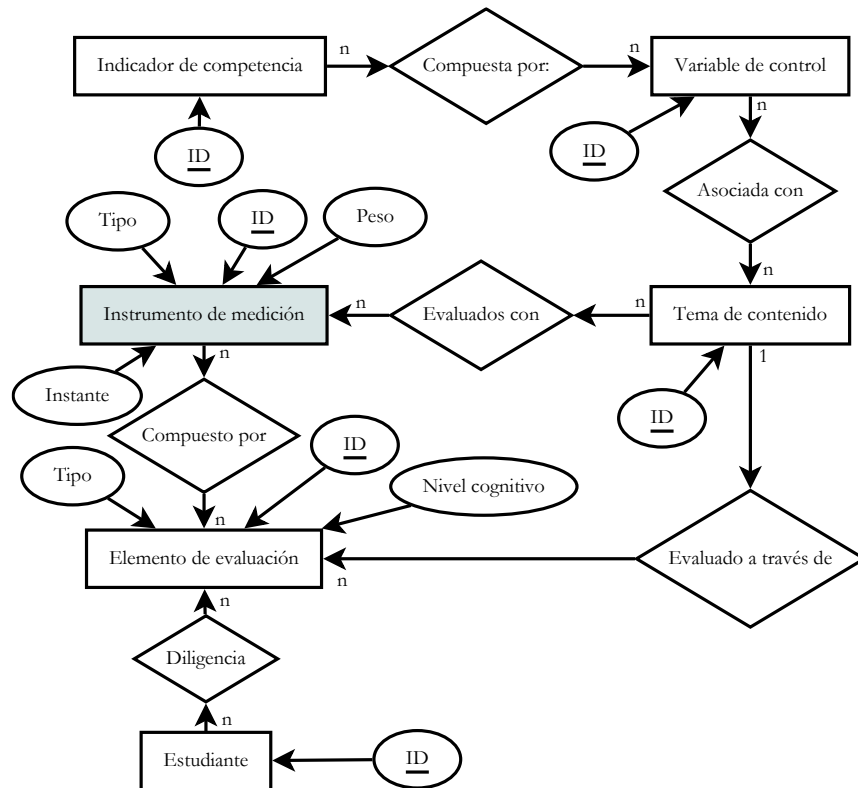
---

<sup>22</sup> Estos elementos de evaluación se conocen en muchos contextos como ítems.

de un curso, y además permite valorar el desempeño del estudiante representado en la nota del curso.

Cada uno de estos elementos de evaluación está asociado con solo uno de los niveles cognitivos de Bloom y con solo uno de los temas mientras que cada tema puede estar asociado con más de una variable. Esto se representa en el diagrama de entidad relación en la Figura 28.

Figura 28. Diagrama Entidad-Relación de los elementos de evaluación



Nota: En este diagrama solo se muestran los atributos más relevantes para la descripción del sistema y sus entidades.

En la Figura 28 se aprecia la relación de “muchos a muchos” (n:n) entre diferentes entidades jerárquicas de información: entre los indicadores y las variables, entre las variables y los temas, entre los instrumentos y los temas (debido a que algunos instrumentos puede evaluar más de un tema al tiempo) y entre los elementos de evaluación y los instrumentos de medición, esto último porque un elemento de

evaluación puede integrar a muchos instrumentos de medición, sin embargo un elemento de evaluación está asociado con un solo nivel cognitivo y evalúa un solo tema de contenido como se representa con su relación “uno a muchos” (1:n).

A manera de conclusión, se define un proceso para la construcción del sistema de medición, conformado por los instrumentos de medición y los elementos de evaluación, que cuenta con las siguientes actividades:

1. Diseñar cada uno de los elementos de evaluación con base en el tema de contenido y en el nivel cognitivo a evaluar,
2. Asociar cada elemento de evaluación con los instrumentos de medición,
3. Establecer la integración y relación de estos instrumentos de medición con los temas de contenido, las variables de control, los indicadores de competencia y las mismas competencias propuestas como objetivos de control de la asignatura.

Aunque el orden presentado para estas actividades tiene una estructura jerárquica, de menor a mayor, el orden en que se realicen estas tres actividades puede variar, más aún, en la ejecución de una asignatura, será más conveniente iniciar con la actividad 3 pues solo se desarrolla una vez por curso mientras que las actividades 1 y 2 se van desarrollando a medida que se vayan produciendo nuevos elementos de evaluación durante el curso.

**3.2.1.1 Relaciones matriciales entre entidades.** El sistema de medición y sus “vistas jerárquicas de información” considera la definición de matrices de pertenencia<sup>23</sup> y de matrices relacionales que se describirán enseguida y que se agrupan en conjuntos distintos:

1. **Matrices de transformación:** Son matrices booleanas que permiten determinar correspondencia entre niveles jerárquicos de información.

---

<sup>23</sup> La expresión de matriz de pertenencia se toma de las representaciones matriciales de relaciones binarias borrosas (*fuzzy*) debido a que en este caso se hace referencia a una representación

2. **Matrices de asignación:** Son casos especiales de “matriz de transformación”, también booleanas al igual que las anteriores, pero se distinguen en que permiten asignar los elementos de evaluación a cada uno de los temas y de sus niveles cognitivos siendo actualizada frecuentemente en un curso (a medida que se generan elementos de evaluación) a diferencia de las otras “matrices de transformación”
3. **Matrices de instrumentación:** Son matrices booleanas que presentan la correspondencia entre los instrumentos y cada una de las entidades de información incluyendo los elementos de evaluación.
4. **Matrices de seguimiento:** Son matrices que presentan el desempeño de los estudiantes en los elementos de evaluación y su correspondencia con las entidades jerárquicas de información.
5. **Matrices de síntesis:** es una última familia de matrices que presentan las síntesis por curso para obtener extraer información general.

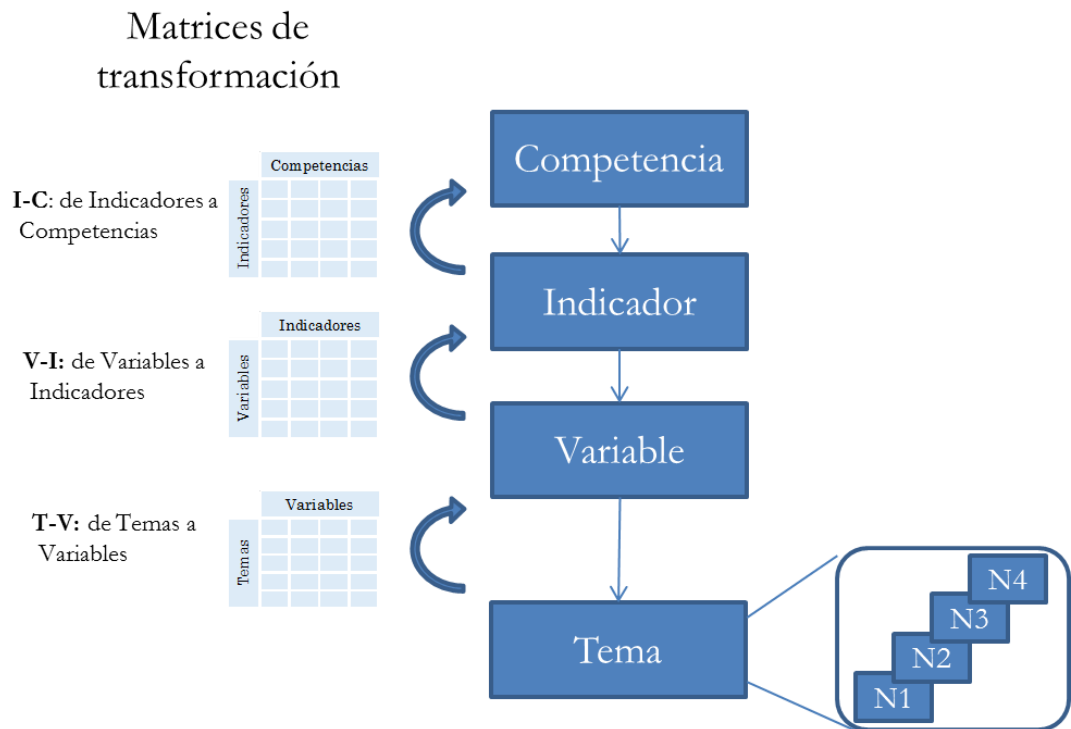
**3.2.1.1.1 Matrices de transformación.** Para establecer la relación “muchos a muchos” (n:n) entre los “objetos” de cada pareja de entidades, se utilizan tablas de doble entrada declaradas como “matrices de transformación” que son aquellas que

---

matricial de relaciones binarias nítidas o booleanas, las cuales se consideran un caso específico de las relaciones binarias borrosas.

permitirán la transformación de la información de un nivel jerárquico a otro nivel teniendo la estructura presentada en la Figura 29.

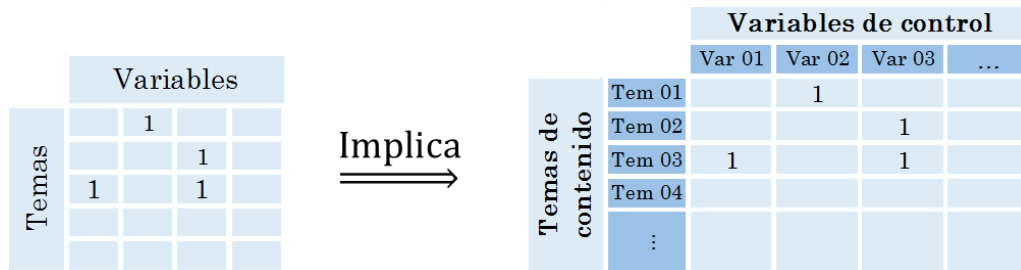
Figura 29. Estructura jerárquica de la información y sus matrices de transformación



Nota: N1, N2, N3 y N4 son los niveles cognitivos del tema (conoce, comprende, aplica y analiza respectivamente) que para efectos de comodidad del gráfico se consideran hasta N4.

Estas matrices presentadas en la Figura 29 son matrices de pertenencia booleanas que indican con 1 si existe relación entre la fila y la columna y con cero (o vacío) cuando no hay relación entre la fila y la columna correspondiente. Para dar un ejemplo se considerará la relación hipotética entre los temas y las variables, dada por la matriz de transformación T-V representada en la Figura 30.

Figura 30. Relación de ejemplo entre temas y variables utilizando la Matriz de Transformación T-V



La matriz de transformación T-V presentada en la Figura 30 indica que la variable “Var 01” está influenciada únicamente por el tema “Tem 03”, la variable “Var 02” está influenciada únicamente por el tema “Tem 01”, y la variable “Var 03” está influenciada con igual ponderación por los temas “Tem 02” y “Tem 03”. Desde otro punto de vista, se puede ver que los temas “Tem 01” y “Tem 02” influyen solamente a una variable cada uno (“Var 02” y “Var 03” respectivamente) mientras que el tema “Tem 03” influye con el mismo peso a dos variables, “Var 01” y “Var 03”. Este ejemplo de la representación de la matriz de transformación T-V también aplica para las matrices V-I e I-C.

En otras palabras estas “matrices de transformación” son las representaciones matriciales de relaciones entre dos conjuntos o **relaciones binarias** [42], [43].

Para el caso de la relación hipotética representada en la Figura 30 sobre la matriz de transformación T-V se hace la descripción en términos de relaciones binarias señalando lo siguiente: se tiene el conjunto finito de Temas  $T = \{Tem\ 01, Tem\ 02, \dots, Tem\ m\}$  equivalente a  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_m\}$  con  $m = 5$ , el conjunto finito de Variables  $V = \{Var01, Var02, \dots, Var\ n\}$  equivalente a  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_n\}$  con  $n = 4$ , y una relación  $R_{T-V}$  entre ellos de cuatro parejas ordenadas entre temas y variable definida por:

$$R_{T-V} = \{(t_1, v_2), (t_2, v_3), (t_3, v_1), (t_3, v_3)\} \tag{5}$$

De forma general, un elemento  $a$ , que pertenece a un conjunto  $A$ , está relacionado con un elemento  $b$ , que pertenece a un conjunto  $B$ , en una relación  $R$  si  $(a, b) \in R$ , es decir:

$$R := \{(a, b) | a \text{ está relacionado con } b\} \quad (6)$$

Entonces se define una relación  $R$  como el conjunto de parejas ordenadas  $(a, b)$  en las que  $a$  está relacionada con  $b$  [42], [43].

La relación  $R_{T-V}$ , presentada en la ecuación (5), puede representarse por medio de la matriz  $\mathbf{M}_{T-V} = [m_{ij}]$  de orden  $[m \times n] = [5 \times 4]$ , para la cual se tiene:

$$m_{ij} := \begin{cases} 1 & \text{si } (t_i, v_j) \in R_{T-V} \\ 0 & \text{si } (t_i, v_j) \notin R_{T-V} \end{cases} \quad (7)$$

Entonces, la matriz booleana que representa a la relación  $R_{T-V}$  es:

$$\mathbf{M}_{T-V} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

La cuál corresponde con la matriz de transformación T-V presentada en la “Figura 30. Relación de ejemplo entre temas y variables utilizando la Matriz de Transformación T-V” y donde todas las posiciones o posibles parejas  $(t_i, v_j)$  corresponden al espacio vectorial generado por el producto cartesiano entre T y V,  $(T \times V)$  [42], lo que significa que:

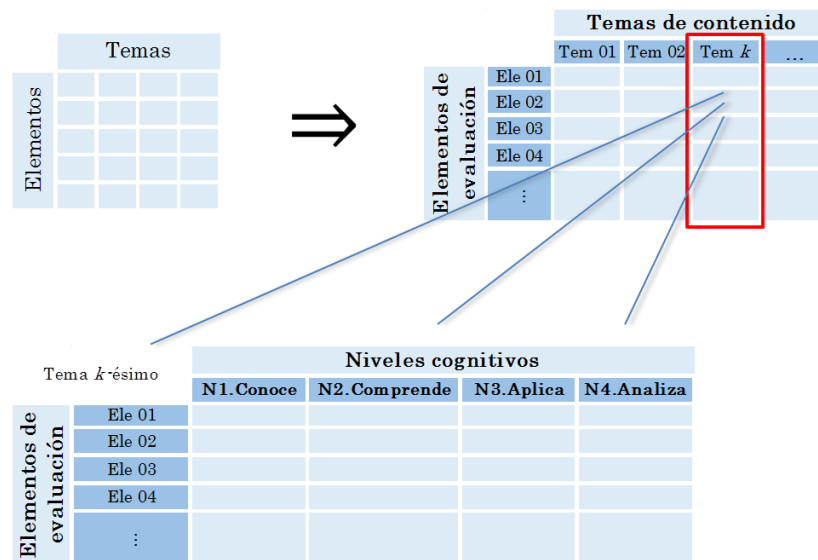
$$R_{T-V} \subseteq T \times V \quad (8)$$

**3.2.1.1.2 Matrices de asignación.** Las matrices de transformación T-V, V-I e I-C, presentadas en la “Figura 29. Estructura jerárquica de la información y sus matrices de transformación”, se pueden definir al inicio del curso, una vez definidas las variables de control, los indicadores de competencia y las competencias de la asignatura, pues no cambiarán con la ejecución del curso, sin embargo, la matriz que relaciona a los elementos de evaluación con los temas y niveles cognitivos, identificada como **matriz de asignación E-T**, requiere ser definida a medida que se

van construyendo los elementos de evaluación, y este proceso puede darse con la ejecución del curso, por esta razón se recomienda dejar la definición de la matriz de asignación E-T para el final al momento de diseñar e implementar el sistema de medición.

La forma de obtener esta matriz de asignación se describe a continuación, cada elemento está relacionado con un tema y con un nivel cognitivo y por otro lado un tema está compuesto por niveles cognitivos como se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Matriz de asignación E-T con el detalle de los niveles cognitivos por tema

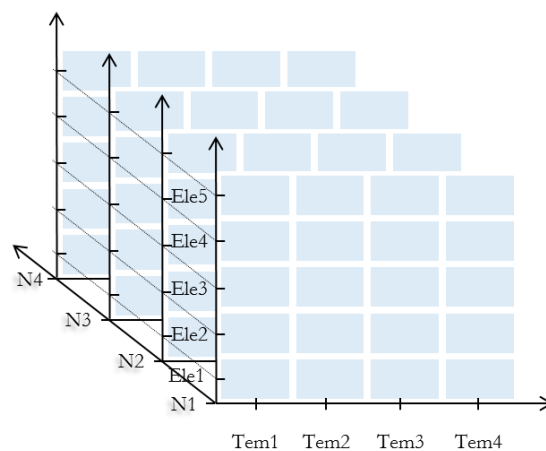


En la Figura 31 se representa el hecho de que un elemento de evaluación hace parte de un nivel cognitivo y que a su vez hace parte de un tema. Esta relación entre elemento y tema es de uno a muchos (1:n, un tema puede tener muchos elementos de evaluación, pero un elemento de evaluación solo puede pertenecer a un tema),

como se representa en la “Figura 28. Diagrama Entidad-Relación de los elementos de evaluación”<sup>24</sup>.

De una forma más precisa, la relación entre el elemento y los niveles y los temas se establece a través de tripletas conformadas por  $(elemento, nivel, tema)$  que representan una relación ternaria, y ya no binaria como en las otras matrices de transformación, la cual se puede representar matricialmente como una matriz de tres dimensiones como se presenta a continuación en la Figura 32.

Figura 32. Matriz tridimensional para la relación ternaria entre elementos, niveles y temas



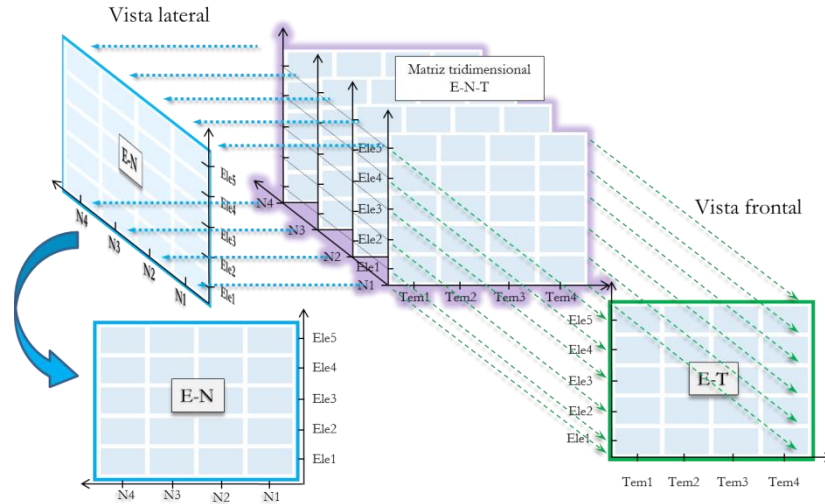
Gracias a la relación de 1 a muchos entre elementos y temas y entre elementos y niveles, la cual indica que un elemento no puede pertenecer a más de un tema ni a más de un nivel, la matriz tridimensional puede ser generada a partir de dos matrices E-N y E-T y posteriormente, de forma inversa es posible recuperar estas dos matrices como dos vistas de esta matriz tridimensional sin que se presente redundancia o se pierda información, una vista que indique la relación entre

---

<sup>24</sup> Aunque el método matricial de las transformaciones permite considerar relaciones de muchos a muchos, no se considera conveniente para el sistema de medición que un elemento de evaluación pueda evaluar más de un tema de contenido[44], [45].

elementos y niveles (vista sobre el plano E-N), y otra que indique la relación entre elementos y temas (vista sobre el plano E-T) como se muestra en la Figura 33.

Figura 33. Vistas E-N (cara lateral) y E-T (cara frontal) a partir de la matriz tridimensional de elementos, niveles y temas



Las “vistas” presentadas en la Figura 33 representan diferentes relaciones a partir de la relación ternaria, por ejemplo la relación  $R_{E-N}$  es una relación entre los elementos del conjunto E y los elementos del conjunto N sin importar con qué elemento del conjunto T se encuentren relacionados (vista o cara lateral de la matriz tridimensional de E-N-T), de igual forma la relación  $R_{E-T}$  es una relación entre los elementos del conjunto E y los elementos del conjunto T sin importar con qué elemento del conjunto N se encuentren relacionados (vista o cara frontal de la matriz tridimensional de E-N-T). De esta forma surgen dos matrices de asignación, E-N y E-T, sin embargo, se resalta el uso de la matriz E-T que es la que está directamente relacionada con las otras matrices de transformación mientras que E-N se considera una submatriz de la matriz E-T.

Estas vistas propuestas sobre los planos E-N y E-T se definen a continuación.

Si se tienen tres conjuntos E, N y T, con elementos  $\{ele_1, ele_2, \dots\}$ ,  $\{N_1, N_2, \dots\}$  y  $\{tem_1, tem_2, \dots\}$  respectivamente, y una relación ternaria entre estos tres conjuntos  $R_{E-N-T}$ , representada matricialmente como  $M_{E-N-T}$ , entonces, para la vista E-N (vista

lateral) se tiene la relación “nítida”  $R_{E-N}$ , representada matricialmente como  $\mathbf{M}_{E-N}$ , de tal forma que cada pareja de elementos entre ambos conjuntos tiene el valor de pertenencia a la relación entre ellos (0 si  $ele_i$  y  $N_j$  no están relacionados y 1 si  $ele_i$  y  $N_j$  están relacionados), definido por la ecuación (7), y que se representa como  $r_{(ele_i, N_j)}$ , tal que:

$$r_{(ele_i, N_j)} := \max_{(ele_i, N_j)}^* \{\mathbf{M}_{E-N-T}\} \quad (9)$$

Donde el operador “max asterisco- $l$ ”<sup>25</sup> “ $\max_l^* \{\mathbf{M}\}$ ”, con  $l = (ele_i, N_j)$  y  $\mathbf{M} = \mathbf{M}_{E-N-T}$ , indica que  $r_{(ele_i, N_j)}$  hace un barrido por todos los  $tem_k$  de la matriz  $\mathbf{M}_{E-N-T}$  relacionados con la pareja  $(ele_i, N_j)$  y toma el valor máximo de todos los valores de pertenencia de la matriz, lo cual quiere decir que con que la pareja  $(ele_i, N_j)$  esté relacionada con al menos un  $tem_k$  el valor de  $r_{(ele_i, N_j)}$  será igual a 1.

En otras palabras y de una forma general para el operador “max asterisco- $l$ ” se tiene que:

Sea la función “ $\max_l^* \{\mathbf{M}\}$ ” donde  $l$  es una  $m$ -upla,  $l \in \mathfrak{R}^m$ , y  $\mathbf{M}$  es una matriz  $n$ -dimensional, entonces

$$\begin{aligned} \max_l^* \{\mathbf{M}\} &:= f: \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}^m \\ &\text{con } m < n \end{aligned} \quad (10)$$

De igual forma, para la vista E-T, a partir de la matriz  $\mathbf{M}_{E-N-T}$ , y cuyos elementos se representan por  $r_{(ele_i, tem_k)}$  se puede definir que:

$$r_{(ele_i, tem_k)} := \max_{(ele_i, tem_k)}^* \{\mathbf{M}_{E-N-T}\} \quad (11)$$

---

<sup>25</sup> El operador “max asterisco- $l$ ” “ $\max_l^* \{\mathbf{M}\}$ ” se puede aplicar a filas o a columnas de una matriz dependiendo de la configuración de  $l$ .

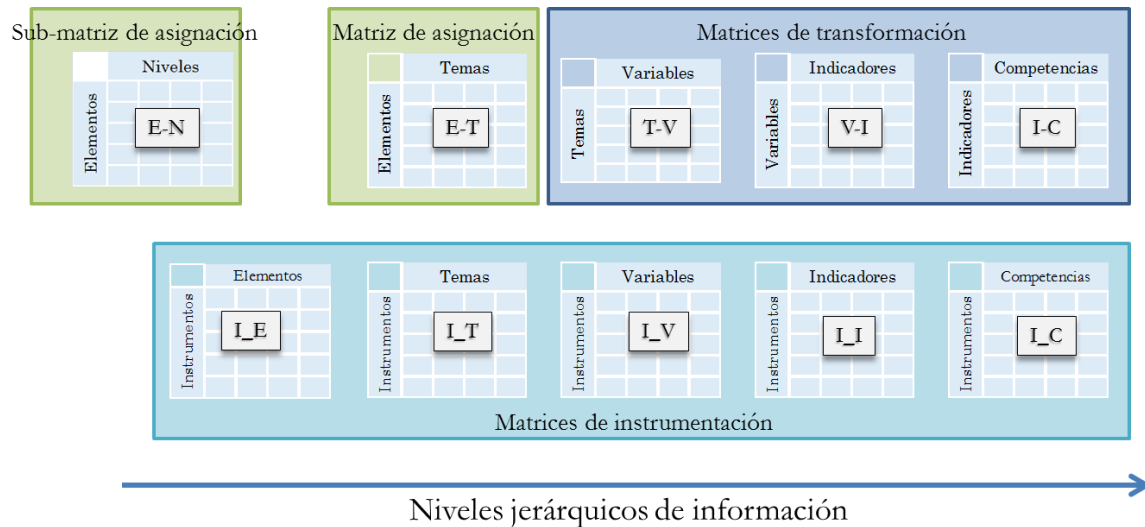
Lo que indica que esta vez el barrido se hace por todos los posibles  $n_j$  de la matriz  $M_{E-N-T}$  relacionados con la pareja  $(ele_i, tem_k)$ .

**3.2.2 Matrices de instrumentación.** Luego de construir los elementos de evaluación y la matriz de asignación E-T entre Elementos y Temas, se concretan los instrumentos de evaluación y se construyen las matrices de correspondencia entre Instrumentos y Elementos (matriz de instrumentación I\_E) y así, con el uso de las matrices de transformación poder encontrar correspondencias entre Instrumentos y Temas (matriz de instrumentación I\_T), Instrumentos y Variables (matriz de instrumentación I\_V), Instrumentos e Indicadores (matriz de instrumentación I\_I) y finalmente, entre Instrumentos y Competencias (matriz de instrumentación I\_C), esto con el fin de aprovechar la información temporal asociada con los instrumentos para definir la dinámica temporal a cada una de las entidades jerárquicas de información (Temas, Variables, Indicadores y Competencias), pues sus valores se actualizan solo con la aplicación de un instrumento de medición que esté asociado con ellas.

**3.2.2.1.1.1 Método de generación de matrices de instrumentación.** La obtención de las matrices de instrumentación se realiza de forma recurrente a través de operaciones matriciales utilizando una primera matriz de instrumentación (I\_E), la

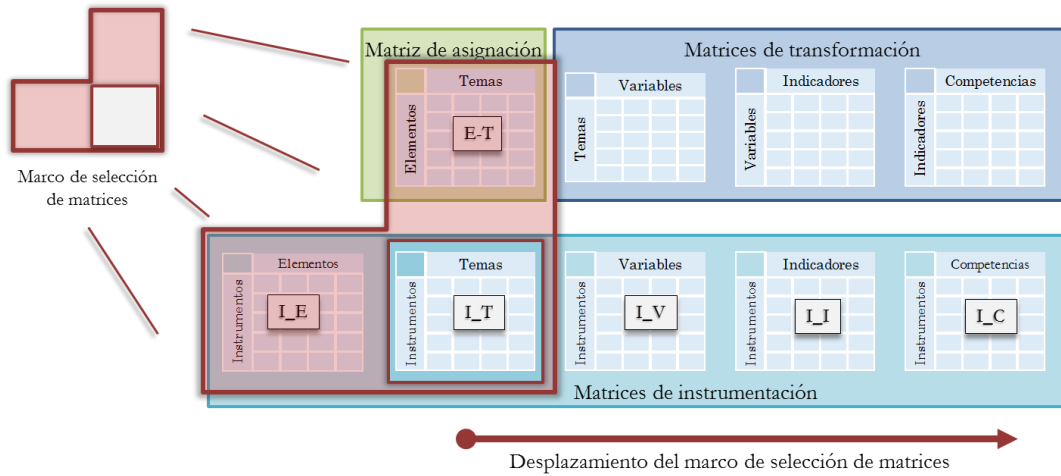
matriz de asignación (E-T) y las matrices de transformación. En definitiva, se tienen los tres conjuntos de matrices representados en la Figura 34.


Figura 34. Conjuntos de matrices de asignación, de transformación y de instrumentación



El proceso de generación de matrices de instrumentación es recurrente pues para generar una matriz de instrumentación se requieren la matriz de asignación, las matrices de transformación y la matriz de instrumentación del nivel jerárquico anterior de información. Por ejemplo, para obtener la matriz de instrumentación I-T, que relaciona Instrumentos con Temas se emplean las matrices I\_E y E-T, como se representa en la Figura 35.

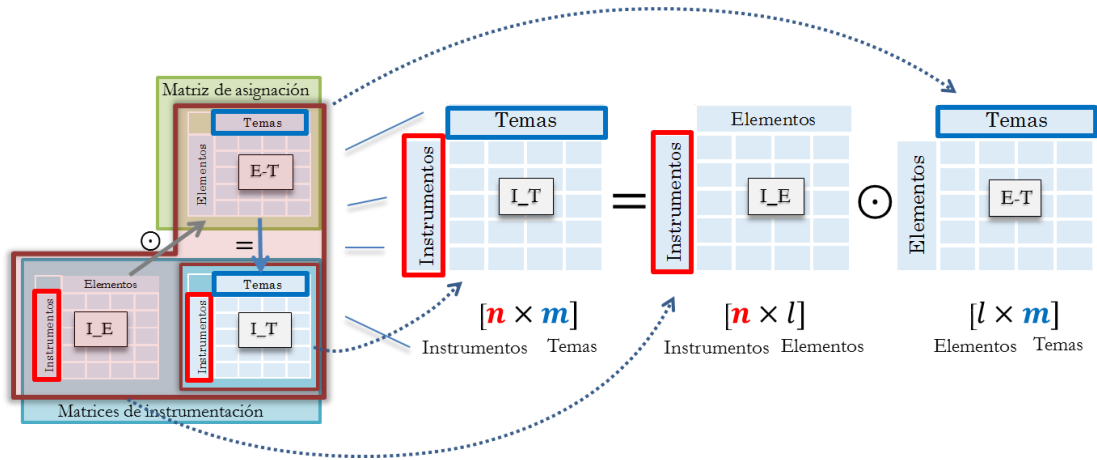
Figura 35. Matrices requeridas para la obtención de I\_T



De esta misma forma, para obtener las siguientes matrices de instrumentación,  $I_V$ ,  $I_I$  e  $I_C$ , se “desplaza” el marco de selección de matrices  de la Figura 35 desde  $I_T$  hasta la matriz de instrumentación deseada.

Ahora, una vez identificadas las matrices que son requeridas para la generación de la matriz  $I_T$ , se explica la “aritmética” matricial que permitirá la generación de esta matriz, y para ello se recurre a la Figura 36.

Figura 36. Aritmética matricial para la obtención de matrices de instrumentación



Las matrices  $I_E$  y  $E-T$  son matrices de unos y ceros (o celdas vacías) que representan las relaciones entre las filas y las columnas. En la Figura 36 se presenta la generación de la matriz  $I_T$  a partir de un “**producto booleano**” de matrices en donde la dimensión de las matrices corresponde con la “multiplicación de matrices” en el sentido en el que, para una matriz  $I_E$  de  $n$  filas ( $n$  Instrumentos) y  $l$  columnas ( $l$  Elementos), si se realiza el “**producto booleano**” con una matriz  $E-T$  de  $l$  filas ( $l$  Elementos) y  $m$  columnas ( $m$  Temas), se obtendrá como resultado una matriz ( $I_T$ ) de  $n$  filas ( $n$  Instrumentos) y  $m$  columnas ( $m$  Temas). Al retomar las ecuaciones (5), (6) y (7) se define este producto booleano asociado con la **composición**<sup>26</sup> “ $\circ$ ” de las relaciones  $R_{I_E}$  y  $R_{E-T}$  [42], [43], representada por la nueva relación:

$$R_{I_T} := R_{I_E} \circ R_{E-T} \quad (12)$$

Donde  $R_{I_T}$  presenta la relación entre los elementos del conjunto  $I'$  de instrumentos y los elementos del conjunto  $T$  de temas. Si se supone que los conjuntos  $I'$ ,  $E$  y  $T$  tienen  $n$ ,  $l$  y  $m$  elementos respectivamente, entonces  $\mathbf{M}_{(R_{I_E} \circ R_{E-T})} = \mathbf{M}_{(R_{I_T})} = [m_{(R_{I_T});ij}]$ ,  $\mathbf{M}_{(R_{I_E})} = [m_{(R_{I_E});ij}]$  y  $\mathbf{M}_{(R_{E-T})} = [m_{(R_{E-T});ij}]$  son las matrices booleanas asociadas a  $R_{I_T} = R_{I_E} \circ R_{E-T}$ ,  $R_{I_E}$  y  $R_{E-T}$ , respectivamente, con dimensiones de

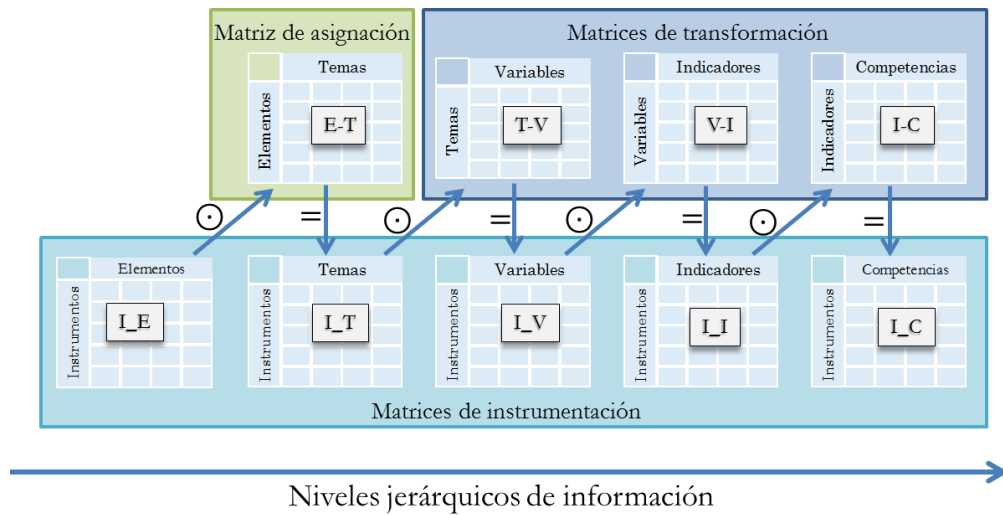
<sup>26</sup> Más específicamente, una composición máx-mín, que puede ser consultada en [43] o [42]

$n \times m$ ,  $n \times l$  y  $l \times q$ , respectivamente. La representación matricial de esta relación por composición de relaciones “o” se define como producto booleano “ $\odot$ ”, esto significa que:

$$\mathbf{M}_{(R_{I_E \circ R_{E-T}})} = \mathbf{M}_{(R_{I_T})} = \mathbf{M}_{(R_{I_E})} \odot \mathbf{M}_{(R_{E-T})} \quad (13)$$

Ya definida la aritmética para la obtención recurrente de las matrices de instrumentación (o relaciones con el conjunto de instrumentos) se define un proceso recurrente presentado en la Figura 37.

Figura 37. Generación de matrices de instrumentación a partir de composición de relaciones



Hasta este momento se tienen las relaciones entre entidades (representadas como matrices booleanas) mencionadas en la Tabla 14.

Tabla 14. Matrices booleanas de relaciones entre entidades

Conjunto matricial	Nombre corto de la matriz	Conjuntos relacionados	Relación asignada*/ generada (por composición)
Sub-matriz de asignación	E-N	Elementos de evaluación (E), Temas de contenido (N)**	$R_{(E-N)}$ <Asignada>

Conjunto matricial	Nombre corto de la matriz	Conjuntos relacionados	Relación asignada*/ generada (por composición)
Matriz de asignación	E-T	Elementos de evaluación ( <i>E</i> ), Temas de contenido ( <i>T</i> )	$R_{(E-T)}$ <Asignada>
Matriz de transformación	T-V	Temas de contenido ( <i>T</i> ), Variables de control ( <i>V</i> )	$R_{(T-V)}$ <Asignada>
Matriz de transformación	V-I	Variables de control ( <i>V</i> ), Indicadores de competencia ( <i>I</i> )	$R_{(V-I)}$ <Asignada>
Matriz de transformación	I-C	Indicadores de competencia ( <i>I</i> ), Competencias ( <i>C</i> )	$R_{(I-C)}$ <Asignada>
Matriz de instrumentación	I_E	Instrumentos de medición ( <i>I'</i> ), Elementos de evaluación ( <i>E</i> )	$R_{(I'E)}$ <Asignada>
Matriz de instrumentación	I_T	Instrumentos de medición ( <i>I'</i> ), Temas de contenido ( <i>T</i> )	$R_{(I'T)} = R_{(I'E)} \circ R_{(E-T)}$
Matriz de instrumentación	I_V	Instrumentos de medición ( <i>I'</i> ), Variables de control ( <i>V</i> )	$R_{(I'V)} = R_{(I'T)} \circ R_{(T-V)}$
Matriz de instrumentación	I_I	Instrumentos de medición ( <i>I'</i> ), Indicadores de competencia ( <i>I</i> )	$R_{(I'I)} = R_{(I'V)} \circ R_{(V-I)}$
Matriz de instrumentación	I_C	Instrumentos de medición ( <i>I'</i> ), Competencias ( <i>C</i> )	$R_{(I'C)} = R_{(I'I)} \circ R_{(I-C)}$

Nota: \*Las relaciones asignadas son aquellas que se pueden establecer desde el inicio de curso o al momento de crear los elementos de evaluación y no se obtienen como composición de dos relaciones previas. \*\*La matriz que relaciona a los elementos con los niveles cognitivos se considera una sub-matriz asociada a la matriz E-T.

**3.2.2.1.2 Matrices de seguimiento.** Ahora que ya se han definido las matrices de transformación y las matrices de instrumentación, se pueden generar las matrices de seguimiento donde se trata el desempeño de los estudiantes ante los instrumentos de medición, para esto se determina el “valor de satisfacción” de cada estudiante ante cada uno de las entidades, ya sea elementos de evaluación, niveles cognitivos, temas de contenido, variables de control, indicadores de competencia y competencias, el cual tiene valores entre 0 y 1, siendo 0 el valor correspondiente para satisfacción nula y 1 el valor para la satisfacción máxima posible para cada instrumento.

Las matrices de seguimiento son la representación matricial de relaciones binarias de “satisfacción” que vinculan a un conjunto de elementos, generalmente

estudiantes para el caso de este sistema, con otro conjunto de elementos, que puede ser cualquier otra entidad como niveles, temas, etcétera; donde el grado de pertenencia de las parejas de elementos de ambos conjuntos con esta relación de “satisfacción” está dado por el valor de satisfacción  $[0, 1]$ , lo que conlleva a que estas relaciones de “satisfacción” tomen la forma de relaciones binarias borrosas entre conjuntos nítidos [44], [45].

Las matrices de seguimiento requieren el manejo de dos vistas: una vista de seguimiento individual que permita ver el desempeño de todos y cada uno de los estudiantes, y una vista de seguimiento grupal que permita hacer la síntesis de todos o de un conjunto de estudiantes. Estas vistas de seguimiento se propagan por todas las posibles vistas jerárquicas de temas, variables, indicadores y competencias.

Debido al gran número de elementos de evaluación, y en caso de no contar con un sistema de base de datos grande y robusto<sup>27</sup>, es muy conveniente manejar, por cada uno de los instrumentos, matrices de asignación que representen la relación entre los elementos de evaluación (presentes en el instrumento) y los temas de contenido, así como matrices que representen la relación entre los elementos de evaluación y los niveles cognitivos. De esta forma cada instrumento de medición contendrá un paquete con información en forma de matrices que permitirán la actualización de valores de cada una de las vistas de seguimiento para cada una de las vistas jerárquicas del sistema.

Las matrices de seguimiento, constituyen el último conjunto de matrices del sistema de medición y son las responsables de presentar las relaciones entre:

1. Estudiantes y Elementos  $(\widetilde{E_s * E})$ <sup>28</sup>,

---

<sup>27</sup> Este proyecto no incluye el desarrollo de una base de datos de elementos de evaluación, sin embargo, se propone como una de las investigaciones futuras relacionadas con esta investigación.

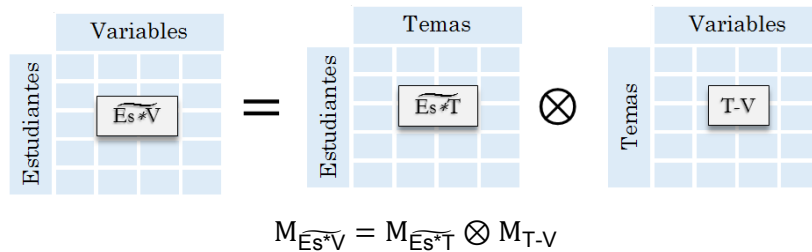
<sup>28</sup> La tilde  $\sim$  sobre los conjuntos indica que la relación entre ellos no es nítida sino borrosa pues la representación matricial indica qué tanto pertenece a la relación de satisfacción entre los elementos de los dos conjuntos  $[0, 1]$ , siendo el valor de satisfacción 0 que no satisface y el valor de satisfacción 1 que satisface completamente [44], [45].

2. Estudiantes e Instrumentos ( $\widetilde{Es^*I}$ ),
3. Estudiantes y Niveles ( $\widetilde{Es^*N}$ ),
4. Estudiantes y Temas ( $\widetilde{Es^*T}$ ),
5. Estudiantes y Variables ( $\widetilde{Es^*V}$ ),
6. Estudiantes e Indicadores ( $\widetilde{Es^*I}$ ) y
7. Estudiantes y Competencias ( $\widetilde{Es^*C}$ )

Para mayor facilidad se presentará la forma de obtener las matrices de seguimiento de estudiantes con variables, indicadores y competencia partiendo de la matriz de seguimiento  $\widetilde{Es^*T}$  entre estudiantes y temas. Esto debido a que son relaciones binarias más sencillas que la relación que se presenta entre niveles y temas la cual requiere un trato especial y se desarrollará más adelante.

**3.2.2.1.2.1 Método de generación de matrices de seguimiento.** Por cada instrumento de medición se tendrá como resultado una matriz que presente el valor de satisfacción de cada estudiante por tema y con esta se debe obtener el valor de satisfacción de cada estudiante por variable de control. Esto se consigue con una operación entre matrices como se presenta en la Figura 38.

Figura 38. Producto matricial para generación de matrices de seguimiento



En la Figura 38 se presenta:

1. Un conjunto de salida E cuyos elementos son cada uno de los estudiantes,
2. Un conjunto de llegada V cuyos elementos son cada una de las variables de control,
3. Un conjunto de transición T cuyos elementos son cada uno de los temas de contenido,

4. La representación matricial ( $\mathbf{M}_{\overline{ES*V}}$ ), de la relación  $R_{ES*V}$ , que contiene el valor de satisfacción de cada estudiante para cada variable, donde los valores de satisfacción son siempre menores o iguales que 1,
5. La representación matricial ( $\mathbf{M}_{\overline{ES*T}}$ ), de la relación  $R_{ES*T}$ , que contiene el valor de satisfacción de cada estudiante para cada tema, donde los valores de satisfacción son siempre menores o iguales que 1,
6. La matriz de transformación T-V, ( $\mathbf{M}_{T-V}$ ), que contiene la pertenencia de cada tema con cada una de las variables,
7. Un operador “ $\otimes$ ” que indica una operación entre las matrices  $\mathbf{M}_{\overline{ES*T}}$  y  $\mathbf{M}_{T-V}$  cuyo producto es la matriz  $\mathbf{M}_{\overline{ES*V}}$

Ese operador “ $\otimes$ ” se llamará “**producto ponderado**” matricial pues cumple la condición particular de que cada tema tiene una “incidencia” particular sobre cada variable con la que está relacionada de tal forma que el máximo valor posible al desarrollar el producto sea igual a 1, lo que requiere que la matriz que contiene el conjunto de llegada esté normalizada con respecto a este para que el “producto ponderado” no sobrepase a 1, en otras palabras, el valor de satisfacción de cada estudiante con respecto a cada variable no debe sobre pasar el valor de 1.

Como se puede notar, este “producto ponderado” es una extensión del producto booleano, con la particularidad de que, mientras el producto booleano es la operación matricial asociada con composiciones max-min entre relaciones binarias nítidas (con valores  $\{0,1\}$ ) [42], [43], el “producto ponderado” se puede considerar como una operación matricial asociada con “**composiciones ponderadas**” entre relaciones binarias borrosas (con valores  $[0,1]$ ).

La operación matricial se realiza de la siguiente forma: siguiendo la Figura 38, si se define  $\tilde{R}$  como la relación binaria borrosa de satisfacción entre los conjuntos Es (estudiantes) y T (temas de contenido) cuya representación matricial es  $\mathbf{M}_{\tilde{R}}$ ,  $S$  como la relación binaria nítida entre los conjuntos T (temas de contenido) y V (variables de control) de la matriz de transformación T-V que se representa como  $\mathbf{M}_S$ , y  $\tilde{W}$  como la relación binaria borrosa de satisfacción entre los conjuntos Es (estudiantes) y V (variables de control) cuya representación matricial es  $\mathbf{M}_{\tilde{W}}$ . Además, se tiene que  $r_{ij}$  es un elemento de la matriz  $\mathbf{M}_{\tilde{R}}$ ,  $s_{jk}$  es un elemento de  $\mathbf{M}_S$  y  $w_{ik}$  es un elemento de  $\mathbf{M}_{\tilde{W}}$ . Entonces, el producto ponderado

$$\mathbf{M}_{\tilde{W}} = \mathbf{M}_{\tilde{R}} \otimes \mathbf{M}_S \quad (14)$$

Se define de tal forma que:

$$w_{ik} = \begin{cases} \frac{\sum_j (r_{ij} \cdot s_{jk})}{\sum_j (s_{jk})} & \text{si } \sum_j (s_{jk}) \neq 0 \\ 0 & \text{si } \sum_j (s_{jk}) = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Cabe notar que esta operación producto ponderado es similar a la multiplicación de matrices salvo la “normalización” con respecto a los elementos del conjunto de llegada (columnas de la matriz  $\mathbf{M}_S$ ) que garantiza que los valores de satisfacción en la matriz  $\mathbf{M}_{\hat{W}}$  no sobrepasen el valor máximo de 1, esto se ve claramente con lo siguiente:

Tomando la definición de norma vectorial<sup>29</sup>, de un vector  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  como:

$$\|\vec{x}\|_p = \sqrt[p]{|x_1|^p + |x_2|^p + \dots + |x_n|^p}$$

De tal forma que la para el caso particular  $p = 1$ , se tiene la norma-1 de  $\vec{x}$  como:

$$\begin{aligned} \|\vec{x}\| &= |x_1| + |x_2| + \dots + |x_n| \\ &= \sum_i |x_i| \end{aligned}$$

Entonces,  $\hat{x}$  es el vector normalizado de  $\vec{x}$  si su norma<sup>30</sup> es igual a 1, lo que se consigue multiplicando escalarmente a  $\vec{x}$  por el inverso de su norma, esto es:

---

<sup>29</sup> Consultado en [https://es.wikipedia.org/wiki/Norma\\_vectorial](https://es.wikipedia.org/wiki/Norma_vectorial) el: 16 de abril de 2016

<sup>30</sup> De este punto en adelante se puede entender como norma la norma-1 (p=1) de un vector.

$$\begin{aligned}\hat{x} &= \frac{1}{\|\vec{x}\|} \cdot \vec{x} \\ &= \frac{1}{\sum_i |x_i|} \cdot \vec{x}\end{aligned}$$

Volviendo a la ecuación (15) si todos los valores de satisfacción son mayores o iguales a 0 entonces:

$$\sum_j (s_{jk}) = \sum_j |s_{jk}| \Leftrightarrow s_{jk} \geq 0 \forall j, k \quad (16)$$

Por lo tanto, si se define el operador “norma asterisco- $l$ ” <sup>31</sup> “ $\|\cdot\|_l^*$ ”, de una matriz  $\mathbf{M}_{n \times m}$ , con  $n$  filas y  $m$  columnas, con  $l = k$  y  $0 < k \leq m$ , como la norma-1 de la columna  $k$ -ésima de la matriz  $\mathbf{M}_{n \times m}$ , entonces:

$$\|\mathbf{M}\|_k^* = \sum_j |m_{jk}| \quad (17)$$

Reescribiendo la ecuación (15), aprovechando que se satisface la condición dada en la ecuación (16), se tiene:

$$w_{ik} = \begin{cases} \sum_j \left( r_{ij} \cdot \frac{s_{jk}}{\|\mathbf{M}_S\|_k^*} \right) & \text{si } \|\mathbf{M}_S\|_k^* \neq 0 \\ 0 & \text{si } \|\mathbf{M}_S\|_k^* = 0 \end{cases} \quad (18)$$

---

<sup>31</sup> El operador “norma asterisco- $l$ ” “ $\|\cdot\|_l^*$ ” puede ser aplicado a columnas o a filas dependiendo de la definición de  $l$ .

De la ecuación (18) se puede entonces deducir que  $\mathbf{M}_{\tilde{W}}$  es el resultado de la multiplicación matricial

$$\mathbf{M}_{\tilde{W}} = \mathbf{M}_{\tilde{R}} \times \tilde{\mathbf{M}}_S^* \quad (19)$$

Donde los elementos  $s_{jk}^*$  de la matriz “asterisco”  $\tilde{\mathbf{M}}_S^*$  resultan de:

$$s_{jk}^* = \begin{cases} \frac{S_{jk}}{\|\mathbf{M}_S\|_k^*} & \text{si } \|\mathbf{M}_S\|_k^* \neq 0 \\ 0 & \text{si } \|\mathbf{M}_S\|_k^* = 0 \end{cases} \quad (20)$$

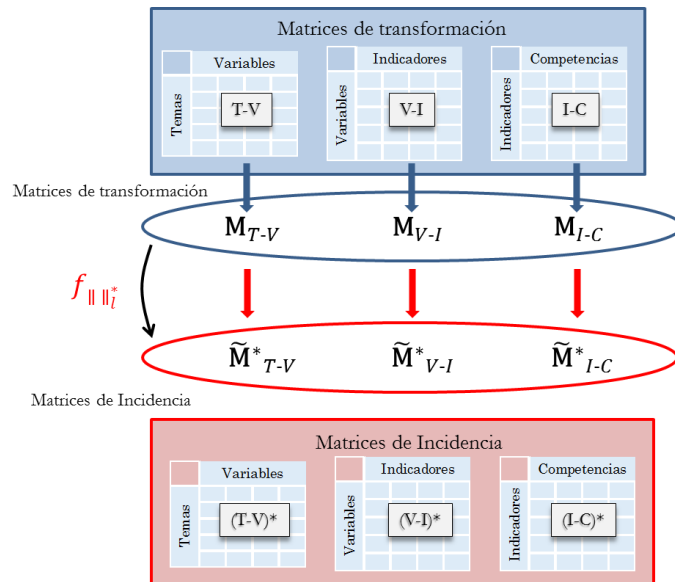
Esta matriz “asterisco”  $\tilde{\mathbf{M}}_S^*$  es una transformación realizada a la matriz  $\mathbf{M}_S$ , que corresponde en este caso a la matriz de transformación T-V, que reevalúa sus valores booleanos cambiándolos por valores que representan la “incidencia” que tiene cada tema en cada variable con la que está relacionado. Para este caso en particular, la matriz “asterisco” corresponde exactamente con la definición de una “matriz de incidencia”. Esta relación de incidencia también es considerada una relación binaria borrosa [44], [45] que indica qué tanto incide, pertenece o está relacionado un tema con la variable correspondiente.

En este sentido, para generar las matrices de seguimiento requeridas, es indispensable generar matrices de incidencia a partir de las matrices de transformación, para lo cual se utiliza el operador “norma asterisco- $l$ ” “ $\|\cdot\|_l^*$ ” como función de transformación así:

$$\|\cdot\|_l^* := \begin{cases} f_{\|\cdot\|_l^*}: \mathbf{M} \rightarrow \tilde{\mathbf{M}}^* \\ \text{tal que} \\ \mathbf{M}_{\tilde{R}} \otimes \mathbf{M}_S = \mathbf{M}_{\tilde{R}} \times \tilde{\mathbf{M}}_S^* \end{cases} \quad (21)$$

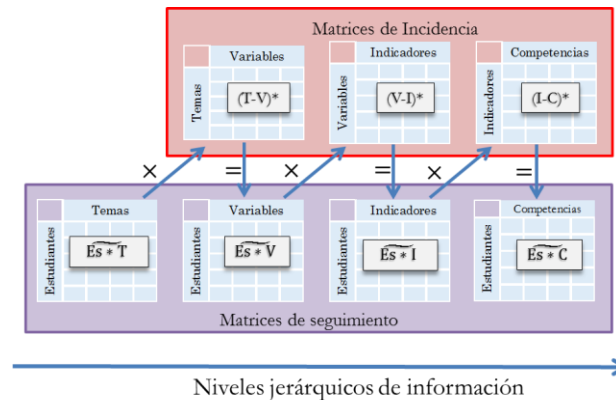
Entonces se tiene el nuevo conjunto de matrices de incidencia como se muestra en la Figura 39 utilizando la función norma asterisco- $l$ .

Figura 39. Generación de matrices de incidencia a partir de las matrices de transformación



La forma de generar las matrices de seguimiento a partir de las matrices de incidencia y la matriz de seguimiento “semilla”  $M_{ES^*T}$  es muy similar al procedimiento presentado en la Figura 37. “Generación de matrices de instrumentación a partir de composición de relaciones” y se presenta en la Figura 40.

Figura 40. Generación de matrices de seguimiento a partir de la multiplicación de matrices de seguimiento “semilla” con matrices de incidencia.



**3.2.2.1.2.2 Obtención de la matriz “semilla” de estudiantes y temas.** Para la generación de la matriz  $\widehat{M}_{Es * T}$  se requiere de la matriz de relación entre estudiantes y elementos de evaluación,  $\widehat{M}_{Es * E}$ , la cual se obtiene directamente al calificar cada uno de los elementos de evaluación en los instrumentos y que tiene un uso sumativo además de su uso formativo pues permite poner una nota a cada instrumento que estará influenciando la nota definitiva del curso.

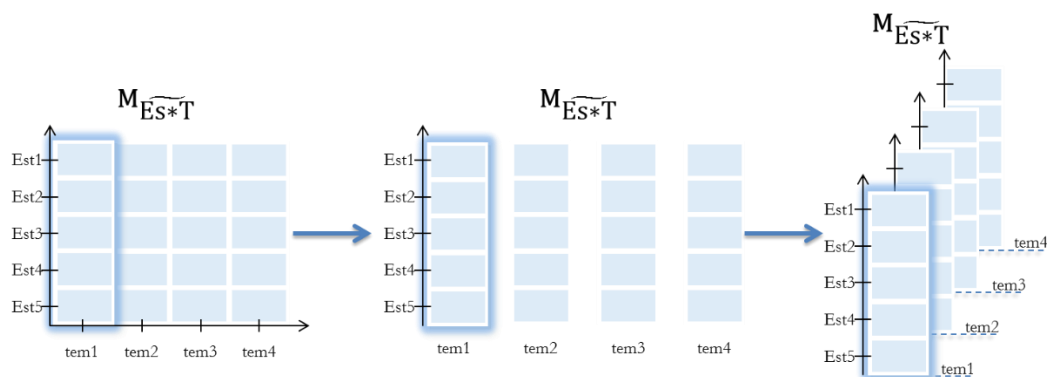
Para esta estimación de la suma ponderada se requiere principalmente de dos vistas generadas por las matrices de asignación de los elementos de evaluación, la matriz  $M_{E-N}$  y la matriz  $M_{E-T}$  propuestas en la “Figura 33. Vistas E-N (cara lateral) y E-T (cara frontal) a partir de la matriz tridimensional de elementos, niveles y temas” como dos de las caras de la matriz tridimensional que relaciona elementos con niveles y temas.

También se requiere de la matriz de incidencia de cada elemento de evaluación en los temas de contenido, la cual se obtiene de una forma similar a las otras matrices de incidencia presentadas anteriormente pero con la consideración de que la incidencia de cada elemento en cada tema depende del nivel al que pertenezca pues el resultado total del valor de satisfacción de un estudiante en un tema específico resulta de una suma ponderada entre el valor de satisfacción de cada nivel del tema, esto es: existe un conjunto de coeficientes constantes  $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots\}$

donde  $\gamma_i \in \mathbb{Z}^+$  tales que  $0 < \gamma_i \leq 10^{32}$ , que indican el peso que tiene cada uno de los niveles,  $\{N_1, N_2, \dots\}$  respectivamente, en el cálculo del valor de satisfacción del tema. Este conjunto de coeficientes es único y se puede definir al inicio del curso.

La generación de la matriz de seguimiento  $M_{ES^*T}$  implica su descomposición en vectores “columna” por cada uno de los temas, como se muestra a continuación en la Figura 41, con el fin de facilitar las operaciones con la matriz tridimensional de elementos-niveles-temas.

Figura 41. Descomposición de la matriz de seguimiento por temas



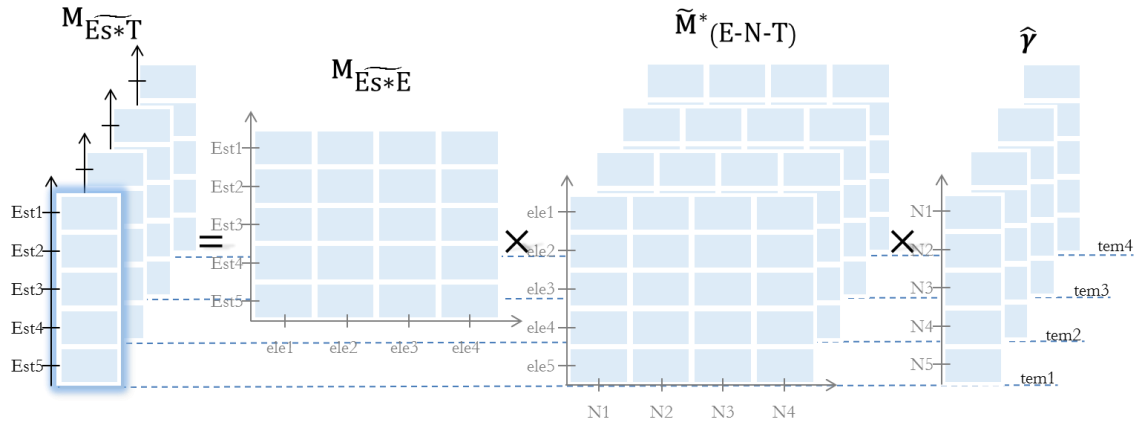
Nota aclaratoria: En la figura se resalta una de las columnas de la matriz, asociada con los resultados de los estudiantes en el tema 1, únicamente con el fin de presentar una continuidad en la secuencia de imágenes y no indica ninguna otra característica de distinción entre ese tema y los otros.

Una vez definida la descomposición de la matriz de seguimiento en vectores por temas, se presenta el sistema de operaciones matriciales que permiten generar la síntesis de cada uno de los temas para el conjunto de estudiantes, representado de una forma global en la Figura 42.

---

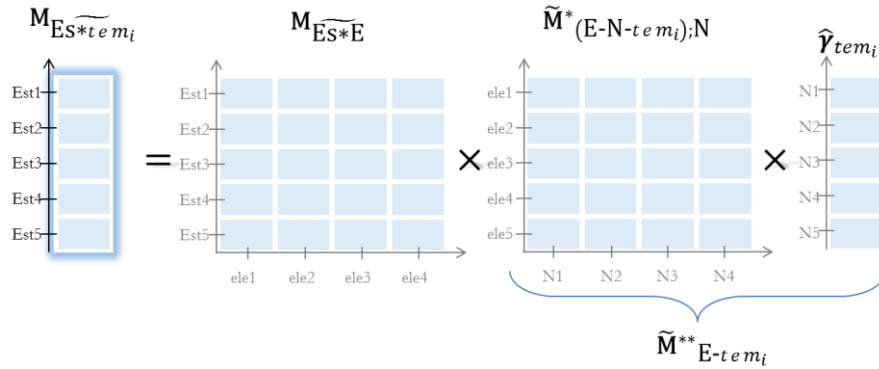
<sup>32</sup> Aunque el modelo permite que los coeficientes tomen cualquier valor, coherente y proporcional al peso de un nivel con respecto al otro, pues este debe ser “normalizado” luego, se pone una restricción (0,10] para facilitar la descripción del modelo.

Figura 42. Sistema matricial para generación de matriz de seguimiento de estudiantes-temas



En Figura 42 se ve que la matriz de seguimiento  $M_{ES^*T}$  se genera como un producto de la matriz de seguimiento  $M_{ES^*E}$ , la cual se obtiene directamente al calificar los elementos de evaluación del instrumento de medición, por el producto entre la matriz asterisco-N de la matriz tridimensional,  $\tilde{M}^*(E-N-T)$ , y la matriz  $\hat{\gamma}$  que contiene coeficientes normalizados que ponderan cada uno de los niveles. Para ver estas operaciones con más detalle, se hará un análisis de la operación para un tema específico  $tem_i$  a partir de la Figura 42 tal y como se presenta en la Figura 43.

Figura 43. Sistema matricial para generación de vector de seguimiento de estudiantes -  $tem_i$



Como se puede ver en la Figura 43, a diferencia de las otras matrices de incidencia, la matriz de incidencia de elementos-temas,  $\tilde{M}^{**}_{E-T}$ , se genera a partir de la matriz de

incidencia de cada elemento en cada nivel del tema  $tem_i$ ,  $\tilde{\mathbf{M}}_{E-N-tem_i}^*$ , multiplicado por una matriz de coeficientes normalizados de peso  $\hat{\gamma}$  que indica la ponderación que tiene cada nivel en el cálculo de la síntesis del tema y que es obtenida del conjunto de coeficientes  $\gamma$ . A continuación, se explica con detenimiento este proceso.

Siguiendo la Figura 43, si se define a:

1.  $s_k$ , el  $k$ -ésimo elemento de la matriz  $\mathbf{M}_{Es*tem_i}$ , como el valor de satisfacción del estudiante  $est_k$  en el tema  $tem_i$ ;
2.  $r_m$ , el elemento  $m$ -ésimo de la  $k$ -ésima fila de la matriz  $\mathbf{M}_{Es*E}$ , como el valor de satisfacción del  $est_k$  en el elemento de evaluación  $ele_m$ ;
3.  $n_{mj}$ , el elemento  $j$ -ésimo de la  $m$ -ésima fila de la matriz  $\tilde{\mathbf{M}}_{(E-N-tem_i);N}^*$ , como el valor de incidencia del elemento de evaluación  $ele_m$  en el nivel cognitivo  $N_j$  para el tema  $tem_i$ ;
4.  $\hat{\gamma}_{tem_i;j}$ , el elemento  $j$ -ésimo del vector de coeficientes normalizados del  $tem_i$ ,  $\hat{\gamma}_{tem_i}$ , como el valor de incidencia o ponderación del valor de satisfacción del nivel cognitivo  $N_j$  en el tema  $tem_i$ .

Entonces:

$$s_k = \sum_m \left( r_m \cdot \sum_j n_{mj} \cdot \hat{\gamma}_{tem_i;j} \right) \quad (22)$$

Por la ecuación (18) definida con las anteriores matrices de seguimiento es de esperar que la sumatoria que multiplica a  $r_m$  sea un elemento de la matriz de incidencia entre elementos de evaluación y temas de contenido,  $\tilde{\mathbf{M}}_{E-T}^{**}$ , de tal forma que, si se define:

5.  $p_m$ , el elemento  $m$ -ésimo del vector  $\tilde{\mathbf{M}}_{E-tem_i}^{**}$ , que es la  $i$ -ésima columna de  $\tilde{\mathbf{M}}_{E-T}^{**}$  correspondientes al tema  $tem_i$ , como el valor de incidencia del elemento de evaluación  $ele_m$  en el tema  $tem_i$ ;

Entonces:

$$p_m = \sum_j n_{mj} \cdot \hat{\gamma}_{tem_i;j} \quad (23)$$

De forma que la ecuación (22) se pueda reescribir como:

$$s_k = \sum_m (r_m \cdot p_m) \quad (24)$$

Esto anterior, siguiendo la Figura 43, permite definir el vector columna de la matriz de incidencia como:

$$\tilde{\mathbf{M}}_{E-tem_i}^{**} = \tilde{\mathbf{M}}_{(E-N-tem_i);N}^* \times \hat{\gamma}_{tem_i} \quad (25)$$

Lo cual, también siguiendo la Figura 43, implica que:

$$\mathbf{M}_{Es*\widehat{tem}_i} = \mathbf{M}_{Es*E} \times \tilde{\mathbf{M}}_{E-tem_i}^{**} \quad (26)$$

Para definir completamente al vector  $\mathbf{M}_{Es*\widehat{tem}_i}$  es necesario describir el proceso para obtener el vector  $\hat{\gamma}_{tem_i}$ , que se presenta a continuación.

### 3.2.2.1.2.3 Generación de la matriz de coeficientes normalizados por tema.

Debido a que cada instrumento no evalúa necesariamente todos los niveles cognitivos de un tema, pero, por el principio de relevancia formativa, es representativo como una medición completa del tema, se debe hacer una “normalización” de los coeficientes de los niveles que están siendo medidos con el instrumento, lo cual requiere de tres pasos:

1. Identificar los niveles evaluados por tema.
2. Crear un vector de coeficientes por tema donde se tomen los valores de los coeficientes correspondientes a los niveles identificados y se anulen los otros coeficientes.
3. Normalizar el nuevo vector de coeficientes.

Para identificar los niveles evaluados por tema se utiliza la matriz tridimensional  $\mathbf{M}_{E-N-T}$  de la que se obtiene una “vista” N-T utilizando la función “max asterisco- $l$ ” con  $l = (N_j, tem_i)$ , tal y como se hizo con las ecuaciones (9) y (11) para obtener las vistas E-N y E-T de las matrices de seguimiento, para generar una matriz  $\mathbf{M}_{N-T}$  cuyos elementos  $r_{(N_j, tem_i)}$  representan la relación entre los niveles cognitivos y los temas de contenido de forma que:

$$r_{(N_j, tem_i)} := \max_{(N_j, tem_i)}^* \{\mathbf{M}_{E-N-T}\} \quad (27)$$

Lo cual indica que  $r_{(N_j, tem_i)}$  toma un valor de 0 si  $N_j$  y  $tem_i$  no existe un elemento de evaluación del tema  $tem_i$  y del nivel  $N_j$  en el instrumento de medición, o un valor de 1 si existe por lo menos un elemento de evaluación del tema  $tem_i$  y del nivel  $N_j$  en el instrumento de medición.

Por lo tanto, para el tema  $tem_i$  se tiene un vector cuyos elementos corresponden con:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{N-tem_i} &= \{\max_{(N_1, tem_i)}^* \{\mathbf{M}_{E-N-T}\}, \max_{(N_2, tem_i)}^* \{\mathbf{M}_{E-N-T}\}, \dots\} \\ &\Downarrow \\ \mathbf{M}_{N-tem_i} &= \{r_{(N_1, tem_i)}, r_{(N_2, tem_i)}, \dots\} \end{aligned} \quad (28)$$

Este vector  $\mathbf{M}_{N-tem_i}$  contiene elementos que indican con 1 o 0 si existen o no, respectivamente, elementos de evaluación en el tema  $tem_i$  que estén relacionados con los niveles  $N_j$  y con esto se tiene el primer paso para la generación de la matriz de coeficientes normalizados por tema.

El segundo paso consiste en crear el vector de coeficientes por tema, entonces, por cada tema  $tem_i$  se declara un vector con los coeficientes  $\check{\gamma}_{tem_i} = [\check{\gamma}_{1, tem_i}, \check{\gamma}_{2, tem_i}, \dots]$ , seleccionados del conjunto de coeficientes  $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots\}$ , donde  $\gamma_j \in \mathbb{Z}^+$  tales que  $0 < \gamma_i \leq 10$ , de tal forma que:

$$\check{Y}_{j,tem_i} = \begin{cases} \gamma_j & \text{si existe algún elemento de evaluación en el nivel } j \text{ del } tem_i \\ 0 & \text{si no existe algún elemento de evaluación en el nivel } j \text{ del } tem_i \end{cases} \quad (29)$$

Cuya norma-1 está dada por:

$$\|\check{Y}_{tem_i}\|_1 = \sum_j \check{Y}_{j,tem_i}$$

El vector  $\mathbf{M}_{N-tem_i}$  contiene la información sobre la existencia o no existencia de elementos de evaluación en el tema  $tem_i$  para cada uno de los niveles cognitivos, por lo tanto, el vector  $\check{Y}_{tem_i}$  se obtiene como el producto elemento a elemento o producto “punto-asterisco” “.\*”<sup>33</sup> entre el vector  $\mathbf{M}_{N-tem_i}$  y un vector  $\boldsymbol{\gamma}$  conformado por los elementos del conjunto de coeficientes  $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots\}$  de forma que:

$$\check{Y}_{tem_i} = \mathbf{M}_{N-tem_i} .* \boldsymbol{\gamma} \quad (30)$$

Lo cual implica que:

$$\check{Y}_{j,tem_i} = r_{(N_j,tem_i)} \cdot \gamma_j$$

Por último, el tercer paso para obtener el vector normalizado de coeficientes por tema  $\hat{\boldsymbol{\gamma}}_{tem_i}$  para el tema  $tem_i$  consiste en normalizar el vector  $\check{Y}_{tem_i}$ , lo que se consigue definiendo el vector de coeficientes normalizados como  $\hat{\boldsymbol{\gamma}}_{tem_i} = [\hat{\gamma}_{1,tem_i}, \hat{\gamma}_{2,tem_i}, \dots]$  tal que:

---

<sup>33</sup> El producto “punto-asterisco” es una definición propia basada en el operador “.\*” de MATLAB® para multiplicar vectores elemento por elemento.

$$\hat{\gamma}_{k,tem_i} = \frac{\check{\gamma}_k}{\sum_j \check{\gamma}_{j,tem_i}}$$

Donde

$$\|\check{\gamma}_{tem_i}\|_1 = \sum_j \check{\gamma}_{j,tem_i}$$

Por lo tanto

$$\hat{\gamma}_{k,tem_i} = \frac{\check{\gamma}_k}{\|\check{\gamma}_{tem_i}\|_1} \quad (31)$$

En otras palabras, el vector  $\hat{\gamma}_{tem_i}$  se define como:

$$\hat{\gamma}_{tem_i} := \|\check{\gamma}_{tem_i}\|_1^* \quad (32)$$

De tal forma que:

$$\|\hat{\gamma}_{tem_i}\|_1 = \sum_j \hat{\gamma}_{j,tem_i} = 1 \quad (33)$$

Ya definido el método de generación de cada vector columna  $\mathbf{M}_{ES^*tem_i}$  correspondiente a cada tema  $tem_i$ , de forma general se define la matriz  $\mathbf{M}_{ES^*T}$ , a partir de la ecuación (26), así:

$$\mathbf{M}_{ES^*T} = \mathbf{M}_{ES^*E} \times \tilde{\mathbf{M}}_{E-T}^{**} \quad (34)$$

Esta ecuación (34) quiere decir que la matriz de seguimiento de estudiantes por tema,  $\mathbf{M}_{ES^*T}$ , se puede obtener del producto matricial entre la matriz de seguimiento

de estudiantes por elemento de evaluación,  $M_{E_S * E}$ , y la matriz de incidencia de los elementos de evaluación en cada uno de los temas,  $\tilde{M}_{E-T}^{**}$ .

**3.2.3 Estrategia para la implementación del sistema de medición.** Ya que están definidas todas las matrices relacionales, se definen los pasos para la implementación del sistema de medición con vistas jerárquicas así:

1. Definición de las matrices de transformación T-V, V-I e I-C
2. Definición de la matriz de asignación E-T
3. Definición de las matrices de instrumentación I\_E, I\_T, I\_V, I\_I e I\_C
4. Construcción de las matrices de seguimiento.

El sistema de medición se implementó en una asignatura que hace parte del plan de estudios de Ingeniería Electrónica en la UIS y cuya ficha técnica se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. Ficha técnica de la asignatura intervenida

<b>Nombre</b>	Dinámica de Procesos
<b>Código</b>	DP (27138)
<b>Institución Académica</b>	Universidad Industrial de Santander (UIS)
<b>Unidad Académica</b>	Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T)
<b>Plan de estudio</b>	Ingeniería Electrónica
<b>Semestre del plan de estudios</b>	6
<b>Intensidad Horaria (semanal)</b>	4 Teóricas + 8 Trabajo independiente
<b>Número de créditos</b>	4
<b>Requisitos</b>	Ecuaciones Diferenciales

La ficha técnica de la implementación se presenta a continuación<sup>34</sup> en la Tabla 16.

Tabla 16. Ficha técnica de la implementación

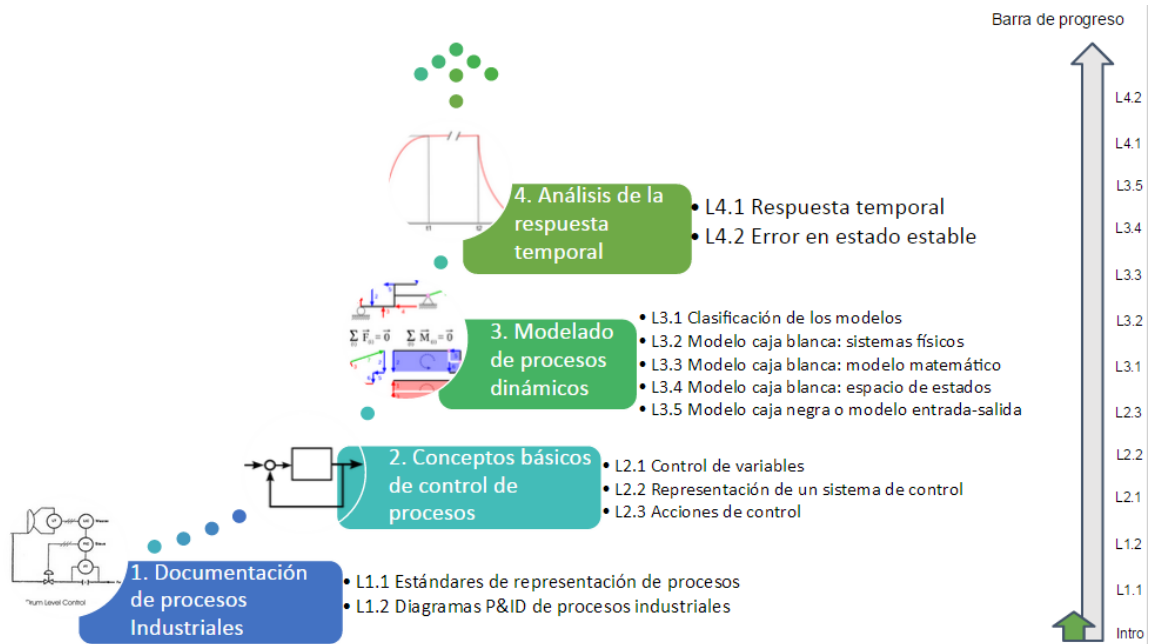
<b>Semestre de implementación</b>	Primer periodo del 2015
<b>Fecha de inicio del semestre</b>	Marzo 16 del 2015
<b>Fecha de finalización del semestre</b>	Septiembre 18 del 2015
<b>Grupo de Control</b>	D1
<b>Cantidad de estudiantes</b>	39

Del programa de la asignatura se tomaron los contenidos y se agruparon en lecciones o UMA (Unidades Mínimas de Aprendizaje) y estas lecciones luego se agruparon en Módulos para dar la estructura propuesta en el modelo inicial de los procesos de Enseñanza-Aprendizaje. Para representar esta agrupación se realizó la Figura 44 a manera de ciclo de vida de la asignatura con el fin de que los estudiantes fueran conscientes de la integración del contenido y del avance.

---

<sup>34</sup> Cabe anotar que el autor del presente trabajo, desarrolló su investigación en dicha asignatura por la facilidad para experimentar y hacer investigación en el aula con ella debido a que era el profesor asignado por la unidad académica para la dirección de uno de sus cursos.

Figura 44. Ciclo de vida del curso intervenido



En cuanto a los porcentajes de calificaciones, se hizo una distribución de pesos de la siguiente forma:

1. Un peso del 5% de la definitiva para la evaluación de las competencias axiológicas propuestas para la asignatura las cuales se midieron directamente con la asistencia
2. Un peso del 95% de la definitiva para la evaluación de las competencias disciplinares propuestas para la asignatura las cuales se evalúan a partir de componentes sumativos asociados con evaluaciones de módulo y con actividades adicionales de módulo como talleres y evaluaciones de salida de cada lección.

Para la distribución del 95% de la definitiva entre cada uno de los módulos se recurrió a la relación, definida por el autor, entre los temas de contenido y las competencias determinando la incidencia de cada tema en cada una de las competencias con las que estuviera relacionada. Con los valores de esa relación y con la asociación existente entre temas y módulos, se obtuvieron valores aproximados para cada uno de los módulos, resultando los porcentajes de la Tabla 17.

Tabla 17. Distribución de porcentajes de calificaciones entre los módulos

<b>Componentes sumativos</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>Subtotal sumativo</b>
<b>Actividades</b>	4%	12%	15%	8%	<b>39%</b>
<b>Evaluación módulo</b>	6%	18%	20%	12%	<b>56%</b>
<b>Total</b>	<b>10%</b>	<b>30%</b>	<b>35%</b>	<b>20%</b>	<b>95%</b>

En la Tabla 17 se aprecia que se dio un mayor peso para la evaluación de cada módulo que para sus actividades adicionales, lo cual correspondió a un criterio propio del autor, en calidad de docente de la asignatura, en el que se buscó que el 60% de la nota de cada módulo a su evaluación y el 40% restante a dichas actividades<sup>35</sup>. Se decidió también que los instrumentos de medición de cada módulo tuvieran el mismo peso salvo algunos casos excepcionales donde el esfuerzo para su desarrollo era evidentemente mayor que para los otros instrumentos. El peso, en decimales, correspondiente a cada instrumento utilizado en el curso se muestra en la Tabla 18.

---

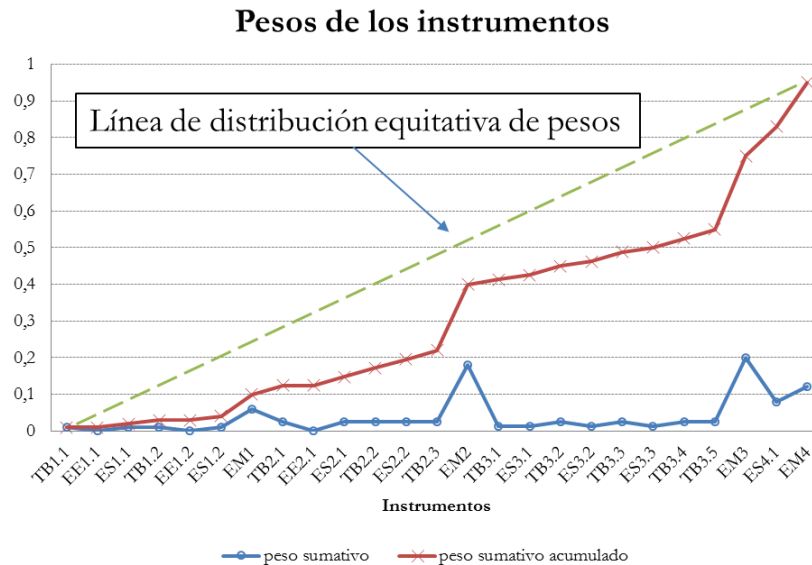
<sup>35</sup> La tabla de distribución porcentual expandida (con el 5% para el reconocimiento de la asistencia) fue presentada al coordinador académico del plan de estudios y a otros profesores de la misma escuela, con el fin de recibir el visto bueno y el aval para su implementación.

Tabla 18. Distribución de pesos individuales y acumulados de los instrumentos de medición

Componentes sumativos	Instrumentos	Peso sumativo	Peso sumativo acumulado
Actividades M1	TB1.1	0,01	0,01
	EE1.1	0	0,01
	ES1.1	0,01	0,02
	TB1.2	0,01	0,03
	EE1.2	0	0,03
	ES1.2	0,01	0,04
Evaluación módulo 1	EM1	0,06	0,1
Actividades M2	TB2.1	0,024	0,124
	EE2.1	0	0,124
	ES2.1	0,024	0,148
	TB2.2	0,024	0,172
	ES2.2	0,024	0,196
	TB2.3	0,024	0,22
Evaluación módulo 2	EM2	0,18	0,4
Actividades M3	TB3.1	0,0125	0,4125
	ES3.1	0,0125	0,425
	TB3.2	0,025	0,45
	ES3.2	0,0125	0,4625
	TB3.3	0,025	0,4875
	ES3.3	0,0125	0,5
	TB3.4	0,025	0,525
	TB3.5	0,025	0,55
Evaluación módulo 3	EM3	0,2	0,75
Actividades M4	ES4.1	0,08	0,83
Evaluación módulo 4	EM4	0,12	0,95
Asistencia y otras		0,05	1

La distribución presentada en la Tabla 18 se presenta también de forma gráfica para ver la relevancia sumativa de los instrumentos implementados a lo largo del semestre. (Ver Figura 45”)

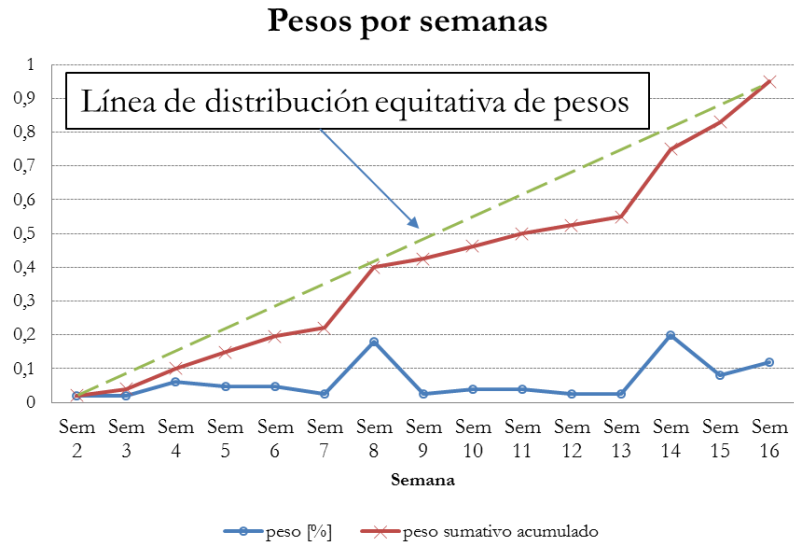
Figura 45. Relevancia sumativa de instrumentos implementados



Nota: En esta gráfica solo se llega hasta el 95% pues es lo máximo que se puede alcanzar con los instrumentos de medición diseñados que corresponden con las competencias disciplinares.

En la Figura 45 se presentan los pesos individuales de cada uno de los instrumentos de medición junto con los pesos acumulados. También se presenta una línea recta de referencia que indicaría cómo sería la distribución de pesos si se quisiera que la nota definitiva surgiera de manera equitativa con la implementación de todos los instrumentos. La separación entre las líneas de los pesos acumulados y la referencia equitativa radica en que al final del semestre no se pudieron implementar tantos instrumentos de bajo peso como a lo largo de todo el semestre, haciendo que los últimos instrumentos tengan bastante peso. Sin embargo, para ver la distribución de pesos en el tiempo se debe recurrir a una representación de pesos por semana de clase, aprovechando que cada lección está asociada con una semana de clase. Esta representación gráfica se puede ver en la Figura 46.

Figura 46. Relevancia sumativa por semana de clase



La Figura 46 adquiere importancia, porque indica la nota obtenida por los estudiantes a lo largo del semestre evitando en primera medida que se acumule demasiado porcentaje para las últimas semanas del semestre como suele ocurrir en algunos cursos, reduciendo la incertidumbre presentada por los estudiantes cuando deben esperar mucho tiempo por sus calificaciones. La recta ideal de distribución equitativa de pesos no se satisfizo completamente en la implementación debido a que no fue parte del criterio para determinación de pesos de los instrumentos, el cual se enfocó solamente en la relación de los temas de contenido con los módulos y las competencias planteadas, sin embargo, al utilizar tantos componentes sumativos se puede ver que la curva real se mantiene cercana a la ideal, además permitiendo evidenciar algunas características de interés como que en la semana 8 casi coinciden y que el 50% de la calificación total del curso se ha alcanzado en la semana 11.

**3.2.4 Conclusiones de la medición de los procesos de EA.** El éxito en la integración de estándares, instrumentos y técnicas de medición y control se debió a que el sistema de medición fue diseñado de forma coherente con los planes de control y los requerimientos del sistema, considerando el flujo de la información de tal forma que se pudieran obtener resultados en cada nivel jerárquico de información a partir de la medición de los temas de contenidos, la cual se basa en técnicas de evaluación del aprendizaje apoyadas por la taxonomía de Bloom para la

construcción de ítems de evaluación y valoración de la satisfacción en diferentes niveles cognitivos de complejidad para cada uno de los temas de contenido.

El sistema de medición propuesto facilita el seguimiento de los objetivos de control debido a que consiste en la integración de resultados de diferentes instrumentos de medición, en su aplicación en diferentes momentos del proceso de aprendizaje (asegurando la medición en más de una oportunidad para cada una de las variables de interés), y en que tienen atributos asociados con la temporalidad, la relevancia formativa y la relevancia sumativa, que aumentan la aplicabilidad y relevancia para el sistema de cada uno de los instrumentos.

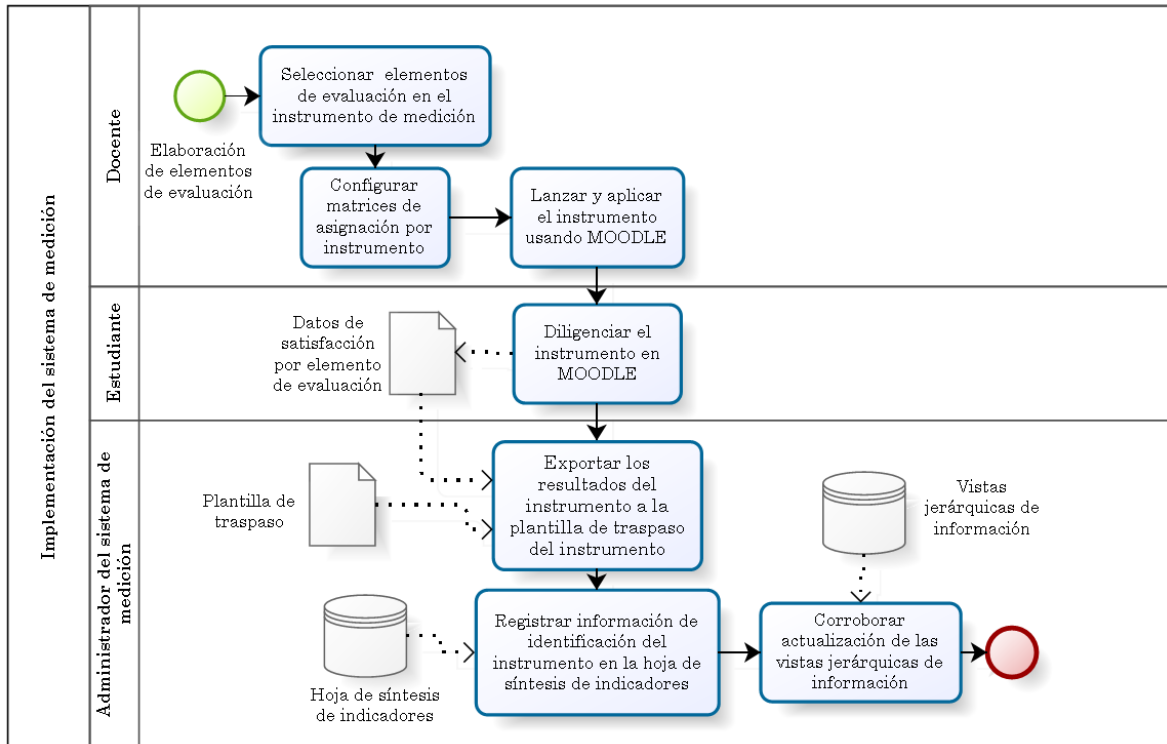
El establecimiento de matrices relacionales permite obtener información de interés de cualquier punto de vista siempre y cuando se configuren las relaciones con los elementos de evaluación o los instrumentos de medición, permitiendo el seguimiento y apoyando la toma de decisiones a nivel operativo.

La implementación de los instrumentos de medición a lo largo de todo semestre académico y su distribución equilibrada de influencia en cuanto a su relevancia formativa y sumativa facilita el seguimiento y, en consecuencia, la mejora en el desempeño de los procesos debido a que brinda muchas oportunidades para la realimentación y refuerzo orientados hacia la atención de debilidades encontradas de forma oportuna cuando aún se tienen opciones para mejorar los resultados finales.

### **3.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES**

El proceso utilizado para la implementación del sistema de medición se representa en la Figura 47.

Figura 47. Ciclo de vida del sistema de medición y seguimiento



En la Figura 47 se muestra el ciclo de vida de todo instrumento de medición aplicado en la implementación y que se encuentra integrado con el sistema de medición y seguimiento, en donde se aprecia que se requiere la intervención de un operador para tomar los datos desde MOODLE y pasarlos al “sistema de integración”, el cual permite obtener las diferentes vistas<sup>36</sup>.

**3.3.1 Resultados de las mediciones.** Después de integrar los instrumentos durante el curso se obtuvieron las siguientes vistas:

1. Vista de Temas de contenido

<sup>36</sup> La automatización de este proceso de traspaso y actualización de información se propone como trabajo futuro.

2. Vista de Variables de control
3. Vista de Indicadores de competencia
4. Vista de Competencias

**3.3.1.1 Vista de temas.** Como se identificó en la “Tabla 18. Distribución de pesos individuales y acumulados de los instrumentos de medición”, se aplicaron diferentes instrumentos para la medición de los temas, sin embargo, en las síntesis que se presentan a continuación se incluyen todas las evaluaciones de salida y de módulo y solo se incluyen los talleres del módulo 1 pues estos instrumentos se consideran suficientes para presentar la evolución de las variables en el tiempo. Los elementos de evaluación de cada instrumento están asociados con temas y niveles y por la relevancia sumativa y formativa de los instrumentos, son suficientes para actualizar los valores de satisfacción de cada tema y para ello se utilizan las matrices de asignación que relacionan los elementos de evaluación con los temas y niveles. Para ello se muestra como ejemplo la matriz de asociación de la evaluación de salida 1.1 –ES1.1 en la Figura 48.

Figura 48. Matriz de asignación de Elementos con Temas de la ES1.1

	T1.1	T1.2	T1.3	T1.4
ele 1	1			
ele 2	1			
ele 3	1			
ele 4	1			
ele 5	1			
ele 6	1			
ele 7		1		
ele 8		1		
ele 9		1		
ele 10		1		

La Figura 48 muestra que el instrumento correspondiente con la ES1.1 solo tiene 10 elementos de evaluación (ítems o preguntas), de los cuales, los 6 primeros elementos estuvieron relacionados con el tema T1.1 (Norma ISA 5.1) mientras que los 4 elementos finales estuvieron relacionados con el tema T1.2 (Interpretación de

diagramas P&ID)<sup>37</sup>. La Figura 49 muestra la matriz de asignación de elementos con niveles cognitivos.

Figura 49. Matriz de asignación de Elementos con Niveles de la ES1.1

	N1	N2	N3	N4	N5	N6
coef	1	2	3	4	5	6
ele 1	1					
ele 2	1					
ele 3	1					
ele 4	1					
ele 5		1				
ele 6		1				
ele 7	1					
ele 8	1					
ele 9		1				
ele 10			1			

En esta Figura 49 se presenta la relación entre los elementos (sin importar el tema con el cuál se relacionen) y los niveles cognitivos. También se presenta el peso de cada uno de los niveles cognitivos que se utiliza para obtener el valor de síntesis de cada uno de los temas, como se indicó con la ecuación (22) ...en la sección “3.2.2.1.2.2 Obtención de la matriz “semilla” de estudiantes y temas” en la página 112....

$$s_k = \sum_m \left( r_m \cdot \sum_j n_{mj} \cdot \hat{Y}_{tem_i;j} \right)$$

---

<sup>37</sup> Esto se corroborará en la Figura 50 donde se mostrará que la ES1.1 actualizará los valores de satisfacción solamente de los temas T1.1 y T1.2.

Por lo tanto, para el caso de la ES1.1 la operación para la satisfacción del estudiante *Est1* en el tema T1.2, por poner un ejemplo, corresponde con el promedio ponderado<sup>38</sup>:

$$S_{ES1.1,T1.2,Est1} = \frac{r_{ES1.1,Est1,ele7} \cdot 1 + r_{ES1.1,Est1,ele8} \cdot 1 + r_{ES1.1,Est1,ele9} \cdot 2 + r_{ES1.1,Est1,ele10} \cdot 3}{7}$$

Donde  $r_{ES1.1,Est1,ele7}$  es la satisfacción obtenida por el estudiante *Est1* en el instrumento ES1.1 en el elemento de evaluación 7 (pregunta 7) y el coeficiente que lo acompaña es el valor del peso del nivel cognitivo. Finalmente, la satisfacción global para el tema T1.2 en el instrumento ES1.1 se obtiene de la media aritmética de todos los estudiantes:

$$S_{grupo,T1.2,ES1.1} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{Est_i,T1.2,ES1.1}}{n}$$

En la Figura 50 se muestran los valores de satisfacción de cada uno de los temas a medida que se aplican los instrumentos.

---

<sup>38</sup> Revisar la Figura 48 y la Figura 49 para verificar que solo hay relación entre los elementos de evaluación 1-7 y el tema T1.2 y para corroborar el peso de cada nivel cognitivo.

Figura 50. Comportamiento del estado de temas según la aplicación de instrumentos

ID Tema	Tema	Comp. de la satisfacción grupal	Instrumento 1					Instrumento 2			Instrumento 3				Instrumento 4		
			TB1.1	ES1.1	TB1.2	ES1.2	EM1	ES2.1	ES2.2	EM2	ES3.1	ES3.2	ES3.3	EM3(1)	EM3(2)	ES4.1	EM4
T1.1	T1.1 Norma ISA 5.1		0,89	0,76			0,93										
T1.2	T1.2 Interpretación de diagramas		0,68	0,59			0,85										
T1.3	T1.3 Desarrollo de Diagramas				0,67	0,64	0,91										
T1.4	T1.4 Ejemplos de procesos				0,59	0,71	0,98										
T2.1	T2.1 Tipos de Sistemas:						0,72		0,81								
T2.2	T2.2 Tipos de control: Lazo						0,59		0,72								
T2.3	T2.3 Control de variables en un						0,70		0,75								
T2.4	T2.4 Descripción mediante							0,48	0,54								
T2.5	T2.5 Componentes y señales							0,36	0,61								
T2.6	T2.6 Señales típicas de							0,71	0,65								
T2.7	T2.7 Elementos de control								0,74								
T2.8	T2.8 Acciones de control P, I								0,61								
T3.1	T3.1 Tipos de modelo según									0,65			0,88				
T3.2	T3.2 Clasificación de los									0,73			0,48				
T3.4.1	T3.4.1 Definición de modelo										0,91		0,97				
T3.4.2	T3.4.2 Leyes físicas de los										0,81		0,95				
T3.4.3	T3.4.3 Generación de										0,76		0,76				
T3.4.4	T3.4.4 Analogía de los										0,68		0,91				
T3.4.5	T3.4.5 Obtención de las											0,97	0,74				
T3.4.6	T3.4.6 Linealización de											0,93	0,82				
T3.4.7	T3.4.7 Obtención de la																
T3.4.8	T3.4.8 Representación en el														0,63		
T3.4.9	T3.4.9 Obtención de la																
T3.4.10	T3.4.10 Sistemas																
T3.3.1	T3.3.1 Identificación de																
T3.3.2	T3.3.2 La herramienta Ident																
T4.1	T4.1 Señales típicas de															0,59	0,69
T4.2	T4.2 Respuesta temporal															0,59	0,76
T4.3	T4.3 Error en estado estable																

Nota1: Los porcentajes de la tabla corresponden con los porcentajes de satisfacción de cada tema medidos con el instrumento de medición.

Nota2: A pesar de que se aplicaron los talleres presentados en la “Tabla 18. Distribución de pesos individuales y acumulados de los instrumentos de medición” no se presentaron en esta síntesis, sin embargo, se incluyeron los resultados de dos talleres del primer módulo para mostrar su integración con el sistema.

Nota3: Algunos temas no fueron evaluados con evaluaciones objetivas, solo con talleres y preguntas en clase por situaciones asociadas con anomalías del semestre, por esta razón no aparecen mediciones en la gráfica.

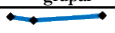
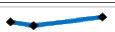


Nota4: Los porcentajes que se encuentran resaltados en verde, superaron un umbral definido arbitrariamente del 60% (0,6) de satisfacción.

Nota5: En la columna de Comportamiento de la satisfacción grupal se encuentra una gráfica que presenta la evolución de la satisfacción grupal de cada tema con cada instrumento en el que fue evaluado.

En la Figura 50 se puede apreciar la propiedad de relevancia formativa de cada instrumento pues permiten actualizar completamente el estado de cada uno de los temas debido a su medición exhaustiva para los temas asociados al instrumento, así como la relevancia temporal que permite definir los instantes de tiempo en los que los temas pueden actualizar su estado de satisfacción.

Con cada tema que tenga mínimo dos mediciones, se puede hacer una curva de comportamiento de la satisfacción promedio del grupo para diferentes instantes de medición con el fin de monitorear su evolución. El resultado del comportamiento de la satisfacción para cada Módulo se presenta en las siguientes figuras desde la Figura 51 hasta la Figura 58.

Figura 51. Comportamiento de los temas del Módulo 1

ID Tema	Tema	Valor máximo	Valor mínimo	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	TB1.1	ES1.1	TB1.2	ES1.2	EM1	M2-M4
T1.1	T1.1 Norma ISA 5.1	0,93	0,76	0,93		0,89	0,76			0,93	
T1.2	T1.2 Interpretación de diagramas P&ID	0,85	0,59	0,85		0,68	0,59			0,85	
T1.3	T1.3 Desarrollo de Diagramas P&ID	0,91	0,64	0,91				0,67	0,64	0,91	
T1.4	T1.4 Ejemplos de procesos industriales	0,98	0,59	0,98				0,59	0,71	0,98	

En la Figura 51 se presentan los valores máximos y mínimos de síntesis grupal en las diferentes mediciones realizadas para los temas asociados con el Módulo 1. También se presenta el último valor alcanzado en la satisfacción de cada tema, así como una mini gráfica<sup>39</sup> que muestra el comportamiento de la satisfacción hasta llegar a ese valor final y los valores exactos correspondientes a cada instrumento aplicado, asociado con los temas evaluados. En esta gráfica se evidencia que todos los temas del módulo lograron superar el umbral del 60% (0,6)<sup>40</sup> en cuanto a la satisfacción global de todo el grupo de estudiantes, esto es, que el promedio de las satisfacciones individuales de todos los estudiantes estuvo por encima del 60% en todos los temas del curso.

Adicionalmente a la vista por temas, el sistema de medición permite obtener una vista aún más detallada que presenta la satisfacción por niveles cognitivos (N1, N2,...) para cada uno de los temas, como se presenta en la Figura 52.

<sup>39</sup> Mini gráfica es el nombre asignado por Excel o Google Docs para ese tipo de gráficos que se incrustan en una celda.

<sup>40</sup> Este valor es arbitrario y se puede ajustar en la etapa de configuración al inicio del curso.

Figura 52. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 1

ID Tema	Tema	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	ES1.1	ES1.2	EM1	M2-M4
T1.1	T1.1 Norma ISA 5.1	<b>0,93</b>		<b>0,76</b>		<b>0,93</b>	
	N1	0,99		0,86		0,99	
	N2	0,90		0,71		0,90	
	N3						
T1.2	T1.2 Interpretación de diagramas	<b>0,85</b>		<b>0,59</b>		<b>0,85</b>	
	N1	1,00		0,69		1,00	
	N2	0,82		0,79		0,82	
	N3	0,82		0,41		0,82	
T1.3	T1.3 Desarrollo de Diagramas P&ID	<b>0,91</b>			<b>0,64</b>	<b>0,91</b>	
	N1	0,89			0,92	0,89	
	N2	0,79			0,69	0,79	
	N3	1,00			0,51	1,00	
T1.4	T1.4 Ejemplos de procesos	<b>0,98</b>			<b>0,71</b>	<b>0,98</b>	
	N1	0,92			0,97	0,92	
	N2	0,64			0,64		
	N3	1,00			0,67	1,00	

Nota1: Por mayor claridad en los resultados presentados, se presentan solamente los resultados de los instrumentos de medición asociados con evaluaciones objetivas (ES1.1, ES1.2 y EM1) y no se contemplan los talleres básicos.

Como se puede apreciar en la Figura 52, el sistema de medición permite obtener el detalle de la satisfacción por niveles cognitivos hasta el N3, esto debido a que no se utilizaron ítems o elementos de evaluación de niveles superiores (N4, N5 y N6) en los instrumentos de medición aplicados.

En la Figura 53 se presentan los resultados de las mediciones globales de los temas del Módulo 2, pero se consideran solamente los instrumentos aplicados en este módulo.

Figura 53. Comportamiento de los temas del Módulo 2

ID Tema	Tema	Valor máximo	Valor mínimo	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	M1	ES2.1	ES2.2	EM2	M3-M4
T2.1	T2.1 Tipos de Sistemas:	0,81	0,72	0,81			0,72		0,81	
T2.2	T2.2 Tipos de control: Lazo	0,72	0,59	0,72			0,59		0,72	
T2.3	T2.3 Control de variables en un	0,75	0,70	0,75			0,70		0,75	
T2.4	T2.4 Descripción mediante diagramas	0,54	0,54	0,54				0,48	0,54	
T2.5	T2.5 Componentes y	0,61	0,61	0,61				0,36	0,61	
T2.6	T2.6 Señales típicas de prueba.	0,65	0,65	0,65				0,71	0,65	
T2.7	T2.7 Elementos de control final.	0,74	0,74	0,74					0,74	
T2.8	T2.8 Acciones de control P, I y D.	0,61	0,61	0,61					0,61	

En esta figura se evidencian algunos temas en los que solo aparece una medición, por lo tanto, la curva de comportamiento de satisfacción solo presenta un punto. También se aprecia que uno de los temas, T2.4, no logró superar el umbral grupal de 60% de satisfacción.

Al igual que como se hizo en la Figura 52, para los temas del Módulo 1, se presenta en la Figura 54 el detalle de cada nivel cognitivo por cada uno de los temas.

Figura 54. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 2

ID Tema	Tema	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	M1	ES2.1	ES2.2	EM2	M3-M4
T2.1	T2.1 Tipos de	<b>0,81</b>			<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,81</b>	
	N1	0,51			0,87		0,51	
	N2	0,74			0,77		0,74	
	N3	0,79			0,68		0,79	
	N4	0,87			0,64		0,87	
T2.2	T2.2 Tipos de	<b>0,72</b>			<b>0,59</b>	<b>0,59</b>	<b>0,72</b>	
	N1	0,64			0,26		0,64	
	N2	0,82			0,51		0,82	
	N3	0,74			0,54		0,74	
	N4	0,62			0,72		0,62	
T2.3	T2.3 Control de	<b>0,75</b>			<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,75</b>	
	N1	0,85			0,62		0,85	
	N2	0,64			0,87		0,64	
	N3	0,69			0,49		0,69	
	N4	0,77			0,74		0,77	
T2.4	T2.4 Descripción	<b>0,54</b>				<b>0,48</b>	<b>0,54</b>	
	N1	0,78				0,68	0,78	
	N2	0,72				0,63	0,72	
	N3	0,31				0,28	0,31	
	N4							
T2.5	T2.5 Componentes y	<b>0,61</b>				<b>0,36</b>	<b>0,61</b>	
	N1							
	N2	0,59				0,41	0,59	
	N3	0,31				0,31		
	N4							
T2.6	T2.6 Señales típicas	<b>0,65</b>				<b>0,71</b>	<b>0,65</b>	
	N1	0,62				0,49	0,62	
	N2	0,64				0,59	0,64	
	N3	0,82				0,82		
	N4							
T2.7	T2.7 Elementos de	<b>0,74</b>					<b>0,74</b>	
	N1	0,72					0,72	
	N2	0,72					0,72	
	N3							
	N4							
T2.8	T2.8 Acciones de	<b>0,61</b>					<b>0,61</b>	
	N1							
	N2	0,59					0,59	
	N3							
	N4							

En la Figura 54 se muestran los valores de satisfacción hasta N4 pues, para el Módulo 2, los instrumentos de medición incluyeron elementos de evaluación del cuarto nivel cognitivo.

La síntesis de satisfacción para el Módulo 3 se presenta en la Figura 55.

Figura 55. Comportamiento de los temas del Módulo 3

ID Tema	Tema	Valor máximo	Valor mínimo	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	M1-M2	ES3.1	ES3.2	ES3.3	EM3(1)	EM3(2)	M4
T3.1	T3.1 Tipos de modelo según:	0,88	0,65	0,88			0,65			0,88		
T3.2	T3.2 Clasificación de los modelos:	0,73	0,48	0,48			0,73			0,48		
T3.4.1	T3.4.1 Definición de modelo de	0,97	0,91	0,97				0,91		0,97		
T3.4.2	T3.4.2 Leyes físicas de los	0,95	0,81	0,95				0,81		0,95		
T3.4.3	T3.4.3 Generación de	0,76	0,76	0,76				0,76		0,76		
T3.4.4	T3.4.4 Analogía de los elementos	0,91	0,68	0,91				0,68		0,91		
T3.4.5	T3.4.5 Obtención de las ecuaciones	0,97	0,74	0,74					0,97	0,74		
T3.4.6	T3.4.6 Linealización de	0,93	0,82	0,82					0,93	0,82		
T3.4.7	T3.4.7 Obtención de la función de											
T3.4.8	T3.4.8 Representación en	0,63	0,63	0,63							0,63	
T3.4.9	T3.4.9 Obtención de la matriz de											
T3.4.10	T3.4.10 Sistemas dinámicamente											
T3.3.1	T3.3.1 Identificación de											
T3.3.2	T3.3.2 La herramienta Ident											

En la Figura 55 se presentan los temas del Módulo 3 en donde se ve que la mayoría tiene solo dos mediciones, y de ellos, algunos desmejoran su valor de satisfacción con respecto a la primera medición del tema. En esta Figura 55 se muestra que algunos de los temas no tienen valores de satisfacción pues esos temas no fueron medidos con los instrumentos presentados en esta síntesis de instrumentos, solamente se evaluaron de forma oral o a través de talleres.

A continuación, en la Figura 56, se presenta el detalle de los niveles cognitivos para los temas del Módulo 3.

Figura 56. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 3

ID Tema	Tema	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	M1-M2	ES3.1	ES3.2	ES3.3	EM3(1)	EM3(2)	M4
T3.1	T3.1 Tipos de modelo	<b>0,88</b>			<b>0,65</b>			<b>0,88</b>		
		N1 0,92			0,85			0,92		
		N2 0,97			0,77			0,97		
		N3 0,65			0,65					
		N4 0,82			0,49			0,82		
T3.2	T3.2 Clasificación de	<b>0,48</b>			<b>0,73</b>			<b>0,48</b>		
		N1 0,68			0,43			0,68		
		N2 0,58			0,35			0,58		
		N3 0,45			0,97			0,45		
		N4 0,39			0,76			0,39		
T3.4.1	T3.4.1 Definición de	<b>0,97</b>				<b>0,91</b>		<b>0,97</b>		
		N1 0,97				0,92		0,97		
		N2 0,96				0,92		0,96		
		N3								
		N4 0,98				0,83		0,98		
T3.4.2	T3.4.2 Leves físicas	<b>0,95</b>				<b>0,81</b>		<b>0,95</b>		
		N1 0,95				0,77		0,95		
T3.4.3	T3.4.3 Generación de	<b>0,76</b>				<b>0,76</b>		<b>0,76</b>		
		N1 0,55				0,88		0,55		
		N2 0,86				0,64		0,86		
T3.4.4	T3.4.4 Analogía de los	<b>0,91</b>				<b>0,68</b>		<b>0,91</b>		
		N1 0,82				0,68		0,82		
		N2 0,95						0,95		
T3.4.5	T3.4.5 Obtención de	<b>0,74</b>					<b>0,97</b>	<b>0,74</b>		
		N1 0,59						0,59		
		N2 0,81					0,94	0,81		
		N3 0,95					0,95			
T3.4.6	T3.4.6 Linealización	<b>0,82</b>					<b>0,93</b>	<b>0,82</b>		
		N1 0,78						0,78		
		N2 0,59					0,91	0,59		
		N3 0,99					0,90	0,99		
T3.4.8	T3.4.8	<b>0,63</b>							<b>0,63</b>	
		N1 0,69							0,69	
		N2 0,60							0,60	

Nota: En esta figura se optó por ocultar las filas correspondientes a los temas y los niveles no evaluados para reducir el tamaño.

En la Figura 57, se presenta la satisfacción para cada uno de los temas de contenido del Módulo 4.

Figura 57. Comportamiento de los temas del Módulo 4

ID Tema	Tema	Valor máximo	Valor mínimo	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	M1-M3	ES4.1	EM4
T4.1	T4.1 Señales típicas de prueba.	0,69	0,59	0,69			0,59	0,69
T4.2	T4.2 Respuesta temporal	0,76	0,59	0,76			0,59	0,76
T4.3	T4.3 Error en estado estable de							

En esta Figura 57, se evidencia que dos temas superan el umbral del 60%, mientras que el tercer tema no alcanzó a ser evaluado con los instrumentos. El detalle de los niveles cognitivos para los temas evaluados del módulo 4 se presenta a continuación en la Figura 58.

Figura 58. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 4

ID Tema	Tema	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	M1-M3	ES4.1	EM4
T4.1	T4.1 Señales	0,69			0,59	0,69
	N1	0,93				
	N2	0,55				
T4.2	T4.2	0,76			0,59	0,76
	N1	0,74				

A manera general, se aclara que algunos temas de toda la asignatura no se evaluaron por algunos contratiempos académicos asociados con problemas en el calendario y estado de normalidad en la realización de las sesiones presenciales.

**3.3.1.2 Vista de variables de control.** En el caso de las variables de control, se debe entender que una variable está asociada con diferentes temas pero, esta vez, no se garantiza que la variable de control sea evaluada completamente con uno de los instrumentos, es decir, que un instrumento no necesariamente evaluará todos los temas relacionados con una variable de control, por lo tanto, será necesario esperar a otro instrumento que evalúe los temas faltantes para tener el valor

adecuado de satisfacción de la variable de control. Esto se presenta en la Figura 59.

Figura 59. Matriz de transformación Temas-Variables

		VC01	VC02	VC03	VC04	VC05	VC06	VC07	VC08	VC09	VC10	VC11	VC12	VC13	VC14	VC15	VC16
		10	10	10	3	6	4	3	6	5	9	5	5	9	9	0	0
T1.1	3	1	1				1										
T1.2	3	1	1				1										
T1.3	3	1	1				1										
T1.4	3	1	1				1										
T2.1	5	1	1	1		1		1									
T2.2	5	1	1	1		1		1									
T2.3	5	1	1	1		1		1									
T2.4	6	1	1	1	1	1			1								
T2.5	6	1	1	1	1	1			1								
T2.6	6	1	1	1	1	1			1								
T2.7	2			1						1							
T2.8	2			1						1							
T3.1	2			1							1						
T3.2	2			1							1						
T3.4.1	1										1						
T3.4.2	1										1						
T3.4.3	1										1						
T3.4.4	1										1						
T3.4.5	4										1	1		1	1		
T3.4.6	4										1	1		1	1		
T3.4.7	4										1	1		1	1		
T3.4.8	3												1	1	1		
T3.4.9	3												1	1	1		
T3.4.10	3												1	1	1		
T3.3.1	2											1	1				
T3.3.2	2											1	1				
T4.1	4								1	1				1	1		
T4.2	4								1	1				1	1		
T4.3	4								1	1				1	1		

En la Figura 59 se presenta la relación entre los temas de contenido y las variables de control, así como la cantidad de “elementos” relacionados con cada uno, también se aprecia que las variables VC15 y VC16 no están relacionadas con ningún tema de contenido, y esto se debe a que esas variables corresponden con las competencias axiológicas (no disciplinares). El comportamiento de la satisfacción de las variables de control a medida que se aplicaron los instrumentos se puede ver en la Figura 60.

Figura 60. Comportamiento de las variables de control

ID Variable	Variable	Último valor de satisfacción	Comp. de la satisfacción grupal	TB1.1	ES1.1	TB1.2	ES1.2	EM1	ES2.1	ES2.2	EM2	ES3.1	ES3.2	ES3.3	EM3(1)	EM3(2)	ES4.1	EM4
VC01	VC01. Distinción de simbología estándar para el control de un proceso.	77,33%		15,71%	13,42%	26,06%	26,92%	36,71%	56,82%	56,82%	77,33%							
VC02	VC02. Uso adecuado de simbología estándar para la documentación del	77,33%		15,71%	13,42%	26,06%	26,92%	36,71%	56,82%	56,82%	77,33%							
VC03	VC03. Conocimiento de las diferentes arquitecturas de sistemas	67,56%							20,10%	20,10%	54,04%	67,79%			67,56%			
VC04	VC04. Uso de diagrama de bloques para representación de	59,69%									59,69%							
VC05	VC05. Identificación las variables y elementos de un sistema de control en	67,69%							33,50%	33,50%	67,69%							
VC06	VC06. Interpretación de los procesos industriales documentados con	91,78%		39,29%	33,55%	65,16%	67,31%	91,78%										
VC07	VC07. Identificación de variables y elementos en procesos industriales	75,70%							67,01%	67,01%	75,70%							
VC08	VC08. Análisis de respuesta temporal a partir de su simulación	54,13%									29,84%						49,63%	54,13%
VC09	VC09. Comprensión de los efectos de las acciones P, I y D a partir	55,99%									26,84%						50,61%	55,99%
VC10	VC10. Obtención de modelo matemático de sistemas dinámicos a	72,21%										15,28%	50,35%	71,42%	72,21%			
VC11	VC11. Representación de la dinámica de sistemas con funciones	31,19%												37,93%	31,19%			
VC12	VC12. Representación de la dinámica de sistemas con modelos en	12,57%														12,57%		
VC13	VC13. Caracterización de la respuesta temporal de sistemas básicos a	40,51%												21,07%	17,33%	24,31%	37,52%	40,51%
VC14	VC14. Simulación de la respuesta temporal a partir del modelo	40,51%												21,07%	17,33%	24,31%	37,52%	40,51%

En esta Figura 60 se aprecian variables que son evaluadas en más de un módulo, por lo tanto, es conveniente mostrar su evolución contemplando todos los instrumentos considerados en la síntesis y no por módulos como en las figuras anteriores. Los valores presentados en la Figura 60 corresponden al promedio de satisfacción individual de cada uno de los estudiantes.

**3.3.1.3 Vista de Indicadores.** Para el caso de los indicadores de competencia, en la representación matricial de la relación entre variables de control e indicadores de competencia, se utilizan valores de “pertinencia” o coeficientes enteros, los cuales se toman simplemente como pesos de cada una de las variables, en la obtención de los indicadores utilizando promedios ponderados. La matriz de transformación

que representa la relación entre las variables de contenido y los indicadores de competencia se presenta en la Figura 61.

Figura 61. Matriz de transformación Variables-Indicadores

		I01	I02	I03	I04	I05	I06	I07	I08	I09	I10	I11	I12	
		6	4	5	2	3	5	4	4	10	8	2	1	
VC01	3	3												
VC02	3	3												
VC03	4		4											
VC04	2			2										
VC05	3			3										
VC06	2				2									
VC07	3					3								
VC08	5						5							
VC09	4							4						
VC10	4								4					
VC11	5									5				
VC12	5										5			
VC13	4											4		
VC14	4												4	
VC15	2												2	
VC16	1													1

En esta Figura 61, se presentan las 16 variables, entre las cuales están la 15 y 16 que se asocian con los dos indicadores (11 y 12) referentes a la competencia axiológica “C5. Reconoce la importancia de la puntualidad en el desarrollo de sus actividades”.

Para el caso de las vistas de indicadores de competencia y competencias, se considera, además del valor de satisfacción promedio del grupo, información asociada con el valor mínimo y máximo de satisfacción individual debido a que con estas dos vistas se quiere saber también la proporción de estudiantes que individualmente superó el umbral de satisfacción pues, en cierta forma, se puede decir que alguien cumple o no cumple con un indicador o con una competencia si su satisfacción supera un umbral establecido. La Figura 62 presenta el comportamiento de los indicadores de competencia.

Figura 62. Comportamiento de indicadores de competencia

ID Indicador	Indicador	Máximo Valores	Promedio Valores	Mínimo Valores	Valor indicador	Proporción de	Comp. Satisfacción Indicadores																
		Individuales	Individuales	Individuales	grupal	satisfactorios		TB1.1	ES1.1	TB1.2	ES1.2	EM1	ES2.1	ES2.2	EM2	ES3.1	ES3.2	ES3.3	EM3(1)	EM3(2)	ES4.1	EM4	
I01	I01. Recono	97,7%	76,3%	36,4%	77,3%	92,3%		16%	13%	26%	27%	37%	57%	57%	77%								
I02	I02. Compa	97,0%	65,8%	0,0%	67,6%	61,5%							20%	20%	54%	68%			68%				
I03	I03. Represc	98,0%	62,8%	0,0%	64,5%	56,4%							20%	20%	64%								
I04	I04. Interpre	100,0%	91,8%	74,0%	91,8%	100,0%		39%	34%	65%	67%	92%											
I05	I05. Identifi	100,0%	73,8%	0,0%	75,7%	87,2%							67%	67%	76%								
I06	I06. Analiza	74,1%	52,7%	0,0%	54,1%	33,3%									30%							50%	54%
I07	I07. Entiend	78,5%	54,6%	0,0%	56,0%	41,0%									27%							51%	56%
I08	I08. Obtiend	87,4%	70,4%	0,0%	72,2%	92,3%										15%	50%	71%	72%				
I09	I09. Usa fun	27,3%	21,3%	0,0%	21,9%	0,0%												19%	16%	22%			
I10	I10. Obtiend	47,4%	39,5%	0,0%	40,5%	0,0%												21%	17%	24%	38%	41%	

En la Figura 62 se pueden ver algunos valores individuales mínimos de cero, una de las razones fue que algunos estudiantes no presentaron ninguno de los instrumentos de medición asociados con los indicadores, sin embargo, la satisfacción promedio o la proporción de estudiantes “satisfactorios” supera el umbral.

**3.3.1.4 Vista de competencias.** Los indicadores de competencia se relacionan con las competencias como se presenta en la Figura 63.

Figura 63. Matriz de transformación Indicadores-Competencias<sup>41</sup>

		C1	C2	C3	C4	C5
		Interpreta y sint	Comprende el p	Utiliza herramie	Representa el co	Reconoce la im
		1	4	2	3	2
I01. Reconoce y	1	1				
I02. Compara e	1		1			
I03. Representa	1		1			
I04. Interpreta	1		1			
I05. Identifica	1		1			
I06. Analiza la	1			1		
I07. Entiende l	1			1		
I08. Obtiene la	1				1	
I09. Usa funcio	1				1	
I10. Obtiene y	1				1	
I11. Cumple co	1					1
I12. Asiste pur	1					1

En la Figura 64 se presenta el comportamiento grupal de las competencias disciplinares del curso, así como la proporción de estudiantes que individualmente superaron el umbral de satisfacción.

Figura 64. Comportamiento de las competencias

ID Com.	Competencia	máximo valores ind.	Promedio valores ind.	mínimo valores ind.	Valor Competencia global	Proporción de satisfactorios	Comp. Satisfacción Indicadores	TB1.1	ES1.1	TB1.2	ES1.2	EM1	ES2.1	ES2.2	EM2	ES3.1	ES3.2	ES3.3	EM3(1)	EM3(2)	ES4.1	EM4	
C1	Interpreta y sint	98%	76%	36%	77%	92%		16%	13%	26%	27%	37%	57%	57%	77%								
C2	Comprende el p	97%	74%	23%	75%	85%		10%	8%	16%	17%	23%	50%	50%	72%	75%			75%				
C3	Utiliza herramie	76%	54%	0%	55%	44%									28%							50%	55%
C4	Representa el co	51%	44%	0%	45%	0%										5%	17%	37%	35%	39%	44%	45%	

En la Figura 64 se presenta también la evolución de las competencias a medida que se aplican los instrumentos durante todo el curso. Con esta gráfica se puede ver

<sup>41</sup> La matriz presentada en la Figura 63 anterior es la única que se puede extraer directamente del programa ofrecido por la Unidad Académica para la asignatura

que las competencias C3 y C4 fueron las de menor satisfacción, además también presenta que estas competencias son tratadas en las últimas lecciones del curso.

Toda esta información es útil para el control estratégico del curso buscando hacer una reestructuración proponiendo ajustes de la estrategia con el fin de reforzar dichas competencias o incluso tratarlas en más lecciones.

**3.3.2 Conclusiones sobre el análisis de las mediciones.** La implementación del sistema de medición logra la integración entre instrumentos, técnicas de medición y estándares y se hace viable en la medida en que se defina claramente la relación que hay entre las diferentes entidades (elementos de evaluación, temas de contenido, variables de control, indicadores de competencia y competencias), y se configure adecuadamente cada instrumento aplicado.

Aunque no estaba propuesto como tema de investigación para este trabajo, se considera interesante en próximas oportunidades encontrar la correspondencia que hay entre la satisfacción obtenida en cada nivel cognitivo de forma grupal e individual, lo cual se puede intuir pero no comprobar de manera significativa con esta implementación debido a que no todos los niveles cognitivos a estudiar fueron evaluados con cada uno de los instrumentos aplicados, sin embargo, si vale la pena resaltar que no se necesita demostrar la satisfacción completa en un nivel cognitivo para poder resolver desafíos asociados con los siguientes niveles.

El sistema de medición implementado, además de integrar los estándares, instrumentos y técnicas de medición, logra determinar el estado del sistema en cada momento de aplicación de los instrumentos, facilitando el seguimiento de los objetivos de control y posibilita la activación de acciones reguladoras correctivas, como parte de un proceso de control operativo, que pueden conllevar a la mejora oportuna del desempeño de los procesos de aprendizaje y lograr su estabilidad, propiedad que fue potenciada por la cantidad suficiente de mediciones aplicadas.

Por cuestiones logísticas y operativas de normalidad académica, no se evaluaron todos los temas de contenido, lo cual dificultó la comprobación de satisfacción de los niveles jerárquicos superiores como Indicadores de Competencias y Competencias Disciplinarias y no se pudo concluir, a manera grupal, que al final del curso se lograran cumplir 4 de 10 indicadores, asociados con las 4 competencias disciplinarias, e incluso tampoco se logró verificar el cumplimiento de dos de las

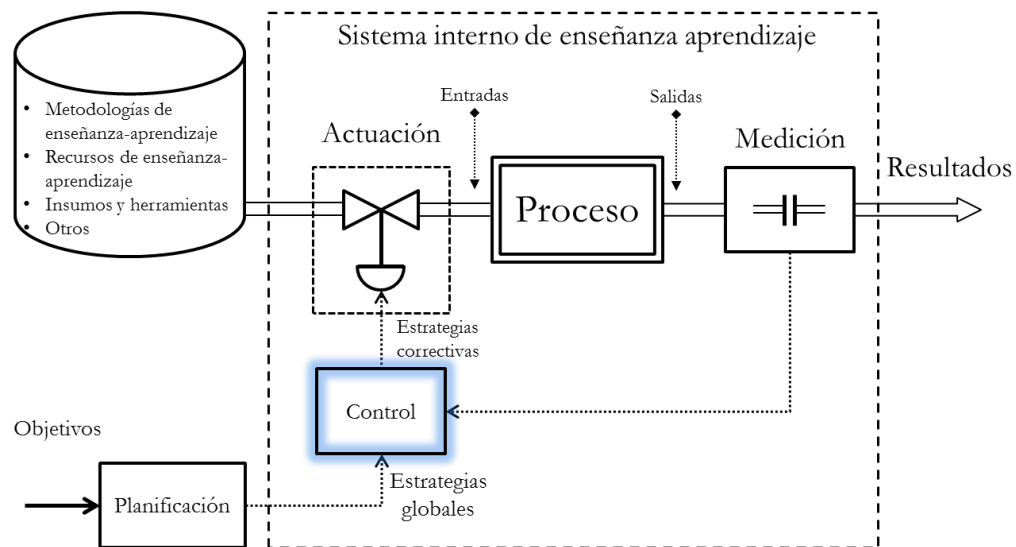
cuatro competencias disciplinares. Esto no quiere decir que no se hayan trabajado esas competencias, solo indica que, con los instrumentos aplicados, la mayoría de los estudiantes no tuvieron suficientes oportunidades para evidenciar el cumplimiento de las competencias, aunque algunos otros sí lo hayan logrado.

### 3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Finalmente se presenta el sistema asociado con el controlador para completar la definición del sistema de control.

**3.4.1 Sistema de control propuesto.** Para definir completamente el sistema de control, se define el controlador que es un sistema que gestiona la toma de decisiones a partir de las especificaciones de entrada dadas por los objetivos de aprendizaje y, para el caso de control en lazo cerrado, a partir de los resultados medidos con el uso de los instrumentos de medición definidos en secciones anteriores. En la Figura 65 se muestra la representación del control como parte del sistema.

Figura 65. Sistema con control de lazo cerrado (Definición del control)



Continuando con la definición del sistema de medición, expuesto en sesiones anteriores, se presenta el sistema de control y cómo este actúa de forma

consecuente pues utiliza como señales de comparación las mediciones ofrecidas por los instrumentos de medición sobre los valores actuales de las variables de interés, que para este caso son los niveles cognitivos de los temas de contenido, por lo tanto propone acciones reguladoras según si se cumple o no la meta para cada variable siguiendo una estrategia de control conocida como **control basado en reglas** [2], [46], en la cual, una vez establecido el sistema de medición, se definen las posibles decisiones sobre acciones reguladoras que lleven al sistema a condiciones deseadas así como el método de incorporación en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

El sistema de control propuesto para el ámbito académico no busca como referencia la consecución de un valor exacto sino la superación de un umbral, esto es, si la variable medida se encuentra por debajo de ese umbral, fijado como meta u objetivo de control, las acciones reguladoras buscarán influenciar en el sistema para que se supere el umbral, con la consideración de que el número de acciones reguladoras será mayor mientras mayor sea la diferencia entre el valor real del sistema y dicho umbral. En otro caso, si el sistema supera dicho umbral no requiere acciones reguladoras, pero podría proponer un ajuste del umbral para futuras iteraciones que serán parte de un control táctico para mejora continua, sin embargo, este tipo de control no será tratado en este trabajo<sup>42</sup>.

Las principales características del sistema de control propuesto son las siguientes:

1. Recomienda acciones a partir de activos de conocimiento y conocimiento de expertos.
2. Cada tema de contenido se descompone en sus niveles cognitivos, tomados de la taxonomía de Bloom [8], [10], [47], y cada nivel tiene un umbral definido en las metas del curso.
3. Cada nivel cognitivo implica un nivel de regulación, el cual contiene acciones de regulación que se activan (o se usan) cuando el nivel cognitivo no supera su umbral de 0,6.

---

<sup>42</sup> Como se definió anteriormente la toma de decisiones puede darse en los ámbitos operativo, táctico y estratégico, pero en este trabajo solo se tratará el control operativo del sistema que se encarga de los procesos primarios de enseñanza-aprendizaje, los cuales se centran en la interacción profesor-estudiante.

4. Las acciones de regulación se priorizan iniciando por aquellas asociadas con niveles más básicos que no superaron el umbral (N1, N2 y N3) y finalizando con los niveles cognitivos de orden superior (N4, N5 y N6) que no superaron el umbral.
5. Una vez considerados los casos en los que no se superó el umbral, en caso de que sean pocos los niveles que no superaron el umbral para todos los temas, se pueden ordenar de menor a mayor los valores de satisfacción de los niveles para los diferentes temas contemplados en la realimentación y se seleccionarán casos garantizando que se considere uno por tema.

Esta propuesta de control requiere de la definición de un plan de control que se integra coherentemente al sistema de medición pues ambos usan estrategias didácticas, de manera formativa y sumativa, para los diferentes niveles cognitivos establecidos.

Las estrategias docentes seleccionadas deben servir para reforzar o para evaluar cada uno de los niveles cognitivos, por lo tanto se identifican a continuación, en la Tabla 19, las principales especificaciones de cada uno de los niveles cognitivos propuestos para este sistema de medición y de control según las definiciones realizadas por Churches en su actualización de la taxonomía de Bloom considerando la era digital [47].

Tabla 19. Especificaciones de los niveles cognitivos a partir de los verbos

<b>Nivel</b>	<b>Nombre del nivel (Verbo)</b>	<b>Verbos de habilidades de pensamiento</b>
1	Conocer	También conocida como conocer y recordar. Reconocer, listar, describir, identificar, recuperar, denominar, localizar, encontrar.
2	Comprender	Interpretar, resumir, inferir, parafrasear, clasificar, comparar, explicar, ejemplificar.
3	Aplicar	Implementar, desempeñar, usar, ejecutar.
4	Analizar	Comparar, organizar, deconstruir, atribuir, delinear, encontrar, estructurar, integrar.
5	Evaluar	Revisar, formular hipótesis, criticar, experimentar, juzgar, probar, detectar, monitorear.
6	Crear	Diseñar, construir, planear, producir, idear, trazar, elaborar.

Fuente: Transcrito de la propuesta de Churches en su taxonomía de Bloom para la era digital [47], consultado en <http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomDigital>

Con la definición de cada nivel cognitivo, a partir de los verbos de habilidades de pensamiento asociados presentados en la Tabla 19, se enlistan diferentes actividades asociadas con el uso de estrategias didácticas para la evaluación y la formación. De esta forma se define una secuencia de “momentos” estímulo – evaluación – refuerzo, los cuales podrían continuar con evaluación – refuerzo – evaluación – ..., y así sucesivamente, para reafirmar con esto el establecimiento de una metodología acción – evaluación que se repite según considere conveniente el evaluador o el instructor de la asignatura.

Para seleccionar las estrategias que harán parte de las acciones reguladoras del sistema de control, se hace una revisión inicial de estrategias de enseñanza y aprendizaje, y se relacionan con los niveles cognitivos.

Algunas de las estrategias didácticas que permiten reforzar los procesos de enseñanza y aprendizaje para conseguir un desempeño satisfactorio en cada uno de los niveles cognitivos, y que han sido trabajadas y recomendadas gracias a la experiencia del autor y de fuentes de otros autores se describen a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20. Estrategias didácticas de enseñanza y aprendizaje

Estrategia	Descripción	Niveles reforzados
Glosario	Permite redactar conceptos con un lenguaje entendible y acceder fácilmente a ellos para usarlos en cualquier momento. El realizarlo es un ejercicio que exige la el conocimiento y comprensión de los conceptos para luego componer un contenido de texto o imagen que sea fácil de entender por el lector o útil para recordar.	Conocer, Comprender, Sintetizar
Estudio de caso (Cuantitativos y de Simulación)	Estrategia que lleva a la acción y a la reflexión crítica. Para el caso de ingenierías, los casos más comunes son los que se solucionan aplicando modelos matemáticos, económicos o financieros (Cuantitativos), o aquellos en los que los estudiantes modelan una situación y se identifican activamente con ella pues juegan un papel específico en su comportamiento (de Simulación) [6].	Comprender, Aplicar, Analizar, Evaluar, Sintetizar

Estrategia	Descripción	Niveles reforzados
Proyectos	El aprendizaje orientado por proyectos es una estrategia que motiva al estudiante a utilizar sus conocimientos y destrezas y sus técnicas y herramientas para dar solución a problemas que pueda observar en el mundo real o en un escenario imaginado. Requiere que el estudiante pueda identificar y descomponer un escenario para proponer un problema y un plan de actividades que se enfoquen en su solución.	Aplicar, Analizar, Evaluar, Sintetizar
Mapas conceptuales	Estrategia para la organización y estructuración de la información que refuerza al aprendizaje activo pues permite establecer relaciones entre diferentes conceptos y presaberes con nuevos conocimientos y casos de aplicación. Están constituidos por conceptos y sus palabras de enlace con las cuales se forman proposiciones [6].	Comprender, Analizar, Sintetizar
Investigación y Consultas orientadas por preguntas	Permite al estudiante iniciar su proceso de investigación sobre cuestionamientos muy claros propuestos por el profesor que buscan el conocimiento y la reflexión para conseguir la comprensión.	Conocer, Comprender
Lectura comprensiva de textos	Permite la profundización de temas de interés para la clase que requieren de conocimientos básicos para la interpretación y quizás la extrapolación y aplicación.	Comprender, Aplicar, Analizar
Escritura y composición	Requiere del conocimiento, la organización, la traducción y la conexión de ideas, sucesivas o distantes, en un discurso escrito coherente que tiene el fin de comunicar un mensaje a un lector conocido o desconocido. Los textos pueden ser narrativos, expositivos o argumentativos. [6]	Evaluar, Sintetizar
Resolución de problemas	Estrategia que favorece el desarrollo de funciones cognitivas, metacognitivas y actitudinales pues propone dar solución a una situación que no es familiar para el estudiante y presenta la novedad como característica fundamental. [6]	Comprender, Aplicar, Analizar, Evaluar, Sintetizar

Con base en estas estrategias formativas y evaluativas identificadas, se propone un plan de control, conformado por acciones reguladoras para cada uno de los

“momentos” y para cada uno de los niveles cognitivos como se muestra en la Tabla 21.<sup>43</sup>

Tabla 21. Actividades para definición del plan de control amplio

Niveles cognitivos	Actividades iniciadoras (Estímulos)	Actividades de caracterización (Evaluaciones)	Acciones reguladoras (Refuerzos)
Conocer (N1)	(E) Proponer preguntas (A) Contestar preguntas (A) Realizar consultas (A) Realizar lecturas	(A) Contestar preguntas (A) Resolver ejercicios (A) Resolver problemas (E) Evaluar respuesta a preguntas	(E) Recomendar bibliografía (A) Hacer glosario (A) Proponer dudas en Foros
Comprender (N2)	(E) Proponer preguntas (A) Contestar preguntas (A) Realizar consultas (A) Realizar lecturas	(A) Hacer glosario (A) Contestar preguntas (A) Resolver ejercicios (A) Resolver problemas (E) Evaluar respuesta a preguntas	(E) Ofrecer lecturas recomendadas (E) Presentar un mapa conceptual (E) Presentar un caso de estudio (E) Presentar videos y recursos didácticos (E) Organizar debates mediados para la construcción colectiva de definiciones. (A) Realizar mapa conceptual (A) Participar en foros y debates
Aplicar (N3)	(E) Proponer ejercicios (A) Buscar ejemplos de ejercicios	(A) Contestar preguntas (A) Resolver ejercicios (A) Resolver problemas	(E) Presentar un caso de estudio

<sup>43</sup> Las estrategias didácticas se seleccionaron y clasificaron con base en experiencias en docencia del autor, así como otras recomendaciones propuestas en materiales de estrategias didácticas, evaluación del aprendizaje y enseñanza universitaria centrada en el aprendizaje de Corredor Montagut y otros[6], Arbeláez López [8], Bloom y otros [10] y Prieto Navarro y otros [7]. También se tuvieron en cuenta consideraciones del Ministerio de Educación Nacional de Colombia propuestas en su “Guía para la Implementación del Modelo de Gestión de Permanencia y Graduación Estudiantil en Instituciones de Educación Superior” [16] y documentación de apoyo de la plataforma de aprendizaje MOODLE enfocada a estrategias didácticas formativas y evaluativas a través de la herramienta, consultada en <https://docs.moodle.org>.

<b>Niveles cognitivos</b>	<b>Actividades iniciadoras (Estímulos)</b>	<b>Actividades de caracterización (Evaluaciones)</b>	<b>Acciones reguladoras (Refuerzos)</b>
	(A) Resolver ejercicios	(E) Evaluar respuesta a preguntas (E) Evaluar resolución de ejercicios	(E) Presentar la resolución de ejercicios. (A) Buscar casos de estudio (A) Hacer un banco de problemas y ejercicios y plantear su solución.
Analizar (N4)	(E) Proponer problemas (A) Resolver problemas	(A) Contestar preguntas (A) Resolver problemas (E) Evaluar respuesta a preguntas (E) Evaluar resolución de problemas	(E) Presentar análisis de casos de estudio (A) Realizar análisis de casos de estudio
Evaluar (N5)	(A) Evaluar su trabajo. (Autoevaluación) (A) Evaluar el trabajo de sus compañeros. (Coevaluación) (A) Evaluar al docente. (Heteroevaluación) (E) Proponer casos de estudio (A) Proponer juicios sobre casos de estudio (A) Evaluar alternativas para resolver un problema específico	(A) Contestar preguntas (A) Establecer criterios de evaluación (Autoevaluación, Coevaluación, Heteroevaluación) (E) Evaluar respuesta a preguntas (E) Evaluar criterios de evaluación	(E) Presentar el diseño de instrumentos de medición (E) Presentar el diseño y aplicación de una rúbrica de evaluación. (A) Construir rúbricas de evaluación (A) Desarrollar instrumentos de medición (A) Realizar tablas de decisión (A) Realizar evaluaciones argumentadas a las participaciones de sus compañeros en trabajos escritos, foros, blogs, wikis, etcétera. (A) Realizar un editorial donde exprese su opinión sobre algún tema de interés, asociado con el contenido, y donde identifiquen los factores clave de su juicio.

Niveles cognitivos	Actividades iniciadoras (Estímulos)	Actividades de caracterización (Evaluaciones)	Acciones reguladoras (Refuerzos)
Crear (N6)	(E) Proponer ideas de proyectos (A) Proponer proyectos nuevos (A) Proponer planes de trabajo para desarrollar proyectos	(A) Proponer planes de trabajo para desarrollar proyectos (E) Evaluar planes de trabajo para desarrollar proyectos	(E) Presentar herramientas de modelado. (A) Crear infografías (A) Componer un ensayo (A) Hacer una Wiki (A) Construir Objetos Virtuales de Aprendizaje (A) Desarrollar soluciones innovadoras

Nota aclaratoria: La (E) indica que son actividades asociadas con la enseñanza, mientras que la (A) indica que son actividades asociadas con el aprendizaje.

La Tabla 21 sugiere la relación entre estrategias didácticas, comúnmente conocidas por los profesores, y los niveles cognitivos; relación que se puede sintetizar en la representación matricial de la Tabla 22, a continuación, que resalta la pertenencia de cada relación a partir de tripletas  $\{\beta_{Ap}, \beta_{En}, \beta_{Ev}\}$  donde los valores  $\beta_{Ap}$ ,  $\beta_{En}$  y  $\beta_{Ev}$  son números binarios que representan, cada uno, la pertenencia con los procesos de enseñanza, aprendizaje o evaluación respectivamente<sup>44</sup>.

Tabla 22. Representación matricial de relación entre estrategias y niveles cognitivos

Estrategia	Nivel cognitivo	Conocer	Comprender	Aplicar	Analizar	Evaluar	Crear
	Preguntas	{1,1,1}	{1,1,1}	{0,0,1}	{0,0,1}	{0,0,1}	{,}
Consultas	{0,1,0}	{0,1,1}	{,}	{,}	{,}	{,}	
Lecturas	{0,1,0}	{1,1,1}	{,}	{,}	{,}	{,}	

<sup>44</sup> Se aclara que las estrategias presentadas en el plan de control y su síntesis en la representación matricial entre estrategias y niveles cognitivos hacen parte de una propuesta del autor y que, debido que los estudios sobre educación se encuentran en permanente evolución, la propuesta está abierta a contrapropuestas y sugerencias por parte de otros colegas y solo sirve, sin embargo era necesaria como línea base para el desarrollo y presentación de la implementación de un sistema de control sustentada en dicho plan. Se aclara también que se pueden proponer otros planes con otras estrategias o con diferentes usos de las estrategias.

Estrategia	Nivel cognitivo					
	Conocer	Comprender	Aplicar	Analizar	Evaluar	Crear
Resolución de Ejercicios y problemas	{0,1,1}	{1,1,1}	{1,1,1}	{1,1,1}	{0,1,0}	{,,}
Glosarios	{0,1,0}	{0,1,0}	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}
Foros y debates	{0,1,0}	{0,1,0}	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}
Mapas conceptuales e Infografías	{,,}	{1,1,0}	{,,}	{,,}	{,,}	{0,1,0}
Casos de estudio	{,,}	{1,0,0}	{1,1,0}	{1,1,0}	{1,1,0}	{,,}
Videos, recursos didácticos y Objetos Virtuales de aprendizaje	{,,}	{1,0,0}	{,,}	{,,}	{,,}	{0,1,0}
Banco de ejercicios	{,,}	{,,}	{0,1,0}	{,,}	{,,}	{,,}
Auto, hetero y co-evaluación	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{0,1,0}	{,,}
Criterios de evaluación (Establecimiento)	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{0,0,1}	{0,1,0}
instrumentos de medición y evaluación (Diseño y aplicación)	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{1,1,0}	{1,1,0}
Rúbricas de evaluación	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{1,1,0}	{1,1,0}
Tablas de decisión (Diseño y realización)	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{0,1,0}	{0,1,0}
Editoriales, blogs y ensayos para presentar opinión propia	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{0,1,0}	{0,1,0}
Wikis y documentos colaborativos	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{0,1,0}
Proyectos	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{,,}	{1,1,1}

Nota aclaratoria 1: En las tripletas  $\{\beta_{Ap}, \beta_{En}, \beta_{Ev}\}$ , los valores  $\beta_{Ap}$ ,  $\beta_{En}$  y  $\beta_{Ev}$  representan con 1 si existe relación (y con 0 si no existe), entre las estrategias didácticas y los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación respectivamente, es decir, si en la propuesta presentada en la “Tabla 21. Actividades para definición del plan de control amplio” se utiliza de alguna forma cada estrategia didáctica en la ejecución de alguno de los procesos descritos.

Nota aclaratoria 2: Cuando la estrategia no tiene relación con ningún proceso (enseñanza, aprendizaje y evaluación), en vez de 0 se deja el espacio vacío solamente con el fin de facilitar la lectura de la tabla, sin embargo en el sistema se considera como 0.

En la Tabla 22 se representa en una matriz bidimensional una relación de tres dimensiones entre estrategias didácticas, niveles cognitivos y proceso para el cuál se está utilizando la estrategia, evidenciando así una posibilidad de triple funcionalidad para cada estrategia, por ejemplo, según la “Tabla 21. Actividades

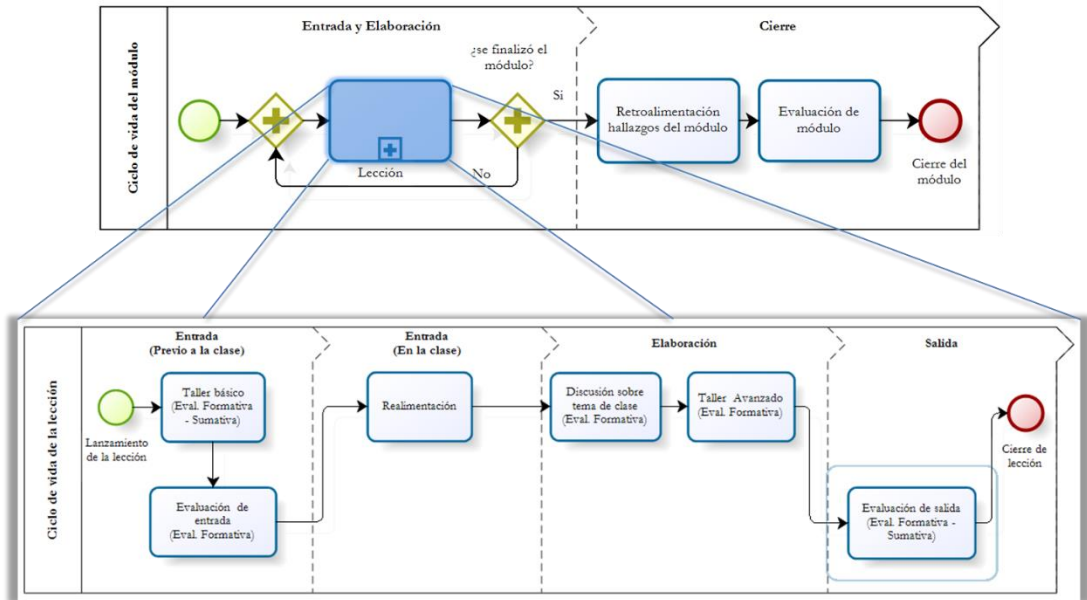
para definición del plan de control amplio” y la “Tabla 22. Representación matricial de relación entre estrategias y niveles cognitivos”, se puede ver que la “**Pregunta**” es una estrategia usada para la Enseñanza, el Aprendizaje y la Evaluación en diferentes niveles cognitivos porque, para algunos de esos niveles, se propuso **enseñar a través de la pregunta** (formulación y solución de preguntas); también se planteó que el estudiante podía **aprender a través de la pregunta** (respuesta a preguntas y planteamiento de nuevas preguntas); y por último se propuso **evaluar a través de la pregunta** (evaluar la respuesta de los estudiantes hacia cada pregunta).

Esta triple funcionalidad de la **pregunta** hace que algunos autores como Bloom [10], Corredor Montagut [6] y Arbeláez [8] la consideren como una estrategia de mucha importancia en la labor docente, por lo cual son la base de los elementos de evaluación utilizados en el sistema de medición propuesto en este proyecto; por otra parte, la pregunta se complementa con otra estrategia, que consiste en la formación con base en el **error**, la cual es consecuente con la señal de error que aparece en la implementación del sistema de control de lazo cerrado (realimentado) pues el error, como estrategia didáctica, no es otra cosa que la reflexión sobre la diferencia que hay entre el estado deseado y el estado actual, el cual es medido utilizando los instrumentos de medición propuestos [6], [48].

En la Tabla 22 se puede observar que algunas estrategias se emplean menos que otras pero esto no quiere decir que no sean importantes para la formación o evaluación, por otra parte, las estrategias no son necesariamente excluyentes o incluso totalmente distintas pues el uso de una estrategia puede implicar, de forma implícita, el uso de otra estrategia, por lo cual, la Tabla 21 y la Tabla 22 representan solamente una manera de asociar estrategias con dimensiones.

En esta metodología de acción – evaluación, propuesta para el sistema de control, se encuentra implícito el modelo de procesos presentado anteriormente en la “Figura 19. Modelo resumido de procesos por cada lección” y la “Figura 21. Procesos por módulo”, en las páginas 76 y 79, las cuales se combinan en la Figura 66.

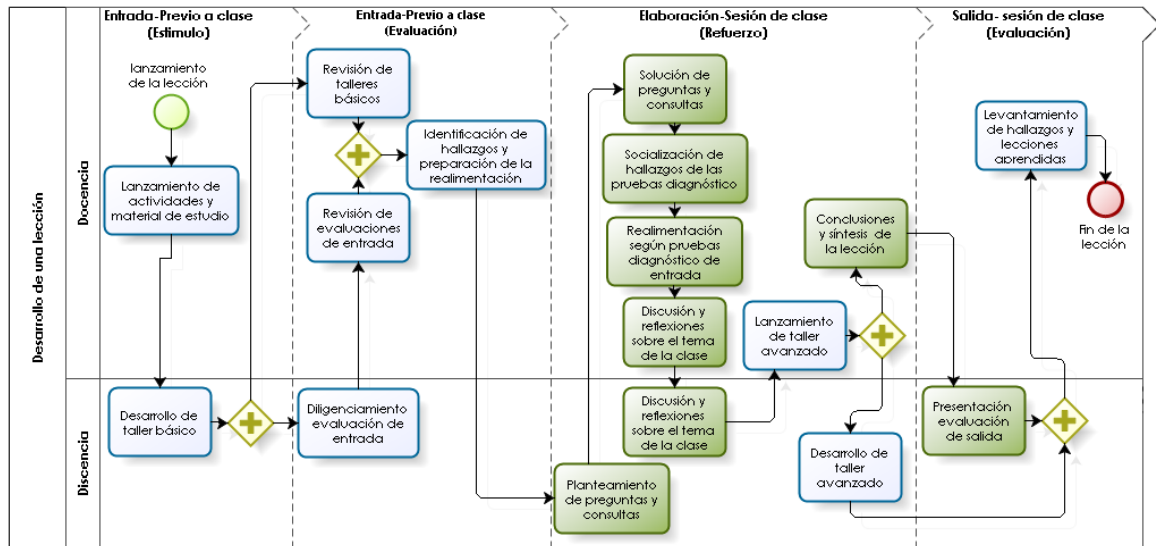
Figura 66. Procesos de enseñanza – aprendizaje por módulo y por lección



El ciclo de vida de los procesos de cada lección se detalla, en la Figura 67, con el fin de presentar la metodología de acción – evaluación propuesta para el sistema de control<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> Esta Figura 67 ya se había mostrado en la “Figura 20. Modelo de procesos de cada lección”, en la página 65.

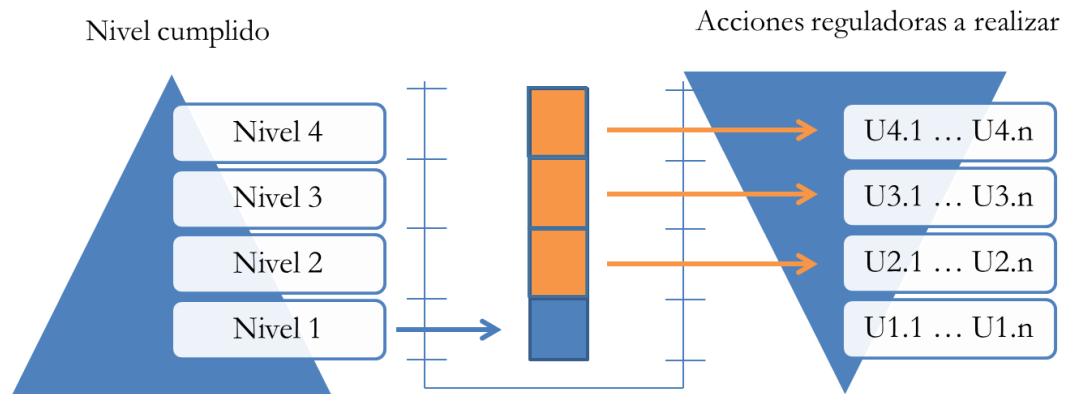
Figura 67. Detalle de procesos de enseñanza aprendizaje por lección (acción-evaluación)



Nota aclaratoria: En un tono más oscuro se encuentran las principales actividades que son indispensables para la ejecución del modelo, las otras actividades pueden ser prescindibles en versiones iniciales al momento de la implementación del modelo en una asignatura nueva.

Como ya se ha definido anteriormente, el sistema de control se sustenta en un control basado en reglas, que son establecidas en el plan de control, el cual se utiliza dependiendo del error en el estado actual de las variables para cada uno de los niveles cognitivos, por lo cual, a cada nivel cognitivo le corresponden algunas acciones de control. Esto se representa en la Figura 68.

Figura 68. Representación visual entre niveles cumplidos y acciones reguladoras



Descripción: En la figura se hace una representación de los niveles cumplidos con color azul en la escala central y con color naranja los niveles que no se han cumplido para usar las acciones reguladoras del plan de control.

Nota aclaratoria: En la figura se muestra hasta el nivel 4 (Analiza) con el fin de no aumentar el tamaño del gráfico aclarando que el modelo será el mismo sin importar los niveles con que sea declarado.

En esta figura se hace una representación de la forma de activación de las acciones de control para un caso hipotético en el que, para un tema determinado, un instrumento indica que el nivel 1 de la variable cognitiva se ha cumplido (Conocer), el cual se representa con la señal azul saliendo del nivel 1 y con la banda azul en la barra indicadora, mientras que los niveles cognitivos 2, 3 y 4 no se cumplieron, lo que se representa como bandas naranjas en la barra indicadora y activa las señales naranjas, una por cada nivel no cumplido, que se dirigen hacia las acciones reguladoras de cada nivel, indicando unas acciones de refuerzo según la medición del instrumento. Esto quiere decir que cada instrumento estaría en la facultad de sugerir acciones reguladoras dependiendo de los niveles no cumplidos.

Cabe aclarar, en la Figura 68, que, para satisfacer o cumplir con un nivel determinado, no es necesario satisfacer al 100% los niveles anteriores, es por esto que se determinan metas por cada nivel que sirven como umbrales para determinar el cumplimiento o no de dicho nivel y esto tampoco es garantía de que los niveles anteriores cumplan con sus umbrales. Esto es debido a que los niveles, si bien tienen cierta influencia uno en otro, no se ha demostrado una relación de dependencia exhaustiva que indique que la satisfacción de un nivel implica que los niveles anteriores se superan al 100%, por ejemplo, no es necesario conocer todos los conceptos para poder comprender las posibles relaciones entre algunos de ellos.

Otro factor importante es que los instrumentos difícilmente serán exhaustivos por cada nivel y simplemente indicarán una muestra que se espera que sea representativa.

Cada instrumento de medición suministra información sobre cada elemento de evaluación, para cada estudiante, y sobre la síntesis por temas y por niveles cognitivos, con lo cual puede determinar los niveles no satisfechos e indicar el conjunto de acciones reguladoras propuesta para cada estudiante que puede realizar de forma independiente, así también permite la descripción estadística grupal que facilitará la toma de decisiones para el diseño de las sesiones de refuerzo grupales. Con esto se combinan acciones individuales y grupales para estudiantes y profesores respectivamente.

Se definen entonces matrices de configuración que establecen, a través de relaciones y valores de pertenencia, la configuración de los elementos de evaluación, instrumentos de medición y niveles cognitivos, una primera matriz es la matriz de coeficientes y umbrales que se muestra a continuación en la Tabla 23.

Tabla 23. Matriz de configuración de ponderación y referencias de cada nivel cognitivo

	N1	N2	N3	N4	N5	N6
<b>Ponderación nivel (<math>\gamma_i</math>)</b>	1	2	3	4	4	4
<b>Referencia nivel (<math>\alpha</math>-Corte)</b>	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Descripción: La ponderación de cada nivel corresponde al peso que tiene cada nivel en la estimación de las síntesis por tema de contenido para cada instrumento, los cuales se mencionaron en la generación de la matriz de seguimiento  $M_{EST}$  más atrás. La referencia del nivel corresponde con el umbral a superar para cada nivel asumiendo el valor de medición como un valor entre 0 y 1. El umbral se llama también  $\alpha$  en matrices de relaciones difusas [49]–[51], y puede ser distinto para cada nivel cognitivo.

Nota aclaratoria: Los valores suministrados en este cuadro son dados de forma arbitraria solo para ejemplificar la matriz de configuración

Esta matriz de configuración complementa las matrices del sistema de medición pues permite configurar el peso de cada nivel, así como la referencia que indica cuándo recomendar o no una acción de regulación. Se debe entender también que hay dos niveles de error, un **error 0** (no hay debilidad) cuando el valor de la satisfacción del nivel supera el umbral, y un **error 1** (hay debilidad) cuando el valor de la satisfacción del nivel no supera el umbral.

Para proponer un plan de control específico se utiliza la matriz de configuración, presentada en la Tabla 24, que contiene las acciones de regulación recomendadas para los estudiantes, para refuerzos individuales e independientes, y acciones de regulación recomendadas para los docentes, para refuerzos grupales en caso de que se detecte una debilidad de manera general.

Tabla 24. Matriz de planificación de acciones de regulación para aprendizaje y enseñanza

	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>N4</b>	<b>N5</b>	<b>N6</b>
<b>Acciones regulatorias de aprendizaje</b>	AAprN1;	AAprN2;	AAprN3;	AAprN4;	AAprN5;	AAprN6
<b>Acciones regulatorias de enseñanza</b>	AEnsN1;	AEnsN2;	AEnsN3;	AEnsN4;	AEnsN5;	AEnsN6

Descripción: Las etiquetas AApr indican Acciones de Aprendizaje mientras que las etiquetas AEns indican Acciones de Enseñanza. Los sufijos N1, N2, etcétera, indican el nivel al cual pertenecen estas acciones.

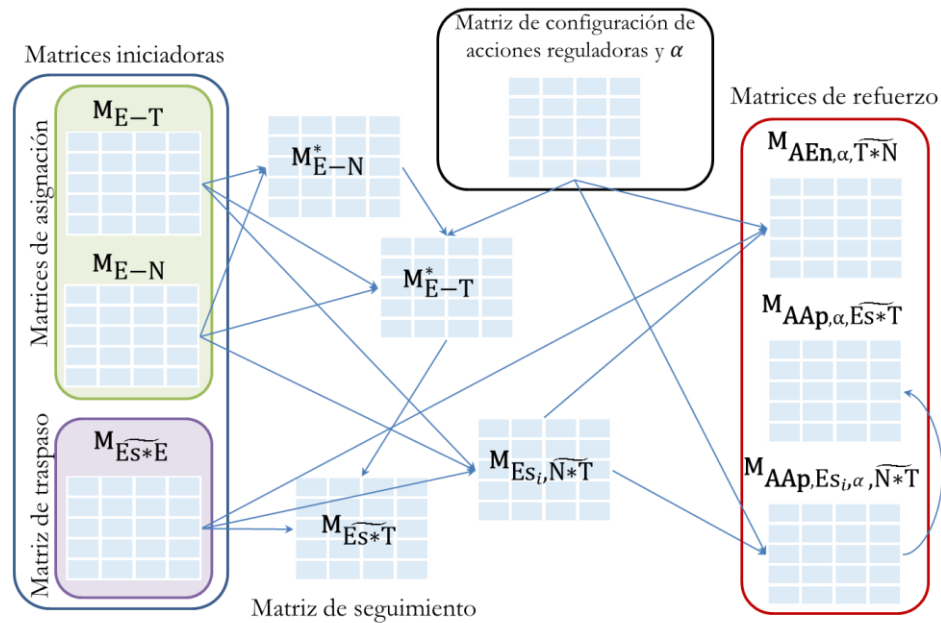
El método de trabajo de estas acciones es muy sencillo, pues cada etiqueta es reemplazada por las acciones de regulación que se presenten a los estudiantes o a los profesores, por ejemplo, se puede considerar un plan de control compacto que reemplace las etiquetas de la Tabla 24, como una síntesis de las acciones del plan de control amplio presentado en la Tabla 21, como se presenta a continuación en la Tabla 25.

Tabla 25. Acciones para plan de control compacto

	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Acciones regulatorias de aprendizaje (AApr)	Hacer un glosario;	Realizar un mapa conceptual;	Hacer un banco de ejercicios con su solución;	Realizar análisis de casos de estudio;	Realizar una editorial donde exprese su opinión sobre el tema y donde identifique los factores clave de su juicio;	Crear una infografía.
Acciones regulatorias de enseñanza (AEns)	Recomendar bibliografía;	Presentar videos y recursos didácticos; Organizar debates mediados para la construcción colectiva de definiciones.	Presentar la resolución ejercicios;	Presentar análisis de casos de estudio;	Presentar el diseño y aplicación de una Rúbrica de evaluación;	Presentar herramientas de modelado.

Esta Tabla 25 de acciones se integra al sistema de medición a partir de las matrices de seguimiento individual y grupal, específicamente a la matriz que relaciona estudiantes y niveles ( $\widetilde{Es * N}$ ) por cada uno de los temas, pero para seleccionar la acción reguladora se realiza una “umbralización” de los valores “nítidos” de la matriz  $M_{\widetilde{Es * N}}$  por cada tema efectuando una operación  $\alpha$ -corte que convierte en 1 todos los valores iguales o superiores a  $\alpha$  y en cero todos los valores inferiores a  $\alpha$  [50], [51], siendo  $\alpha$  el umbral o referencia para cada nivel descrito en la Tabla 23. La obtención de las matrices de refuerzo se presenta en la Figura 69.

Figura 69. Relaciones matriciales para la obtención de las matrices de refuerzo por instrumento.



Lo primero que se debe aclarar en esta figura es que la matriz  $M_{\widetilde{ES^*N}}$  no aparece de forma explícita, pero se puede obtener de la matriz  $M_{ES_i, \widetilde{N^*T}}$  que es una vista individual por estudiante donde se puede ver su desempeño en cada nivel de cada tema evaluado con el instrumento.

Por cada instrumento de medición aplicado se realizan operaciones para generar matrices de salida como las matrices de seguimiento y las matrices de refuerzo presentadas en la Figura 69. Las operaciones matriciales se encuentran cargadas en una plantilla de hoja de cálculo que requiere solamente la “configuración” de las “matrices iniciadoras” de forma que se tomen los resultados de cada uno de los elementos de evaluación por estudiante, del instrumento aplicado, y se normalicen tal que el valor máximo posible corresponda con 1 y el cero o menor que cero corresponda con 0 en la “matriz de traspaso”. Es de notar que esta matriz de traspaso tiene la misma estructura que una matriz de seguimiento, como las expuestas en el sistema matricial cuando se habló del sistema de medición, y correspondería al nivel jerárquico más bajo, por debajo de la matriz de seguimiento de  $M_{\widetilde{ES^*T}}$  que se muestra en la Figura 69. Las matrices de asignación se configuran indicando la relación presente entre cada elemento de evaluación del instrumento de medición con los temas de contenido y los niveles cognitivos.

Es de aclarar también que la plantilla del instrumento de medición también requiere que se hayan definido previamente las matrices de configuración de ponderación y referencias de cada nivel cognitivo, Tabla 23, y la matriz de configuración de acciones de regulación para aprendizaje y enseñanza, Tabla 24, y que estas matrices se puedan acceder desde la plantilla para la generación de resultados de desempeño y la propuesta de las acciones de regulación pertinentes. La estructura de entradas y salidas del sistema se puede definir como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Entradas y Salidas para la plantilla de instrumentos de medición

Entradas	Salidas
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Configuración de la matriz de asignación E-N.</li> <li>2. Configuración de la matriz de asignación E-T.</li> <li>3. Matriz de traspaso el desempeño de cada estudiante por cada elemento de evaluación para el instrumento.</li> <li>4. Matriz de configuración de ponderación, umbral (<math>\alpha</math>) y acciones reguladoras por nivel cognitivo</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Matriz de seguimiento que presenta el desempeño de los estudiantes por cada uno de los temas evaluados <math>\mathbf{M}_{\widetilde{ES^*T}}</math>.</li> <li>2. Matriz de desempeño de niveles por cada uno de los temas para cada uno de los estudiantes <math>\mathbf{M}_{ES_i, \widetilde{N^*T}}</math>.</li> <li>3. Matriz de refuerzo que presenta las acciones recomendadas para cada uno de los estudiantes, <math>\mathbf{M}_{AAp, ES_i, \alpha, \widetilde{N^*T}}</math>, a partir de la matriz de desempeño de niveles por tema por estudiante, <math>\mathbf{M}_{ES_i, \widetilde{N^*T}}</math>.</li> <li>4. Matriz de refuerzo que presenta las acciones recomendadas para cada estudiante por tema, <math>\mathbf{M}_{AAp, \alpha, \widetilde{ES^*T}}</math>, que resulta de la combinación en una sola matriz de todas las matrices <math>\mathbf{M}_{ES_i, \widetilde{N^*T}}</math>.</li> <li>5. Matriz de refuerzo general de acciones recomendadas para el profesor a partir de los resultados de los estudiantes, <math>\mathbf{M}_{AEn, \alpha, \widetilde{T^*N}}</math>.</li> </ol>

En cuanto a la matriz de refuerzo general de acciones recomendadas para el profesor,  $\mathbf{M}_{AEn, \alpha, \widetilde{T^*N}}$ , este tiene dos opciones para la descripción del desempeño global de su población de estudiantes, por una parte puede contar el número de estudiantes que aprobaron los estándares dados por el umbral de nivel para cada uno de los niveles para cada de los temas, y obtener el porcentaje de los estudiantes que aprobaron, si dicho porcentaje se encuentra por debajo de un porcentaje determinado por él<sup>46</sup>, de forma semejante que los  $\alpha$ -cortes, se recomienda aplicar

<sup>46</sup> Este porcentaje se define a partir de cada instrumento a criterio del profesor pues se debe considerar que los porcentajes de aprobación pueden cambiar de un instrumento a otro y se debe

acciones reguladoras, de lo contrario no se recomienda; por otro lado, se puede hacer la descripción del desempeño global de la población de estudiantes a partir del promedio de satisfacción de cada estudiante para cada nivel de cada tema, que se puede obtener de las matrices  $M_{E_{Si}, N^*T}$ , y definir un valor de satisfacción mínimo de promedio de satisfacciones individuales para, de forma semejante que los  $\alpha$ -cortes, determinar cuáles niveles de cuáles temas requieren acciones de regulación.

Las salidas de la plantilla de instrumentos están enlazadas con el sistema de medición, definido en páginas anteriores, para generar las diferentes vistas jerárquicas y permitir el seguimiento de los objetivos de control.

**3.4.2 Conclusiones sobre el diseño del sistema de control.** La taxonomía de Bloom resultó adecuada para el establecimiento de los planes de control porque permitió categorizar la complejidad del razonamiento que los estudiantes deben tener para dominar un tema, lo cual ayudó también a la creación de instrumentos de medición y a la propuesta de estrategias didácticas para inculcar o reforzar cada uno de dichos niveles.

En el proceso de definición y selección de estrategias didácticas para reforzar debilidades, se pudo apreciar que dichas estrategias no eran exclusivas para uno u otro nivel y en cambio ayudaban a reforzar diferentes niveles, esto se dio porque los niveles cognitivos en sí están interrelacionados, no solo hay influencia de abajo hacia arriba sino que también hay influencia de arriba hacia abajo, de tal forma que la estimulación y el refuerzo de niveles cognitivos superiores también ayuda a reforzar los niveles cognitivos inferiores.

En cuanto al diseño del sistema de control, un poco más desafiante que la formación de los planes de acción para los diferentes niveles, fue la definición de los criterios para tratamiento de casos por esta razón, para este proyecto solo se propusieron directrices de priorización, pero fue el docente quien decidió los casos a tratar

---

permitir una sintonización manual de dichas referencias con el fin de que la cantidad de acciones de regulación recomendadas sea adecuada a la capacidad del docente, esto es, si el sistema considera pocas acciones de regulación, el profesor podrá poner una referencia más exigente hasta que encuentre la cantidad de acciones de regulación que se acomoden a su capacidad.

dependiendo de criterios propios como sus capacidades y el tiempo para la preparación e implementación de la realimentación y refuerzo.

Otra de las razones para no proponer un plan automático de realimentación y refuerzo, y en cambio dejarlo a criterio del docente, fue que inicialmente se identificaron muchas posibles acciones reguladoras para refuerzo de los niveles cognitivos pero no era conveniente seleccionarlas todas y tampoco se profundizó en un estudio para seleccionar las mejores según los tipos de aprendizaje de los estudiantes<sup>47</sup>, por eso se propusieron solo algunas, a criterio del investigador, para crear con ellas los planes de acciones reguladoras para la realimentación y refuerzo de las debilidades.

### 3.5 VERIFICACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA REALIMENTACIÓN

Para la verificación del sistema de control propuesto en la sección anterior, se aplican las acciones de regulación en la implementación del prototipo, sin embargo, se toman las acciones de forma manual según los resultados de los estudiantes y lo observado en la interacción con ellos y se propone la realización voluntaria de las acciones reguladoras de aprendizaje (AApr)<sup>48</sup>.

La prueba de la hipótesis de investigación<sup>49</sup> se desarrolla en esta sección a través de la comparación entre dos grupos relacionados a manera de *pretest postest* [52], donde las **variables de contraste** son los valores de satisfacción para cada uno de los temas de contenido antes y después de la realimentación, donde el *pretest* consistió en la aplicación de una evaluación en cada una de las lecciones y el *postest* consistió en la evaluación de módulo, después de la realimentación realizada a partir de las debilidades encontradas en el *pretest*.

---

<sup>47</sup> Esta idea se propuso como trabajo futuro en la sección “5. Trabajos Futuros”

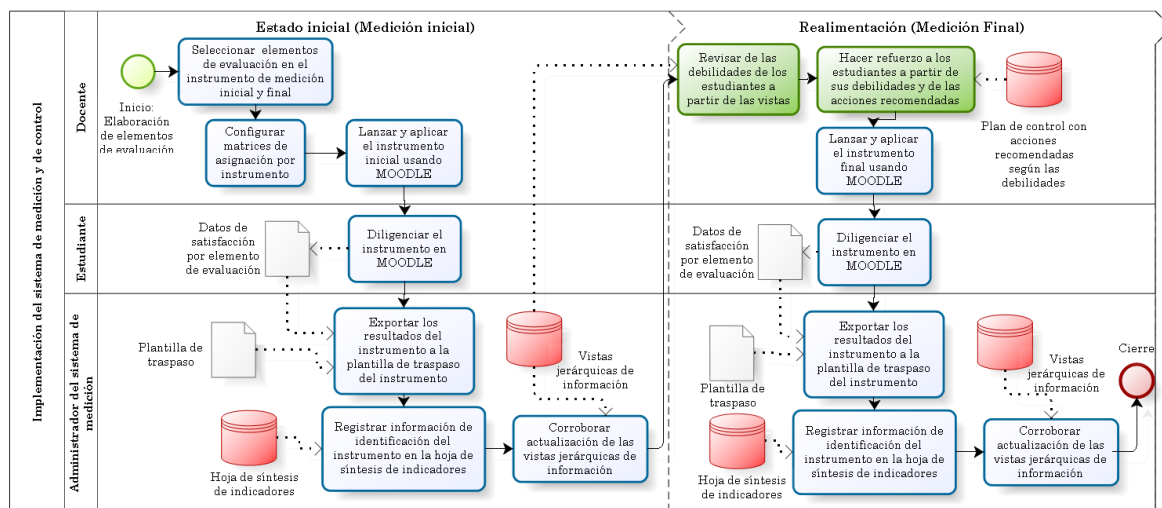
<sup>48</sup> La implementación de un sistema de control automático se deja para futuros trabajos.

<sup>49</sup> La hipótesis de este trabajo de investigación es: “La incorporación de un sistema de control en los procesos de docencia y discencia de enseñanza – aprendizaje de educación superior mejora su desempeño a través del establecimiento de planes de control que faciliten el seguimiento de los objetivos de control.”

**3.5.1 Descripción de la implementación de la prueba piloto.** Como se aclaró iniciando este capítulo, específicamente en la “Tabla 6. Actividades que relacionan las etapas con los objetivos del trabajo de investigación”, la verificación del modelo se hizo con la implementación de una prueba piloto sobre el sistema real, un curso de la asignatura de Dinámica de Procesos, donde se obtuvieron distintos resultados utilizados para la verificación del modelo.

Para la implementación del piloto se toma como base la “Figura 47. Ciclo de vida del sistema de medición y seguimiento” en la...página 128..., y se agrega la parte de control dada por la realimentación a partir de las mediciones. El ciclo de vida de la aplicación del modelo se presenta en la Figura 70.

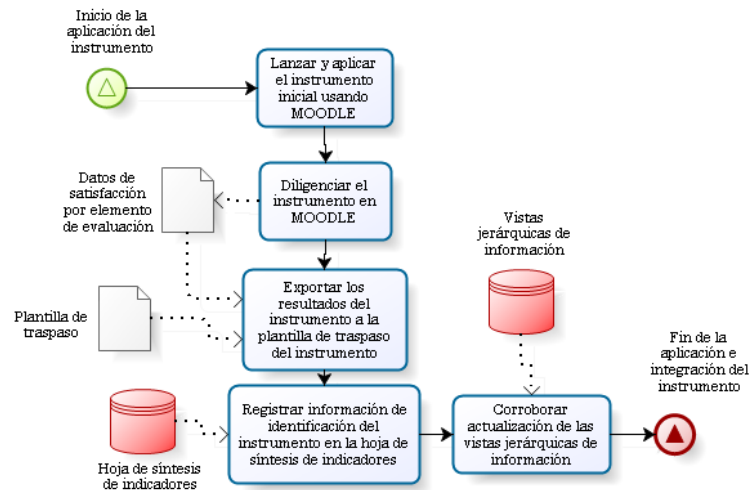
Figura 70. Ciclo de vida del sistema de medición con realimentación



En esta figura se presenta el ciclo de vida completo del sistema de control en el que se realiza realimentación, representada con los bloques de color verde en la figura. También se debe notar que los elementos de base de datos, en color rojo, hacen parte todos del mismo sistema, sin embargo, el plan de control para la implementación de este piloto no actúa de forma automática, sino que es propuesto como un plan de control que contiene estrategias didácticas recomendadas, para orientar al docente en su realimentación, dependiendo de las debilidades identificadas.

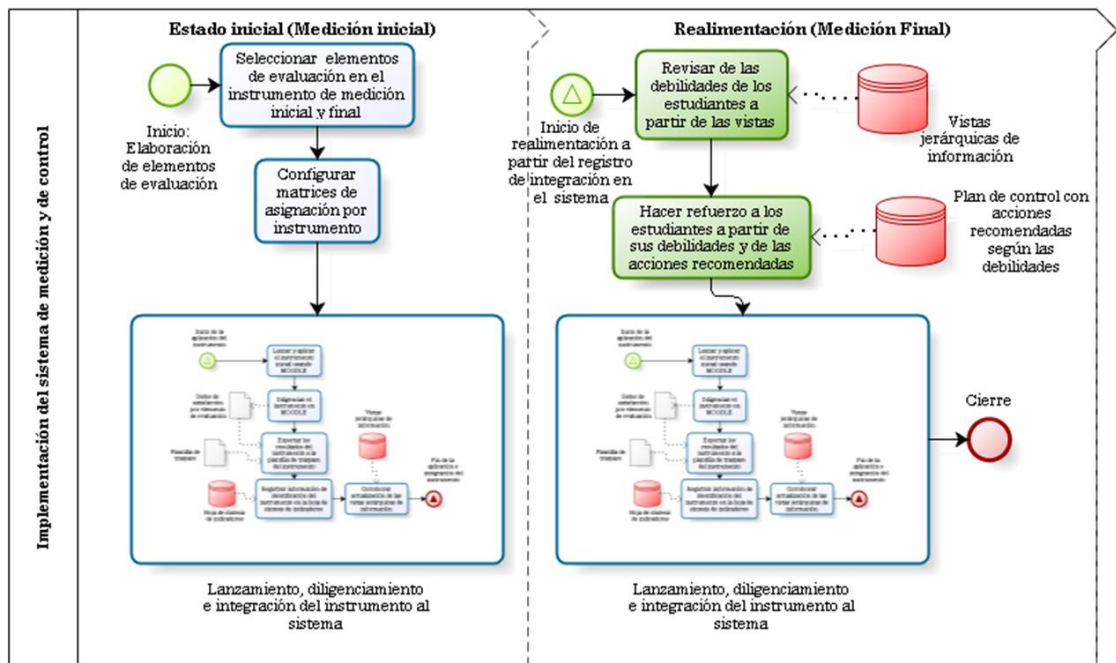
Otra característica que se aprecia en la Figura 70 es que las actividades de Lanzar y aplicar el instrumento de medición, diligenciar el instrumento e integrar los resultados con el sistema siempre se realizan para cada instrumento de medición aplicado, por lo tanto, se puede agrupar como un subproceso, que será reutilizado por cada instrumento. Este subproceso se presenta en la Figura 71.

Figura 71. Subproceso de lanzamiento, diligenciamiento e integración del instrumento al sistema



Con la ayuda del subproceso, presentado en la Figura 71, se define un nuevo modelo, más reducido que el presentado en la Figura 70, el cual se presenta en la Figura 72.

Figura 72. Ciclo de vida del sistema de medición con realimentación con subproceso reducido



Con el ciclo de vida del sistema de medición con realimentación, presentado en las figuras anteriores, queda descrito cómo el sistema responde, a través de la realización de una realimentación en correspondencia con los resultados presentados ante la aplicación de los instrumentos de medición.

**3.5.1.1 Ejemplo de implementación del piloto en una evaluación de módulo.** Para presentar un ejemplo de la implementación del piloto se tomarán el caso del módulo 1, en el cual se presentaron dos pruebas, ES1.1 para evaluar los temas

T1.1 y T1.2, y ES1.2 para evaluar los temas T1.3 y T1.4, en donde se encontraron los resultados presentados en la Figura 73.

Figura 73. Satisfacción de los temas del módulo 1 en las primeras mediciones

ID Tema	Tema	Valor inicial	ES1.1	ES1.2
T1.1	T1.1 Norma ISA 5.1	<b>0,76</b>	<b>0,76</b>	
	N1	0,86	0,86	
	N2	0,71	0,71	
	N3			
T1.2	T1.2 Interpretación de diagramas	<b>0,59</b>	<b>0,59</b>	
	N1	0,69	0,69	
	N2	0,79	0,79	
	N3	0,41	0,41	
T1.3	T1.3 Desarrollo de Diagramas P&ID	<b>0,64</b>		<b>0,64</b>
	N1	0,92		0,92
	N2	0,69		0,69
	N3	0,51		0,51
T1.4	T1.4 Ejemplos de procesos	<b>0,71</b>		<b>0,71</b>
	N1	0,97		0,97
	N2	0,64		0,64
	N3	0,67		0,67

En la Figura 73 se presentan los resultados obtenidos por niveles cognitivos y la síntesis del tema de contenido a partir de las ponderaciones de cada nivel presentadas en la “Tabla 23. Matriz de configuración de ponderación y referencias de cada nivel cognitivo” en la...página 159.... Como se puede notar, la satisfacción del nivel 3 (N3. Aplica) para los temas T1.2 y T1.3 no superó el umbral de 0,6, por esta razón no aparece en verde y adquieren prioridad para la implementación de acciones reguladoras. También se nota que, en orden ascendente, los casos que

superaron el umbral pero que aún pueden mejorar son<sup>50</sup> los presentados en la Tabla 27.

Tabla 27. Casos candidatos para la aplicación de acciones reguladoras

<b>Tema</b>	<b>Nivel</b>	<b>Satisfacción</b>
T1.4	N2	0,64
T1.4	N3	0,67
T1.2	N1	0,69
T1.3	N2	0,69
T1.1	N2	0,71
T1.2	N2	0,79

Debido al tiempo limitado para hacer la retroalimentación y refuerzo, se tomó solo un caso crítico por tema para hacer la posterior selección de acciones reguladoras. Los casos críticos seleccionados se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28. Casos seleccionados para realimentación y refuerzo

<b>Prioridad</b>	<b>Tema</b>	<b>Nivel</b>	<b>Satisfacción</b>	<b>Estado</b>
1	T1.2 Interpretación de diagramas P&ID	N3	0,41	No satisfactorio
2	T1.3 Desarrollo de Diagramas P&ID	N3	0,51	No satisfactorio
3	T1.4 Ejemplos de procesos industriales (Sistema de generación eléctrica, planta de craqueo catalítico, sistema de bombeo de crudo, pasteurizadora de leche, entre otros)	N2	0,64	Débil
4	T1.1 Norma ISA 5.1	N2	0,71	Débil

Para los niveles N1, N2 y N3, según la “Tabla 21. Actividades para definición del plan de control amplio”, y más específicamente, la “Tabla 25. Acciones para plan de

---

<sup>50</sup> En caso de que sean muchos los casos, se toma como criterio de parada para la identificación de casos, aquellos que se encuentren por debajo de un valor deseado, en este caso fue 0,8 como valor de satisfacción máximo para refuerzo.

control compacto”, en la...página 161..., se recomiendan las acciones presentadas en la Tabla 29.

Tabla 29. Acciones reguladoras para niveles N1, N2 y N3

	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>
<b>Acciones reguladoras de aprendizaje (AApr)</b>	Hacer un glosario;	Realizar un mapa conceptual;	Hacer un banco de ejercicios con su solución;
<b>Acciones reguladoras de enseñanza (AEns)</b>	Recomendar bibliografía;	Presentar videos y recursos didácticos; Organizar debates mediados para la construcción colectiva de definiciones.	Presentar la resolución ejercicios;

Nota: Este cuadro es una extracción de la “Tabla 25. Acciones para plan de control compacto” en la página 161

Por lo tanto, de la Tabla 28 y la Tabla 29 se tiene la información necesaria para el plan de acción de refuerzo del módulo 1, el cual se puede sintetizar en la Tabla 30.

Tabla 30. Plan de acciones reguladoras para la realimentación y refuerzo del Módulo 1

Prioridad	Tema	Nivel	Estado	Acciones reguladoras de enseñanza (AEns)	Acciones reguladoras de aprendizaje (AApr)
1	T1.2 Interpretación de diagramas P&ID	N3	No satisfactorio	Presentar la resolución ejercicios;	Hacer un banco de ejercicios con su solución;
2	T1.3 Desarrollo de Diagramas P&ID	N3	No satisfactorio	Presentar la resolución ejercicios;	Hacer un banco de ejercicios con su solución;
3	T1.4 Ejemplos de procesos industriales (Sistema de generación eléctrica, planta de craqueo catalítico, sistema de bombeo de crudo, pasteurizadora de leche, entre otros)	N2	Débil	Presentar videos y recursos didácticos; Organizar debates mediados para la construcción colectiva de definiciones.	Realizar un mapa conceptual;
4	T1.1 Norma ISA 5.1	N2	Débil	Presentar videos y recursos didácticos; Organizar debates mediados para la construcción colectiva de definiciones.	Realizar un mapa conceptual;

Después de haber definido el plan de acción, presentado en la Tabla 30, se hicieron las recomendaciones de acciones de aprendizaje para que los estudiantes las realicen de forma voluntaria<sup>51</sup>, y se procedió a seleccionar los recursos existentes en los activos de contenido y a buscar o elaborar nuevo material para soporte de la sesión de realimentación. Una vez desarrollada la sesión de realimentación y

<sup>51</sup> No se vio conveniente obligar a los estudiantes a que realicen estas acciones, pero se motivó para que vieran la importancia de desarrollarlas.

refuerzo se hizo la evaluación de módulo, la cual se tomó como el *postest* en este trabajo de investigación.

Los resultados obtenidos para el *pretest* y el *postest* en el Módulo 1 se presentan en la Figura 74.

Figura 74. Satisfacción en *pretest* y en *postest* (después de la realimentación) para los temas del módulo 1

ID Tema	Tema	Valor final	Comportamiento de la satisfacción grupal	ES1.1	ES1.2	EM1	M2-M4
T1.1	T1.1 Norma ISA 5.1	0,93		0,76		0,93	
	N1	0,99		0,86		0,99	
	N2	0,90		0,71		0,90	
	N3						
T1.2	T1.2 Interpretación de diagramas	0,85		0,59		0,85	
	N1	1,00		0,69		1,00	
	N2	0,82		0,79		0,82	
	N3	0,82		0,41		0,82	
T1.3	T1.3 Desarrollo de Diagramas P&ID	0,91			0,64	0,91	
	N1	0,89			0,92	0,89	
	N2	0,79			0,69	0,79	
	N3	1,00			0,51	1,00	
T1.4	T1.4 Ejemplos de procesos	0,98			0,71	0,98	
	N1	0,92			0,97	0,92	
	N2	0,64			0,64		
	N3	1,00			0,67	1,00	

Nota1: Esta figura ya fue presentada en la “Figura 52. Satisfacción para los niveles cognitivos de los temas del Módulo 1” cuando se presentaron los resultados del sistema de medición.

En esta Figura 74 se puede apreciar el cambio presente entre las dos mediciones de los temas de manera global y en su detalle por niveles cognitivos, donde se nota mejoría en la mayoría de los casos. El análisis de la mejora, para todos los módulos del curso, se realizará en la siguiente sección.

**3.5.2 Comparación de los resultados de las pruebas.** Para hacer la comparación de los resultados se toman los temas que fueron evaluados en los dos instantes

previamente definidos<sup>52</sup>, antes y después de la realimentación. Estos temas se presentan en la Figura 75.

Figura 75. Temas evaluados con *pretest* y *postest* e instrumentos de medición asociados

#	ID Tema	Tema	ES1.1	ES1.2	EM1	ES2.1	EM2	ES3.1	ES3.2	ES3.3	EM3(1)	ES4.1	EM4
1	T1.1	T1.1 Norma ISA 5.1	0,76		0,93								
2	T1.2	T1.2 Interpretación de diagramas	0,59		0,85								
3	T1.3	T1.3 Desarrollo de Diagramas		0,64	0,91								
4	T1.4	T1.4 Ejemplos de procesos		0,71	0,98								
5	T2.1	T2.1 Tipos de Sistemas:				0,72	0,81						
6	T2.2	T2.2 Tipos de control: Lazo				0,59	0,72						
7	T2.3	T2.3 Control de variables en un				0,70	0,75						
8	T3.1	T3.1 Tipos de modelo según:						0,65			0,88		
9	T3.2	T3.2 Clasificación de los						0,73			0,48		
10	T3.4.1	T3.4.1 Definición de modelo							0,91		0,97		
11	T3.4.2	T3.4.2 Leyes físicas de los							0,81		0,95		
12	T3.4.3	T3.4.3 Generación de							0,76		0,76		
13	T3.4.4	T3.4.4 Analogía de los							0,68		0,91		
14	T3.4.5	T3.4.5 Obtención de las								0,97	0,74		
15	T3.4.6	T3.4.6 Linealización de								0,93	0,82		
16	T4.1	T4.1 Señales típicas de										0,59	0,69
17	T4.2	T4.2 Respuesta temporal										0,59	0,76

Nota: Los valores de satisfacción van de 0 a 1 siendo 0 la mínima satisfacción y 1 la máxima satisfacción.

En la Figura 75 se presentan los temas de contenido que fueron evaluados en dos ocasiones en correlación con los instrumentos aplicados para dicha medición. También se presentan los promedios grupales de los valores de satisfacción obtenidos en cada prueba, los cuales se resaltan en verde cuando son iguales o superiores al umbral del 60% y no se resaltan en caso contrario. Para identificar con mayor claridad el cambio entre los valores grupales de satisfacción se reducen las mediciones en la Figura 76.

<sup>52</sup> No todos los temas tuvieron dos mediciones debido a contratiempos e imprevistos académicos dados por cierres, flexibilidad académica y otros eventos fuera de la clase.

Figura 76. Comparación entre el par de mediciones de los temas

#	ID Tema	Tema	Med 1	Med 2	Diferencias
1	T1.1	T1.1 Norma ISA 5.1	0,76	0,93	0,17
2	T1.2	T1.2 Interpretación de	0,59	0,85	0,26
3	T1.3	T1.3 Desarrollo de	0,64	0,91	0,27
4	T1.4	T1.4 Ejemplos de	0,71	0,98	0,27
5	T2.1	T2.1 Tipos de	0,72	0,81	0,09
6	T2.2	T2.2 Tipos de control:	0,59	0,72	0,12
7	T2.3	T2.3 Control de	0,70	0,75	0,05
8	T3.1	T3.1 Tipos de	0,65	0,88	0,23
9	T3.2	T3.2 Clasificación	0,73	0,48	-0,25
10	T3.4.1	T3.4.1 Definición	0,91	0,97	0,06
11	T3.4.2	T3.4.2 Leyes físicas	0,81	0,95	0,14
12	T3.4.3	T3.4.3 Generación	0,76	0,76	0,00
13	T3.4.4	T3.4.4 Analogía de	0,68	0,91	0,23
14	T3.4.5	T3.4.5 Obtención	0,97	0,74	-0,23
15	T3.4.6	T3.4.6 Linealización	0,93	0,82	-0,11
16	T4.1	T4.1 Señales típicas	0,59	0,69	0,10
17	T4.2	T4.2 Respuesta	0,59	0,76	0,17

Esta comparación presentada en la Figura 76 se representa con la estadística descriptiva de las dos mediciones, en la Tabla 31.

Tabla 31. Estadística descriptiva de las medias grupales de la satisfacción por temas de contenido

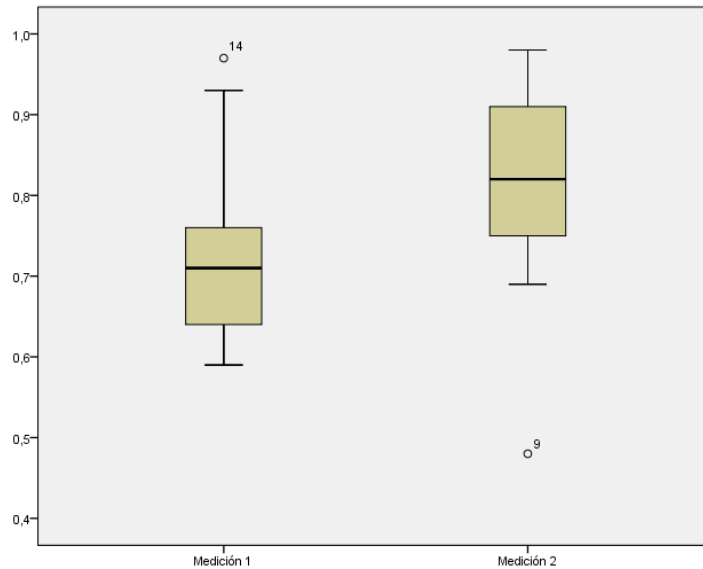
	Med. 1	Med. 2	Diferencias
<b>Media</b>	0,72	0,82	<b>0,09</b>
<b>Desviación estándar</b>	0,12	0,12	<b>0,16</b>
<b>Valor mín.</b>	0,59	0,48	<b>-0,25</b>
<b>Valor máx.</b>	0,97	0,98	<b>0,27</b>
<b>Rango</b>	0,38	0,50	<b>0,52</b>

Nota: Med. 1 (medición 1) es considerada como el *pretest* y Med. 2 (medición 2) es considerada como el *postest*.

De la tabla presentada en la Figura 76 y la Tabla 31 se puede ver que en la mayoría de los temas (13 de 17 temas) la diferencia fue positiva indicando que la media grupal de las satisfacciones en esos temas mejoró después de la realimentación, y que además la media de las medias grupales en la segunda medición superó a la de la primera medición con igual desviación estándar.

También se puede notar que, aunque hubo mejoría en la media de la segunda medición, tanto el valor mínimo como el valor máximo, la desviación estándar y el rango, no mejoraron lo suficiente, de hecho, el valor mínimo fue menor que para la primera medición mientras que el valor máximo mejoró muy poco provocando que el rango fuera considerablemente mayor para la segunda medición. Sin embargo, solo esta información no es suficiente para descartar la mejora, de hecho, un diagrama de cajas y bigotes, presentado en la Figura 77, da mayor claridad sobre las dos mediciones.

Figura 77. Diagrama de caja y bigotes de las mediciones de los temas de contenido<sup>53</sup>



En la Figura 77 se puede evidenciar visualmente la mejoría entre las dos mediciones además de que presenta valores atípicos (el valor 14 de la primera medición correspondiente con la satisfacción de 0,97 y el valor 9 de la segunda medición correspondiente con la satisfacción de 0,48) que, al excluirse de la estadística

---

<sup>53</sup> Esta gráfica fue obtenida con el programa SPSS.

descriptiva, mejora considerablemente los resultados como se presenta en la Tabla 32.

Tabla 32. Estadística descriptiva de las medias grupales de la satisfacción por temas (con y sin valores atípicos)

	Med. 1	Med. 2	Diferencias
<b>Media</b>	0,72	0,82	<b>0,09</b>
<b>(Sin valores atípicos)</b>	0,71	0,84	<b>0,14</b>
<b>Desviación estándar</b>	0,12	0,12	<b>0,16</b>
<b>(Sin valores atípicos)</b>	0,10	0,09	<b>0,10</b>
<b>Valor mín.</b>	0,59	0,48	<b>-0,25</b>
<b>(Sin valores atípicos)</b>	0,59	0,69	<b>-0,11</b>
<b>Valor máx.</b>	0,97	0,98	<b>0,27</b>
<b>(Sin valores atípicos)</b>	0,93	0,98	<b>0,27</b>
<b>Rango</b>	0,38	0,50	<b>0,52</b>
<b>(Sin valores atípicos)</b>	0,34	0,29	<b>0,38</b>

Nota: En esta tabla se presenta la estadística considerando todos los valores y considerando solo los valores no atípicos para hacer la comparación.

En la Tabla 32 se presenta una notable mejoría en todos los estadísticos para el caso de la segunda medición manifestándose en: mayor media, menos desviación estándar, mayor valor mínimo, mayor valor máximo, menor rango y mayor media de las diferencias de las mediciones. Con esta información se puede concluir que hubo mejoría para las satisfacciones grupales en la segunda medición asociada con el *postest* (después de la realimentación) con respecto a la primera medición asociada con el *pretest* (antes de la realimentación).

Finalmente, para corroborar la conclusión anterior se hace una prueba estadística de la hipótesis donde se espera concluir con una significancia de 5% que existe diferencia entre las mediciones obtenidas con el *postest* con respecto a las mediciones obtenidas con el *pretest*.

Para este caso, se utiliza de nuevo el software estadístico SPSS donde se utiliza la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo que es una prueba no paramétrica para la diferencia entre grupos relacionados (*pretest-postest*) y se toman los valores de la “Figura 76. Comparación entre el par de mediciones de los temas”. En cuanto a la prueba estadística de la hipótesis se tienen las siguientes dos hipótesis:

- $H_0$ : No hay diferencia entre los resultados del *pretest* y el *postest*.
- $H_1$ : Sí hay diferencia entre los resultados del *pretest* y el *postest*.

Para el análisis de rangos de la prueba de Wilcoxon se tienen los valores presentados en la Figura 78.

Figura 78. Rangos de la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Medición 2 - Medición 1	Rangos negativos	3 <sup>a</sup>	9,67	29,00
	Rangos positivos	13 <sup>b</sup>	8,23	107,00
	Empates	1 <sup>c</sup>		
	Total	17		

a. Medición 2 < Medición 1

b. Medición 2 > Medición 1

c. Medición 2 = Medición 1

Fuente: Tabla obtenida con SPSS para los datos de la comparación del *pretest* y *postest* de la Figura 76

En la Figura 78 se aprecia que las frecuencias de las diferencias positivas ( $(\text{postest} - \text{pretest}) > 0$ ) son mayor que las frecuencias de las diferencias negativas ( $(\text{postest} - \text{pretest}) < 0$ ), además, los resultados arrojados por SPSS para el estadístico de prueba según la prueba de Wilcoxon se presentan en la Figura 79.

Figura 79. Estadístico de prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	Medición 2 - Medición 1
Z	-.2019 <sup>b</sup>
Sig. asintótica (bilateral)	.044

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: Tabla obtenida con SPSS para los datos de la comparación del *pretest* y *postest* de la Figura 76.

Con el  $p$ -valor de 0,044, menor que 0,05, se puede decir que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) por lo tanto se puede afirmar que sí hay diferencia entre las mediciones con una significancia del 5% y, al ser la suma de rangos de las mediciones positivas mayor que la suma de rangos de las mediciones negativas, se puede concluir además que las notas de los *postest* son mayores que las notas de los *pretest*.

**3.5.3 Conclusiones de la verificación de la influencia de la realimentación.** De los resultados obtenidos al comparar las mediciones se puede concluir que la incorporación de un sistema de control para el proceso de aprendizaje mejoró el desempeño de los estudiantes en las pruebas realizadas debido al establecimiento y aplicación de planes de acciones reguladoras, las cuales, aunque se escogieron para un nivel específico de cada tema de contenido, fueron suficientes para mejorar la satisfacción global del tema de contenido.

#### 4. CONCLUSIONES GENERALES Y DISCUSIÓN

La viabilidad para la integración de los estándares, instrumentos y técnicas de medición y control en los procesos de enseñanza-aprendizaje (EA) depende de la capacidad que tengan las asignaturas para implementar TIC en sus procesos, pues esto facilita la obtención de información de las especificaciones de alto nivel jerárquico, como las competencias a desarrollar en el curso, a partir de los instrumentos de medición instalados directamente en los procesos de aprendizaje.<sup>54</sup>

La estructura de módulos y lecciones facilitó el diseño y aplicación de los instrumentos de medición, así como la recolección y tratamiento de información a partir de ellos; puesto que permitió dosificar la enseñanza y aprendizaje de los contenidos, con lineamientos temporales claros, facilitando la integración entre los resultados de los instrumentos y las vistas jerárquicas superiores de información como competencias e indicadores de competencia.<sup>55</sup>

Los procesos de docencia y discencia se pueden representar como sistemas de control, de forma que se pueden especificar para establecer planes de control y sistemas de medición que permitan hacer seguimiento y evaluar el desempeño, a través de la aplicación de instrumentos de medición constituidos por preguntas de diferente nivel cognitivo para detectar debilidades categorizadas por niveles e implementar acciones correctivas que correspondan con el nivel cognitivo donde se manifestó la debilidad.<sup>56</sup>

El sistema de control propuesto logra integrar de forma efectiva los estándares, instrumentos y técnicas de medición y control de tal forma que permite no solo medir el estado de desempeño de los procesos en todo momento de aplicación de los instrumentos, sino que, al comparar las mediciones realizadas antes y después

---

<sup>54</sup> Conclusión asociada con la pregunta de investigación y la consecución del objetivo específico 1. Logro evidenciado en las secciones 3.1 y 3.2 relacionadas con la Definición y Medición según las etapas de la metodología implementada.

<sup>55</sup> Conclusión asociada con la consecución del objetivo específico 1. Logro evidenciado en las secciones 3.1 3.2 3.3 relacionadas con la Definición, Medición y Análisis según las etapas de la metodología implementada.

<sup>56</sup> Conclusión asociada con la consecución de los objetivos específicos 1 y 2. Logro evidenciado en las secciones 3.1 relacionadas con la Definición, Medición y Diseño según las etapas de la metodología implementada.

(*pretest* y *posttest* respectivamente) de la aplicación de realimentación y acciones reguladoras para el refuerzo, se evidenció la mejora en dicho desempeño en cuanto al aprendizaje de los estudiantes para los escenarios tratados en este trabajo de investigación. Esta determinación del estado actual del sistema conlleva a facilitación en el seguimiento de los objetivos de control propuestos para el sistema.<sup>57</sup>

El modelo de procesos de docencia y discencia de Enseñanza-Aprendizaje en Educación Superior visto como un modelo de sistemas de control, logró caracterizar los procesos de tal forma que se obtuvieran las especificaciones que conllevaron a la mejora del desempeño de los estudiantes en las pruebas de aprendizaje aplicadas.<sup>58</sup>

Para el caso preciso de las **evaluaciones de aprendizaje**, siguiendo la apreciación de Edgar Dijkstra, citada por Zamora [53], que consiste en que “las pruebas demuestran la presencia de errores, no su ausencia”, se puede esperar que las evaluaciones de aprendizaje puedan ayudar a detectar debilidades más no evidenciar un aprendizaje, esto considerando también la dificultad de generar ítems que puedan evaluar de forma exhaustiva un contenido y sus conductas cognitivas asociadas [8], [10].

La oportunidad de **implementar muchos instrumentos de medición** se debe aprovechar con carácter formativo para tratar las debilidades de los estudiantes, pero esa realimentación implícita en la evaluación formativa cobra especial sentido si se presenta la oportunidad de evaluar de nuevo ese aspecto que ha sido reforzado pues con ello se puede evidenciar la pertinencia de la mediación y la efectividad de las estrategias de aprendizaje implementadas por el estudiante.

---

<sup>57</sup> Conclusión asociada con la consecución de los objetivos específicos 1, 2 y 3, la respuesta a la pregunta de investigación y la prueba de la hipótesis de investigación. Logro evidenciado en las secciones 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 relacionadas con la Definición, Medición, Análisis, Diseño y Verificación según las etapas de la metodología implementada.

<sup>58</sup> Conclusión asociada explícitamente con la consecución del objetivo general. Logro evidenciado en las secciones 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 relacionadas con la Definición, Medición, Análisis, Diseño y Verificación según las etapas de la metodología implementada.

## 5. TRABAJOS FUTUROS

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se presentaron diferentes desafíos que se plantearon como trabajos futuros por no estar incluidos en los objetivos y alcances del proyecto y por considerarse de importancia para continuar con el proceso de investigación. Algunos de estos desafíos y sus propuestas de solución se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33. Matriz de causa-efecto de problemáticas para futuros trabajos

<b>Problemática encontrada (Futuros desafíos)</b>	<b>Propuesta de solución</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>MOODLE no cuenta con aplicativos que permitan el análisis de datos propuesto para hacer seguimiento y control del aprendizaje de forma automática. (<i>ver sección 3.3 Análisis de las mediciones</i>)</li> </ul>	Sistema de medición y seguimiento implementado directamente desde MOODLE
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los niveles propuestos para la taxonomía de Bloom no son del todo excluyentes en cuanto a que hay acciones en las que no se puede definir con completa certeza a qué nivel pertenecen. (<i>ver sección 3.4.1 Sistema de control propuesto</i>)</li> <li>Revisar la correlación que pueda existir entre la satisfacción obtenida para los diferentes niveles cognitivos. (<i>ver sección 3.3 Análisis de las mediciones</i>)</li> </ul>	Estandarización de la taxonomía para la variable cognitiva.
<ul style="list-style-type: none"> <li>No se puede evaluar de forma exhaustiva cada nivel cognitivo de cada tema porque se requerirían muchas preguntas y porque se puede redundar en preguntas que evalúan lo mismo, por lo cual sería conveniente que las pruebas se adaptaran a las respuestas dadas a preguntas anteriores de tal forma que la prueba se concentre en detectar debilidades y corroborar fortalezas. (<i>ver sección 3.2 Medición de los procesos de Enseñanza-Aprendizaje (EA)</i>)</li> <li>Las preguntas deberían contar con diferentes atributos como duración sugerida, complejidad, nivel cognitivo, tema asociado, subtema asociado, palabras clave, etcétera, con el fin de que sean seleccionadas utilizando diferentes criterios. (<i>ver sección 3.2 Medición de los procesos de Enseñanza-Aprendizaje (EA)</i>)</li> </ul>	Pruebas inteligentes: adaptativas y personalizadas.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se debería ofrecer a los estudiantes acciones correctivas personalizadas dependiendo de su estilo de aprendizaje, esto requiere una caracterización más detallada de las estrategias didácticas desde la enseñanza y desde el aprendizaje. (<i>ver sección 3.4.1 Sistema de control propuesto</i>)</li> </ul>	Estrategias didácticas personalizadas según propiedades de enseñanza – aprendizaje - evaluación y estilo de aprendizaje de los estudiantes.

Problemática encontrada (Futuros desafíos)	Propuesta de solución
<ul style="list-style-type: none"> <li>No se conocen las propiedades evaluativas de las estrategias didácticas y sería conveniente usarlas según las competencias a medir y los objetivos a conseguir. (ver sección 3.2 Medición de los procesos de Enseñanza-Aprendizaje (EA) )</li> <li>No se conoce la efectividad de las estrategias didácticas y la relación con el estilo de aprendizaje o con otros aspectos asociados con el aprendizaje de los estudiantes. (ver sección 3.4.1 Sistema de control propuesto)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Difícilmente se puede medir en los estudiantes la capacidad de resolución de problemas con las herramientas propuestas por defecto. (ver sección 3.2 Medición de los procesos de Enseñanza-Aprendizaje (EA) )</li> <li>Revisar métodos de calificación avanzados utilizando MOODLE<sup>59</sup>. (ver sección 3.2 Medición de los procesos de Enseñanza-Aprendizaje (EA) )</li> </ul>	Implementación de MOODLE para la evaluación de resolución de problemas en Ingeniería
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se puede definir un modelo de madurez de la implementación y una estrategia recomendada para dicha implementación, así como una <b>arquitectura documental</b> que estandarice las vistas y plantillas requeridas para la adecuada implementación del sistema. (ver secciones 3.1 3.2 3.4 3.5.1)</li> <li>Facilitar la revisión del desarrollo de las acciones reguladoras recomendadas por el sistema por parte de los estudiantes. (Se sugiere inicialmente manejar el sistema de puntos de bonificación a los estudiantes que muestren que están haciendo las acciones reguladoras recomendadas). (ver sección 3.4 Diseño del Sistema de Control )</li> </ul>	Definición y estandarización de estrategias de implementación del Sistema de Seguimiento y Control del Aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> <li>No se conoce muy bien el SPADIES propuesto por el MEN [16] y no se sabe cómo integrarlos con modelos de madurez de procesos de enseñanza y aprendizaje. Se podría integrar el sistema de seguimiento y control del aprendizaje (Control Operativo) propuesto en este trabajo de investigación, con la propuesta del MEN (Control Estratégico y Táctico) (ver sección 3.1 3.2 3.4)</li> </ul>	Sistema de control táctico y estratégico y su integración con el sistema de control operativo y el SPADIES del MEN

<sup>59</sup> Este tema se ha propuesto en un foro de MOODLE que se encuentra en: [https://docs.moodle.org/all/es/M%C3%A9todos\\_avanzados\\_de\\_calificar](https://docs.moodle.org/all/es/M%C3%A9todos_avanzados_de_calificar)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. FARRELL and W. BAKER, “Learning Control Systems.” .
- [2] Z. BUBNICKI, “Knowledge-based and learning control systems,” *Control Syst. Robot. Autom.*, vol. XVII, p. 8.
- [3] R. CONEJO, E. MILLÁN, J. L. PÉREZ DE LA CRUZ, and M. TRELLA, “Modelado del alumno: un enfoque bayesiano.” *Rev. Iberoam. Intel. Artif.*, vol. 12, no. 12, pp. 50–58, 2001.
- [4] M. ABDULWAHED, Z. K. NAGY, and R. BLANCHARD, “Using feedback control engineering for analyzing and designing an effective lecturing model,” in *2008 38th Annual Frontiers in Education Conference*, 2008, p. F1C–1–F1C–6.
- [5] S. TOBÓN, *Formación basada en competencias: Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*, Segunda. ECOE EDICIONES, 2005.
- [6] M. V. CORREDOR MONTAGUT, M. I. PÉREZ ANGULO, and R. ARBELÁEZ LÓPEZ, *Estrategias de enseñanza y aprendizaje*, 1st ed. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2009.
- [7] L. PRIETO NAVARRO, Á. BLANCO BLANCO, P. MORALES VALLEJO, and J. C. TORRES PUENTE, *La enseñanza universitaria centrada en el aprendizaje*, 1st ed. Barcelona: Ediciones Octaedro SL, 2008.
- [8] R. ARBELÁEZ LÓPEZ, *Evaluación del Aprendizaje en la Educación Superior*, 1st ed. Bucaramanga: División de Publicaciones UIS, 2010.
- [9] J. MURILLO F. and M. ROMÁN, “Retos en la evaluación de la calidad de la educación en América Latina.” *Rev. Iberoam. Educ.*, vol. N° 53, pp. 97–120, 2010.
- [10] B. S. BLOOM, J. T. HASTINGS, and G. F. MADAUS, *Evaluación del aprendizaje*, 2nd ed. New York, 1977.
- [11] H. P. CAMACHO GRASS, R. F. VALDIVIESO BOHÓRQUEZ, and R. LLAMOSIA VILLALBA, “Propuesta de investigación VIE. Modelo de Madurez de Procesos Educativos,” Bucaramanga, 2011.
- [12] K. S. PALACIO S., “Modelo para el diseño de un sistema de control de gestión académico/administrativo en una institución universitaria aplicado en la división de ingenierías de la Universidad del Norte,” Universidad del Norte,

2006.

- [13] S. J. JÁCOME HERNÁNDEZ and A. M. PÁEZ QUINTERO, “Modelado de procesos de Autoría e Instrucción del Centro de Innovación y Desarrollo para la Investigación en Ingeniería del Software para obtener el modelo de requisitos orientado a la creación de un ambiente virtual basado en Aprendizaje Significativo,” Universidad Industrial de Santander, 2012.
- [14] H. P. CAMACHO GRASS and R. LLAMOSAS VILLALBA, “Modelo de Madurez de Procesos Educativos - MEMORIA/PE,” 2013.
- [15] ESCUELA E3T UIS, “Matriz DOFA procesos académicos E3T Oct 2012.” p. 6, 2012.
- [16] MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, G. PARODY D'ECHENOA, N. ARIZA RAMÍREZ, D. P. BASTO CASTRO, A. SÁNCHEZ PERILLA, D. DURÁN MURIEL, B. TRUJILLO RAMÍREZ, A. BALLARES BÁEZ, P. MONSALVE RAMÓN, M. C. LEAL MURILLO, and C. MONTES MEDINA, *Guía para la implementación del Modelo de Gestión de Permanencia y Graduación Estudiantil en Instituciones de Educación Superior*, 1st ed. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2015.
- [17] R. HERNÁNDEZ SAMPIERI, *Metodología De La Investigación*, 6th ed. Mexico, 2014.
- [18] R. C. DORF and R. H. BISHOP, *Sistemas de control moderno*, 10th ed. Pearson Prentice Hall, 2006.
- [19] R. RUIZ, “El Método Científico y sus Etapas,” 2007.
- [20] C. MUÑOZ RAZO, *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*, 2nd ed. Prentice Hall, 1998.
- [21] A. RUIZ, “Modelos Matemáticos en Biología,” *Sci. Am. Rev. Investig. y Cienc. Nro*, p. 360, 1984.
- [22] R. A. GÓMEZ MONTOYA and S. BARRERA, “Seis sigma: un enfoque teórico y aplicado en el ámbito empresarial basándose en información científica,” 2011.
- [23] H. GUTIÉRREZ PULIDO and R. DE LA VARA SALAZAR, *Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma*, 3rd ed. Mexico DF: McGraw-Hill, 2013.

- [24] J. M. SIVIY, M. L. PENN, and R. W. STODDARD, *CMMI and Six Sigma. Partness in Process Improvement*. 2007.
- [25] J. A. HEIM, “Technology for organizational coordination,” in *Technology Management : the New International Language*, 1991, pp. 45–48.
- [26] B. SCHOLZ-REITER, D. RIPPEL, and S. SOWADE, “Limitations in modeling autonomous logistic processes: Challenges and solutions in business process modeling,” in *2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM)*, 2011, pp. 1–6.
- [27] A. JEDLITSCHKA and D. PFAHL, “Experience-based model-driven improvement management with combined data sources from industry and academia,” in *2003 International Symposium on Empirical Software Engineering, 2003. ISESE 2003. Proceedings.*, 2003, pp. 154–161.
- [28] K. OGATA, *Ingeniería de control moderna*, 3rd ed. 1998.
- [29] A. TOVAR PÉREZ, “Sistemas dinámicos,” in *Identificador Gráfico de Bifurcaciones IGB – versiones 4 y 5*, Bogotá, 2001, p. 13.
- [30] E. KOFMAN, “Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos : Métodos, Algoritmos y Herramientas,” p. 26.
- [31] B. C. KUO, *Sistemas de control automático*, 7th ed. .
- [32] T. NANAYAKKARA, F. SAHIN, and M. JAMSHIDI, “Intelligent control systems with an introduction to system of systems engineering,” p. 444, 2010.
- [33] F. GOLNARAGHI and B. C. KUO, *Automatic Control Systems*, 9th ed. 2010.
- [34] J. ARACIL and F. GORDILLO, *Dinamica de sistemas*. Alianza editorial.
- [35] W. VAN DER AALST, A. ADRIANSYAH, A. KARLA, and ..., “Manifiesto sobre Minería de Procesos.” p. 21, 2011.
- [36] B. FOWLER, “La Taxonomía de Bloom y el Pensamiento Crítico.” [Online]. Available:  
[http://www.dokeos.ece.buap.mx/dokeos/courses/DHPCA/document/DOCUMENTOS\\_PARA\\_COMPARTIR/LA\\_TAXONOMIA\\_DE\\_BLOOM\\_Y\\_EL\\_PENSAMIENTO\\_CRITICO1.pdf](http://www.dokeos.ece.buap.mx/dokeos/courses/DHPCA/document/DOCUMENTOS_PARA_COMPARTIR/LA_TAXONOMIA_DE_BLOOM_Y_EL_PENSAMIENTO_CRITICO1.pdf).
- [37] B. S. BLOOM, *Taxonomía de los objetivos de la Educación*, 7th ed. Librería

Ateneo, 1971.

- [38] R. A. SERWAY and J. W. JEWETT JR., *Física para ciencias e ingeniería. Vol. 1*, 7th ed. Cengage Learning Editores S.A, 2008.
- [39] R. L. EBEL and D. A. FRISBIE, *Essentials of educational measurement*, 5th ed. Prentice Hall, 1991.
- [40] S. GONZALES LOSADA, *Simposio Internacional. Evaluación para la calidad en la educación superior*. 2010.
- [41] H. P. CAMACHO GRASS, "Propuesta de Integración de mejores prácticas para la Gestión Mejora y Valoración del Proceso Educativo en la Educación Superior.," Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.
- [42] K. H. ROSEN, J. G. MICHAELS, J. L. GROSS, J. W. GROSSMAN, and D. R. SHIER, "Handbook of Discrete and combinatorial Mathematics," 2000, 1st ed., p. 1183.
- [43] K. H. ROSEN, *Matemática discreta y sus aplicaciones*, 5th ed. Madrid-Spain: McGraw-Hill, 2004.
- [44] J. F. PANTOJA BENAVIDES and H. VACCA GONZÁLEZ, "Los conjuntos borrosos, modelación cualitativa de la realidad," *Visión Electrónica*, vol. 2, p. 11, 2008.
- [45] L. L. LAZZARI, P. I. MOULIÁ, and M. ERIZ, "Relaciones binarias Crisp y Fuzzy. Aplicación a un espacio financiero," *Cuad. del CIMBAGE*, vol. 10, p. 30, 2008.
- [46] D. GUZMÁN and V. M. CASTAÑO, "La Lógica difusa en ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro," *Cienc. y Technol.*, vol. 24, p. 22, 2006.
- [47] A. CHURCHES, "Taxonomía de Bloom para la era digital," *Eduteka.com*, 2009. [Online]. Available: <http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomDigital>.
- [48] N. S. NISE, *Control Systems Engineering*, 6th ed. Pomona: California State Polytechnic University, Pomona, 2011.
- [49] J. MONTBRUN DI FILIPPO, "Control Difuso," Caracas.
- [50] L. L. LAZZARI, E. A. M. MACHADO, and R. H. PÉREZ, "Los conjuntos

borrosos: una introducción,” p. 25.

- [51] T. J. ROSS, *Fuzzy Logic. With Engineering Applications*, 3rd ed. Wiley, 2010.
- [52] E. NAVARRO ASECIO, *Guía para la interpretación de resultados en el contraste de hipótesis estadísticas (Estadística paramétrica y no paramétrica)*, 5th ed. 2015.
- [53] J. ZAMORA HERNÁNDEZ and A. SANZ ESTEBAN, “Análisis de los procesos de verificación y validación en las organizaciones software,” Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [54] A. GUASCH, M. À. Á. PIERA, J. CASANOVAS, and J. FIGUERAS, *Modelado y Simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*, 1st ed. Barcelona: Alfaomega, 2005.

## BIBLIOGRAFÍA

AALST, W. VAN DER, ADRIANSYAH, A., KARLA, A., &... (2011). Manifiesto sobre Minería de Procesos. Retrieved from <http://www.win.tue.nl/ieeetfpm>

ABDULWAHED, M., NAGY, Z. K., & BLANCHARD, R. (2008). Using feedback control engineering for analyzing and designing an effective lecturing model. In 2008 38th Annual Frontiers in Education Conference (p. F1C-1-F1C-6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/FIE.2008.4720410>

ARACIL, J., & GORDILLO, F. (n.d.). Dinámica de sistemas. Alianza editorial.

ARBELÁEZ LÓPEZ, R. (2010). Evaluación del Aprendizaje en la Educación Superior. (División de publicaciones UIS, Ed.) (1st ed.). Bucaramanga: División de Publicaciones UIS.

BLOOM, B. S. (1971). Taxonomía de los objetivos de la Educación (7th ed.). Librería Ateneo.

BLOOM, B. S., HASTINGS, J. T., & MADAUS, G. F. (1977). Evaluación del aprendizaje. (Editorial Troquel, Ed.) (2nd ed.). New York.

BUBNICKI, Z. (n.d.). Knowledge-based and learning control systems. Control Systems, Robotics and Automation, XVII, 8.

CAMACHO GRASS, H. P. (2013). Propuesta de Integración de mejores prácticas para la Gestión Mejora y Valoración del Proceso Educativo en la Educación Superior. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

CAMACHO GRASS, H. P., & LLAMOSAS VILLALBA, R. (2013). Modelo de Madurez de Procesos Educativos - MEMORIA/PE. WEEF 2013.

CAMACHO GRASS, H. P., VALDIVIESO BOHÓRQUEZ, R. F., & LLAMOSA VILLALBA, R. (2011). Propuesta de investigación VIE. Modelo de Madurez de Procesos Educativos. Bucaramanga.

CHURCHES, A. (2009). Taxonomía de Bloom para la era digital. Retrieved from <http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomDigital>

CONEJO, R., MILLÁN, E., PÉREZ DE LA CRUZ, J. L., & TRELLA, M. (2001). Modelado del alumno: un enfoque bayesiano. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, 12(12), 50–58. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1254906>

CORREDOR MONTAGUT, M. V., PÉREZ ANGULO, M. I., & ARBELÁEZ LÓPEZ, R. (2009). Estrategias de enseñanza y aprendizaje (1st ed.). Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.

DORF, R. C., & BISHOP, R. H. (2006). Sistemas de control moderno (10th ed.). Pearson Prentice Hall.

EBEL, R. L., & FRISBIE, D. A. (1991). Essentials of educational measurement (5th ed.). Prentice Hall.

ESCUELA E3T UIS. (2012). Matriz DOFA procesos académicos E3T Oct 2012.

FARRELL, J., & BAKER, W. (n.d.). Learning Control Systems.

FOWLER, B. (n.d.). La Taxonomía de Bloom y el Pensamiento Crítico. Retrieved from [http://www.dokeos.ece.buap.mx/dokeos/courses/DHPCA/document/DOCUMENTOS\\_PARA\\_COMPARTIR/LA\\_TAXONOMIA\\_DE\\_BLOOM\\_Y\\_EL\\_PENSAMIENTO\\_CRITICO1.pdf](http://www.dokeos.ece.buap.mx/dokeos/courses/DHPCA/document/DOCUMENTOS_PARA_COMPARTIR/LA_TAXONOMIA_DE_BLOOM_Y_EL_PENSAMIENTO_CRITICO1.pdf)

GOLNARAGHI, F., & KUO, B. C. (2010). Automatic Control Systems. (Wiley, Ed.) (9th ed.).

GÓMEZ MONTOYA, R. A., & BARRERA, S. (2011). Seis sigma: un enfoque teórico y aplicado en el ámbito empresarial basándose en información científica. Retrieved from <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/113/4/tranversalidad.pdf#page=291>

GONZALES LOSADA, S. Simposio Internacional. Evaluación para la calidad en la educación superior (2010). Retrieved from <http://www.uhu.es/simposio.calidad/contenido.php?actual=inicio&idioma=es>.

GUASCH, A., PIERA, M. À. Á., CASANOVAS, J., & FIGUERAS, J. (2005). Modelado y Simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. (Alfaomega grupo editor S.A., Ed.) (1st ed.). Barcelona: Alfaomega.

GUTIÉRREZ PULIDO, H., & DE LA VARA SALAZAR, R. (2013). Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma. (P. E. Roig, Ed.) (3rd ed.). Mexico DF: McGraw-Hill.

GUZMÁN, D., & CASTAÑO, V. M. (2006). La Lógica difusa en ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro. Ciencia Y Tecnología, 24, 22.

HEIM, J. A. (1991). Technology for organizational coordination. In Technology Management: the New International Language (pp. 45–48). IEEE. <http://doi.org/10.1109/PICMET.1991.183560>

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. (2014). Metodología De La Investigación (6th ed.). México.

JÁCOME HERNÁNDEZ, S. J., & PÁEZ QUINTERO, A. M. (2012). Modelado de procesos de Autoría e Instrucción del Centro de Innovación y Desarrollo para la Investigación en Ingeniería del Software para obtener el modelo de requisitos orientado a la creación de un ambiente virtual basado en Aprendizaje Significativo. Universidad Industrial de Santander.

JEDLITSCHKA, A., & PFAHL, D. (2003). Experience-based model-driven improvement management with combined data sources from industry and

academia. In 2003 International Symposium on Empirical Software Engineering, 2003. ISESE 2003. Proceedings. (pp. 154–161). Kaiserslautern, Germany: IEEE Comput. Soc. <http://doi.org/10.1109/ISESE.2003.1237974>

KOFMAN, E. (n.d.). Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos : Métodos, Algoritmos y Herramientas (p. 26). Rosario, Argentina.

KUO, B. C. (n.d.). Sistemas de control automático (7th ed.).

LAZZARI, L. L., MACHADO, E. A. M., & PÉREZ, R. H. (n.d.). Los conjuntos borrosos: una introducción, 25.

LAZZARI, L. L., MOULIÁ, P. I., & ERIZ, M. (2008). Relaciones binarias Crisp y Fuzzy. Aplicación a un espacio financiero. Cuadernos Del CIMBAGE, 10, 30. Retrieved from [http://www.econ.uba.ar/www/institutos/matematica/cimbage/cuaderno10/lazzari\\_et\\_al.pdf](http://www.econ.uba.ar/www/institutos/matematica/cimbage/cuaderno10/lazzari_et_al.pdf)

MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, PARODY D'ECHENOA, G., ARIZA RAMÍREZ, N., BASTO CASTRO, D. P., SÁNCHEZ PERILLA, A., DURÁN MURIEL, D.,... MONTES MEDINA, C. (2015). Guía para la implementación del Modelo de Gestión de Permanencia y Graduación Estudiantil en Instituciones de Educación Superior. (J. Martín Velásquez, Ed.) (1st ed.). Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

MONTBRUN DI FILIPPO, J. (n.d.). Control Difuso. Caracas. Retrieved from <http://prof.usb.ve/montbrun/ps2320/fuzzy/fuzzy.html>

MUÑOZ RAZO, C. (1998). Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis (2nd ed.). Prentice Hall. Retrieved from [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=1ycDGW3ph1UC&oi=fnd&pg=PA2&dq=C%C3%B3mo+elaborar+y+asesorar+una+investigaci%C3%B3n+de+TESIS&ots=8dKzB5hVTP&sig=BwtX4niaho-9m3Swz\\_o6NQhIYEE](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=1ycDGW3ph1UC&oi=fnd&pg=PA2&dq=C%C3%B3mo+elaborar+y+asesorar+una+investigaci%C3%B3n+de+TESIS&ots=8dKzB5hVTP&sig=BwtX4niaho-9m3Swz_o6NQhIYEE)

MURILLO F., J., & ROMÁN, M. (2010). Retos en la evaluación de la calidad de la educación en América Latina. *Revista Iberoamericana de Educación.*, No 53, 97–120.

NANAYAKKARA, T., SAHIN, F., & JAMSHIDI, M. (2010). Intelligent control systems with an introduction to system of systems engineering, 444. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Intelligent+control+systems+with+an+introduction+to+system+of+systems+engineering#0>

NAVARRO ASECNCIO, E. (2015). Guía para la interpretación de resultados en el contraste de hipótesis estadísticas (Estadística paramétrica y no paramétrica) (5th ed.). Retrieved from <https://eduktive.wordpress.com/>

NISE, N. S. (2011). *Control Systems Engineering*. (Wiley, Ed.) (6th ed.). Pomona: California State Polytechnic University, Pomona.

OGATA, K. (1998). *Ingeniería de control moderna* (3rd ed.).

PALACIO S., K. S. (2006). Modelo para el diseño de un sistema de control de gestión académico/administrativo en una institución universitaria aplicado en la división de ingenierías de la Universidad del Norte. Universidad del Norte.

PANTOJA BENAVIDES, J. F., & VACCA GONZÁLEZ, H. (2008). Los conjuntos borrosos, modelación cualitativa de la realidad. *Visión Electrónica*, 2, 11. Retrieved from <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/800/1096>

PRIETO NAVARRO, L., BLANCO BLANCO, Á., MORALES VALLEJO, P., & TORRES PUENTE, J. C. (2008). *La enseñanza universitaria centrada en el aprendizaje*. (Ediciones Octaedro SL, Ed.) (1st ed.). Barcelona: Ediciones Octaedro SL.

ROSEN, K. H. (2004). *Matemática discreta y sus aplicaciones* (5th ed.). Madrid-Spain: McGraw-Hill.

ROSEN, K. H., MICHAELS, J. G., GROSS, J. L., GROSSMAN, J. W., & SHIER, D. R. (2000). Handbook of Discrete and combinatorial Mathematics. In K. H. Rosen (Ed.) (1st ed., p. 1183). Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.

ROSS, T. J. (2010). Fuzzy Logic. With Engineering Applications. (Wiley, Ed.) (3rd ed.). Wiley.

RUIZ, A. (1984). Modelos Matemáticos en Biología. Scientific American Revista Investigación Y Ciencia Nro, 360. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:MODELOS+MAT+EMÁTICOS+EN+BIOLOGÍA#3>

RUIZ, R. (2007). El Método Científico y sus Etapas.

SCHOLZ-REITER, B., RIPPEL, D., & SOWADE, S. (2011). Limitations in modeling autonomous logistic processes: Challenges and solutions in business process modeling. In 2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM) (pp. 1–6). Bremen, Germany: IEEE. <http://doi.org/10.1109/ISAM.2011.5942324>

SERWAY, R. A., & JEWETT JR., J. W. (2008). Física para ciencias e ingeniería. Vol. 1. (S. R. Cervantes González, Ed.) (7th ed.). Cengage Learning Editores S.A.

SIVIY, J. M., PENN, M. L., & STODDARD, R. W. (2007). CMMI and Six Sigma. Partness in Process Improvement.

TOBÓN, S. (2005). Formación basada en competencias: Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica. Chemistry & ... (Segunda). ECOE EDICIONES. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>

TOVAR PÉREZ, A. (2001). Sistemas dinámicos. In Identificador Gráfico de Bifurcaciones IGB – versiones 4 y 5 (p. 13). Bogotá. Retrieved from <http://www.docentes.unal.edu.co/atovarp/docs/IGB/01-Sistemas+dinamicos.pdf>

ZAMORA HERNÁNDEZ, J., & SANZ ESTEBAN, A. (2011). Análisis de los procesos de verificación y validación en las organizaciones software. Universidad Carlos III de Madrid. Retrieved from [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12880/PFC Jorge Zamora Hernandez.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12880/PFC_Jorge_Zamora_Hernandez.pdf?sequence=1)